

GKS 1/376.2

Affi 1X1 >	Affichage sur une vue ou quatre vues	
Viseur	Affichage du viseur	
Eche ega >	Echelles en x et y : égales ou non	
Marq noeud	Marquage des noeuds	
Nume noeud	Numérotation des noeuds	
Habi ele >	Habillage des éléments : Numéro, Section et Maté	
Repe eleme	Affichage du repère des éléments	
Impr tot >	Options d'impression : totale/zone/ech/4x/norme	
Opti activ	Activation ou non des options en cours	
Decouper	Découpage d'une vue	
Selec type	Sélection d'éléments (en Fonction de Habillage)	
Recoller	Recollement des vues	
Zoomer	Zoom sur la structure	
Avant/arri	Avancer ou reculer la structure	
Fixer eche	Fixer l'échelle	
Deplacer	Déplacer la structure	
Chercher	Recherche d'un nœud ou d'une barre	
Recadrer	Recadrage de la structure	
Xy>xz>yz >	Changer de vue: Perspective, X, Y, Z	
Projeter	Projection selon un axe quelconque	
Fich impre	Choix du fichier d'impression pour postscript/hp	
Imprimer	Lancer l'impression	
Fin	Sortie de l'application	

Saisie contextuelle (Echappement pour annuler)

Options

Actions

Saisies

Résultats : Choix des données à afficher

The screenshot shows the PCP_RES software interface with the following elements:

- Window title: PCP_RES
- Project name: CEREMA - PCP-RES
- Structure name: 'PONT HAUBANE'
- Date/Time: 26.06.14/17.48.23
- Menu bar: Etudes, Effets, Phases, Instants, Influence, Evolution, Vibration, Titre, Soustitre, Abscisse, Graphe, Structure, Edition, Fin

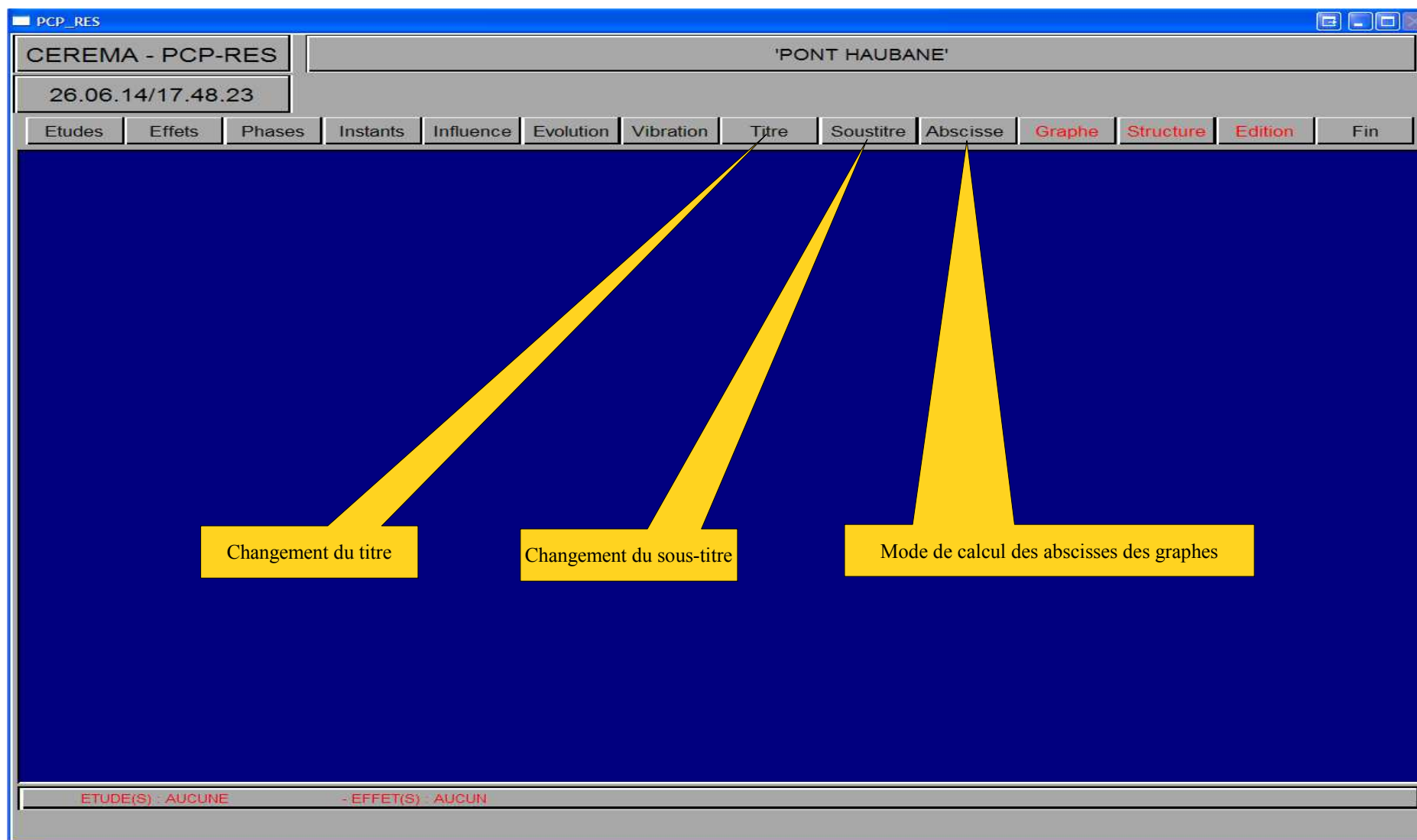
Yellow callout boxes explain the actions for various menu items:

- Etudes**: Choix des études : déplacements, efforts, contraintes, réactions, vitesses, accélérations et des composantes d'étude à afficher. Plusieurs études peuvent être saisies mais leur affichage sous forme de graphe dépend de l'ordre de saisie : les abscisses sont cumulées en valeur absolue. Pour les déplacements, il faut sélectionner toutes les concomitantes pour un affichage sur la structure correct.
- Effets**: Choix des effets à visualiser : CHARGES, ETATS, ACTIONS, REPONSES, ENVELOPPES, COMBINAISONS, MODES ... Le nombre maximal d'effets est fixé égal à 8.
- Phases**: Choix des phases de construction à visualiser (Option ENREGISTRER du module de phasage).
- Instants**: Choix des instants d'une dynamique temporelle à visualiser (commande REPONSE TEMPORELLE).
- Influence**: Choix des influences à visualiser (Commande ENVELOPPE de ENV)
- Evolution**: Choix d'une plage d'évolution des phases de construction à visualiser (option ENREGISTRER du module de phasage),
- Vibration**: Choix d'une plage d'instant d'une dynamique temporelle à visualiser (commande REPONSE TEMPORELLE).

Legend:

- Green box: Option obligatoire
- Yellow box: Options exclusives entre elles

Résultats : Options annexes



Résultats : Actions de visualisation

The screenshot shows the PCP_RES software interface. The title bar reads 'PCP_RES'. The main window title is 'CEREMA - PCP-RES' and the project name is 'PONT HAUBANE'. The date and time are '26.06.14/17.48.23'. A menu bar contains the following options: 'Etudes', 'Effets', 'Phases', 'Instants', 'Influence', 'Evolution', 'Vibration', 'Titre', 'Soustitre', 'Abscisse', 'Graphe', 'Structure', 'Edition', and 'Fin'. The 'Graphe', 'Structure', and 'Edition' options are highlighted in red. Three callout boxes provide detailed information about these options:

- Graphe:** Affichage sous forme de graphes. En général, l'abscisse est géométrique, mais pour les évolutions et les vibrations, l'abscisse est temporelle. Dans ce cas, les points d'études dont on veut visualiser la variation sont demandés en saisie.
- Structure:** Affichage sur la structure soit des déplacements soit des autres effets. Dans le cas des évolutions et des vibrations, seuls les déplacements peuvent être affichés car c'est un affichage dynamique. Pour les MODES, l'affichage peut être statique ou dynamique selon le nombre de cyclés codé à la saisie : 0 pour le statique. Dans tous les autres cas, c'est un affichage statique qui sera réalisé.
- Edition:** Visualisation des résultats sous forme de tableaux : réservé à un effet et une étude.

At the bottom of the interface, the status bar displays: 'ETUDE(S) : AUCUNE' and '- EFFET(S) : AUCUN'.

Résultats : Affichage des déplacements de la structure

The screenshot displays the PCP_RES software interface. The title bar reads "PCP_RES" and the main window title is "CEREMA-PCP-PH2 'ETUDE SISMIQUE' -45.0 0.0 -30.0 1/1051.7 1/1051.7". The interface is divided into a menu bar, a toolbar, and a main display area. The menu bar includes options like "Affi 1X1 >", "Stru tot >", "Stru defor", "Prio def >", "Marq noeud", "Nume noeud", "Repe appui", "Habi ele >", "Repe eleme", "Impr tot >", "Opti activ", "Decouper", "Selec type", "Recoller", "Zoomer", "Avant/arri", "Fixer eche", "Chercher", "Recadrer", "Ampl defor", "Aff valeur", "Eff valeur", "Xy>xz>yz >", "Projeter", "Fich impre", "Imprimer", and "Fin". The toolbar contains icons for "Flem actifs", "Flem formes", "Rigi", "Arti", "Biar", "Stan", and "Pout". The main display area shows a 3D model of a structure with displacement vectors. A coordinate system (X, Y, Z) is visible in the bottom left corner. The status bar at the bottom right indicates "MODE 1 - T= 1.40s - Vecteurs propres".

Affichage de la structure activée ou de la structure totale

Affichage de la structure déformée ou non déformée

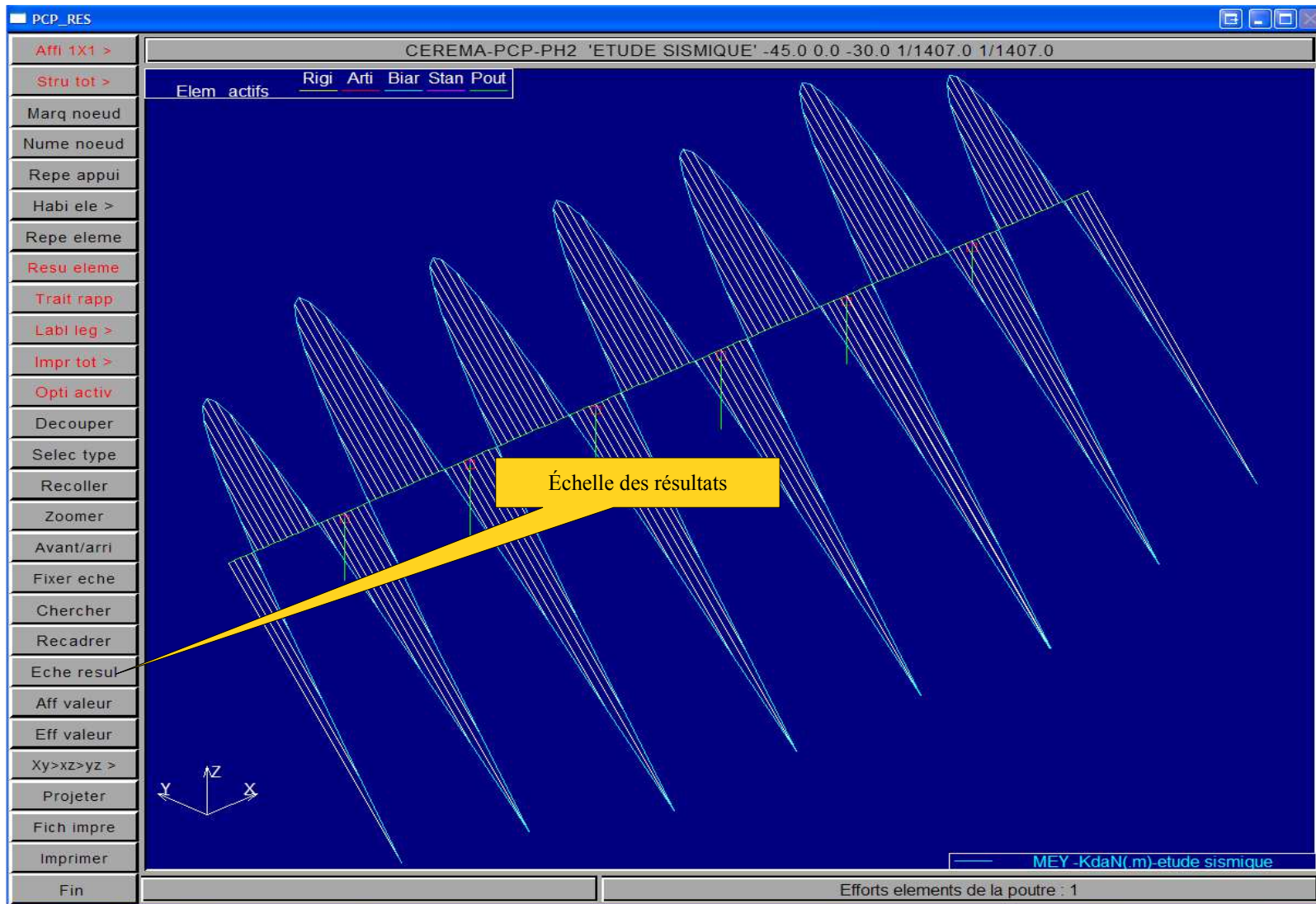
Priorité à la structure déformée ou non

Amplification de la déformée

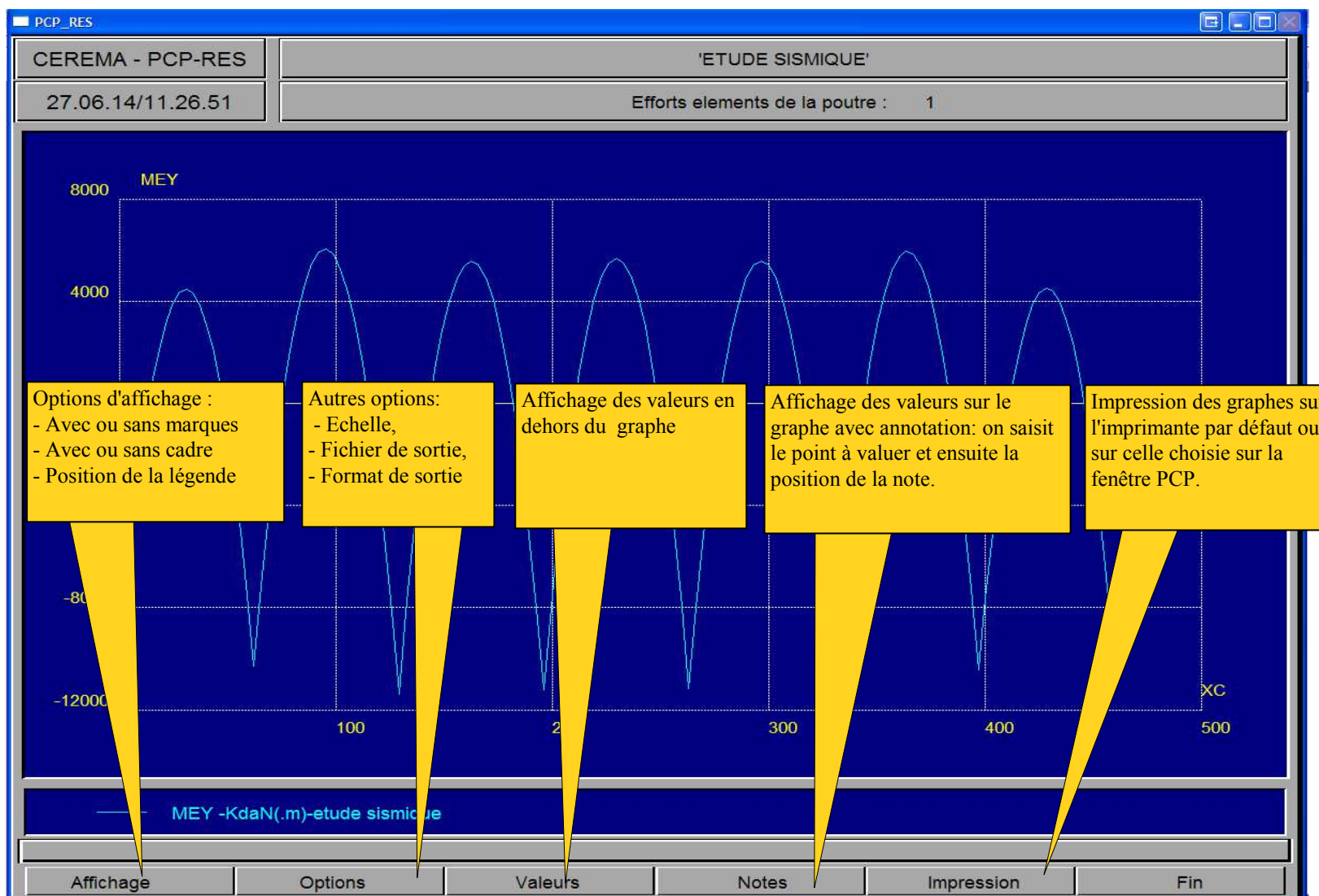
**Affichage des valeurs sur la structure : cliquer sur des nœuds.
Pour sortir, double-cliquer en dehors de la structure.**

**Effacement des valeurs sur la structure : cliquer sur des nœuds.
Pour sortir, double-cliquer en dehors de la structure.**

Résultats : Affichage des effets sur la structure



Résultats : Affichage des effets sous forme de graphe



Introduction

0.1 - GÉNÉRALITÉS

0.2 – THÉORIES ET MÉTHODES EMPLOYÉES

0.3 – MODÉLISATION DES STRUCTURES

0.4 – PHASES DE CONSTRUCTION

0.5 – CHARGES D'EXPLOITATION

0.6 – ÉTUDE DYNAMIQUE

0.7 – TRAITEMENT DES RÉSULTATS

0.8 – ORGANISATION GENERALE

0.9 - EXEMPLES DE SORTIES GRAPHIQUES

0.1 - GÉNÉRALITÉS

Le logiciel PCP (**P**onts **C**onstruits par **P**hases) est un ensemble de programmes de modélisation et d'analyse des structures TRI-DIMENSIONNELLES à BARRES, éventuellement PRÉCONTRAINTEES en partie, particulièrement adapté à l'étude et à la vérification des OUVRAGES d'ART.

La distribution, l'intensité et l'historique d'apparition des sollicitations extrêmes dans ce type d'ouvrages dépendent souvent étroitement :

- de leur mode de mise en œuvre (PHASAGE de CONSTRUCTION) ;
- du COMPORTEMENT rhéologique linéaire, ou non linéaire, de certains de leurs MATÉRIAUX constitutifs ;
- des effets produits par les charges de TRAFIC (routier, ferroviaire ...), le VENT, ou les SÉISMES.

Malgré sa vocation de plus en plus affirmée de logiciel généraliste, PCP exploite préférentiellement ce créneau d'utilisation, grâce à son aptitude à reproduire par simulation la plupart des modes de construction et des systèmes de charges d'exploitation, pouvant répondre à divers règlements, et à ses possibilités d'analyse dynamique.

Du point de vue de sa constitution et de son utilisation, le logiciel PCP se caractérise par :

- l'acquisition directe des données géométriques de coffrage et de câblage des poutres précontraintes, et leur insertion semi-automatique dans la modélisation ;
- la possibilité de vérifier graphiquement la plupart des données géométriques ;
- sa modularité, qui autorise l'introduction et la validation progressive des données ;
- une description des données à l'aide d'un langage de commandes en format libre, explicite pour l'ingénieur en ouvrages d'art, et qui utilise certaines techniques empruntées à la programmation ;
- une gestion de la mémoire (vive et de masse) dynamique, qui garantit une quasi-absence de limites, dans un grand nombre de cas ;
- la possibilité de stocker, d'éditer et/ou de représenter graphiquement, à la demande, la plupart des résultats essentiels, de manière indépendante, ou couplés à la modélisation.

Grâce à son mode de programmation et au noyau graphique normalisé multi-périphériques qu'il utilise, le logiciel PCP est transportable aisément, d'un système d'exploitation à un autre.

0.2 – THÉORIES ET MÉTHODES EMPLOYÉES

Les principales méthodes de calcul sont fondées sur la théorie des poutres de Navier-Bresse, par conséquent :

- la loi de conservation des sections planes est appliquée ;
- les sections droites sont supposées indéformables transversalement, et construites en une seule phase, à l'aide d'un matériau homogène ;
- les centres de gravité et de torsion des sections droites peuvent être différents ; les sollicitations sont cependant fournies au niveau de leurs centres de gravité ;
- les matériaux sont supposés élastiques et à comportement rhéologique linéaire ; la variation possible de leurs caractéristiques dans le temps donne lieu à des phénomènes d'adaptation par retrait, fluage et relaxation ; dans ce cas, le principe de superposition des contraintes est admis ;
- sous ces hypothèses, les lois de comportement des matériaux peuvent être quelconques ; dans la pratique, elles sont extraites de divers règlements ;
- la non linéarité matérielle est prise en compte sur option, les paramètres des lois de comportement élasto-plastique des matériaux étant fournis en complément ;
- lorsque l'hypothèse par défaut de « petitesse » des déplacements n'est pas retenue ou est inapplicable, la non linéarité géométrique peut être prise en compte, en considérant les grandes rotations et les grands déplacements, selon la méthode d'analyse corotationnelle convectée semi-inverse ;
- le flambement peut être analysé selon la méthode linéaire, qui permet d'extraire ses différents modes, ou selon la méthode incrémentale, qui permet de prendre en compte l'ensemble des non linéarités ;
- la théorie des profilés à parois minces est utilisée pour calculer les contraintes tangentielles (toujours en mode élastique linéaire), mais l'effet des bi-moments est omis.

La méthode des déplacements employée pour l'analyse structurale est bien adaptée à l'étude des structures ayant des schémas statiques complexes et évolutifs, et à la résolution efficace, sur ordinateur, des systèmes d'équations qui dérivent de la modélisation.

Les calculs dynamiques s'appuient sur l'analyse modale des structures. Les effets des vents turbulents sont déduits de leurs caractéristiques statistiques et de cette décomposition modale, par application d'une méthode spectrale. Ceux des séismes sont calculés par superposition modale des réponses obtenues à partir de spectres réglementaires ou quelconques.

La loi de Cooley est utilisée pour calculer les pertes de tension instantanées dans les câbles de précontrainte, mais les effets locaux, en particulier de diffusion des efforts de précontrainte, ne sont pas pris en compte.

0.3 – MODÉLISATION DES STRUCTURES

Les structures admises pour le traitement peuvent comprendre une ou plusieurs poutres à fibre moyenne droite ou courbe, dites « poutres spatiales », et/ou des éléments prismatiques droits reliant ces poutres, ou constituant un réseau autonome, auxquels peuvent s'ajouter des articulations internes ponctuelles, parfaites ou élastiques et des appuis parfaits ou élastiques.

Poutres spatiales

Leurs sections, dont les caractéristiques peuvent varier longitudinalement, sont assimilées à des profilés à parois minces, ou considérées comme massives.

Elles sont discrétisées, selon un découpage fixé en données, en éléments prismatiques droits, dont les centres de gravité des sections extrêmes constituent autant de nœuds de la modélisation (et de jonction éventuelle avec d'autres éléments), et dont les caractéristiques mécaniques sont calculées.

Les déplacements des nœuds de leurs fibres moyennes sont calculés dans le repère global.

Les efforts correspondants, calculés dans les repères locaux de leurs éléments et projetés dans les repères de leurs sections droites, serviront de base au calcul des contraintes normales et tangentes en divers points spécifiés.

Lorsqu'une poutre spatiale est précontrainte, les pertes de tension instantanées subies par ses câbles, du fait des frottements, de leurs modes de mise en tension, et de leurs reculs d'ancrages, sont calculées et déduites des chargements initiaux équivalents à lui appliquer.

Les principaux autres avantages liés à la prise en compte d'une partie de structure comme poutre spatiale sont les suivants :

- son coffrage et son câblage peuvent être dessinés indépendamment ;
- son coffrage peut être décrit dans un repère adapté, et repositionné en repère global ;
- elle peut être dupliquée et repositionnée pour générer d'autres poutres spatiales ;
- la fibre de référence de son coffrage peut servir à placer certains nœuds du modèle mécanique général, situés en dehors de sa fibre moyenne ;
- elle peut être dessinée, comme sous-structure du modèle mécanique général ;
- elle peut être sélectionnée comme composant d'une structure à pousser ;
- elle peut faire l'objet de chargements (directs ou thermiques), d'éditions de résultats, ou de calculs particuliers (effets enveloppes, traitements généraux) ;
- les corrections des contraintes tangentes qui s'y développent, dues à l'effet Résal, peuvent être calculées automatiquement ;
- la géométrie de ses sections autorise les calculs non linéaires matériels ;
- la fibre de référence de son coffrage peut participer à la définition d'un support de charges mobiles, sa fibre moyenne en étant la structure porteuse ;
- des masses ou caractéristiques aérodynamiques peuvent lui être affectées globalement, pour l'étude dynamique ;
- les contraintes tangentes admissibles peuvent être déterminées, en certains points de calcul de ses sections, selon divers critères ;
- ses aciers passifs transversaux, devant satisfaire divers critères réglementaires, peuvent être déterminés à la demande ;
- ses sections peuvent être extraites, avec leurs câbles et chargements appliqués, et transmises au logiciel CDS, pour être calculées aux états limites.

Éléments prismatiques droits

Ces éléments « hors-poutres » sont introduits directement, sous forme de données « simples » du type coordonnées de nœuds (fournies en repère global ou dans les repères de définition de certaines sections de poutres), incidences et propriétés d'éléments.

Les éléments courants sont dits « standard », lorsqu'ils sont encastrés sur leurs nœuds incidents, ou « bi-articulés » (avec comportement possible en « chaînette »), lorsque les trois rotations de leurs nœuds incidents sont libérées.

Certains éléments non courants peuvent être « infiniment rigides », déclarés explicitement, ou implicitement comme excentrement d'éléments courants.

Les déplacements de leurs nœuds incidents sont calculés dans le repère global.

Les efforts correspondants sont calculés dans leurs repères locaux.

Structures modélisables

Les poutres spatiales et/ou les éléments hors-poutres, assemblés de manière quelconque, permettent de traiter des structures telles que :

- les ponts caissons ;
- les ponts en dalle nervurée ;
- les ponts à haubans ;
- les ponts en arc, à tablier supérieur, intermédiaire, ou inférieur ;
- les ponts treillis ;
- les ponts suspendus ;
- les ponts mixtes ;
- les ponts à béquilles, etc.

Ou toute combinaison de ceux-ci.

0.4 – PHASES DE CONSTRUCTION

La simulation rigoureuse du processus de construction (par phases successives) d'un ouvrage permet de déterminer avec précision son état de déformation et sollicitation, avant d'y appliquer les charges d'exploitation.

À chaque phase de construction, la structure correspondant au schéma statique antérieur (éléments actifs ou non, liaisons placées) est éventuellement modifiée, par addition ou retrait d'éléments ou de liaisons.

Les éventuels chargements complémentaires appliqués résultent essentiellement des effets :

- du poids propre des éléments ;
- de la précontrainte ;
- des charges extérieures.

Et les résultats suivants peuvent être édités (pour la partie active du modèle mécanique général) :

- les effets produits par la phase de construction en cours, sur les déformations et sollicitations ;
- l'état de déformation et sollicitation résultant ;
- les valeurs extrémales de certaines sollicitations, intervenues depuis le début de la construction ;
- les tensions dans les câbles de précontrainte.

Si un historique du phasage de construction est fourni, les phénomènes de fluage et retrait du béton, de relaxation des aciers de précontrainte, et leurs interactions, sont pris en compte de manière précise.

Dans le cas contraire, une méthode forfaitaire réglementaire est proposée pour évaluer les pertes de précontrainte différées.

Les comportements visco-élastique et non linéaire des matériaux sont compatibles entre eux et avec la non linéarité géométrique des structures ; ces phénomènes peuvent être combinés sans restriction au niveau des calculs.

Lors d'un calcul de flambement linéaire, un facteur critique applicable à l'ensemble des charges (y compris gravitaires) est calculé, pour chaque mode ; la déformée correspondante peut être introduite comme déformée « initiale ».

Lors d'un calcul de flambement non linéaire (seul apte à prendre en compte la non linéarité matérielle), le seuil de rupture applicable au cas de charge courant est déterminé par une méthode incrémentale.

En raison de sa généralité, le logiciel PCP peut simuler des techniques de mise en œuvre aussi diverses que la construction :

- sur cintre, à l'avancement ;
- par encorbellements successifs ;
- par haubanage, provisoire et/ou définitif ;
- par poussage, etc.

Ou toute combinaison de celles-ci.

0.5 – CHARGES D'EXPLOITATION

Ces charges, fixes ou mobiles, s'appliquent à une structure dont le schéma statique est figé durant la simulation de la construction, le plus souvent à sa fin.

En certains points de la structure sélectionnés, les effets élastiques enveloppes résultant de l'application des charges d'exploitation, répondant à certains règlements français ou européens de surcharges routières, ou redéfinies, sont calculés et mémorisés.

Le répertoire des charges prédéfinies réglementaires peut s'enrichir par ajout de charges de trafic quelconques (ferroviaires ou autres), sans qu'il y ait de réelle limitation à cette possibilité.

0.6 – ÉTUDE DYNAMIQUE

La structure à laquelle s'applique l'étude dynamique est également figée durant la simulation de la construction, avec une répartition des masses résultant de sa définition et pouvant être complétée.

Certains de ses modes propres de vibration, obtenus par analyse modale, sont sélectionnés et éventuellement mémorisés.

Les coefficients d'amortissement et les caractéristiques aérodynamiques des éléments étant introduits, la réponse de la structure à un vent turbulent défini peut être obtenue par analyse spectrale, et mémorisée.

L'étude sismique de la structure est également réalisable, à partir des résultats de l'analyse modale et des spectres de réponse réglementaires ou quelconques à prendre en compte.

0.7 – TRAITEMENT DES RÉSULTATS

Les principaux effets compatibles, mémorisés durant la simulation de la construction (états de la structure, effets de cas de charge ou de modes de flambement), à l'issue de l'application des charges d'exploitation (effets enveloppes) ou de l'étude dynamique (modes propres de vibration, réponses modales) peuvent être relus, édités, complétés par des effets acquis directement, combinés, pondérés et/ou enveloppés.

Les résultats de ces traitements peuvent être édités, exportés, mémorisés et/ou retraités de la même manière.

Pour certaines sections de poutres spatiales, les calculs aux états limites seront rendus possibles, et les quantités minimales d'aciers passifs transversaux pourront être obtenues.

Tous les résultats mémorisés pourront être visualisés, sous forme de graphes ou par superposition aux dessins du modèle mécanique général.

0.8 – ORGANISATION GENERALE

Tous les modules du logiciel PCP communiquent via un fichier central dénommé « base de données » et représentatif d'un ouvrage ou d'une « affaire ». Dans le diagramme ci-dessous, seuls les modules utilitaires (de gestion de la base de données) ne sont pas représentés.

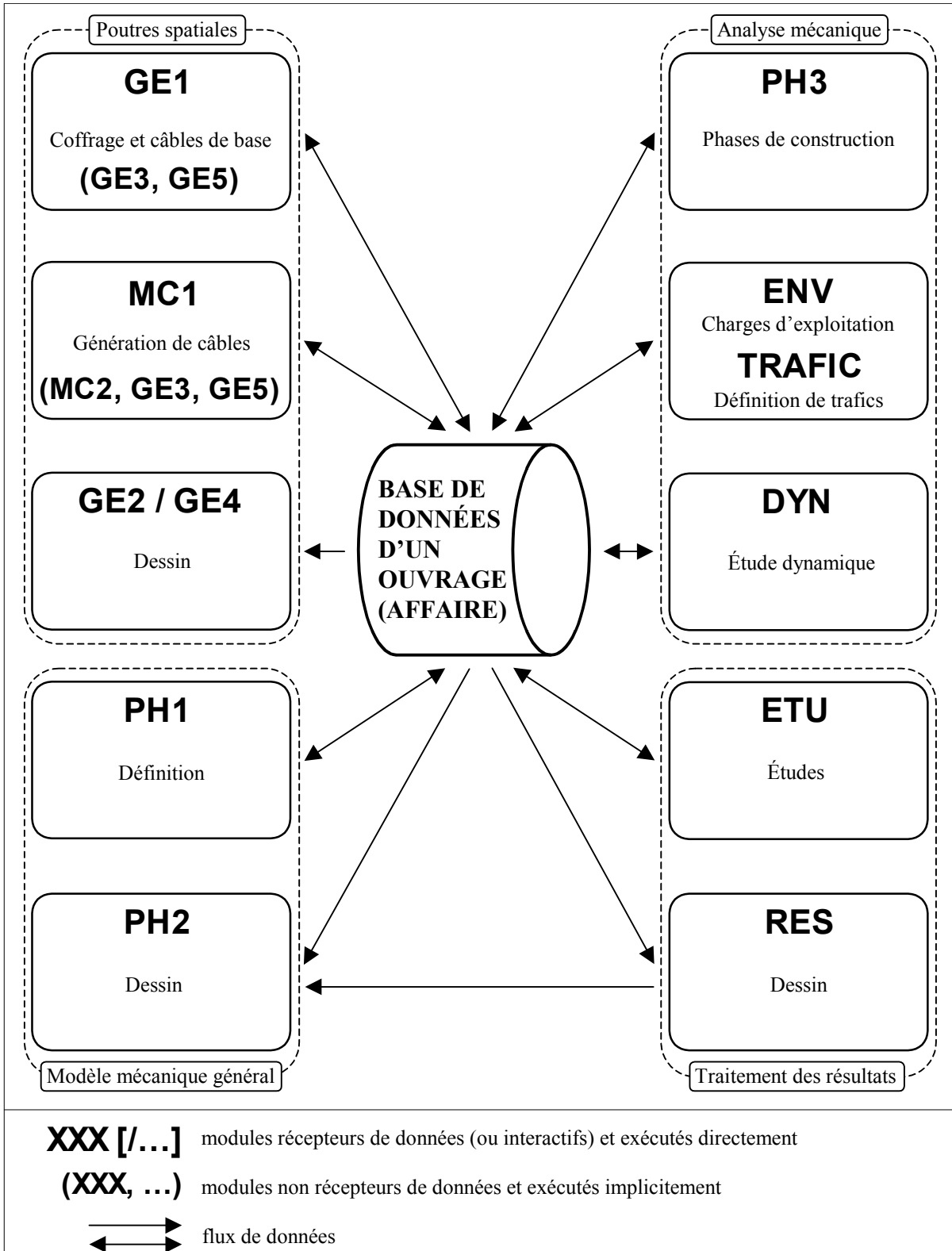


Figure 0.1 - Logiciel PCP, structure modulaire

0.9 - EXEMPLES DE SORTIES GRAPHIQUES

Cette section renferme une sélection représentative des principaux dessins que peuvent produire les modules GE2, GE4, PH2 et RES.

Ils peuvent être imprimés sur des supports de divers formats, dont le type A4 en mode paysage est le plus réduit et le plus répandu.

Pour des raisons d'esthétique et d'encombrement, ces dessins ont subi une réorientation et une réduction, sans que certaines valeurs de paramétrage s'y appliquant en mode absolu soient modifiées (tailles des textes et détails d'habillage).

On observera donc certaines distorsions entre les dessins présentés et ceux qu'on obtiendra dans des conditions réelles d'exploitation.

Modules GE2 et GE4

La poutre spatiale choisie est le tablier d'un pont droit à trois travées construit par encorbellements successifs (cas le plus courant), dont les sections transversales sont supposées vérifier la théorie des profilés à parois minces, et modélisées comme telles.

Module PH2

Le modèle tridimensionnel choisi (pont suspendu ayant subi un remplacement de ses câbles porteurs et suspentes) a été reproduit sous la plupart des formes de dessins que peut produire le module PH2, isolément, ou en association avec le module RES pour visualiser les résultats de l'analyse mécanique.

Module RES

Les graphes et la surface d'influence représentés s'appliquent au même ouvrage mixte courbe, qui a été modélisé à l'aide de quatre poutres spatiales longitudinales et d'éléments de liaison.

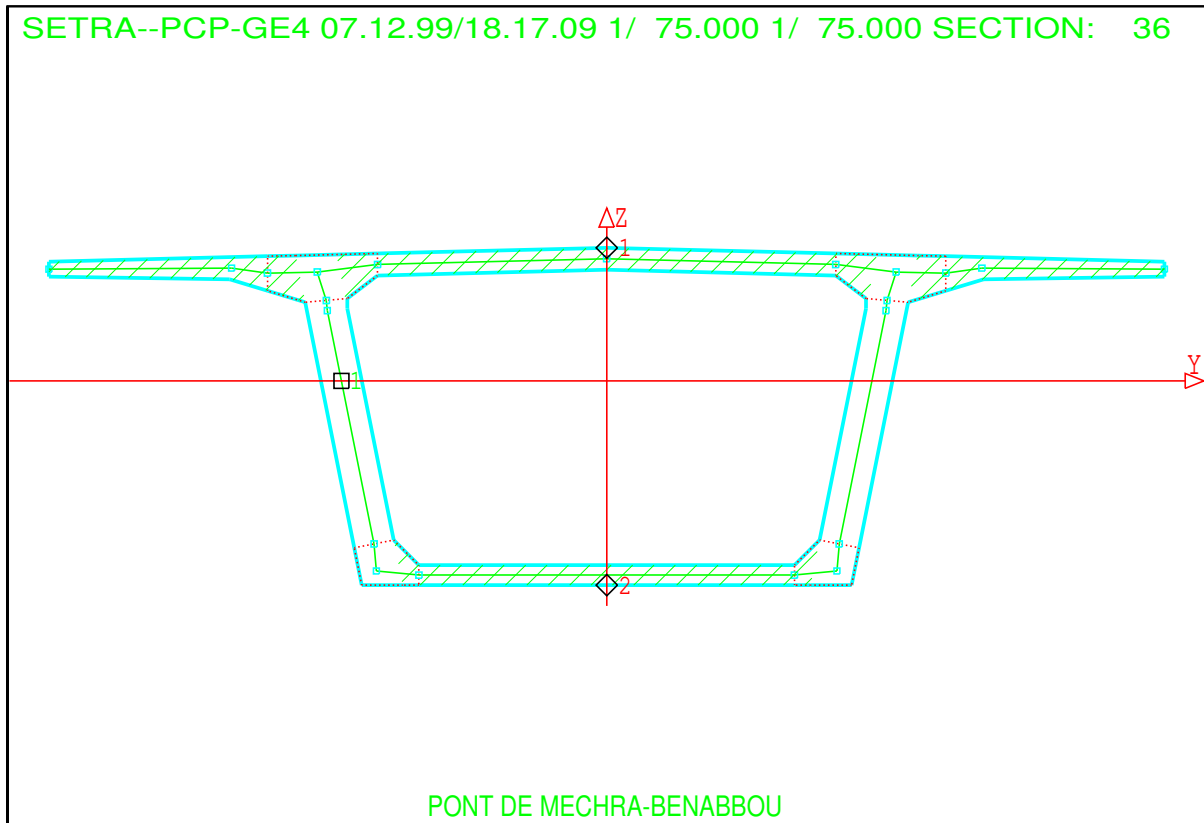


Figure 0.2 - Poutre spatiale, coupe transversale, coffrage, parois minces

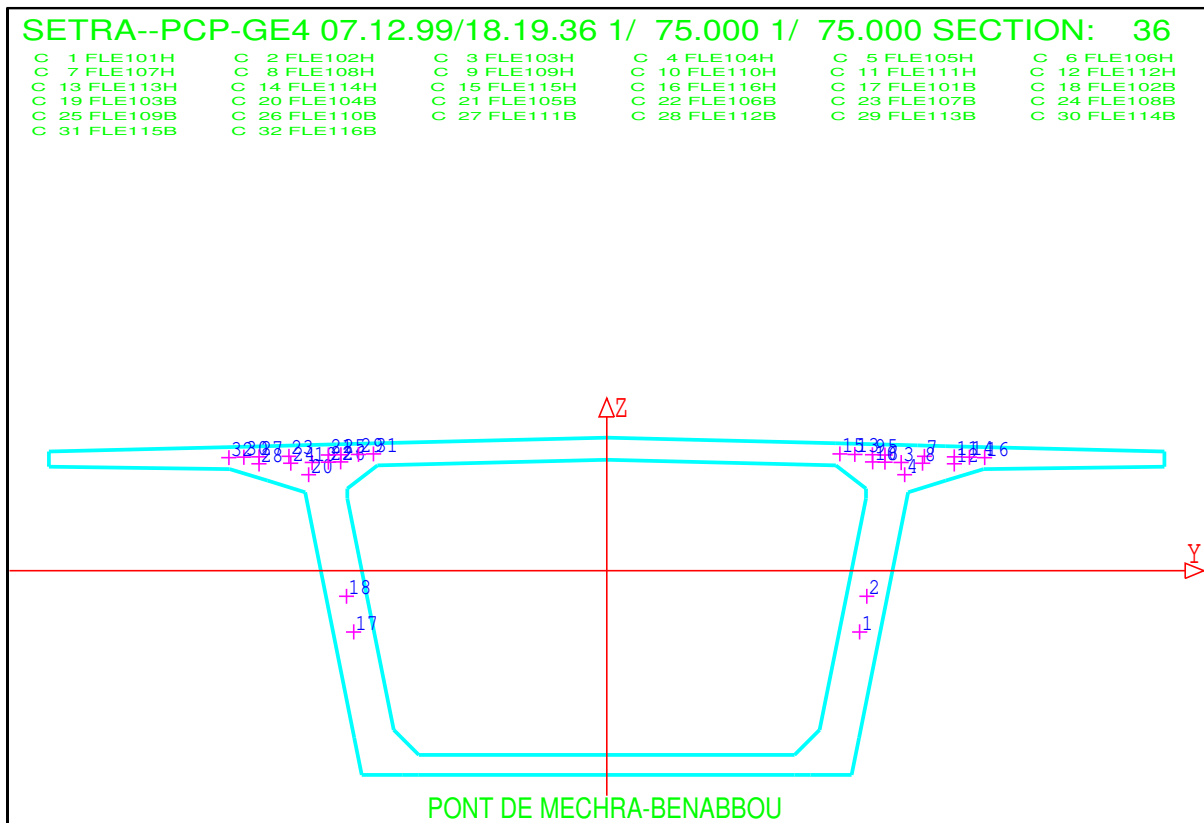


Figure 0.3 - Poutre spatiale, coupe transversale, coffrage, câblage

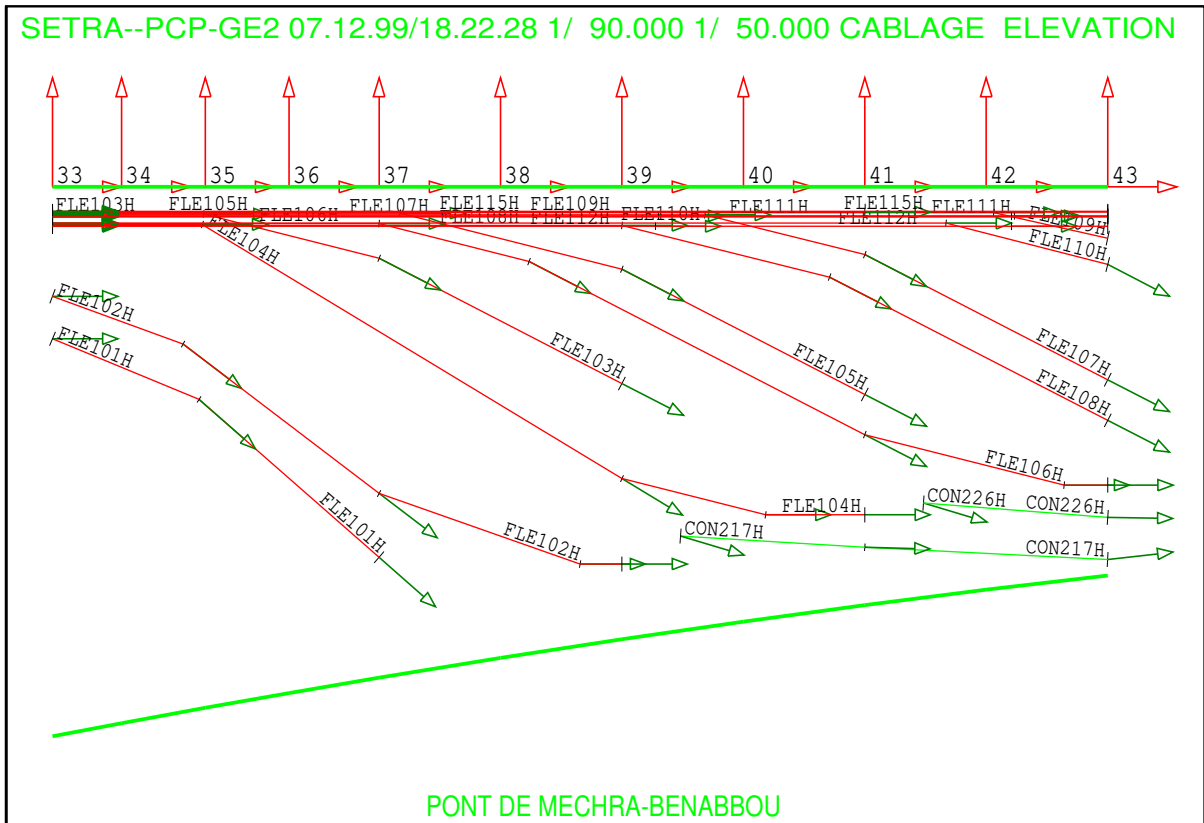


Figure 0.4 - Tronçon de poutre spatiale, coupe longitudinale 1

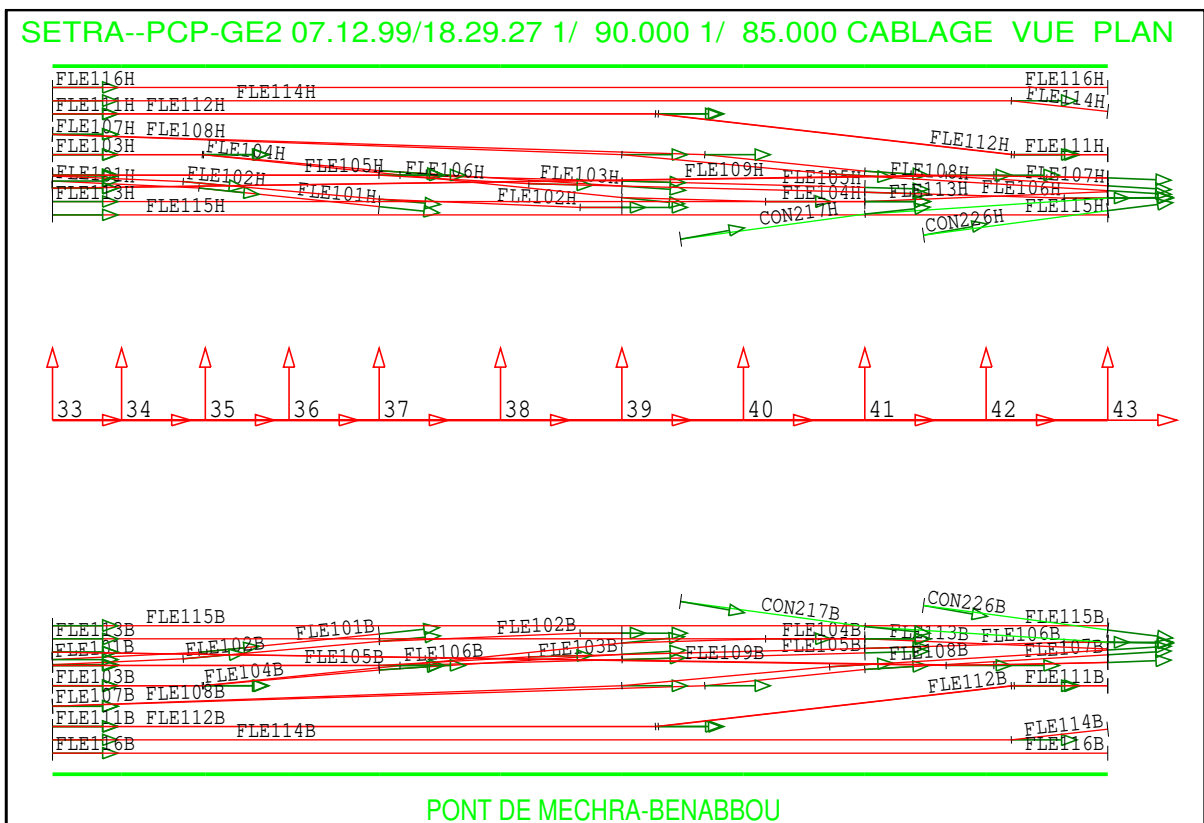


Figure 0.5 - Tronçon de poutre spatiale, coupe longitudinale 2

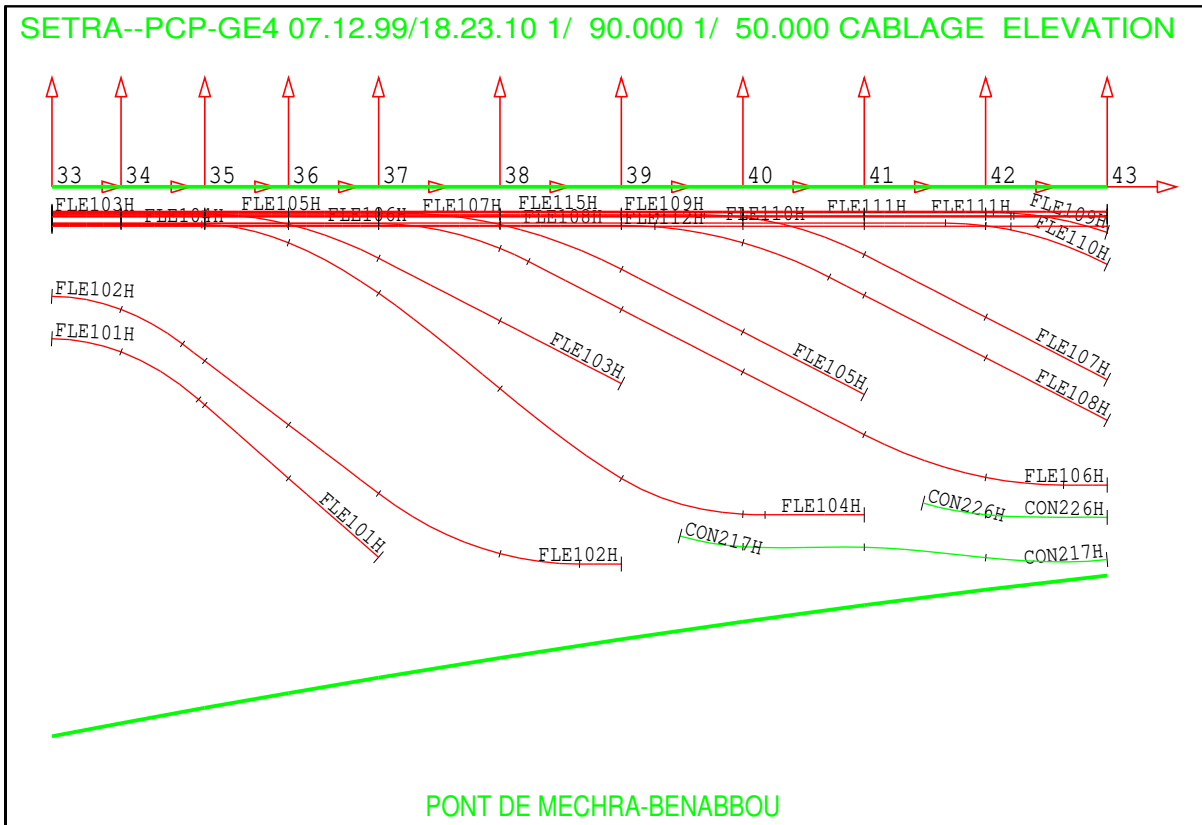


Figure 0.6 - Tronçon de poutre spatiale, coupe longitudinale 3

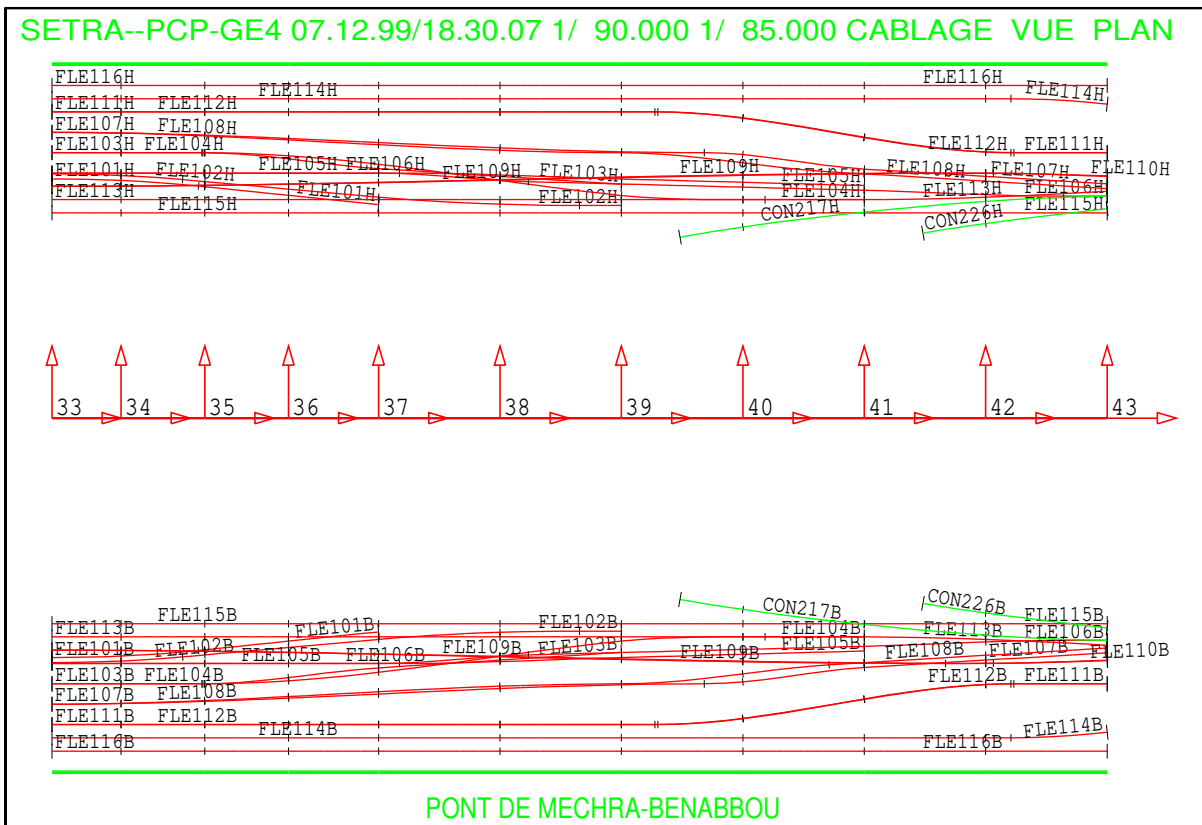


Figure 0.7 - Tronçon de poutre spatiale, coupe longitudinale 4

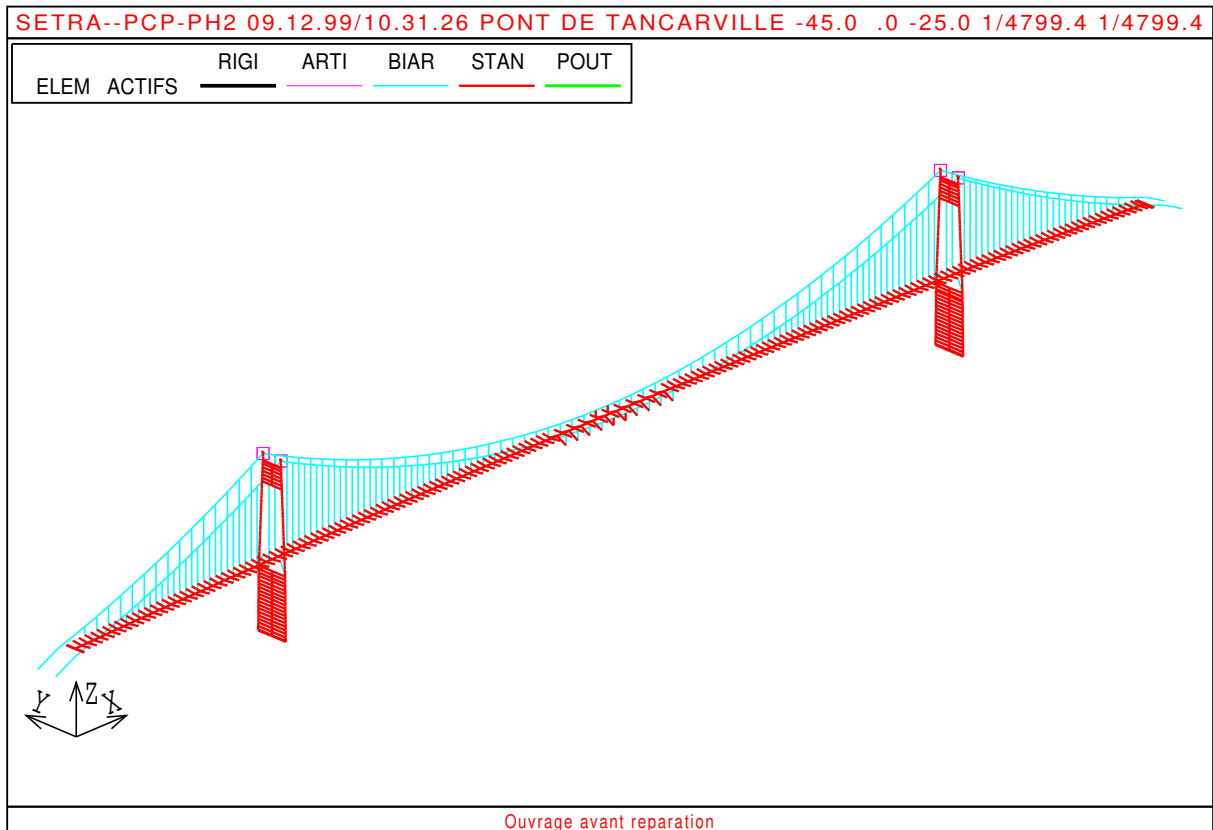


Figure 0.8 - Modèle mécanique général, partie active, perspective simple

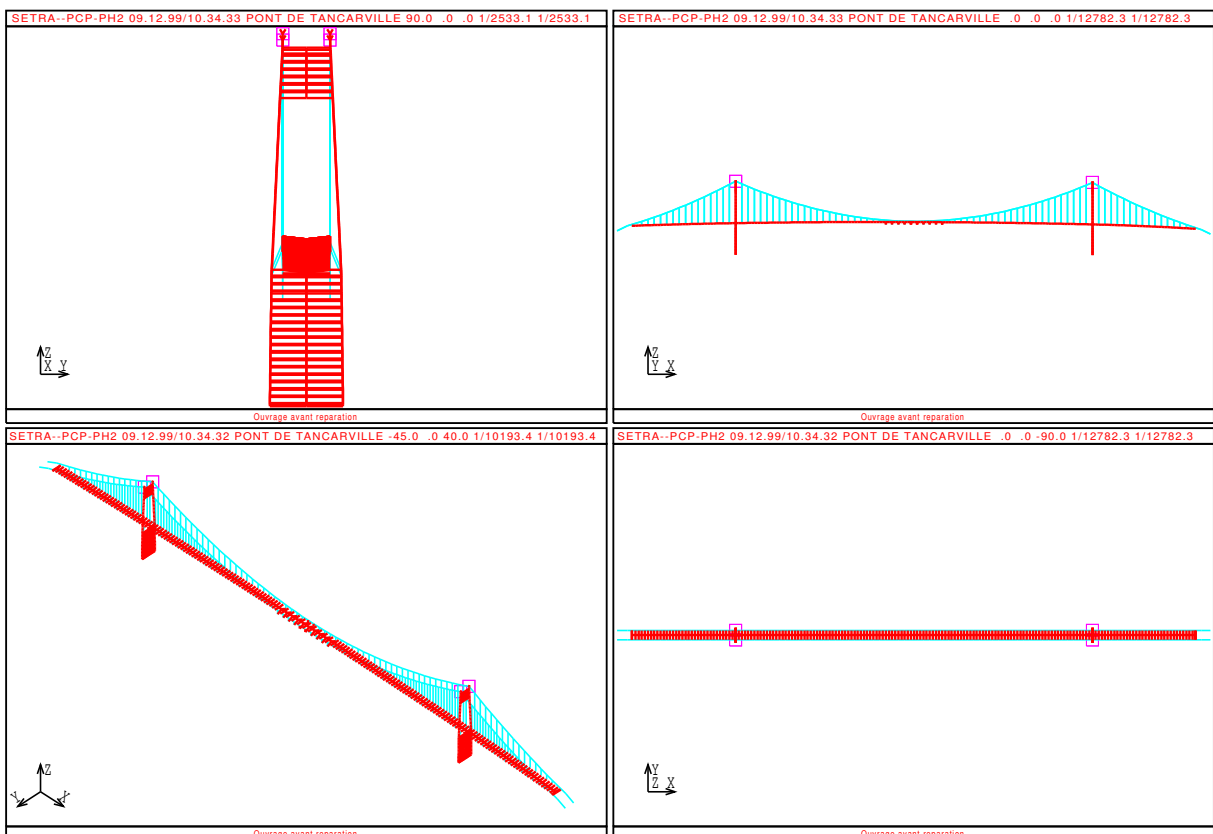


Figure 0.9 - Modèle mécanique général, partie active, quatre vues types

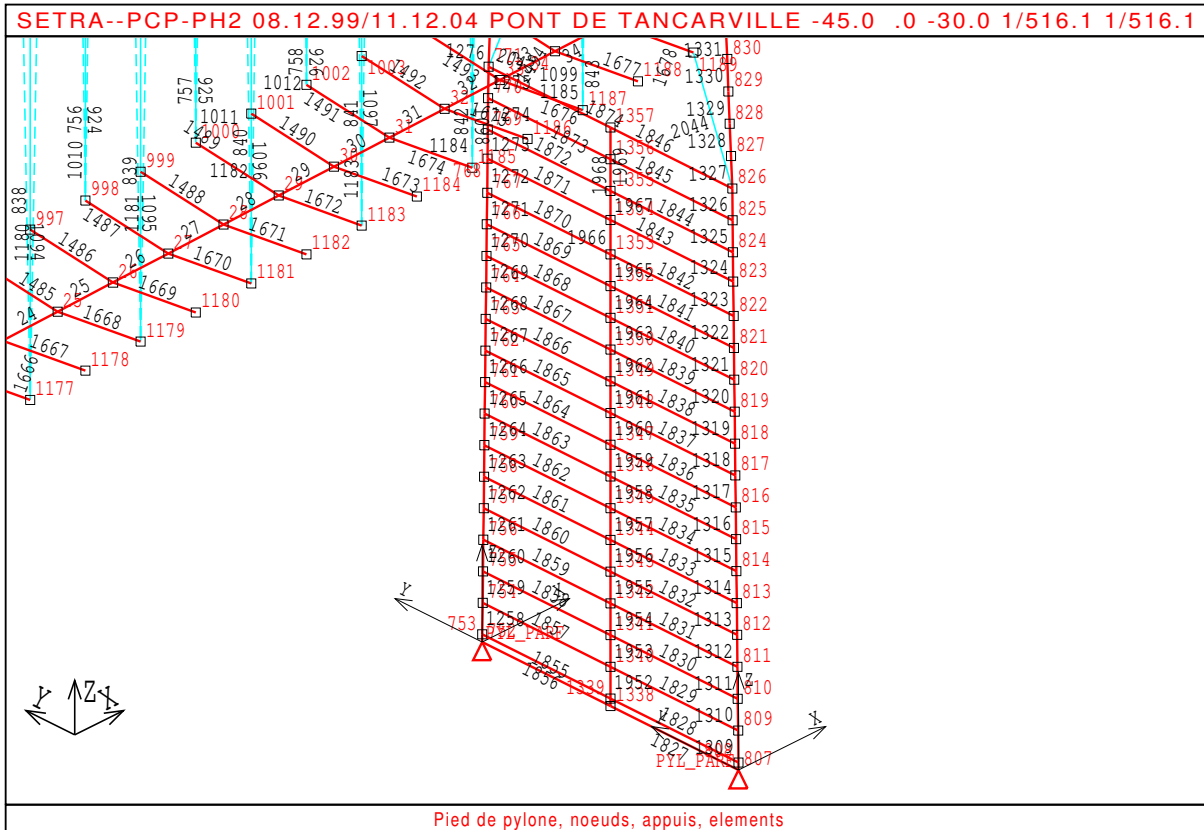


Figure 0.10 - Modèle mécanique général, parties active et inactive, détail 1

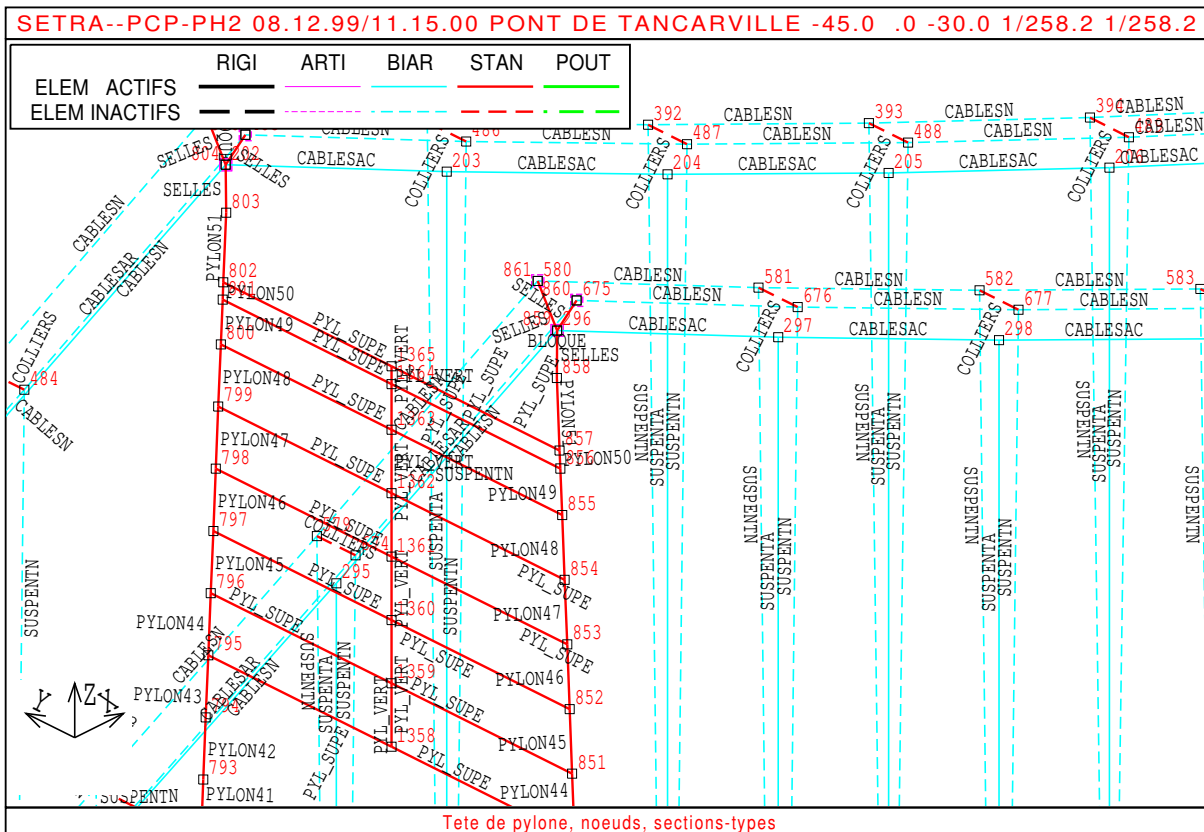


Figure 0.11 - Modèle mécanique général, parties active et inactive, détail 2

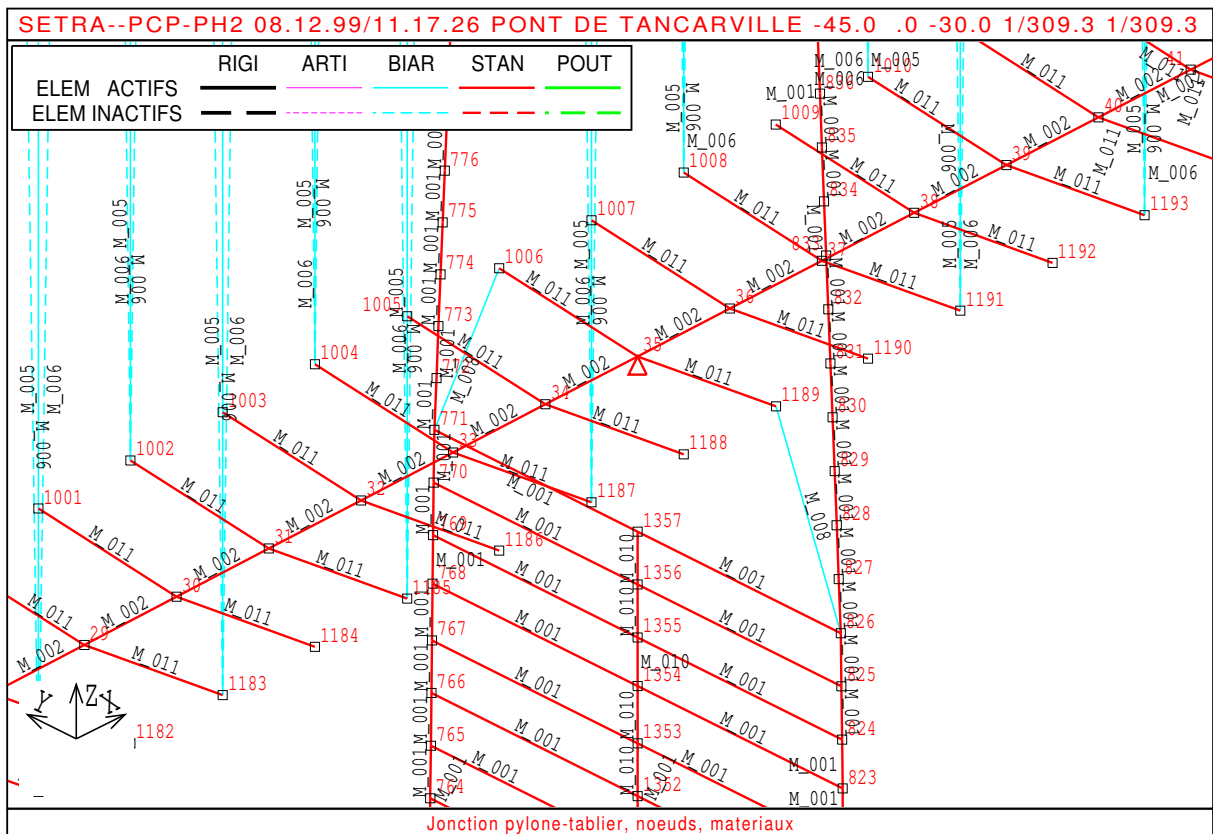


Figure 0.12 - Modèle mécanique général, parties active et inactive, détail 3

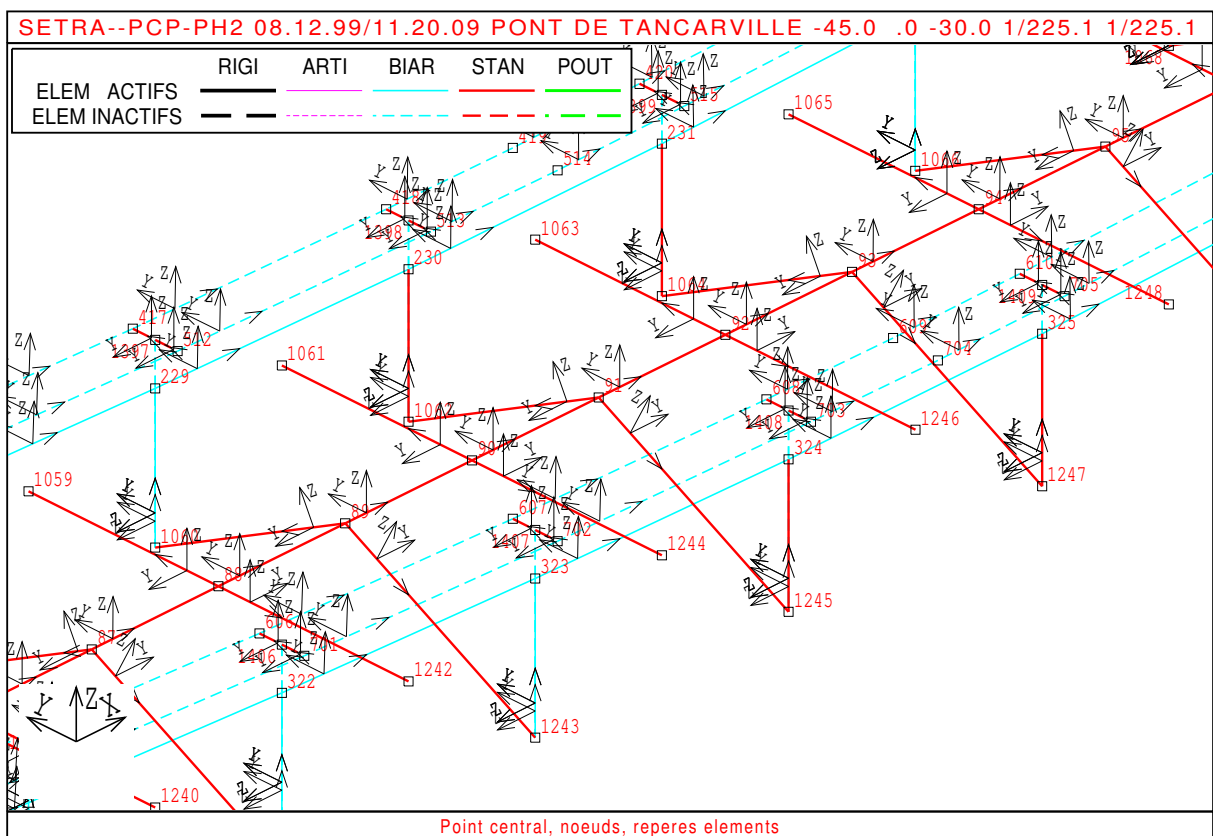


Figure 0.13 - Modèle mécanique général, parties active et inactive, détail 4

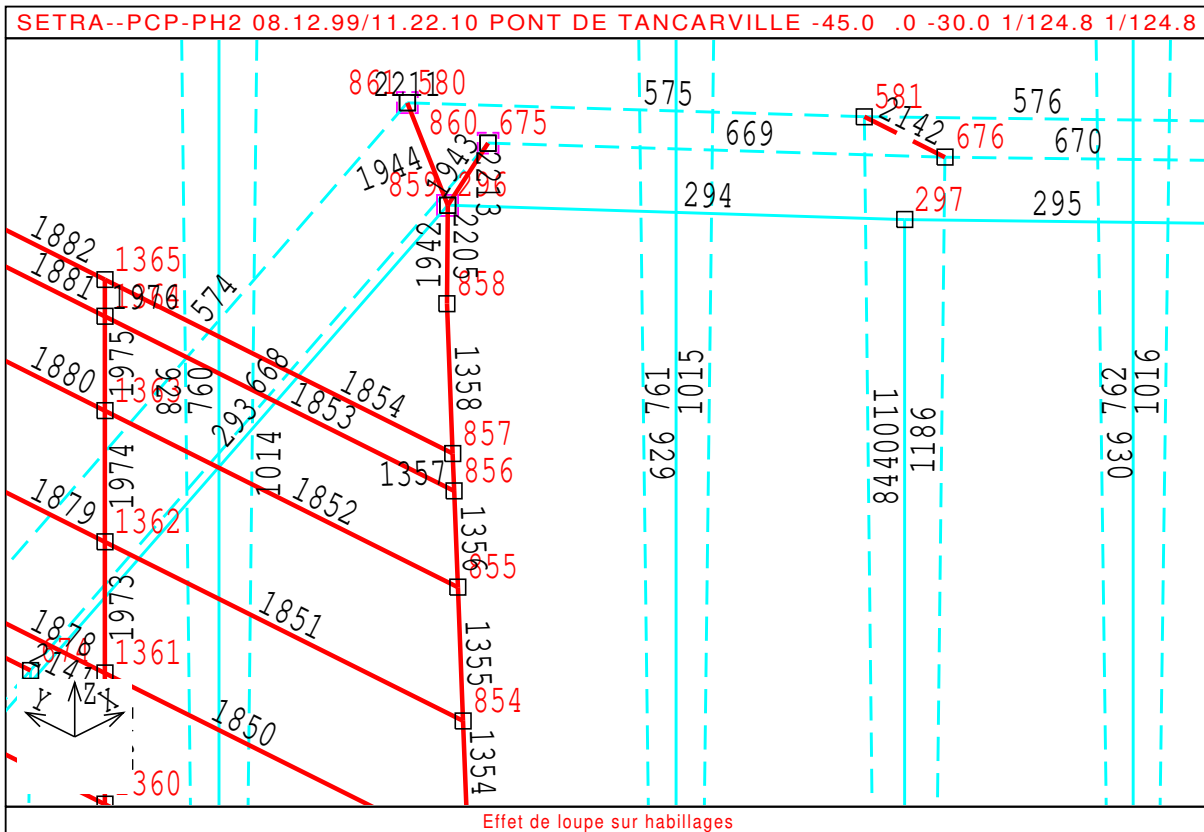


Figure 0.14 - Modèle mécanique général, parties active et inactive, détail 5

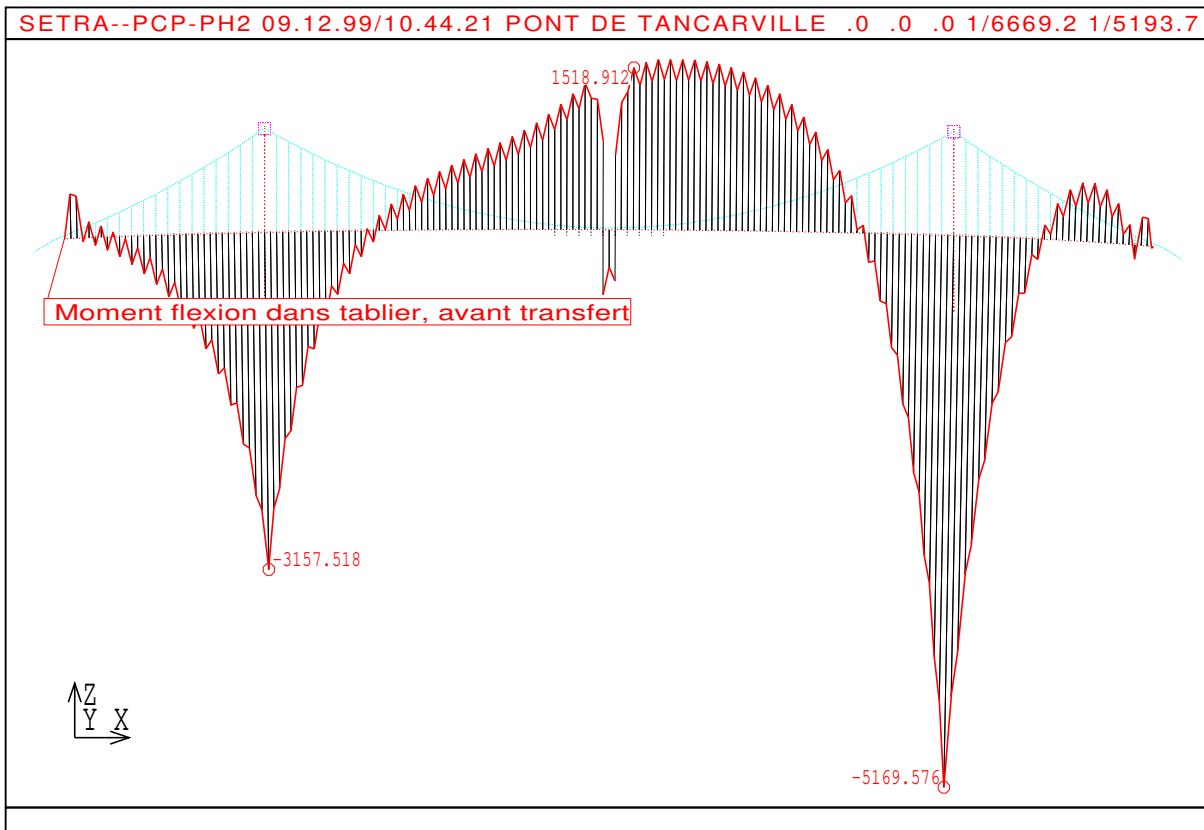


Figure 0.15 - Modèle mécanique général, résultats sur structure active en retrait

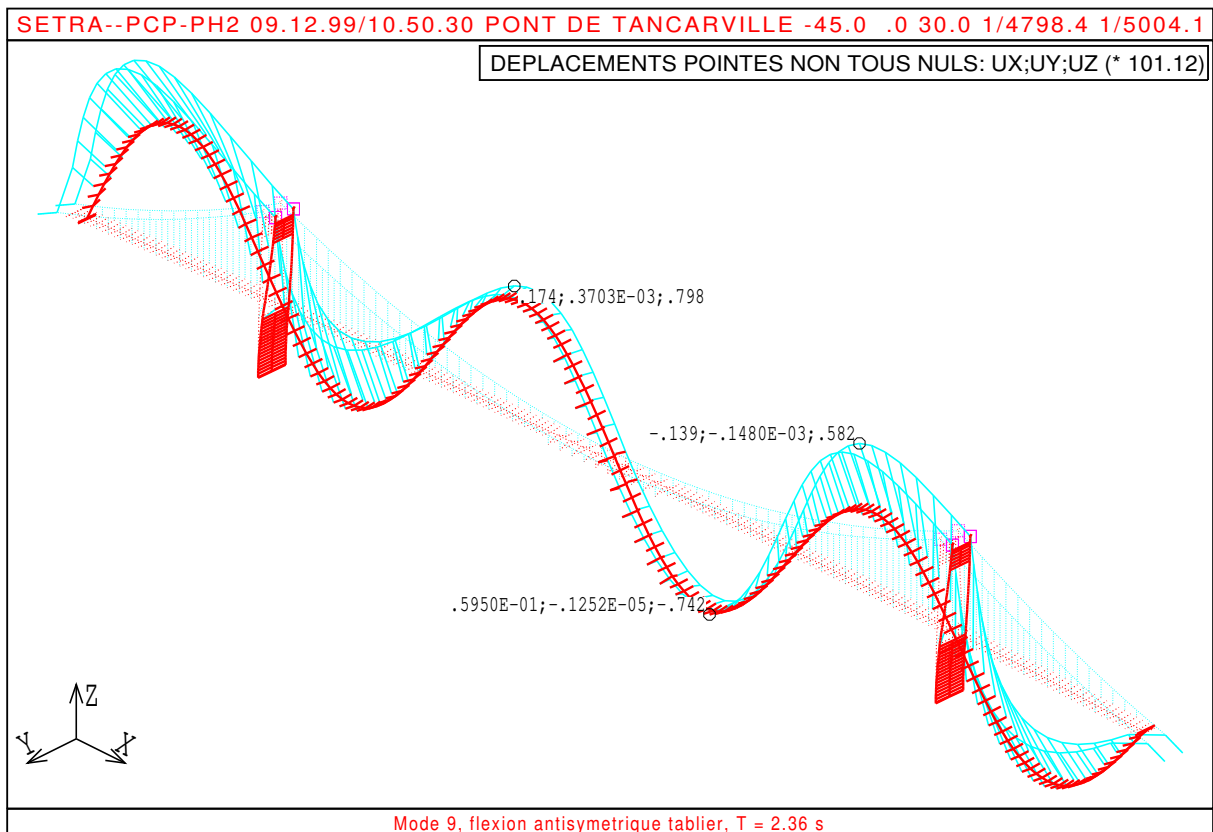


Figure 0.16 - Modèle mécanique général, partie active et mode de vibration

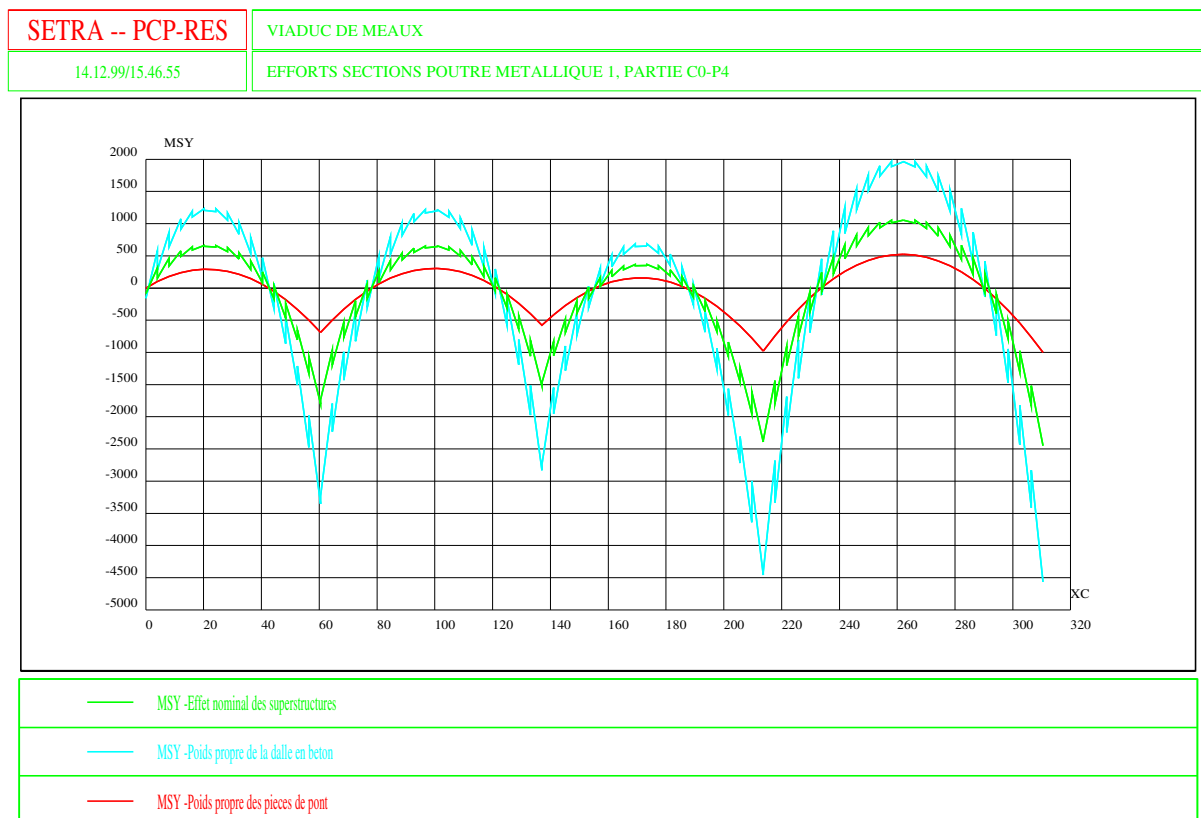


Figure 0.17 - Résultats représentés isolément, graphe 1 (aspect standard)

SETRA -- PCP-RES	VIADUC DE MEAUX
14.12.99/15.49.09	EFFORTS SECTIONS POUTRE METALLIQUE 1, PARTIE C0-P4
✱	MSY -Effet nominal des superstructures
×	MSY -Poids propre de la dalle en beton
+	MSY -Poids propre des pieces de pont

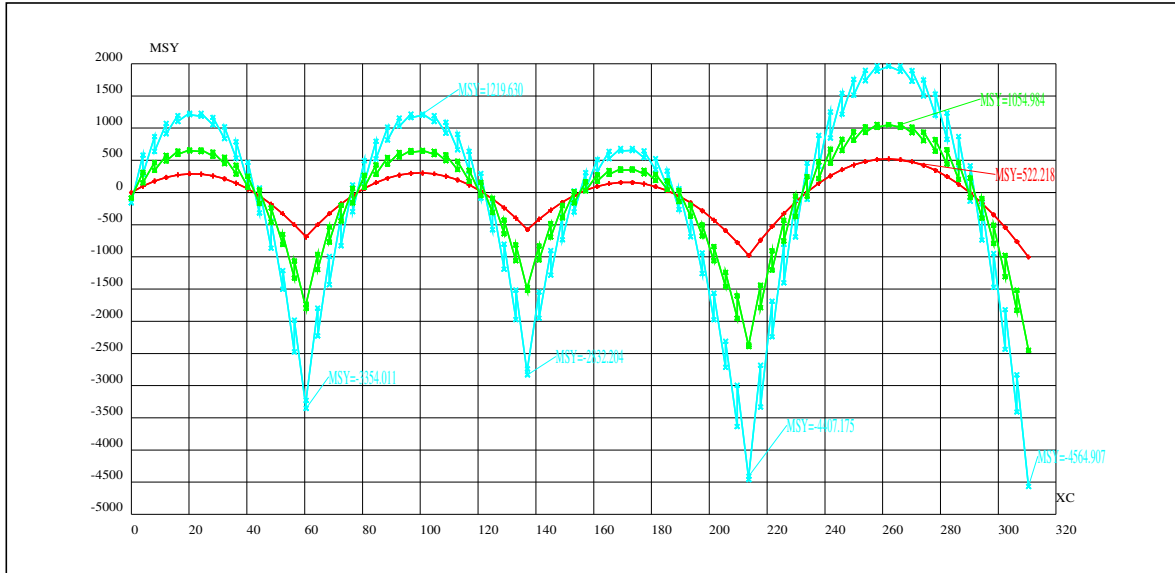
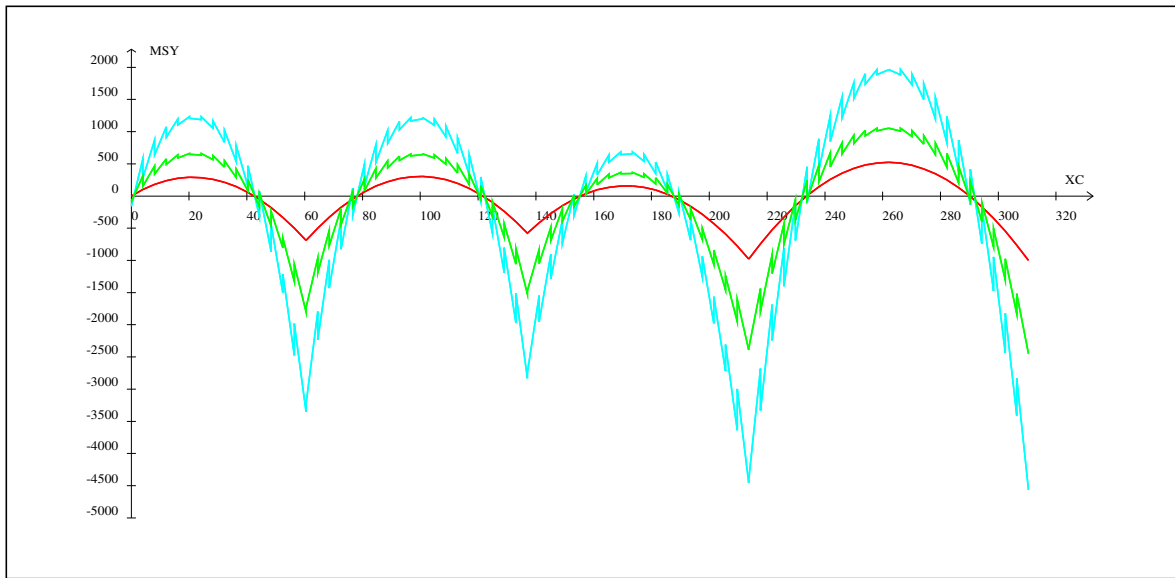


Figure 0.18 - Résultats représentés isolément, graphe 2 (aspect personnalisé)

SETRA -- PCP-RES	VIADUC DE MEAUX
14.12.99/15.51.36	EFFORTS SECTIONS POUTRE METALLIQUE 1, PARTIE C0-P4



✱	MSY -Effet nominal des superstructures
×	MSY -Poids propre de la dalle en beton
+	MSY -Poids propre des pieces de pont

Figure 0.19 - Résultats représentés isolément, graphe 3 (aspect personnalisé)

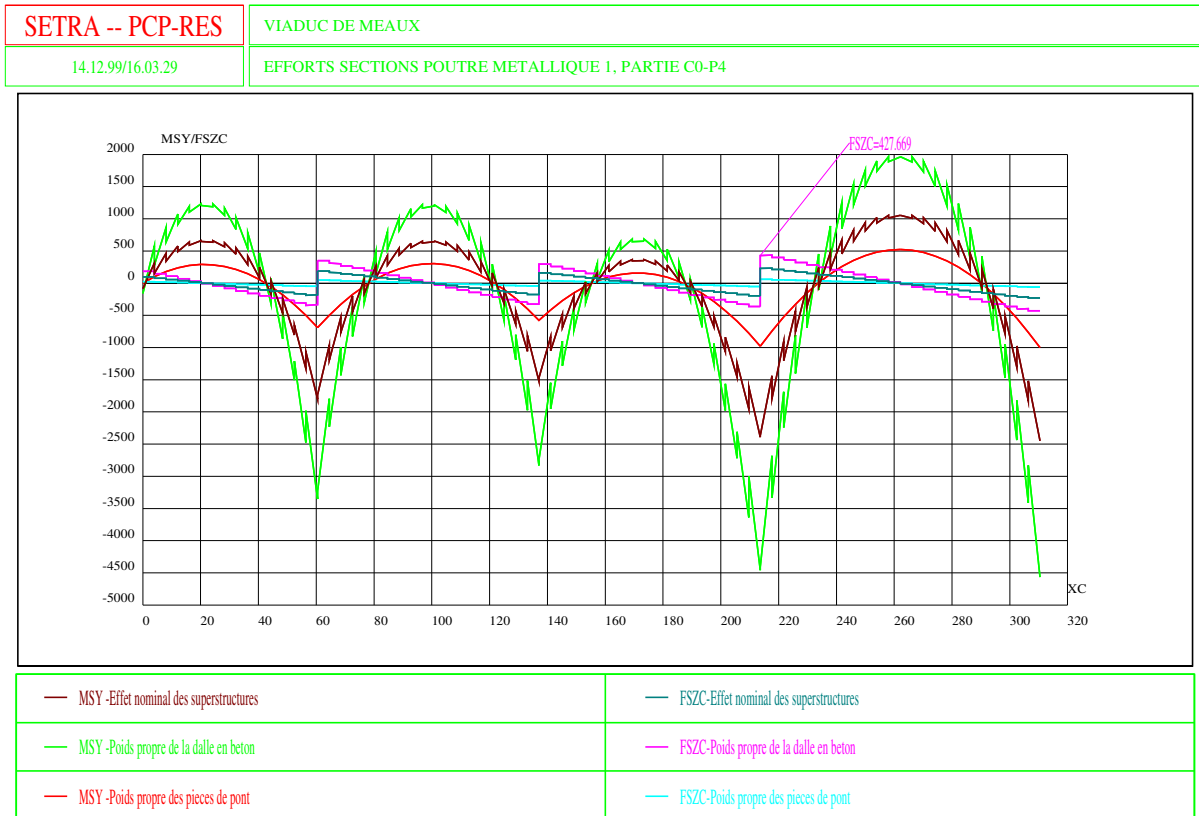


Figure 0.20 - Résultats représentés isolément, graphe 4 (aspect standard)

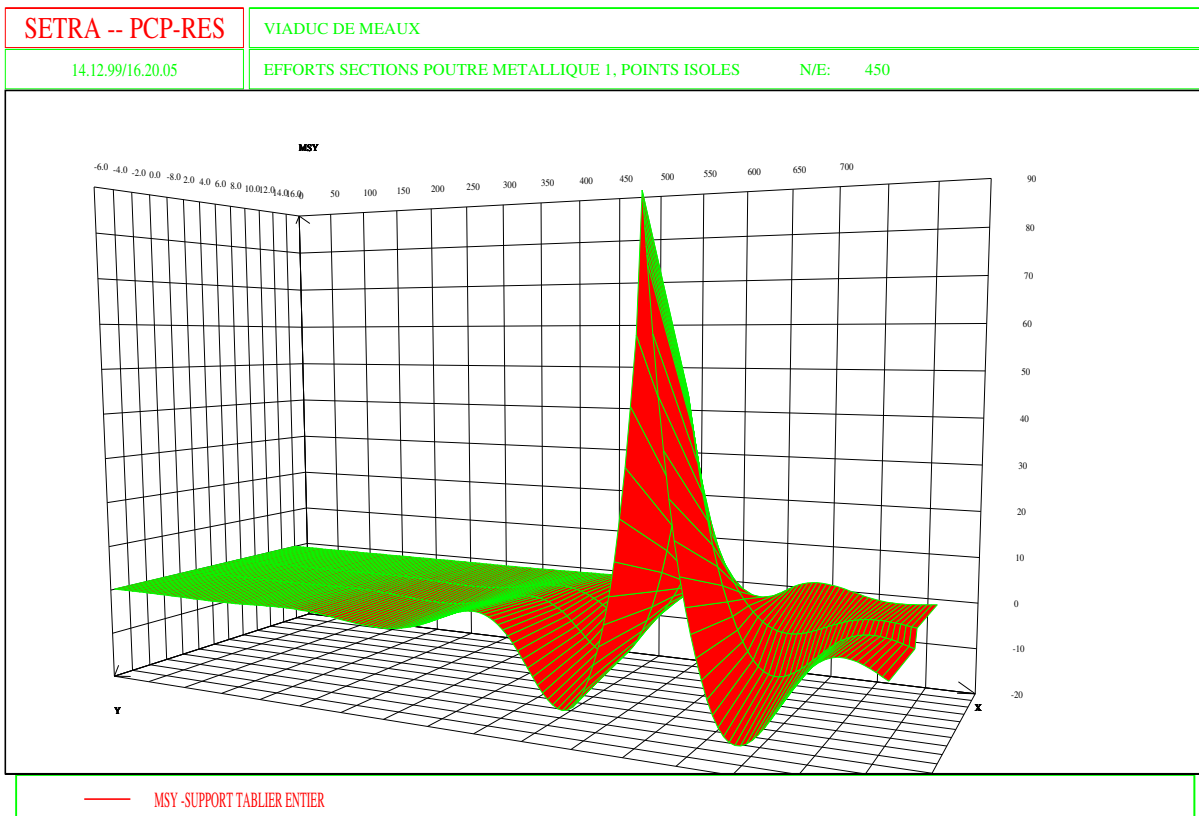


Figure 0.21 - Résultats représentés isolément, surface d'influence, perspective

Chapitre 1

Conventions Générales

Dans ce chapitre, le terme « poutre » désigne une poutre spatiale.

SOMMAIRE

1.1 – REPÈRES DE COORDONNÉES

1.2 – CHANGEMENTS DE REPÈRES

1.3 - RÉSULTATS, COMPOSANTES

1.4 - UNITÉS

Sommaire

Commande	Page
1.1 - REPÈRES DE COORDONNÉES	1-5
1.2 - CHANGEMENTS DE REPÈRES	1-7
1.3 - RÉSULTATS, COMPOSANTES.....	1-8
1.4 - UNITÉS.....	1-9

1.1 – REPÈRES DE COORDONNÉES

Tous les repères de coordonnées utilisés par le logiciel PCP sont orthonormés et directs ; les angles y sont comptés positivement dans le sens trigonométrique.

Seuls sont évoqués, dans cette section, les repères utilisés par plusieurs modules. D'autres repères, dont l'utilisation est restreinte à un module (ENV et DYN notamment), sont décrits dans les chapitres correspondants (9 et 11).

Repère global

C'est le référentiel principal, noté « OXYZ », par rapport auquel toute la structure à étudier, et certains chargements à lui appliquer, sont repérés.

Son axe OZ doit être vertical et ascendant, pour permettre la gestion correcte des forces gravitaires.

Repère poutre

Noté « $O_pX_pY_pZ_p$ », il peut être rattaché à une ou plusieurs poutres, pour en faciliter la définition.

Il est obligatoire de définir une poutre dans un repère particulier, dont l'axe O_pZ_p n'est pas vertical, lorsque la tangente à sa fibre moyenne reste verticale ou « passe temporairement » par cette direction.

Repère générique

C'est le repère noté « $o_ix_iy_iz_i$ », ayant pour origine le point courant de rang i de la fibre repère d'une poutre, et dans lequel est décrite l'une de ses sections transversales (section générique).

Repère section

La fibre moyenne d'une poutre est assimilée au lieu des centres de gravité, G_i , de ses sections génériques.

L'axe G_ix_s du repère de la section droite de rang i , d'une poutre, est tangent à sa fibre moyenne et a même sens de parcours.

Les axes principaux centraux de la section générique (supposés proches de ceux de la section droite), convenablement réorientés complètent le trièdre noté « $G_ix_sy_sz_s$ ».

Les efforts calculés aux origines et extrémités des éléments de poutres, peuvent être projetés dans les repères des sections droites correspondantes, et servir de base au calcul des contraintes normales et tangentielles dans lesdites sections.

Repère élément

La ligne moyenne des éléments de poutres est déterminée automatiquement ; celle des éléments hors-poutres est en général fournie.

L'axe ox du repère local d'un élément prismatique banalisé est porté par sa ligne moyenne et son sens de parcours va de son nœud origine à son nœud extrémité.

Les axes principaux centraux de la section droite qui lui est rattachée complètent le trièdre noté « $oxyz$ » (pour les éléments de poutres, un repère moyen entre les sections origine et extrémité est utilisé).

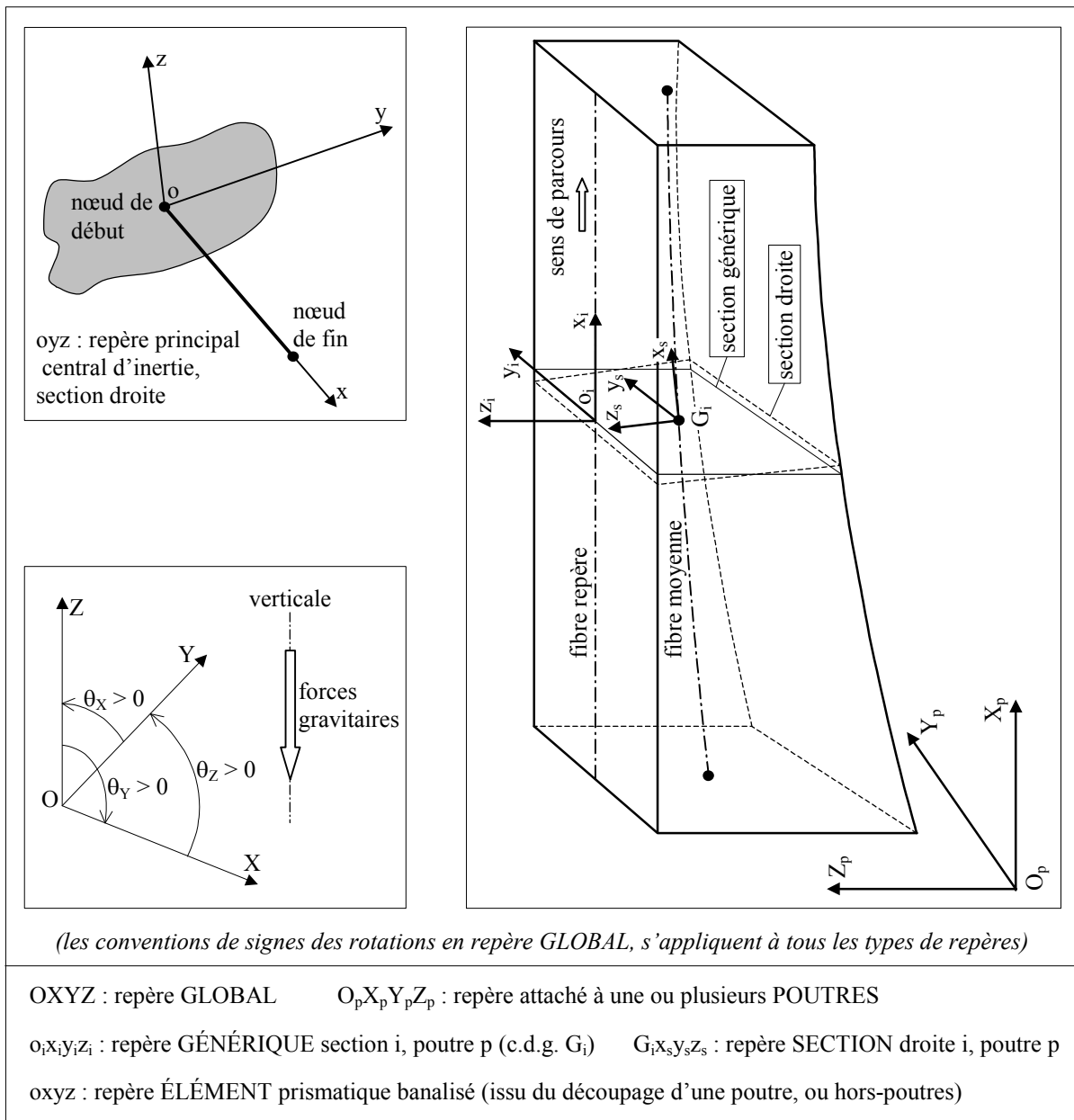


Figure 1.1 - Repères de coordonnées

1.2 – CHANGEMENTS DE REPÈRES

La rotation spatiale qui conduit d'un trièdre de référence, noté « PXYZ », vers un trièdre « local », noté « Pxyz », se décompose en trois rotations élémentaires, θ_1 , θ_2 et θ_3 , appliquées dans cet ordre et selon les axes ci-dessous.

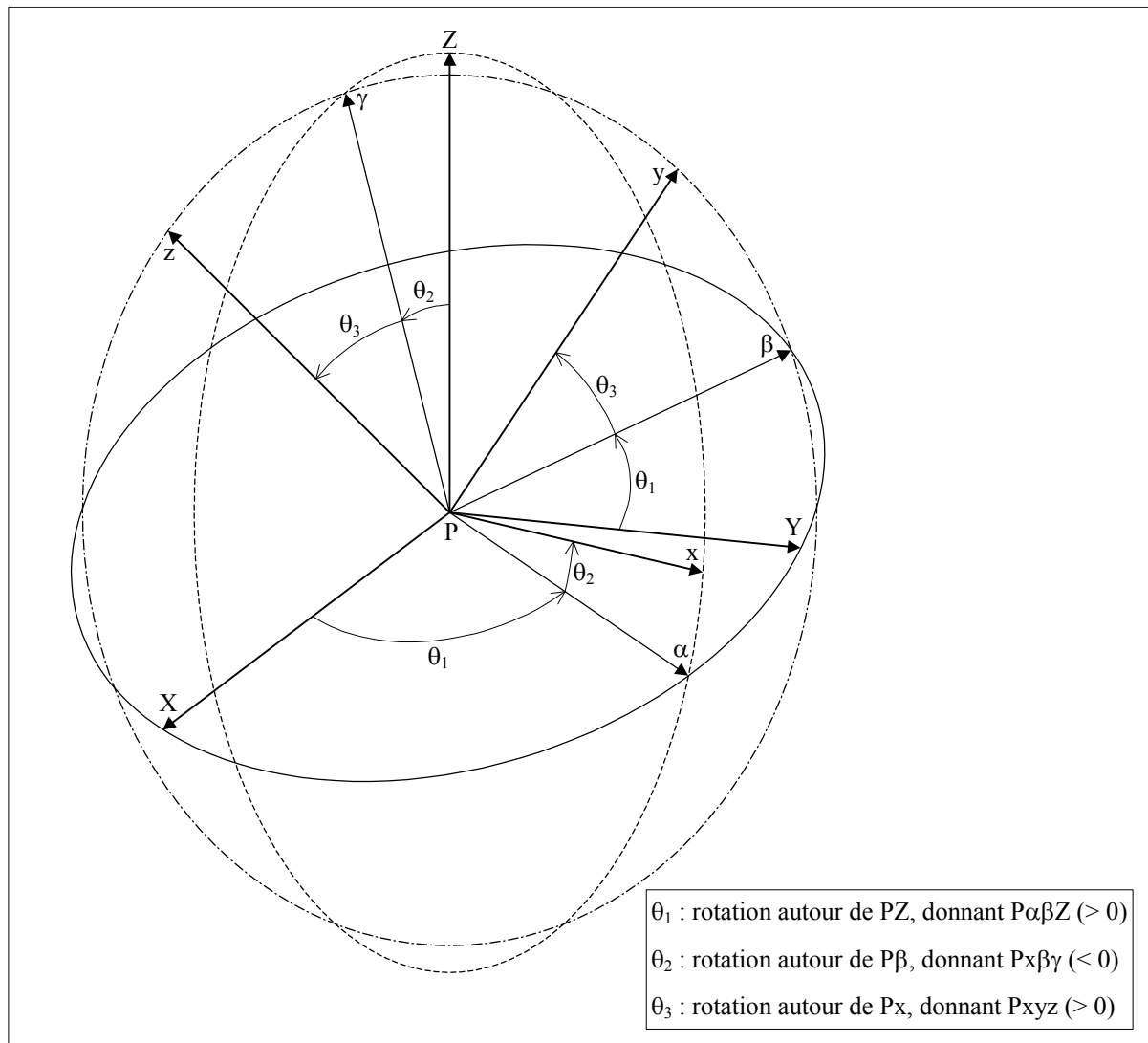


Figure 1.2 - Changement de repère, triple rotation normalisée

Remarques

Ces trois rotations s'effectuent dans l'ordre « alphabétique inverse », soit :

- autour de PZ ;
- puis, autour du « nouvel axe PY » ($P\beta$) ;
- enfin, autour du « nouvel axe PX » (Px).

Sur le schéma ci-dessus, θ_2 est choisie négative, pour une meilleure clarté.

1.3 - RÉSULTATS, COMPOSANTES

Les symboles décrits ci-dessous et les numéros de composantes correspondants sont utilisés par certains modules de calcul et dans certains tableaux de résultats qu'ils produisent.

type de résultats	C - 1	C - 2	C - 3	C - 4	C - 5	C - 6
RÉACTIONS étudiées dans les repères locaux des appuis (3 forces, 3 moments)	RFX	RFY	RFZ	RMX	RMY	RMZ
DÉPLACEMENTS des nœuds étudiés en repère global (3 déplacements au sens propre, 3 rotations)	DEX	DEY	DEZ	ROX	ROY	ROZ
EFFORTS exercés par les nœuds sur les éléments, étudiés dans les repères locaux des ÉLÉMENTS de poutres ou hors-poutres, en leurs origines ou extrémités (3 forces, 3 moments)	FEX	FEY	FEZ	MEX	MEY	MEZ
EFFORTS étudiés dans les repères locaux des SECTIONS droites des poutres, aux origines ou extrémités de leurs éléments (3 forces, 3 moments, torseurs « de gauche »)	FSX	FSY	FSZ	MSX	MSY	MSZ
CONTRAINTES NORMALES étudiées aux points de calcul des sections droites des éléments de poutres, aux origines ou extrémités de leurs éléments	SIG					
CONTRAINTES TANGENTES et NORMALES, idem ci-dessus	TAU	SIG				

Tableau 1.1 - Résultats, composantes principales

Les symboles de marquage des composantes concomitantes sont obtenus par ajout du suffixe 'C' à ceux des composantes principales (par exemple : TAUC et SIGC pour les contraintes tangentes et normales concomitantes).

1.4 - UNITÉS

Le tableau ci-dessous rassemble les unités utilisées pour écrire les données du logiciel PCP, et les exceptions et commentaires qui s'y rapportent.

Type	Unité	Exceptions, commentaires
Longueur	mètre (m)	S'accorde bien avec les ordres de grandeur que prennent les coordonnées dans les structures de dimensions « classiques », et certaines tolérances géométriques fixées en mode absolu
Masse	Au choix de l'utilisateur : tonne (t) ou Mkg ou autre.	La commande UNITES du module DYN (voir chapitre 11) indique l'unité choisie. Par défaut, c'est la tonne qui est considérée.
Force	Au choix de l'utilisateur : kdaN, MégaN ou autre.	La commande UNITES du module PH3 (voir chapitre 8) indique l'unité choisie. Par défaut, c'est le KdaN qui est considéré.
Temps	jour (j)	Pour traiter les phénomènes rhéologiques
Angle	degré (°)	Attention, les coefficients de déviation angulaire des câbles-types du module GE1 (voir chapitre 3) s'expriment en degrés ⁻¹ Les coefficients de rigidité ou souplesse des appuis-types et articulations-types du module PH1 (voir chapitre 6) utilisent le radian (rd) Les déformations d'appuis et d'articulations, et les distorsions d'éléments, imposées par le module PH3 (voir chapitre 8) utilisent le radian (rd) Les angles d'orientation des appuis-types et articulations-types au moment de leur placement par le module PH3 (voir chapitre 8) sont cependant entrés en degrés (°) Les dérivées angulaires des caractéristiques aérodynamiques des éléments, nécessaires au module DYN (voir chapitre 11) utilisent le radian (rd) Les rotations des nœuds, calculées et éditées par le module PH3 sont exprimées en radians (rd)
Fréquence	hertz (Hz)	
Période	seconde (s)	
Température	degré Celsius (°C)	

Tableau 1.2 - Unités

Attention, la commande CDS du module ETU (voir chapitre 12) utilise les unités du logiciel PCP en entrée et les unités du logiciel CDS en sortie (dans les commandes générées).

Chapitre 2

Langage de commandes

SOMMAIRE

2.1 - CARACTÈRES AUTORISÉS

2.2 – ÉLÉMENTS LEXICAUX DE BASE

2.3 - FICHER DE DONNÉES

2.4 - LIBELLÉS DE COMMANDES

Sommaire

Commande	Page
2.1 - CARACTÈRES AUTORISÉS.....	2-5
2.2 - ÉLÉMENTS LEXICAUX DE BASE.....	2-6
2.3 - FICHER DE DONNÉES	2-9
2.4 - LIBELLÉS DE COMMANDES	2-11

2.1 - CARACTÈRES AUTORISÉS

La longueur de ligne d'un fichier de données est limitée à 80 caractères.

L'utilisation de caractères ne figurant pas dans le tableau ci-dessous (en particulier : @, £, % et lettres accentuées) peut entraîner des erreurs de décodage et des transcriptions fantaisistes, lors de certains transferts de fichiers.

Caractères	Utilisation
Lettres a-z, sauf e et d lettres A-Z, sauf E et D	Noms, mots-clés, chaînes de caractères, commentaires Les minuscules, qui sont traduites en majuscules dès leur acquisition, ne se distinguent pas des majuscules, en dehors des chaînes de caractères
Lettres e et E	Exposants de certaines constantes réelles en simple précision, noms, mots-clés, chaînes de caractères, commentaires
Lettres d et D	Exposants des constantes réelles en double précision, noms, mots-clés, chaînes de caractères, commentaires
Chiffres 0-9	Noms, mots-clés, constantes numériques, chaînes de caractères, commentaires
Blanc souligné _	Noms, mots-clés, chaînes de caractères, commentaires
Espace	Séparateur d'éléments lexicaux Chaînes de caractères, commentaires Les lignes blanches sont autorisées en nombre illimité
Virgule ,	Séparateur d'expressions dans une liste d'expressions Chaînes de caractères, commentaires
Dollar \$ ou Diase #	Marque le début d'un commentaire
Point .	Sépare la partie entière de la partie fractionnaire d'une constante réelle Chaînes de caractères, commentaires
Double étoile **	Opérateur d'élévation à la puissance dans les expressions Chaînes de caractères, commentaires
Étoile * divisé par /	Opérateurs de multiplication et de division dans les expressions, opérateur de répétition (étoile) Chaînes de caractères, commentaires
Plus + moins -	Opérateurs unaires pour constantes numériques, variables, fonctions ou expressions Opérateurs d'addition ou de concaténation, et de soustraction, dans les expressions Chaînes de caractères, commentaires
Parenthèse ouvrante (parenthèse fermante)	Délimiteurs de sous-expressions, d'expressions et de listes d'expressions Chaînes de caractères, commentaires
Inférieur à < supérieur à >	Délimiteurs des « boîtes » d'affectation et de listes dirigées Chaînes de caractères, commentaires
Apostrophe ' guillemet "	Délimiteurs de chaînes de caractères Chaînes de caractères, commentaires

Tableau 2.1 - Caractères autorisés et utilisation

2.2 – ÉLÉMENTS LEXICAUX DE BASE

Aucun élément lexical ne peut être écrit sur plus d'une ligne de données.

Constante entière (type ENTIER)

C'est une liste non vide de chiffres, précédée ou non d'un signe et comprenant 11 caractères au maximum ; elle doit appartenir à l'intervalle : $[-2^{31}, 2^{31}-1]$.

Exemples :

1 007 -10000 +500

Constante réelle en simple précision (type RÉEL_SIMPLE)

Il peut s'agir :

- d'une constante réelle élémentaire ;
- d'une constante entière suivie d'un exposant en simple précision ;
- ou d'une constante réelle élémentaire suivie d'un exposant en simple précision.

La constante réelle élémentaire comprend un signe optionnel, suivi d'une partie entière (liste de chiffres), d'un point décimal, et d'une partie fractionnaire (liste de chiffres) ; la partie entière peut être omise, ou la partie fractionnaire, mais non les deux ; il est cependant conseillé de ne pas exploiter cette possibilité, pour améliorer la lisibilité des données.

Son exposant en simple précision comprend la lettre e ou E, suivie d'une constante entière (signée ou non).

Sa longueur totale ne doit pas excéder 14 caractères et son exposant est limité à 25 en valeur absolue ; son nombre de chiffres sûrs est de 6 (valeurs machines-dépendantes les plus répandues).

Exemples :

+0125 .125 -12.50 +125E1 125E+001 -125e-01
+12.5E-01 -12.5E+1 -12.5e2 .125E0 -125.E3

Constante réelle en double précision (type RÉEL_DOUBLE)

Remplacer la lettre e (ou E) par d (ou D) dans la définition de la constante réelle en simple précision.

Elle permet de mener à bien des calculs « précis », cependant, les données générées seront acquises et stockées en simple précision, donc parfois tronquées.

Sa longueur totale ne doit pas excéder 24 caractères et son exposant est limité à 286 en valeur absolue ; son nombre de chiffres sûrs est de 15 (valeurs machines-dépendantes les plus répandues).

Exemples :

3.14159265D0 \$ cette valeur de PI conserve sa precision
1D0 1.5D-2 .5d-6

Nom (type NOM)

C'est une suite de un à 8 caractères (longueur maximale), composée de lettres et/ou de chiffres et/ou de blancs soulignés, débutant par une lettre, et dans laquelle plusieurs

occurrences successives du blanc souligné, ainsi qu'un blanc souligné terminal ne sont pas autorisés.

De plus, les mots réservés : **LIS, DIM, POUR, BRISER, PASSER, SI, SINON, LIRE, RETOURNER, E, D, A, INC, DIV** et **REP**, ne sont pas utilisables comme noms.

Exemples :

```
$ noms corrects
BETON_T   BETON_L   C12_13S
STRUCSERV Fleau_2   Sect_105   CAB100
C_102g    equ_1_2   Appb_      ARTI_B1
Sargin    BPELELU   KARMAN     KAIMAL
```

```
$ noms incorrects
STRUCSERV $ longueur excessive
1D10G     $ ne debute pas une lettre
D_10G     $ contient deux blancs soulignes consecutifs
D.10G     $ contient un point non autorise
D10G_     $ se termine par un blanc souligne
```

Mot-clé

Il est construit, décodé et contrôlé comme un nom, mais sa longueur n'est limitée que par celle de la ligne de données.

Lorsqu'elle dépasse quatre caractères (dans le libellé descripteur d'une commande), seuls ses quatre premiers caractères sont nécessaires à coder, pour qu'il soit reconnu comme un mot-clé prédéfini par le langage de commandes. Les mots-clés de longueur inférieure ou égale à quatre caractères doivent être codés entièrement (voir aussi rubrique 2.11).

Exemples :

```
SECTION   Sect   CARacteristiques   CARA   CARACT
Tendre    TEND   ACTIVER             ACTI
Z_MESURE  Z_ME   LOG                 W      AXE
```

Chaîne de caractères (type CHAÎNE)

C'est une suite de caractères autorisés mise entre apostrophes ou guillemets, dans laquelle les apostrophes ou guillemets inclus sont autorisés s'ils sont distincts des extrêmes.

Sa longueur n'est limitée que par celle de la ligne de données.

Exemples :

```
$ il n'y a pas d'apostrophe incluse
'*** ETAT DE L OUVRAGE A SA MISE EN SERVICE ***'
$ l'apostrophe incluse est autorisée car des guillemets encadrent
"*** ETAT DE L'OUVRAGE A SA MISE EN SERVICE ***"
```

Commentaire

Tous les caractères suivant le premier dollar (\$) ou le premier (#) rencontré sur une ligne (compris), jusqu'à la fin de ligne, sont ignorés lors du décodage et utilisables pour insérer des commentaires explicatifs (voir aussi rubrique 2.10).

Exemples :

```
$ debut de la construction
$ -----
DATE 0 $ marque le passage en mode
      $ CALCUL RHEOLOGIQUE FIN
```

PLACER APPUIS 2 \$ piles P2 et P3

Délimiteur de fin de commande

Il s'agit du caractère point-virgule (;) (voir aussi rubrique 2.10).

Exemples :

SURCHARGES TITRE 'TEST' VERIFICATION;

Séparateurs d'éléments lexicaux

Outre la virgule, les opérateurs et les délimiteurs d'expressions, de liste d'expressions, ou de listes dirigées (**, *, /, +, -, (,), < et >), les caractères suivants font office de séparateurs d'éléments lexicaux :

- espaces en nombre quelconque, non inclus dans une chaîne de caractères ou dans un commentaire ;
- délimiteur de fin de commande non inclus dans une chaîne de caractères ou dans un commentaire ;
- fin de ligne.

Il est obligatoire de séparer un nom (ou mot-clé) d'un autre nom (ou mot-clé) ou d'une constante numérique, et une constante numérique d'une autre constante numérique ou d'un nom (ou mot-clé).

2.3 - FICHER DE DONNÉES

Un fichier de données est constitué exclusivement de commentaires éventuels et de commandes.

Commentaires

Le commentaire est un élément lexical de base ignoré par l'application. Il peut être introduit en début de ligne, ou en cours de ligne, s'il respecte l'intégrité de son début « utile ».

Les caractères qu'il détient ne sont pas analysés en tant que suite d'éléments lexicaux, ce qui permet notamment d'y inclure des apostrophes, guillemets ou parenthèses non appariés, ou des « noms » non conformes lexicalement.

Exemples :

```
TENDRE CABLES 2 $ mise en tension des cables provisoires
CAB_1 CAB_2

$ etat de l'ouvrage a sa mise en service
ETAT 100

$ mise en place des piles 1A et 1B
PLACER APPUIS 2
APPU_1 105 6*0.0 APPU_2 205 6*0.0

$ l'insertion prematuree du dollar introduit une erreur
<VA = 30.0$> initialisation de la variable VA
```

Commandes

Les commandes, constituées des autres types d'éléments lexicaux de base (noms, mots-clés, constantes numériques, chaînes de caractères), permettent généralement de définir une entité (au sens large) ou une action à mener.

Elles débutent toujours par un ou plusieurs mots-clés d'identification, suivis d'autres éléments lexicaux éventuels de divers types, selon leur syntaxe imposée.

Commandes à délimiteur de fin facultatif

Elles sont employées par les modules GE1, GE2, GE4, MC1, PH1 et PH3, et comprennent :

- un en-tête qui détient les premiers mots-clés, suivis ou non d'autres éléments lexicaux, tous introduits sur la même ligne ;
- une liste d'éléments lexicaux associée éventuelle, codée sur les lignes suivantes, sans contrainte de format ;
- un délimiteur de fin facultatif (;).

Exemples :

```
$ commandes sans liste
TITRE 'ETUDE DU POUSSAGE'
TENSIONS GROUPE 2

$ commande avec liste
ACTIVER ELEMENTS 10
105 110 115 120 125 130 135 140 145 150
```


Le délimiteur de fin de commande permet de séparer une commande d'une autre, sans passer à la ligne suivante, mais le saut de ligne entre en-tête de commande et liste (lorsqu'elle existe) reste imposé.

Exemples :

```
$ cet exemple n'est pas un modele de lisibilite
CALCULER CONTRAINTES ; CALCULER EXTREMAS ; DATE 0
SUSPENDRE EXTREMAS ; TENDRE CABLES 2
CAB_1 CAB_2 ; ACTIVER ELEMENTS 3
105 107 109 ; EDITER
```

Commandes à délimiteur de fin obligatoire

Elles sont employées par les modules ENV, DYN et ETU, et le sous-module TRAFIC, et comprennent :

- les premiers mots-clés, suivis ou non d'autres éléments lexicaux ;
- un délimiteur de fin (;).

Aucun saut de ligne n'est imposé à l'intérieur d'une commande de ce type ; elle peut être libellée sur plusieurs lignes et une ligne peut en contenir plusieurs.

Exemples :

```
$ les points-virgules sont accolés aux commandes afin de rappeler
$ qu'ils en font partie; ils font également office de séparateurs
PCPETU; RAPPELER TERMINAL; FIN;
```

```
$ commande (du module ENV) libellée sur plusieurs lignes
$ afin d'en séparer les blocs logiques
ETUDE 11
'TABLIER NORD, REACTIONS D''APPUIS'
REACTIONS
NOEUDS 1 36 86 121;
```

```
$ commande (du module ENV) libellée sur une seule ligne
$ (la longueur de la chaîne de caractères le permet)
ACTION 100 'A(1)' SUPPORT 103 TRAFIC AL;
```

```
$ autre commande (du module DYN) libellée sur une seule ligne
$ (la lisibilité n'en souffre pas trop)
ADMITTANCE MODALE 'ADMITTANCE MOYENNE' MOYENNE 0.75;
```

Constantes numériques

Lorsqu'un paramètre de type ENTIER est réclamé dans le libellé d'une commande, seules peuvent être introduites : une constante, une variable, ou une expression de type ENTIER.

Un paramètre de type réel peut être introduit sous forme d'une valeur de type ENTIER, RÉEL_SIMPLE ou RÉEL_DOUBLE (constante, variable ou expression).

Exemples :

```
$ certains paramètres réels sont remplacés par des entiers
MATERIAU BETON_1 3
3 14 2
3.6E6 0.20 2.50
1.0E-5 3600000 1 0.95
```

```
$ erreur, le nombre d'éléments à activer doit toujours être entier
ACTIVER ELEMENTS POIDS 2.0
103 104
```

2.4 - LIBELLÉS DE COMMANDES

Les libellés de commandes respectent certaines règles de présentation détaillées ci-dessous.

Attributs des caractères

Les mots-clés sont présentés en caractères MAJUSCULES (non gras et non accentués), sous leur forme complète.

Bien qu'ils soient reconnus sur leur préfixe de quatre caractères au maximum, il est conseillé de les libeller entièrement, pour améliorer leur lisibilité.

Dans les commentaires correspondants, le vocable « option » est utilisé en lieu et place de « mot-clé ».

Certains mot-clés SOULIGNES représentent les options par défaut ; par exemple, pour cette partie de libellé :

MASSES titre_masses $\left\{ \begin{array}{l} \underline{\text{ABSOLUES}} \dots \\ \underline{\text{RELATIVES}} \dots \end{array} \right\}$

ces trois écritures sont équivalentes :

MASSES 'DEVIATEURS' ...
 MASSES 'DEVIATEURS' ABSOLUES ...
 MASS 'DEVIATEURS' ABSO ...

Les noms à coder obligatoirement en entier sont présentés en caractères **GRAS MAJUSCULES** ; exemple :

TAULIMITES ... $\left\{ \begin{array}{l} \text{CHALOS} \\ \text{BPELELS} \\ \text{BPELELU} \end{array} \right\}$...

Les paramètres de tous types sont présentés en caractères latins minuscules non italiques et non accentués, et/ou en caractères grecs minuscules non italiques ; exemples :

nom_arti no_element θ_1 $d\theta_z$

Les caractères en minuscules italiques représentent des parties de libellés de commandes, à substituer, en raison de leur encombrement excessif.

Caractères spéciaux

Lorsqu'un paramètre est entre parenthèses, ou lorsque plusieurs paramètres sont entre parenthèses et séparés par des virgules, il s'agit de noms de variables prédéfinis, à libeller tels quels, avec les parenthèses (et les virgules) ; exemples :

(type_voies_0, degres_0) (bande_n_char)

Les crochets carrés englobent des entités facultatives (mots-clés, paramètres, ou entités plus élaborées ; exemples :

POUSSER [AUTOMATIQUEMENT] STRUCTURES ...

TENDRE CABLES [NONINJECTES] [nb_cables]

$$\left[\left\{ \begin{array}{l} \langle \text{no_noeud} \rangle_{\text{nb_noeuds}} \\ \langle \text{no_element} \rangle_{\text{nb_elements}} \end{array} \right\} \right]$$

[POUTRES nb_poutres

$\langle \text{no_poutre} \rangle_{\text{nb_poutres}}$]

Les « boîtes » englobent des listes d'entités à répéter un nombre de fois indiqué par un nom de paramètre accolé, en indice ; exemple :

$$\langle \text{x_point} \quad \text{y_point} \quad \text{z_point} \quad \theta_x \quad \theta_y \quad \theta_z \rangle_{\text{nb_points}}$$

L'imbrication de plusieurs boîtes est possible, ainsi que l'insertion, pour des raisons d'encombrement, de sauts de lignes non significatifs ; exemples :

$$\langle \langle \text{z_point} \rangle_{\text{nb_files}} \rangle_{\text{nb_points}}$$

$$\langle \text{ETUDE} \quad \text{no_domaine}$$

$$\left[\left\langle \text{COMPOSANTE} \quad \text{no_cpp} \quad \left[\text{CONCOMITANTES} \quad \langle \text{no_cpc} \rangle_{\text{nb_cpc}} \right] \right\rangle_{\text{nb_cpp}} \right]_{\text{nb_domains}}$$

Les accolades simples expriment un choix exclusif, entre chacune des entités qu'elles englobent ; par exemple, cette partie de libellé :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{REACTIONS} \\ \text{EFFORTS} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{ELEMENTS} \\ \text{SECTIONS} \end{array} \right\} \\ \text{CONSTRAINTES} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{NORMALES} \\ \text{TANGENTES} \end{array} \right\} \end{array} \right\}$$

peut donner lieu aux écritures suivantes (liste exhaustive) :

REACTIONS
 ou EFFORTS ELEMENTS
 ou EFFORTS SECTIONS
 ou CONSTRAINTES NORMALES
 ou CONSTRAINTES TANGENTES

Lorsqu'une simple étoile précède les accolades, toute combinaison des entités englobées est admise, avec au maximum, une occurrence de chaque entité ; leur ordre d'introduction est indifférent ; par exemple, cette partie de libellé :

$$* \left\{ \begin{array}{l} \text{DEPLACEMENTS} \\ \text{REACTIONS} \\ \text{EFFORTS} \end{array} \right\}$$

peut donner lieu aux écritures suivantes (liste non exhaustive) :

```

DEPLACEMENTS
ou EFFORTS
ou DEPLACEMENTS REACTIONS
ou EFFORTS DEPLACEMENTS
ou REACTIONS EFFORTS DEPLACEMENTS
    
```

Lorsqu'une double étoile précède les accolades, toute combinaison des entités englobées est admise, sans que leurs nombres d'occurrences soient limités ; leur ordre d'introduction est aussi indifférent ; par exemple, cette partie de libellé :

$$** \left\{ \begin{array}{l} \text{SECTION } \text{nom_section} \\ \text{POUTRES } \langle \text{no_poutre} \rangle_{\text{nb_poutres}} \end{array} \right\}$$

peut donner lieu aux écritures suivantes (liste non exhaustive) :

```

SECTION S1 SECTION S2
ou POUTRES 101 102
ou SECTION S1 POUTRES 101 102 SECTION S2
    
```

Lorsqu'un signe plus précède les accolades, il faut introduire chacune des entités englobées non facultatives en un exemplaire, et chacune des entités englobées facultatives en un exemplaire au maximum, dans un ordre global non imposé ; par exemple, cette partie de libellé (modifiée) :

$$+ \left\{ \begin{array}{l} \text{MASSE_VOLUMIQUE_AIR } \rho \\ \text{Z_SOL } z_s \\ [\text{RUGOSITE_SITE } z_0] \end{array} \right\}$$

peut donner lieu aux écritures suivantes (liste exhaustive) :

```

MASSE_VOLUMIQUE_AIR 0.00122 Z_SOL 10.0
ou Z_SOL 10.0 MASSE_VOLUMIQUE_AIR 0.00122
ou MASSE_VOLUMIQUE_AIR 0.00122 Z_SOL 10.0 RUGOSITE SITE 5.0
ou MASSE_VOLUMIQUE_AIR 0.00122 RUGOSITE SITE 5.0 Z_SOL 10.0
ou Z_SOL 10.0 MASSE_VOLUMIQUE_AIR 0.00122 RUGOSITE_SITE 5.0
ou Z_SOL 10.0 RUGOSITE SITE 5.0 MASSE_VOLUMIQUE_AIR 0.00122
ou RUGOSITE SITE 5.0 MASSE_VOLUMIQUE_AIR 0.00122 Z_SOL 10.0
ou RUGOSITE SITE 5.0 Z_SOL 10.0 MASSE_VOLUMIQUE_AIR 0.00122
    
```

Lorsqu'une entité d'un groupe entre accolades subit un décalage vers la droite, elle doit être considérée comme la suite de celle qui précède (alignée à gauche), et non comme une entité à part entière.

Il en serait de même si un caractère spécial ([, <) ne trouvait son « symétrique » qu'à la ligne qui le suit ; par exemple, ces deux écritures sont équivalentes :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{DIVISION_CHARGE_MAX} \quad \text{nb_fois} \\ \text{MODE} \quad \text{no_mode} \\ \text{[STRUCTURE} \quad \text{nom_structure]} \quad \text{FACTEUR} \quad \text{facteur} \end{array} \right\}$$
$$\left\{ \begin{array}{l} \text{DIVISION_CHARGE_MAX} \quad \text{nb_fois} \\ \text{MODE} \quad \text{no_mode} \quad \text{[STRUCTURE} \quad \text{nom_structure]} \quad \text{FACTEUR} \quad \text{facteur} \end{array} \right\}$$

Chapitre 2 (Suite)

PSEUDO-PROGRAMMATION

SOMMAIRE

2.5 – VARIABLES

2.6 – TABLEAUX

2.7 – FONCTIONS SCALAIRES

2.8 – FONCTIONS VECTORIELLES OU MATRICIELLES

2.9 – EXPRESSIONS SCALAIRES

2.10 – EXPRESSIONS VECTORIELLES OU MATRICIELLES

2.11 - LISTES D'EXPRESSIONS

2.12 – LISTES D'EXPRESSIONS NOMMEES

2.13 - RÉPÉTITEURS

2.14 - INCRÉMENTATEURS

2.15 - LISTE DIRIGÉE

2.16 - CONCATENATEUR

2.17 - BOUCLE DE REPETITION

2.18 - INSTRUCTION PASSER

2.19 - INSTRUCTION BRISER

2.20 - INSTRUCTION CONDITIONNELLE

2.21 – EXPRESSION LOGIQUE

2.22 - INSTRUCTION LIRE

2.23 - INSTRUCTION RETOURNER

2.24 - DIFFERENCES LANGAGES PCP/ST1

Le langage de pseudo-programmation proposé ici remplace le langage proposé dans les versions antérieures de PCP (Avant 6.10) avec lequel il est totalement compatible mais auquel il rajoute un certain nombre de fonctionnalités.

Le pseudo-langage proposé est très proche de celui de ST1. Il permet de réaliser des boucles imbriquées, des débranchements conditionnels, des lectures de fichiers. Il permet de spécifier des listes et des tableaux. Le dernier paragraphe de ce chapitre donne les principales différences entre le langage de PCP et de ST1.

Sommaire

Commande	Page
2.5 – VARIABLES	2-32
2.6 – TABLEAUX.....	2-34
2.7 – FONCTIONS SCALAIRES	2-37
2.8 – FONCTIONS VECTORIELLES OU MATRICIELLES.....	2-38
2.9 – EXPRESSIONS SCALAIRES	2-39
2.10 – EXPRESSIONS VECTORIELLES OU MATRICIELLES.....	2-42
2.11 - LISTES D'EXPRESSIONS.....	2-43
2.12 – LISTES D'EXPRESSIONS NOMMEES	2-44
2.13 - RÉPÉTITEURS.....	2-46
2.14 - INCRÉMENTATEURS	2-47
2.15 - LISTE DIRIGÉE.....	2-49
2.16 - CONCATENATEUR.....	2-52
2.17 - BOUCLE DE REPETITION	2-53
2.18 - INSTRUCTION PASSER.....	2-55
2.19 - INSTRUCTION BRISER.....	2-56
2.20 - INSTRUCTION CONDITIONNELLE	2-57
2.21 – EXPRESSION LOGIQUE.....	2-58
2.22 - INSTRUCTION LIRE.....	2-59
2.23 - INSTRUCTION RETOURNER.....	2-60
2.24 - DIFFERENCES LANGAGES PCP/ST1	2-61

2.5 – VARIABLES

Présentation

Une variable est un nom associé à une valeur numérique ou une chaîne.

Syntaxe

nom_variable = valeur

< nom_variable = valeur >

avec :

- valeur : constante, expression parenthésée, élément de tableau ou chaîne de caractère.

Spécifications

- Un nom de variable doit être différent d'un nom de liste ou de tableau.
- Un nom de variable doit être différent d'un mot réservé du langage **LIS, DIM, POUR, BRISER, PASSER, SI, SINON, LIRE, RETOURNER, E, D, A, INC, DIV** et **REP** .
- Un nom de variable ne peut pas être utilisé ultérieurement pour désigner une liste ou pour un tableau.
- Une variable est créée par un ordre d'affectation.
- Elle peut être fixée égale à une expression.
- Elle peut recevoir successivement plusieurs valeurs.
- Elle est référencée par son nom placé entre parenthèses ou non.
- Elle peut être référencée dans les expressions.
- Toute variable référencée doit avoir été définie.
- Toute référence isolée à une variable renvoie la valeur de la variable.

Exemples

```

<PI = 3.14159>           $ variable de type REEL_SIMPLE
<X = 100>                $ variable de type ENTIER
<PI_D = 3.14159265D0>   $ variable de type REEL_DOUBLE
<X = (4/2)>              $ la variable X est redéfinie
(X)                      ==> 2
(X**X)                   ==> 4
<Y = 3>
<Z = X*Y>                ==> Erreur l'expression n'est pas parenthésée
<Z = (X*Y)>
(Z)                      ==> 6
<A = 125.50>            $ erreur frequente, le nom A
                        $ est interdit comme nom de variable
PI = 3.14159             $ variable de type REEL_SIMPLE
PI_D = 3.14159265D0     $ variable de type REEL_DOUBLE
X = (4/2)                $ la variable X est redéfinie
X                        ==> 2
(X**X)                   ==> 4
Z = (X*Y)
Z = X*Y                  ==> Erreur l'expression n'est pas parenthésée
Z                        ==> 6
CH = "chaine quelconque" $ Chaine
CH                       ==> "chaine quelconque"
(CH)                     ==> chaine quelconque

```

Certaines commandes de PCP nécessitent un titre en entrée sous la forme d'une chaîne de caractères, ce titre peut être entré directement ou par l'intermédiaire d'une variable contenant une chaîne de caractères :

```

nom ='tassement appui'
TITRE nom

```

2.6 – TABLEAUX

Présentation

Un tableau est une suite de valeurs numériques référencables par un indice.

Syntaxe

DIM Tu(n) [= v₁,v₂,v₃,v₄,,v_i,,,v_n]

DIM Tu(n) [= v]

DIM Tb(nl,nc) [= v₁,v₂,v₃,v₄,,v_i,,,v_{nl*nc}]

DIM Tb(nl,nc) [=v]

avec :

- Tu : nom du tableau unidimensionnel.
- Tb : nom du tableau bidimensionnel.
- n : nombre de valeurs dans le tableau unidimensionnel.
- nl : nombre de lignes dans le tableau bidimensionnel.
- nc : nombre de colonnes dans le tableau bidimensionnel.
- v_i : valeur numérique constante, expression, liste nommée, tableau, variable ou incrémentateur tous séparés par des virgules et, éventuellement, des espaces.
- v : valeur numérique constante, expression ou variable affectée à tous les éléments du tableau. Par défaut, la valeur affectée est nulle.

Spécifications

- Un nom de tableau doit être différent d'un nom de variable ou de tableau.
- Un nom de tableau doit être différent d'un mot réservé du langage **LIS**, **DIM**, **POUR**, **BRISER**, **PASSER**, **SI**, **SINON**, **LIRE**, **RETOURNER**, **E**, **D**, **A**, **INC**, **DIV** et **REP**.
- Un nom de tableau ne peut pas être utilisé ultérieurement pour désigner une variable ou une liste.
- Un tableau est créé par l'instruction DIM. Le nom du tableau et la parenthèse ouvrante doivent être contiguës.
- Un tableau peut recevoir des valeurs lors de sa création par l'instruction DIM. Si une seule valeur est affectée, elle est affectée à tous les éléments du tableau. Si plusieurs valeurs sont définies, il faut que toutes les valeurs du tableau soient renseignées.
- Un tableau peut recevoir globalement des valeurs après sa création : il faut que toutes les valeurs du tableau soient alors renseignées.
- Un tableau peut être affecté à un autre tableau : il faut que les deux tableaux aient les mêmes dimensions.
- Pour un tableau bidimensionnel, l'ordre d'entrée des valeurs est le suivant : toutes les valeurs de la colonne 1, suivi des valeurs de la colonne 2 et ainsi de suite.

- Chaque cellule du tableau peut recevoir une valeur en utilisant l'indice placé entre parenthèses : $T(i)=v$ ou $T(i,j)=v$. Le nom du tableau et la parenthèse ouvrante doivent être contiguës.
- Elle est référencée par son nom suivi de l'indice entre parenthèses : $T(i)$ ou $T(i,j)$ sans espaces entre le nom et la parenthèse ouvrante.
- Tout élément de tableau référencé doit avoir reçu une valeur.
- Les dimensions du tableau peuvent être des constantes, des variables ou des expressions entières.
- Les indices du tableau peuvent être des constantes, des variables ou des expressions entières.
- Toute référence à un tableau comme opérande sans indices concerne tout le tableau : calcul matriciel ou vectoriel.
- Toute référence isolée à un tableau sans indices renvoie le contenu du tableau ordonné colonne par colonne, c'est à dire en fixant successivement l'indice de colonne de 1 à sa cardinalité et en faisant varier pour chaque valeur de l'indice de colonne, l'indice de ligne de 1 à sa cardinalité.

Exemples

```

DIM t(2,3)= 1
t                ==> 1 1 1 1 1 1
DIM t(2,3)= 1 a 6
t                ==> 1 2 3 4 5 6
t(2,1)           ==> 2
t(2,2)=5
t                ==> 1 2 3 5 5 6
t = 7 a 12
t                ==> 7 8 9 10 11 12
t = 7 a 13       ==> Erreur trop de valeurs affectées
t = 1            ==> Erreur pas assez de valeurs affectées

```

```

dim ta(2,2)=1
dim tb(2,2)=2
dim tc(2,2)=3
ta=tb
ta                ==> 2 2 2 2
ta=(tc)
ta                ==> 3 3 3 3
# Tableau unidimensionnel
k=0
n=10
DIM t(n)
POUR i = 1 a n << k=(k+i) t(i)=k >>

```

```

# Ces expressions sont equivalentes
ACTIVER ELEMENTS n
POUR i = 1 a n << t(i) >>

```

```

ACTIVER ELEMENTS n
T

```

```

ACTIVER ELEMENTS n
(t)

```

```

# Tableau bidimensionnel
n=3
m = 2
DIM t(n,m)

```

```
POUR i = 1 a n
<<
  POUR j = 1 a m << t(i,j)= (i+j) >>
>>
```

```
# Ces expressions sont equivalentes
t      => 2 3 4 3 4 5
```

```
POUR j = 1 a m
<<
  POUR i = 1 a n << t(i,j) >>
>>
      => 2 3 4 3 4 5
```

```
# Exemple de dimensions avec les mêmes valeurs que précédemment
DIM t(n,m)= 2,3,4,3,4,5
```


2.7 – FONCTIONS SCALAIRES

Présentation

Le tableau ci-dessous décrit les fonctions disponibles, utilisables isolément ou dans diverses expressions mais toujours entre parenthèses. Leurs arguments peuvent être des constantes, des variables, des éléments de tableaux ou des expressions. L'argument de **CPTR** doit être de type **CHAÎNE**. Pour qu'une fonction soit reconnue, il faut que la parenthèse ouvrante soit contiguë au nom de la fonction.

Fonction	Description	Type du résultat
MAX(x,y)	Valeur maximum de x et de y	Type de x et de y
MIN(x,y)	Valeur minimum de x et de y	Type de x et de y
SIN(x)	Sinus de x ; x en radians	RÉEL, selon le type de x
COS(x)	Cosinus de x ; x en radians	RÉEL, selon le type de x
TAN(x)	Tangente de x ; x en radians, différent de $\pm\pi/2$ à π près	RÉEL, selon le type de x
ASIN(x)	Arc sinus de x ; $-1.0 \leq x \leq 1.0$; $-\pi/2 \leq \text{ASIN}(x) \leq \pi/2$	RÉEL, selon le type de x
ACOS(x)	Arc cosinus de x ; $-1.0 \leq x \leq 1.0$; $0.0 \leq \text{ACOS}(x) \leq \pi$	RÉEL, selon le type de x
ATAN(x)	Arc tangente de x ; $-\pi/2 < \text{ATAN}(x) < \pi/2$	RÉEL, selon le type de x
LOG(x)	Logarithme népérien de x ; x > 0.0	RÉEL, selon le type de x
SINH(x)	Sinus hyperbolique de x ; x en radians	RÉEL, selon le type de x
COSH(x)	Cosinus hyperbolique de x ; x en radians	RÉEL, selon le type de x
TANH(x)	Tangente hyperbolique de x ; x en radians, différent de $\pm\pi/2$ à π près	RÉEL, selon le type de x
EXP(x)	Exponentielle de x	RÉEL, selon le type de x
ABS(x)	Valeur absolue de x	Type de x
ENT(x)	Partie entière de x	ENTIER
INT(x)	Partie entière de x	ENTIER
ARR(x)	Valeur entière la plus proche	ENTIER
REEL(x)	Conversion de x, en une valeur réelle de simple précision	RÉEL_SIMPLE
DBLE(x)	Conversion de x, en une valeur réelle de double précision	RÉEL_DOUBLE
CPTR('x')	Compteur représentant le nombre courant de définitions de la variable x, dans une liste dirigée	ENTIER
XCLOT(a,r,s) YCLOT(a,r,s)	Abscisse et ordonnée d'un point de clothoïde de raison a, dont le rayon porté par l'axe y vaut r, et l'abscisse curviligne depuis l'origine du repère vaut s	Type du paramètre de plus grande précision

Tableau 2.2 - Fonctions

Exemples

```

<PI = 3.14159>
(TAN(PI/4.0))          ==> 0.9999987
(ACOS(COS(0.5D0)))    ==> 0.5D0
(ABS(-1))              ==> 1
(REEL(1))              ==> 1.0
(ENT(2.5D0))           ==> 2
(XCLOT(1.0, 10.0, 0.5)) ==> 0.4982317

```

2.8 – FONCTIONS VECTORIELLES OU MATRICIELLES

Présentation

Le tableau ci-dessous décrit les fonctions disponibles, utilisables isolément ou dans diverses expressions mais toujours entre parenthèses. Leurs arguments peuvent être des tableaux ou des expressions de tableaux. Les tableaux unidimensionnels sont appelés des **Vecteurs** et les tableaux bidimensionnels des **Matrices**.

Fonction	Description	Type du résultat
NEU(x)	Norme Euclidienne du vecteur x ou de la matrice x	Réel
NIN(x)	Norme infinie du vecteur x ou de la matrice x	Réel
DET(x)	Déterminant de la matrice carrée x	Réel
RNG(x)	Rang de la matrice carrée x	Entier
INV(x)	Inverse de la matrice carrée x	Matrice
TRA(x)	Transposée de la matrice x	Matrice
DIA(x)	Diagonale de la matrice carrée x	Vecteur
SOL(a,b)	Solution x de $ax=b$ avec a(n,n) matrice carrée et b(n,m)	Matrice x(n,m)
PVE(x,y)	Produit vectoriel x.y de deux vecteurs à trois composantes	Vecteur
PSC(x,y)	Produit scalaire x.y de deux vecteurs de mêmes dimensions	Réel

Tableau 2.3 - Fonctions

Exemples

```
dim t (3,5)= 1 a 15
Neu (t) 35.2136337233
```

```
Nin (t) 15
```

```
dim t (3,3)= 1 a 9
Dia (t) 1 5 9
Tra (t) 1 4 7 2 5 8 3 6 9
```

```
Dim ta (3)=1,0,0
Dim tb (3)=0,1,0
Pve (ta,tb) 0,0,1
Psc (ta,tb) 0
```

```
dim tc(3,3)= -3, -1, 1, 5, 2, -1, 6, 2, -1
Det (tc) 1
rng (tc) 3
Inv (tc) 0 -1 1 1 3 -2 2 3.33066907388d-016 1
```

```
dim td(4,4) = 2,-4,4,0,1,-2,1,-3,0,3,-2,-12,4,-7,8,-1
dim te(4,2) = 2,-9,2,2,2,-9,2,2
sol (td,te) 3 4 -1 -2 3 4 -1 -2
```

2.9 – EXPRESSIONS SCALAIRES

Règles de formation

Une expression est construite à partir d'opérateurs et d'opérandes, et mise entre parenthèses.

Symbole	Syntaxe ; effets
+	+ operande ; effet nul, sur opérande numérique
-	- operande ; changement de signe d'un opérande numérique
+	operande + operande ; addition de deux opérandes numériques
+ ou &	operande + operande ou operande & operande ; concaténation de deux chaînes de caractères, ou d'une chaîne de caractères avec un nombre entier, pour former un nom
-	operande - operande ; soustraction du deuxième opérande du premier (numériques)
*	operande * operande ; multiplication de deux opérandes numériques
/	operande / operande ; division du premier opérande par le deuxième (numériques)
**	operande ** operande ; élévation du premier opérande, à la puissance du deuxième (numériques)

Tableau 2.4 - Opérateurs

Un opérande peut être un primaire, un facteur, un terme, ou une expression, selon le tableau ci-dessous.

Opérande	Définition
expression	expression + terme ou expression - terme ou + terme ou - terme
terme	terme * facteur ou terme / facteur ou facteur
facteur	primaire ** primaire ou primaire
primaire	constante ou nom_de_variable ou nom_de_fonction (expression [, expression, expression, ...]) ou (expression)
constante	constante numérique de type ENTIER, RÉEL_SIMPLE ou RÉEL_DOUBLE ou chaîne de caractères

Tableau 2.5 - Règles de formation d'une expression

Cette structure est extraite des règles d'écriture du langage FORTRAN V (qui définit le facteur, comme une combinaison possible d'un primaire et d'un facteur, seule différence).

Les séparateurs d'éléments lexicaux (en particulier les espaces et les fins de lignes) sont admis dans les expressions en nombres quelconques et ignorés ; ce qui donne notamment la possibilité d'aérer une expression et/ou de l'écrire sur plusieurs lignes.

Exemples

```
$ expressions simples a base de constantes uniquement
(2 + 3)      ==> 5          (2 - 3)      ==> -1
(2 * 3)      ==> 6          ((2 ** 3)) ==> 8
(2 / 3)      ==> 0          ('SECT' + 'AR') ==> SECTAR
('SECT' + 6) ==> SECT6     (2 + 7)      ==> 9
('SECT' & 6) ==> SECT6

$ expressions simples a base de constantes et de variables
(XA = 6) <XB = 7> <XC = 30> <XD = 3.0>
(XA+XB)      ==> 13
(XC*XA)      ==> 180
(XD**2.0)    ==> 9.00000E0

$ expressions simples a base de constantes, variables et fonctions
<XA = 2.0D0> <XB = 4.0D0>
<PI = 3.14159265D0>
(2.0D0*SIN(PI/6.0D0)) ==> 1.00000D0
(3.0*ABS(XA-XB))      ==> 6.00000D0
(LOG(XA) + LOG(XB**2)) ==> 3.46574D0

$ erreurs de "precedence"
(4**+2)   (5**+5)   (6/-3)
```

Règles d'évaluation

Les différents composants d'une expression sont évalués en parcourant les cellules du tableau 2.5 de bas en haut, soit, par ordre de priorité :

- les primaires, sous-expressions les plus imbriquées, fonctions et variables ;
- les facteurs ;
- les termes.

Autrement dit, sont traités dans cet ordre :

- les parenthèses, fonctions et variables ;
- les opérateurs ** (de priorité la plus élevée) ;
- les opérateurs * et / (de même niveau de priorité intermédiaire) ;
- les opérateurs + et - (de même niveau de priorité la plus basse).

Et les opérateurs de même niveau de priorité sont évalués de la gauche vers la droite.

Exemples :

```
(2 * 2 + 2)          ==> 6
(2 * 3 / 6 + 5 * 3) ==> 16
(2 ** 3 + 6)         ==> 14
(2 * (3 + 6) - 7 * (4 / 3)) ==> 11
(7 * 4 / 3)         ==> 9
```

Règles de conversions de types

Une opération entre deux opérandes de même type (numérique ou CHAÎNE) donne un résultat du type de ces opérandes.

La concaténation d'un opérande de type ENTIER, avec un opérande de type CHAÎNE, donne un résultat de type CHAÎNE.

Les résultats d'évaluations d'expressions de type CHAÎNE sont convertis en éléments lexicaux de type NOM, et contrôlés comme tels.

Exemples :

```
(2 * 3.0)           ==> 6.00000E0
(2 + 3.0D0)        ==> 5.00000D0
(2.0 * 3.0D0)      ==> 6.00000D0
(2 + 3.0 * 4.0D0)  ==> 14.0000D0
('CABL' + 101)     ==> CABL101 $ nom correct
('CAB' + 'FL' + 'D01') ==> CABFLD01 $ nom correct
```

Diverses expressions plus élaborées :

```
<X = 3.0>
<Y = ((2*X*X+3*X+4)/(3*X-5))>
(Y)                                     ==> 7.750000E0
<ALFAD = 12.5>
<PI = 3.14159>
<ALFAR = (ALFAD*PI/180.0)>
<V = (3*(COS(ALFAR)**2-2*SIN(ALFAR)))>
(V)                                     ==> 1.560826E0
<KSI = 0.5D0>
<W = (LOG((1-KSI**2)/(2.5285*KSI-1.0))**0.5)>
(EXP(W))                               ==> 2.7769704796232D0
```

Certaines commandes de PCP nécessitent un titre en entrée sous la forme d'une chaîne de caractères, ce titre peut être entré directement ou par l'intermédiaire d'une variable contenant une chaîne de caractères :

```
nom = ('tassement appui' + 1)
TITRE nom

I = 1
nom = ('tassement appui' + I)
TITRE nom
```

2.10 – EXPRESSIONS VECTORIELLES OU MATRICIELLES

Règles de formation

Une expression est construite à partir d'opérateurs et d'opérandes, et mise entre parenthèses. Les opérandes sont des vecteurs ou des matrices sauf spécification contraire.

Symbole	Syntaxe ; effets
+	+ opérande ; effet nul, sur opérande numérique
-	- opérande ; changement de signe de chaque terme de l'opérande
+	opérande + opérande ; addition de deux opérandes de mêmes dimensions
+	opérande + scalaire ; addition d'un scalaire à chaque terme de l'opérande
-	opérande - opérande ; soustraction du deuxième opérande du premier
-	opérande - scalaire ; soustraction d'un scalaire à chaque terme de l'opérande
*	opérande * opérande ; multiplication de deux opérandes $a(n,p) = b(n,m) * b(m,p)$
*	vecteur * vecteur ; produit scalaire entre deux vecteurs de même dimension
*	opérande * scalaire ; multiplication par le scalaire du premier opérande
/	opérande / opérande ; résoud $ax=b$ c'est à dire $x = a/b$ avec $a(n,n)$, $b(n,m)$ et $x(n,m)$
/	opérande / scalaire ; division de chaque terme du premier opérande par le scalaire

Tableau 2.6 – Opérateurs vectoriels ou matriciels

Les règles de précedence sont les mêmes que pour les expressions sur les scalaires.

Exemples

Dim ta (2, 2) = 1
Dim tb (2, 2) = 2

```
(ta + tb)      ==> 3 3 3 3
(ta - tb)      ==> -1 -1 -1 -1
(ta * tb)      ==> 4 4 4 4
(tb + 2)       ==> 1 1 1 1
(tb - 2)       ==> 0 0 0 0
(tb * 2)       ==> 4 4 4 4
```

dim td(4, 4) = 2, -4, 4, 0, 1, -2, 1, -3, 0, 3, -2, -12, 4, -7, 8, -1
dim te(4, 2) = 2, -9, 2, 2, 2, -9, 2, 2

```
(te/td)        ==> 3 4 -1 -2 3 4 -1 -2
```

```
dim tr(4, 2)
tr = (te/td)
tr              ==> 3 4 -1 -2 3 4 -1 -2
```

2.11 - LISTES D'EXPRESSIONS

Présentation

C'est une suite d'expressions ou de termes séparées par des virgules, mise entre parenthèses.

Syntaxe

(expression [,expression, expression, ...])

Spécifications

- Chaque terme peut être une expression numérique, un tableau, un élément de tableau, une liste nommée, une variable ou une chaîne de caractères.
- Les guillemets et apostrophes délimitant les chaînes de caractères sont supprimées dans la chaîne produite.

Exemples

```
<X = 2.0>      <Y = 3.0>
(3*X*X+4.0*X+5.0, SIN(0.5*X),
4.0*LOG(Y+3.0*X+2.0)           ==> 25.0 0.841471 9.59158
(2.0*X+1.5763, 3.0*Y**X)       ==> 5.57630 27.0
("Chaine1",5,"Chaine2")       ==> Chaine1 5 Chaine2
("Chaine1 5 Chaine2")         ==> Chaine1 5 Chaine2
```

2.12 – LISTES D'EXPRESSIONS NOMMEES

Présentation

Une liste nommée est un nom associé à une suite de valeurs numériques ou de chaînes.

Syntaxe

nom_liste = v₁,v₂,v₃,v₄,,v_i,,v_n

< nom_liste = v₁,v₂,v₃,v₄,,v_i,,v_n >

nom_liste = (v₁,v₂,v₃,v₄,,v_i,,v_n)

< nom_liste = (v₁,v₂,v₃,v₄,,v_i,,v_n) >

nom_liste = vide

LIS nom_liste

avec :

- v_i : valeur numérique constante, expression, chaîne de caractère, liste nommée, tableau, élément de tableau, variable ou incrémentateur tous séparées par des virgules.
- Vide : liste vide.

Spécifications

- Un nom de liste doit être différent d'un mot-clef du langage, d'une variable ou d'un tableau.
- Un nom de liste ne peut pas être utilisé ultérieurement pour désigner une variable ou un tableau.
- Toutes les valeurs sont séparées par des caractères "," et, éventuellement, des espaces. Elles peuvent être mises entre parenthèses.
- Les guillemets et apostrophes délimitant les chaînes de caractères sont supprimées si la liste est parenthésée totalement ou localement.
- Une liste sur plusieurs lignes est codée en plaçant un caractère "," comme dernier caractère des lignes intermédiaires.
- Une liste est créée par un ordre d'affectation. Elle peut recevoir successivement plusieurs suites de valeurs, les nouvelles remplacent les anciennes. Une liste vide peut lui être affectée.
- Elle peut référencer d'autres listes et se référencer elle-même pour être complétée.
- Elle est référencée par son nom.
- Toute référence isolée renvoie le contenu de la liste.
- Toute liste référencée doit avoir été définie éventuellement vide.

Exemples

```
# Exemple de surcharge
Ls1=1,2,5 a 8
<Ls1=1 a 10>

# exemple de concaténation
Ls2=(1 a 3,x1,4,I)
pour j=1 a 5 << ls2=ls2,j >>

# liste sur plusieurs lignes
l1=1 a 3,
5 a 10,
20 a 30
ACTIVER ELEMENTS n
L1

# Liste parenthésée déquotée
<Ls3 = ("cable","matériau",10,"élément")>
Ls3          => cable matériau 10 élément

#Liste non parenthésée:non déquotée.
<Ls4 = "cable","matériau",10,"élément"> Ls4
          => "cable" "matériau" 10 "élément"

# Liste vide
Lis Ls5

# Liste vide
Ls5 = vide

# Liste vide complétée
Ls5 = Ls5, 1 a 10
```

2.13 - RÉPÉTITEURS

Présentation

Elle permet de répéter une succession de données.

Syntaxe

$n * x$

avec :

- n : élément de type ENTIER indiquant le nombre de fois que l'élément x doit être répété, positif ;
- x : élément de type numérique (ENTIER, RÉEL_SIMPLE ou RÉEL_DOUBLE).

Spécifications

- n et x peuvent être des constantes ou des expressions.
- Aucun séparateur (d'éléments lexicaux) n'est admis dans un répéteur, en dehors de l'espace ; ce qui interdit notamment son écriture sur plusieurs lignes.

Exemples

```
4*3           ==> 3 3 3 3
5 * 20        ==> 20 20 20 20 20
<A = 4>
<B = 7.0>
(A) * (B+5.0) ==> 12.0 12.0 12.0 12.0
```

2.14 - INCRÉMENTATEURS

Présentation

Il s'agit de générer une suite d'éléments de type numérique (ENTIER, RÉEL_SIMPLE ou RÉEL_DOUBLE) par ajouts successifs d'un incrément unitaire, fourni, ou calculé.

Syntaxe

$x \text{ A } y$	[de x , jusqu'à y (compris), avec un incrément unitaire]	{1}
$x \text{ A } y \text{ INC } z$	[de x , jusqu'à y (compris), avec un incrément z]	{2}
$x \text{ A } y \text{ DIV } n$	[de x , jusqu'à y (compris), avec n intervalles]	{3}
$x \text{ REP } n \text{ INC } z$	[à partir de x , répéter n fois : ajouter l'incrément z]	{4}

avec :

- x, y : éléments différents de même type numérique (ENTIER, RÉEL_SIMPLE ou RÉEL_DOUBLE) ;
- z : valeur non nulle de l'incrément, qui doit être du même type que x (et y s'il y a lieu) ; son signe doit être celui de $y-x$; dans la forme {1}, la valeur absolue de z est prise égale à 1, 1.0E0, ou 1.0D0, selon le type de x et y ;
- n : nombre entier d'intervalles égaux à générer, entre les bornes x et y , pour la forme {3} ; nombre d'incrément z à ajouter successivement à x pour la forme {4} ; doit être, dans les deux cas, supérieur ou égal à 1.

A, **INC**, **DIV** et **REP** sont des mots réservés du langage de commandes qui ne peuvent être utilisés, ni comme noms de variables, ni comme noms destinés à l'application.

x, y, z et n peuvent être des constantes, ou des expressions.

Aucun séparateur (d'éléments lexicaux) n'est admis dans un incrémentateur, en dehors de l'espace ; ce qui interdit notamment son écriture sur plusieurs lignes.

Règles de génération

La liste d'éléments générée par la forme « $x \text{ A } y$ » est la suivante :

$$x \quad x+1 \quad \cdots \quad x+i \quad \cdots \quad y \quad \text{si : } y > x \quad (2.1)$$

$$x \quad x-1 \quad \cdots \quad x-i \quad \cdots \quad y \quad \text{si : } y < x \quad (2.2)$$

Et si *ade* est l'avant dernier élément généré :

$$|y-1| \leq |ade| < |y-1.0E-6| \quad (2.3)$$

Exemples :

```

1 A 10          ==> 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
(2*5) A (2+3)  ==> 10 9 8 7 6 5
1 A -1         ==> 1 0 -1
6.0 A 8.5      ==> 6.0 7.0 8.0 8.5
5.0 A 8.000001 ==> 5.00000 6.00000 7.00000 8.000001
5.0 A 8.00001  ==> 5.00000 6.00000 7.00000 8.00000 8.00001
1 A 1          ==> erreur, bornes egales
1 A 10.0       ==> erreur, types non homogenes

```

La liste d'éléments générée par la forme « x A y INC z » est la suivante :

$$x \quad x+z \quad \dots \quad x+i \cdot z \quad \dots \quad y \quad (2.4)$$

Et si *ade* est l'avant dernier élément généré :

$$|y-z| \leq |ade| < \left| y - \frac{z}{1.0E6} \right| \quad (2.5)$$

Exemples :

```
<SECTD = 1>    <SECTF = 5>
(SECTD) A (SECTF) INC 2    ==> 1 3 5
1 A 6 INC 2                ==> 1 3 5 6
1.0 A 60.0 INC 10.0       ==> 1.0 11.0 21.0 31.0 41.0 51.0 60.0
80 A 60 INC -6            ==> 80 74 68 62 60
15.0 A 5.0 INC -2.0       ==> 15.0 13.0 11.0 9.0 7.0 5.0
1 A 5 INC 2.0              ==> erreur, types non homogenes
5.0 A 5.0                  ==> erreur, bornes egales
1 A 6 INC 0                 ==> erreur, increment nul
```

La liste d'éléments générée par la forme « x A y DIV n » est la suivante :

$$x \quad x + \frac{y-x}{n} \quad \dots \quad x + i \cdot \frac{y-x}{n} \quad \dots \quad y \quad (2.6)$$

Lorsque x et y sont de type ENTIER, c'est la partie entière de $\frac{y-x}{n}$ qui est prise comme incrément.

Exemples :

```
1 A 2 DIV 1                ==> 1 2
0 A (10+9*10) DIV 2        ==> 0 50 100
1.0 A 2.0 DIV 4            ==> 1.00 1.25 1.50 1.75 2.00
10 A 0 DIV 10              ==> 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0
1 A 20 DIV 5                ==> 1 4 7 10 13 16 19 20
1 A 2.0 DIV 1               ==> erreur, types non homogenes
0 A 100 DIV 2.0            ==> erreur, nombre d'intervalles reel
1 A 2 DIV 2                 ==> erreur, increment entier calcule nul
```

La liste d'éléments générée par la forme « x REP n INC z » est la suivante :

$$x \quad x+z \quad \dots \quad x+i \cdot z \quad \dots \quad x+n \cdot z \quad (2.7)$$

Exemples :

```
<CINQE = 5>
1 REP (CINQE) INC 2        ==> 1 3 5 7 9 11
1.0 REP 3 INC 1.2          ==> 1 2.2 3.4 4.6
1.0 REP 5.0 INC 2.0        ==> erreur, nombre d'increments reel
1.0 REP 3 INC 0.0          ==> erreur, increment nul
1.0 REP 3 INC 2             ==> erreur, types non homogenes
```

2.15 - LISTE DIRIGÉE

Présentation

C'est une liste d'entités enfermée dans une « boîte » (< >) et répétée autant de fois qu'une variable reçoit de valeurs affectées dans une boîte englobante (forme d'écriture simple de niveau 1 d'imbrication, {1}).

Dans une forme plus élaborée, une liste dirigée peut être contenue dans une autre liste dirigée, par imbrication, de manière récurrente (forme d'écriture imbriquée de niveau supérieur, {2}).

Syntaxes

liste_dirigee <==> <<liste_entites> nom_variable = liste_entites_numeriques> {1}

liste_dirigee <==> <liste_dirigee nom_variable = liste_entites_numeriques> {2}

avec :

- liste_entites : liste de constantes, variables, répéteurs, incrémenteurs, séparateurs et/ou listes d'expressions, définissant des données de types quelconques (ENTIER, RÉEL_SIMPLE, RÉEL_DOUBLE ou CHAÎNE) ;
- nom_variable : nom d'une variable affectée ;
- liste_entites_numeriques : liste de constantes, variables, répéteurs, incrémenteurs, séparateurs et/ou listes d'expressions, du même type numérique (ENTIER, RÉEL_SIMPLE ou RÉEL_DOUBLE).

Le nombre maximum de niveaux d'imbrication est paramétrable.

Toutes les variables, affectées à un niveau d'imbrication donné, peuvent être invoquées dans des entités figurant à un niveau moins élevé, donc plus interne.

Règles d'évaluation et de génération

Pour une liste dirigée de la forme {2}, la variable reçoit les valeurs successives de la liste d'entités numériques, liste_entites_numeriques, parcourue de gauche à droite, et la liste dirigée imbriquée, liste_dirigee, est traduite pour chacune de ces valeurs.

Lorsque la liste dirigée restant à évaluer est de la forme {1}, la liste d'entités, liste_entites, est traduite pour chacune des valeurs successives prises par la variable.

Cette suite d'évaluations successives de la liste d'entités construit la liste de données définie par la suite d'imbrications de listes dirigées.

L'ordre récurrent d'évaluation est donc le suivant :

- la liste dirigée la moins imbriquée ;
- la liste d'entités numériques qui lui correspond, parcourue de gauche à droite ;
- la liste dirigée de niveau immédiatement inférieur, ou la liste d'entités, parcourue de gauche à droite.

Les séparateurs d'éléments lexicaux ou d'expressions (fins de lignes, virgules ou autres) figurant dans les listes d'entités numériques sont acceptés et considérés comme non significatifs.

Ceux qui figurent dans les listes d'entités sont acceptés et considérés comme significatifs, donc transmis à l'application.

C'est le cas en particulier des fins de lignes, qui, insérées de manière judicieuse, permettent de produire des listes de valeurs ayant une certaine structure, donc plus facilement vérifiables.

Exemples :

```
<<4.0> X = 1 A 5>      ==> 4.0 4.0 4.0 4.0 4.0
<<1 A 5> X = 1 A 2>    ==> 1 2 3 4 5 1 2 3 4 5
<< $ la fin de ligne inseree ici est integree aux donnees generees
1 A 5> X = 1 A 3>      ==> 1 2 3 4 5
                           1 2 3 4 5
                           1 2 3 4 5
$ lorsque X n'est pas entre parentheses, il est considere comme un nom
<<X 0 0> X = 1 A 5>    ==> X 0 0 X 0 0 X 0 0 X 0 0 X 0 0
$ X entre parentheses, est traduit en son equivalent numerique
<<(X) 0 0> X = 1 A 5>  ==> 1 0 0 2 0 0 3 0 0 4 0 0 5 0 0
<<
(COS(S/100.0), SIN(S/100.0), 0.05*S)>
S = 0.0 A 100.0 DIV 5>    ==> 1.000      0.000      0.000
                           0.9800666  0.1986693  1.000
                           0.9210610  0.3894183  2.000
                           0.8253356  0.5646425  3.000
                           0.6967067  0.7173561  4.000
                           0.5403023  0.8414710  5.000
<T=3>
$ 3*(T) est un repetiteur, alors que (3*T) est une expression
<<(4*X*X+5*X+6) 0 0> X = 0 (1+1)
(T, T+2) 3*(T) (3*T) A (5*T)> ==> 6   0 0 32  0 0 57  0 0 131 0 0
                           57  0 0 57  0 0 57  0 0 375 0 0
                           456 0 0 545 0 0 642 0 0 747 0 0
                           860 0 0 981 0 0
$ fibre repere droite de 200 m de longueur, ayant un point tous les 2 m
$ l'utilisation de DIV 100 plutot que INC 2.0 empeche un dedoublage
$ des sections, a une tolerance pres, a l'abscisse 200.0
FIBRE REPERE 101 3
<<
(X) 5*0.0> X = 0.0 A 200.0 DIV 100> ==> FIBRE REPERE 101 3
                           0.00   0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
                           2.00   0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
                           .....
                           200.00 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
$ fibre repere a 9 points, regulierement espaces, sur un cercle de 100 m
$ de rayon ; angle de devers constant de 2 degres
$ la variable TR (angle en radians), fonction de T (angle en degres) est
$ connue au niveau d'imbrication le plus interne
<PI = 3.141593>   <R = 100.0>   <XC = 86.6025>   <YC = -60.0>
FIBRE REPERE 9 3
<<<
(XC+R*COS(TR), YC+R*SIN(TR), 0.0, T-90.0, 0.0, 2.0)> TR = (T*PI/180.0)>
T = 150.0 A 30.0 DIV 8> ==> FIBRE REPERE 9 3
                           -0.53406E-04 -10.00000 0.0 60.000 0.0 2.0
                           15.89181      10.71066 0.0 45.000 0.0 2.0
                           36.60249      26.60254 0.0 30.000 0.0 2.0
                           60.72058      36.59258 0.0 15.000 0.0 2.0
                           86.60249      40.000   0.0  0.000 0.0 2.0
                           112.4844      36.59259 0.0 -15.000 0.0 2.0
                           136.6025      26.60255 0.0 -30.000 0.0 2.0
                           157.3132      10.71069 0.0 -45.000 0.0 2.0
                           173.2050      -10.000   0.0 -60.000 0.0 2.0
```

\$ serie de six sections massives rectangulaires de 2 m de largeur
 \$ dont la hauteur varie paraboliquement de 3 m a 2 m

<<<

SECTION MASSIVE ('SECT' + CPTR('X')) 0

4

\$ contour exterieur et points de calcul des contraintes normales

-1.0 0.0 -1.0 (-H) 1.0 (-H) 1.0 0.0

-1.0 0.0 -1.0 (-H) 1.0 (-H) 1.0 0.0

0.0 0.0 5*1.0 3*0.0 0.0> \$ donnees fictives

H = (X*X/225.0+2.0)>

X = -15.0 A 0.0 DIV 5>

==> SECTION MASSIVE SECT1 0

4

-1.000 0.0 -1.000 -3.000 1.0 -3.000 1.0 0.0

-1.000 0.0 -1.000 -3.000 1.0 -3.000 1.0 0.0

0.0 0.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 0.0 0.0 0.0

SECTION MASSIVE SECT2 0

4

-1.000 0.0 -1.000 -2.64000 1.0 -2.64000 1.0 0.0

-1.000 0.0 -1.000 -2.64000 1.0 -2.64000 1.0 0.0

0.0 0.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 0.0 0.0 0.0

SECTION MASSIVE SECT3 0

4

-1.000 0.0 -1.000 -2.36000 1.0 -2.36000 1.0 0.0

-1.000 0.0 -1.000 -2.36000 1.0 -2.36000 1.0 0.0

0.0 0.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 0.0 0.0 0.0

SECTION MASSIVE SECT4 0

4

-1.000 0.0 -1.000 -2.16000 1.0 -2.16000 1.0 0.0

-1.000 0.0 -1.000 -2.16000 1.0 -2.16000 1.0 0.0

0.0 0.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 0.0 0.0 0.0

SECTION MASSIVE SECT5 0

4

-1.000 0.0 -1.000 -2.04000 1.0 -2.04000 1.0 0.0

-1.000 0.0 -1.000 -2.04000 1.0 -2.04000 1.0 0.0

0.0 0.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 0.0 0.0 0.0

SECTION MASSIVE SECT6 0

4

-1.000 0.0 -1.000 -2.000 1.0 -2.000 1.0 0.0

-1.000 0.0 -1.000 -2.000 1.0 -2.000 1.0 0.0

0.0 0.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 0.0 0.0 0.0

\$ liste d'incidences

<<(I, I+1) > I = 1 A 10> ==> 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9 10

\$ liste de noms de cables

<<

('CAB' + IC + 'D') > IC = 10 A 15> ==> CAB10D

CAB11D

CAB12D

CAB13D

CAB14D

CAB15D

\$ liste dirigee a trois niveaux d'imbrication, le calcul se developpe

\$ comme trois boucles imbriquees, celle relative a z est la plus externe

\$ la sortie est remise en forme, pour la lisibilite

\$ cette ecriture produit normalement un triplet de valeurs par ligne

<<<<

(x,y,z) > x = 1 A 2>

y = 1 A 3>

z = 1 A 4>

==> 1 1 1

2 1 1

1 2 1 2 2 1

1 3 1 2 3 1

1 1 2 2 1 2 1 2 2 2 2 2 1 3 2 2 3 2 \$ z = 1, y = 1, x = 1

1 1 3 2 1 3 1 2 3 2 2 3 1 3 3 2 3 3 \$ z = 1, y = 1, x = 2

1 1 4 2 1 4 1 2 4 2 2 4 1 3 4 2 3 4 \$ z = 1, y = 2, x = 1, 2

1 1 4 2 1 4 1 2 4 2 2 4 1 3 4 2 3 4 \$ z = 1, y = 3, x = 1, 2

1 1 4 2 1 4 1 2 4 2 2 4 1 3 4 2 3 4 \$ z = 2, idem

1 1 4 2 1 4 1 2 4 2 2 4 1 3 4 2 3 4 \$ z = 3, idem

1 1 4 2 1 4 1 2 4 2 2 4 1 3 4 2 3 4 \$ z = 4, idem

2.16 - CONCATENATEUR

Présentation

Il s'agit de concaténer des noms et des valeurs entières en dehors des expressions.

Syntaxe

nom & nom/v

Avec :

- nom : terme lexical du type nom.
- v : valeur numérique du type entier.

Spécifications

- Les valeurs numériques v peuvent être des constantes ou des expressions.
- Le terme de gauche ne doit pas être un numérique.
- Les instructions "&" peuvent s'enchaîner.
- La différence entre une concaténation dans une expression et celle-ci est que la présence de guillemets ou d'apostrophes est nécessaire dans une expression mais pas ici.

Exemples

```
APPUI & 1           ==> APPUI1
APPUI & AA & 1      ==> APPUIAA1
APPUI & 1 & AA & 1  ==> APPUI1AA1
n=5
APPUI & n           ==> APPUI5
n=5
("APPUI" + n)      ==> APPUI5
```


2.17 - BOUCLE DE REPETITION

Présentation

Elle permet de répéter une succession de données ou d'instructions.

Syntaxe

POUR i = liste

<<

Instruction [Instruction ...]

>>

POUR i = liste << Instruction [Instruction ...] >>

Avec :

- i : nom de la variable,
- liste : liste des valeurs affectés à la variable i sous forme de liste nommées, listes explicites ou de suites de valeurs séparées par des ",".
- Instruction : instruction ou fin de ligne.

Spécifications

- Une boucle de répétition peut être imbriquée dans une autre boucle.
- L'instruction PASSER permet d'aller directement à la fin de la boucle courante.
- L'instruction BRISER arrête le processus itératif.

Exemple 1

```
k=0
POUR i=1 a 10
  <<
    POUR j=1 a 5
      <<
        k=k+1
        SI (k>10) BRISER
        k # Valeur fournie en donnée
      >>
    >>
  >>
```

Exemple 2

```
k=0
POUR i=1 a 10 << POUR j=1 a 5 << k=k+1 SI (k>10) BRISER k >> >>
```

Exemple 3

Dans le cas d'une commande PCP nécessitant un titre en entrée et incluse dans une boucle, il peut être intéressant de paramétrer ce titre afin de créer autant de titres différentes qu'il y a d'itérations :

```
POUR j=1 a 5
  <<
  nom = ('tassement appui' + j)
  TITRE nom
  >>
```

Ceci est particulièrement intéressant lors de la visualisation des résultats : les titres étant différents, PCP reconnaîtra des cas différents et chaque courbe aura une couleur unique.

2.18 - INSTRUCTION PASSER

Présentation

Cette instruction permet d'ignorer les instructions suivantes jusqu'à la fin de la boucle courante.

Syntaxe

PASSER

Spécifications

- Doit être placée dans une instruction POUR.
- Elle ignore ce qui la suit jusqu'au premier double chevron fermant ">>" de la boucle courante et continue le processus itératif de la boucle courante.

Exemple 1

```
k=0
Pour i = 1 a 10
  <<
  SI ( i == 5 ) PASSER
  K=k+1
  >>
```

est équivalent à

```
k=0
Pour i = 1 a 4,6 a 10
  <<
  k=k+1
  >>
```

Exemple 2

```
k=0
Pour i = 1 a 10
  <<
  Pour j = 1 a 10
    <<
    SI (j == 5) PASSER
    k=k+1
    >>
  >>
```

est équivalent à

```
k=0
Pour i = 1 a 10
  <<
  Pour j = 1 a 4,6 a 10
    <<
    k=k+1
    >>
  >>
```

2.19 - INSTRUCTION BRISER

Présentation

Cette instruction permet d'arrêter le processus d'une boucle et de rendre le contrôle à l'instruction englobante.

Syntaxe

BRISER

Spécifications

- Elle doit être placée dans une instruction POUR.
- Elle ignore ce qui la suit jusqu'au premier double chevron fermant ">>" de la boucle courante et arrête le processus itératif de la boucle courante.
- En présence de plusieurs boucles imbriquées, elle est équivalente à un "GOTO" vers l'instruction qui suit la fin de la boucle en cours de traitement.

Exemple 1

```
k=0
Pour i = 1 a 10
  <<
  SI (i == 5) BRISER
  k=k+1
  >>
```

est équivalent à

```
k=0
Pour i = 1 a 4
  <<
  k=k+1
  >>
```

Exemple 2

```
k=0
Pour i = 1 a 10
  <<
  Pour j = 1 a 10
    <<
    SI (j == 5) BRISER
    k=k+1
    >>
  >>
```

est équivalent à

```
k=0
Pour i = 1 a 10
  <<
  Pour j = 1 a 4
    <<
    k=k+1
    >>
  >>
```

2.20 - INSTRUCTION CONDITIONNELLE

Présentation

Elle permet de réaliser ou non certaines instructions en fonction des valeurs testées.

Syntaxe

SI (expression_logique) instruction simple ou bloc d'instructions

[SINON instruction simple ou bloc d'instructions]

Avec :

- Instruction simple : instruction qui ne comporte pas de fin de ligne.
- Bloc d'instructions : << suite d'instructions simples ou de fins de lignes >>

Spécifications

- L'instruction POUR écrite sur une seule ligne est une instruction simple.
- L'instruction conditionnelle écrite sur une seule ligne est une instruction simple.

Exemple

```
k=0
SI ( i > 2 )
  <<
    SI ( j == 3 ) POUR jj=1 a 10 << APPUI (jj) >>
    SINON
      <<
        jj=1   APPUI  jj
        jj=2   APPUI  jj
      >>
  >>
SINON  APPUI 2
```

2.21 – EXPRESSION LOGIQUE

Présentation

Elle permet de réaliser des opérations Booléennes. Les expressions logiques sont formées d'opérateurs et de regroupements entre parenthèses d'opérateurs qui permettent de les combiner entre eux.

Opérateurs de comparaison

Fonction	symbole
Egal	= ou ==
différent	/=
strictement supérieur	>
strictement inférieur	<
supérieur ou égal	>=
inférieur ou égal	<=

Tableau 2.7 - Opérateurs de comparaison

Opérateurs logiques

Fonction	symbole
OU logique	OU
ET logique	ET
Négation	NON

Tableau 2.8 - Opérateurs logiques

Spécifications

- Les expressions logiques obéissent à la même combinatoire que les expressions logiques du fortran.
- Une expression logique ne peut figurer que dans une instruction conditionnelle.

Exemples

```

SI ( a1==a2 ET (a1>2 OU a2>3) )
  <<
  NÆUD 1
  >>
SINON
  <<
  NÆUD 2
  >>

SI (NON(a==1) ET NON(a==3)) NÆUD 5

```

2.22 - INSTRUCTION LIRE

Présentation

Cette instruction permet de lire des données dans un fichier.

Syntaxe

LIRE Fichier

LIRE 'Fichier'

LIRE "Fichier"

Avec :

- Fichier : nom du fichier à lire.

Spécifications

- Le fichier doit être placé dans le répertoire courant.
- la casse du nom du fichier est prise en compte

Exemple

```
Lire 'SECTION1.DON'
```

2.23 - INSTRUCTION RETOURNER

Présentation

Cette instruction permet d'arrêter de lire des données dans un fichier.

Syntaxe

RETOURNER

Spécifications

- La partie du fichier de données placée après cette instruction est ignorée.
- Elle est en général utilisée comme instruction conditionnelle.

Exemple

```
SI (napp == 0) RETOURNER
```


2.24 - DIFFERENCES LANGAGES PCP/ST1

Fonction	Langage PCP	Langage ST1
Affectation variable	$\langle x = v \rangle$ $x=v$	$x=v$
Liste nommée	$l=v1,,,vi,,,vn$ LIS $l=v1,,,vi,,,vn$	$l=v1,,,vi,,,vn$
Tableau à deux dimensions	DIM $t(nl,nc)$	Pas de tableau à deux dimensions
Initialisation globale de tableaux	DIM $t(nl)=1$ a nl DIM $t(nl)=1$ T=1 a nl	Pas d'initialisation globale
Répétiteur	$n*v$	Pas de répétiteur
Incrémentateur évolué	I a j inc n	I a j pas n
Concaténation	('aaaa'+i) Aaaa & i	Aaaa & i
Expressions	(Expression parenthésée)	Expression sans espace (Expression parenthésée)
Expressions vectorielles	Oui	Non
Expressions matricielles	Oui	Non
Liste dirigée	$\langle\langle$ expressions, $\rangle\rangle$ $v=$ liste \rangle	Pas de liste dirigée

Tableau 2.9 – Tableau des différence de langage

Chapitre 3

Coffrage et câbles de base

INTRODUCTION

SOMMAIRE

3.1 - POUTRE

3.2 - TITRE

3.3 - GENERALITES

3.4 – FIBRE REPERE

3.5 – SECTION MASSIVE

3.6 – SECTION CONTOURS ENTIERE

3.7 – SECTION CONTOURS PARTIELLE

3.8 – SECTION PAROIS

3.9 – AFFECTATION SECTION

3.10 - TRONCONS

3.11 - ARTICULATIONS

3.12 – EPAISSEURS PAROIS

3.13 - MATERIAU

3.14 – AFFECTATION MATERIAUX

3.15 – CARACTERISTIQUES CABLES

3.16 – TRACE CABLE

3.17 - FIN

Introduction

Ce chapitre décrit les données nécessaires à la définition d'une poutre (spatiale), comprenant son coffrage, son câblage « minimum » (avant duplication éventuelle) et ses matériaux.

Données

Il faut produire un fichier par poutre, sa taille n'étant pas limitée. En particulier le nombre des commandes à introduire n'est pas limité, de même que le volume de données possible associé à une commande particulière. Par exemple, on peut introduire autant de sections génériques et de câbles que l'on veut, et autant de points de définition d'une section ou d'un câble que nécessaire (mémoire allouée dynamiquement).

Aucune commande « excédentaire » n'est tolérée, et aucune donnée excédentaire dans une commande (sections en réserve non affectées, points d'un câble surnuméraires, relativement au nombre annoncé ...).

Les données présentées dans un ordre logique et hiérarchique, pour leur description, peuvent être introduites dans un ordre quelconque (hormis les commandes de début et fin de fichier), les références en avant étant possibles (section partielle définie par rapport à une section entière non encore définie, section affectée et non encore définie ...).

L'ordre d'entrée détermine cependant l'ordre de stockage interne de certaines entités et leur ordre d'apparition dans les résultats numériques (sections, câbles ...).

En l'absence de délimiteur de fin, chaque commande du module GE1 doit débiter sur une nouvelle ligne et le premier saut de ligne du libellé est à respecter. Par contre, le découpage en lignes, des données qui suivent un en-tête de commande, est libre.

Sauf indication contraire, toutes les numérotations sont consécutives à partir de un et toutes les coordonnées en deux dimensions sont fournies dans les repères génériques $o_i y_i z_i$ des sections.

Seuls les noms de matériaux de base, de câbles-types et de tracés de câbles, qui sont « visibles en dehors » des données de la poutre doivent différer d'une poutre à l'autre.

Mode d'analyse

Le module GE1 effectue une analyse des données (doublée d'un contrôle), de type compilation, par niveaux hiérarchiques, et balayages successifs de l'ensemble du fichier, du plus général au plus fin, en s'arrêtant au niveau où se produisent les premières erreurs.

Le nombre d'erreurs possibles à détecter n'est pas limité pour un niveau, mais la détection d'une erreur d'un certain niveau de gravité, pour une commande, peut empêcher la recherche d'autres erreurs du même niveau.

Par exemple la rencontre d'un mot-clé erroné sur une section empêche d'en analyser le contenu et la détection d'une valeur entière ou réelle lexicalement erronée dans une liste (alpha)numérique provoque l'arrêt de son analyse.

Enchaînement des traitements

Si le module GE1 n'a détecté aucune erreur du plus bas niveau, le module GE3 s'exécute, qui effectue certains contrôles complémentaires.

Le module GE5 ne s'exécute que si le module GE3 n'a détecté aucune erreur. Si son exécution se termine avec succès, la poutre est déclarée enregistrée en base de données, et utilisable pour être dessinée ou intégrée au modèle mécanique général.

Éditions

Le module GE1 fournit un rappel sous forme claire des données introduites, ainsi qu'un premier état de transformation.

Les modules GE3 et GE5 fournissent les résultats des divers traitements géométriques et mécaniques.

Le volume de ces sorties est modulable globalement.

Sommaire

Commande	Page
3.1 - POUTRE.....	3-6
3.2 - TITRE.....	3-7
3.3 - GENERALITES	3-8
3.4 – FIBRE REPERE	3-11
3.5 – SECTION MASSIVE	3-15
3.6 – SECTION CONTOURS ENTIERE	3-18
3.7 – SECTION CONTOURS PARTIELLE.....	3-29
3.8 – SECTION PAROIS	3-31
3.9 – AFFECTATION SECTION	3-33
3.10 - TRONCONS.....	3-34
3.11 - ARTICULATIONS	3-36
3.12 – EPAISSEURS PAROIS.....	3-37
3.13 - MATERIAU	3-38
3.14 – AFFECTATION MATERIAUX	3-40
3.15 – CARACTERISTIQUES CABLES	3-41
3.16 – TRACE CABLE	3-43
3.17 - FIN.....	3-48

3.1 - POUTRE

POUTRE no_poutre

Paramètres

- no_poutre : numéro d'identification de la poutre, de 1 à 9999. La numérotation des poutres peut ne pas être consécutive (numérotation *externe*).

Fonctions

Cette commande marque le début des données d'une poutre et fournit un numéro sous lequel elle sera enregistrée, si elle est validée.

Si ce numéro correspond à une poutre enregistrée en base de données, la nouvelle poutre remplace l'ancienne.

L'ordre d'enregistrement des poutres d'un modèle n'est pas imposé, relativement à leurs numéros.

Conditions d'emploi

- Doit constituer la première ligne du fichier de commandes.

Exemples

```
POUTRE 100  
.....  
.....  
FIN
```

Commandes liées

TITRE ; MATERIAU ; CARACTERISTIQUES CABLES ; TRACE CABLE ; FIN

3.2 - TITRE

TITRE titre_poutre

Paramètres

- titre_poutre : chaîne de caractères.

Fonctions

La première commande TITRE rencontrée détient l'intitulé principal de la poutre, qui figure en tête de chaque page des sorties numériques (des modules GE1, GE2, GE3, GE4, GE5 ou MC2), et de chaque dessin (des modules GE2 ou GE4), s'y rapportant.

On retrouve également cet intitulé principal dans les résultats du module PH1.

Le contenu de toutes les commandes TITRE (y compris la première) est également reproduit au début des résultats du module GE1.

Conditions d'emploi

- Introduire au moins une commande de ce type.

Exemples

```
TITRE  '*** VIADUC D'ACCES B, TABLIER ***'  
TITRE  '-----'
```

Commandes liées

POUTRE

3.3 - GENERALITES

GENERALITES nb_sigma nb_tau type_s orig_s type_sp type_gth nb_hou type_noe

Paramètres

Se reporter à la figure 3.4 et à la commande TRACE CABLE.

Pour toutes les sections, on suppose constants et positifs les nombres de points de calcul des contraintes de chacun des deux types ci-dessous, on parle alors de « fibres de calcul ».

- nb_sigma : nombre de fibres de calcul des contraintes normales, positif ;
- nb_tau : nombre de fibres de calcul des contraintes tangentes et normales, positif ;
- type_s : mode de calcul des abscisses curvilignes approchées des points de la fibre repère ; ces abscisses servent éventuellement à positionner certains câbles le long de la poutre ; les abscisses des points/pôles de définition des câbles qui les utilisent doivent être définies selon la même convention, indiquer :
 - 1 si on projette la fibre repère sur le plan $X_pO_pY_p$ du repère poutre (vue en plan) ;
 - 2 si on travaille en trois dimensions ;
- orig_s : position de l'origine des abscisses curvilignes, relativement à la première section, supposée commune à tous les câbles positionnés longitudinalement en repère absolu ; cette valeur est utilisée également par le module MC1 pour opérer des transformations de câblage de type longitudinal absolu ;
- type_sp : mode d'obtention des rapports « surface/périmètre extérieur » des sections ; ces valeurs sont utilisées par le module PH3, en mode CALCUL RHÉOLOGIQUE FIN, dans certaines lois de retrait et fluage des matériaux (voir documents de référence mentionnés dans l'annexe B), indiquer :
 - 1 si ces valeurs sont calculées, avec fourniture, pour chaque section, d'une largeur de revêtement à déduire éventuellement du périmètre extérieur ;
 - 2 si ces valeurs sont fournies ;
- type_gth : mode d'obtention des cotes génériques enveloppes de toutes les sections, utiles au module PH3 pour évaluer les effets des gradients thermiques appliqués directement sur la poutre (voir chapitre 8, options LOCAL Z et POUTRE de la commande CHARGEMENT [IDENTIQUE] THERMIQUE), indiquer :
 - 1 si ces cotes sont à calculer pour tous les points de chaque section (valeurs enveloppes vraies) ;
 - 2 si ces cotes sont à calculer le long d'une parallèle à l'axe $o_i z_i$ générique passant par le centre de gravité de chaque section (enveloppe de matière rencontrée) ;
- nb_hou : nombre de hourdis de la poutre, indiquer :
 - 0 si la poutre n'est pas constituée exclusivement de sections à contours avec morphologie, ou si on ne désire pas faire calculer les coefficients corrigeant les contraintes tangentes par les efforts de flexion (effet Résal dû à l'effort normal et aux moments de flexion) ;
 - une valeur positive correspondant au nombre de hourdis « généralisés » des sections, formés en excluant les « âmes » et leurs prolongements (figure 3.1), et supposé constant le long de la poutre, sinon.

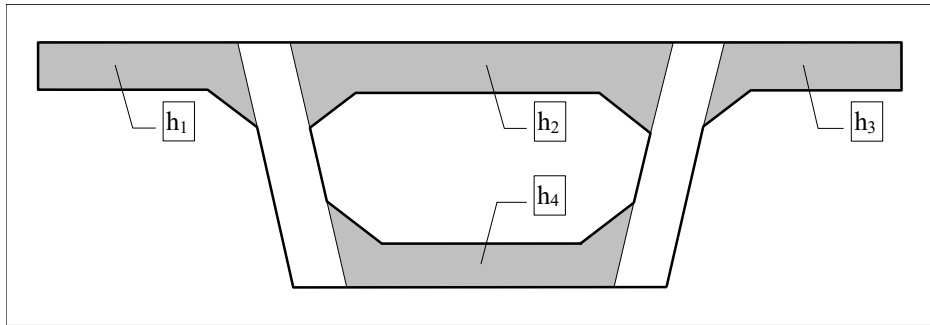


Figure 3.1 - Section à 4 hourdis généralisés

- `type_noe` : mode de traitement des lignes moyennes de nœuds des sections à contours, indiquer :
 - 0 en cas d'absence de telles sections ;
 - 1 si les centres de gravité des « pieuvres » de modélisation doivent coïncider avec ceux des nœuds ;
 - 2 si les centres de gravité des nœuds doivent être pris comme points centraux des-dites pieuvres.

Fonctions

Cette commande fournit les données et options générales, s'appliquant à toute la poutre.

Conditions d'emploi

- Introduire une seule commande de ce type.

Conseils méthodologiques

- Si la fibre repère est contenue dans un plan parallèle au plan $X_pO_pY_p$ du repère poutre, les abscisses curvilignes approchées peuvent être calculées en deux ou trois dimensions (résultats équivalents), si ce n'est pas le cas, on travaille en général en trois dimensions.
- Le choix du mode de calcul des cotes enveloppes pour gradients thermiques est directement lié à la forme de la section.

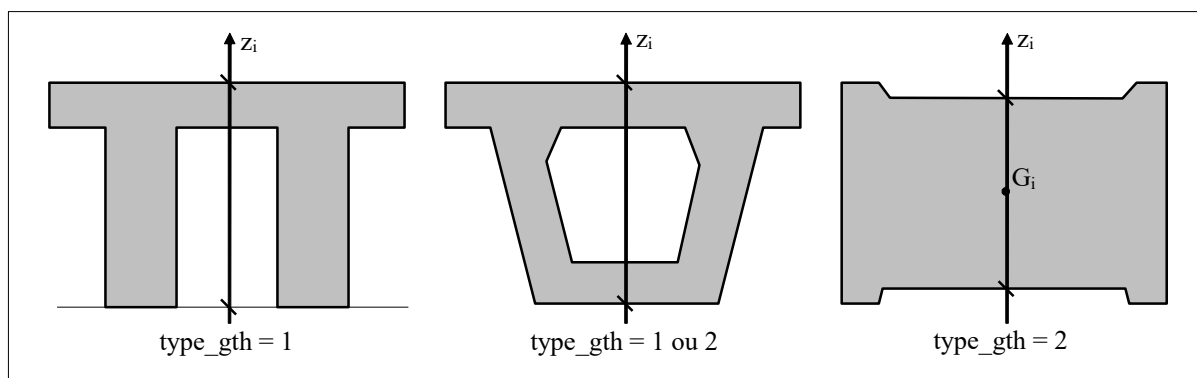


Figure 3.2 - Enveloppes de coffrage pour gradients thermiques

- Le choix du mode de traitement des nœuds des sections à contours influence leurs caractéristiques mécaniques de cisaillement, et les contraintes tangentes calculées.
- Avec `type_noe = 1`, les moments statiques de la poutre modélisant un nœud équilibrent rigoureusement ceux du polygone correspondant. En contrepartie, le découpage est plus délicat à réaliser, les lignes (moyennes) de circulation du cisaillement sont souvent allongées, les épaisseurs de parois diminuées, et les sections assouplies, les contraintes de cisaillement se trouvant modifiées.
- Dans la plupart des cas, les décalages de centres de gravité imputables à un nœud sont compensés totalement (en cas de symétrie) ou partiellement et le choix `type_noe = 2` simplifie le découpage et améliore la qualité des caractéristiques mécaniques en cause et des flux de cisaillement.
- En règle générale, choisir `type_noe = 1` si on veut maintenir la stricte compatibilité avec des résultats de calculs « antérieurs ».
- Sinon, le choix `type_noe = 2` donnera de meilleurs résultats, surtout en cas d'absence de goussets aux jonctions nœuds-branches et de découpage des nœuds « au plus juste ».

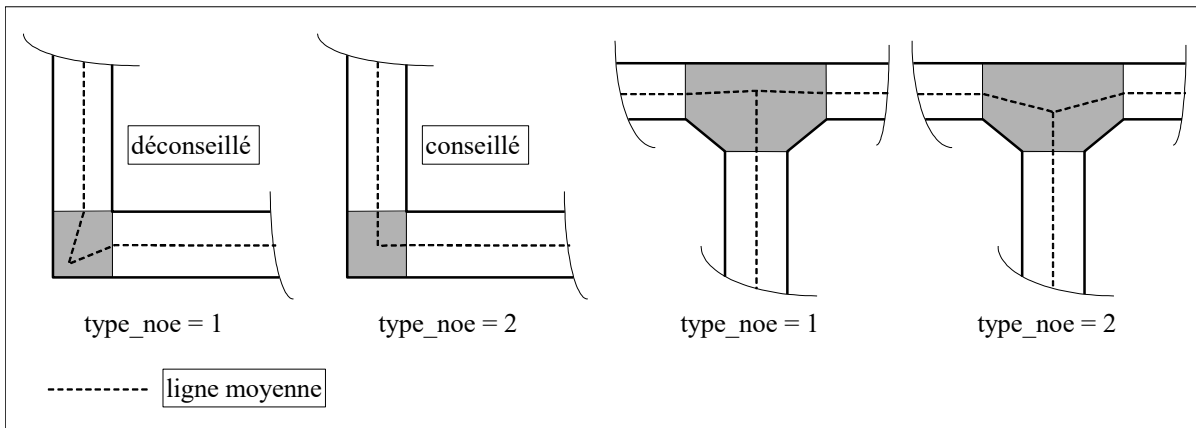


Figure 3.3 - Sections à contours, lignes moyennes des nœuds selon mode de traitement

Exemples

```

$          nb_sigma nb_tau type_s orig_s type_sp type_gth nb_hou type_noe
GENERALITES 2         4         2   0.0     1         1         4         1
    
```

Commandes liées

FIBRE REPERE ; SECTION MASSIVE ; SECTION CONTOURS ENTIERE
 SECTION CONTOURS PARTIELLE ; SECTION PAROIS ; EPAISSEURS PAROIS
 TRACE CABLE

3.4 – FIBRE REPERE

FIBRE REPERE nb_points nb_angles
 <x_point y_point z_point $\langle\theta_i\rangle_{nb_angles} \rangle_{nb_points}$

Paramètres

- nb_points : nombre de points de définition de la fibre repère, au moins 2 ; la numérotation de ses points ou sections détermine le sens de parcours de la poutre ;
- nb_angles : nombres d'angles de positionnement des repères génériques, toujours égal à 3 ;
- x_point, y_point, z_point : coordonnées de l'origine d'un repère générique, en repère poutre ; respecter entre les points consécutifs une distance minimale de 0.02 m (calculée conformément à la valeur attribuée au paramètre type_s de la commande GENERALITES) ;
- θ_1 : angle de tracé en plan, devant garder la même définition pour tous les points (variations brutales interdites) ;
- θ_2 : angle de profil en long, inférieur à 85.0 en valeur absolue ;
- θ_3 : angle de dévers, inférieur à 45.0 en valeur absolue.

Cette triple rotation normalisée (voir figure 1.2) oriente le repère générique courant par rapport au repère poutre.

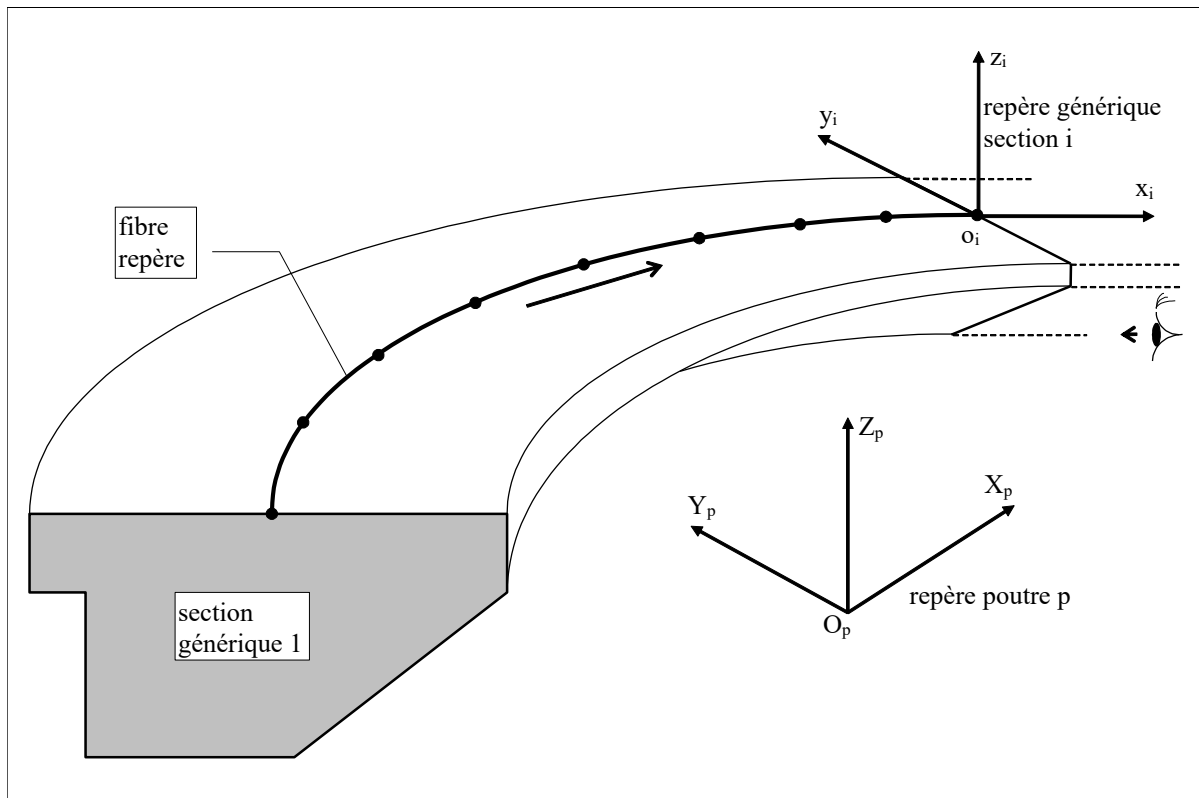


Figure 3.4 - Fibre repère

Fonctions

Cette commande définit point par point la ligne de référence (fibre repère), dans le repère poutre, ainsi que le découpage longitudinal de la poutre en sections de définition (sections génériques).

On convient de dire que la section générique i est définie dans le repère $o_i y_i z_i$; l'axe x_i , normal au plan de section générique, est d'orientation voisine de celle de la tangente à la fibre repère.

Effectuons une coupure au niveau de la section i , en ne conservant que le tronçon de poutre $[1 .. i]$; l'observateur placé dans la partie restante voit la section à définir « par la droite ».

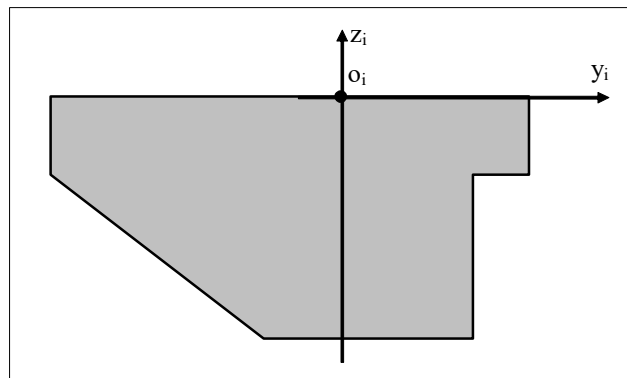


Figure 3.5 - Section générique i vue de droite, repère 2D

Conditions d'emploi

- Introduire une seule commande de ce type.

Conseils méthodologiques

- La précision d'acquisition des coordonnées est meilleure lorsque l'origine du repère attaché à une poutre est voisine du « milieu » de sa fibre repère ; ce conseil doit s'appliquer particulièrement aux poutres dont la longueur curviligne dépasse 1000.0.
- L'axe X_p du repère poutre peut être orienté sensiblement selon la « direction moyenne de développement de la poutre » ; son sens coïncide alors souvent avec le sens de parcours choisi (non obligatoire).
- Si les sections de la poutre ont une partie variable et une partie constante, on peut rattacher l'origine du repère générique courant à la partie constante de chaque section (hourdis d'un tablier en caisson de largeur constante).
- Si la poutre supporte effectivement une circulation, le positionnement de la fibre repère au niveau de l'axe de la chaussée rend possible sa réutilisation comme élément d'un SUPPORT de charges (voir chapitre 9).
- Si les sections possèdent un axe de symétrie de coffrage et/ou de câblage, on peut disposer l'axe $o_i z_i$ sur cette axe ou parallèlement à lui.
- Les points de passage de câbles étant définis en repères génériques, il faut positionner l'axe $o_i y_i$ de manière à entrer les coordonnées de la façon la plus commode.

- Pour l'inclinaison du repère générique en plan, on peut choisir la tangente à la fibre repère.
- Pour l'inclinaison en élévation, c'est le mode de définition des points/pôles de câbles situés en dehors des sections qui détermine le choix, entre la tangente à la fibre repère ou une direction voisine (sections génériques verticales ou non sur un tablier en pente).
- L'angle de dévers peut être intégré à la section, lors de sa définition, si elle n'est pas symétrique transversalement.
- À chaque section générique correspond une section de modélisation et de calcul, et au moins un nœud du modèle mécanique général.
- Intégrer les particularités géométriques du coffrage, en particulier, absorber les discontinuités de sections, à l'aide d'éléments de transition « courts », qui absorberont les sauts de fibre moyenne (voir commande TRONCONS).
- Resserrer les sections dans les parties de poutres où les caractéristiques varient rapidement.
- Prendre en compte toutes les sections effectivement utilisées pour simuler le processus de construction (joints de voussoirs ...).
- Le découpage longitudinal d'une poutre mise en place par poussage doit vérifier des contraintes particulières (voir annexe D).
- Intégrer toutes les sections recevant des appuis provisoires ou définitifs.
- Si on utilise le module MC1 pour générer des câbles par transformations longitudinales de type relatif, les parties de poutres où sont définis des câbles de base et celles recevant des câbles dupliqués, doivent avoir la même répartition de sections.
- Les changements de matériaux de base s'opèrent au niveau de plans de sections génériques.
- des considérations réglementaires peuvent conduire à ajouter des sections de vérification.
- Si elles sont applicables, les corrections d'effort tranchant dues à l'effet Résal sont supposées se développer, en chaque section, suivant une direction parallèle à l'axe $o_i z_i$.

Exemples

La fibre repère ci-dessous est portée par un cylindre d'axe parallèle à $O_p Z_p$, sa projection sur $X_p O_p Z_p$ est rectiligne, avec une pente de 5 % ; il s'agit d'un arc d'ellipse dans l'espace.

L'angle de dévers, supposé constant, correspond à une pente de 2.5 %.

L'origine du repère poutre est placée au premier point de la fibre repère et son axe X_p est sur la corde de l'arc de cercle de la vue en plan.

Remarquer les signes des angles de positionnement du repère générique i :

- θ_1 est compté positivement, selon $O_p Z_p$, de $O_p X_p$ vers $O_p Y_p$;
- θ_2 est compté positivement, selon $o_i y_i$, de $o_i z_i$ vers $o_i x_i$;
- θ_3 est compté positivement, selon $o_i x_i$, de $o_i y_i$ vers $o_i z_i$.

Le découpage se fait en 96 tronçons (soit 97 points), selon un pas angulaire constant de 1.25 degrés.

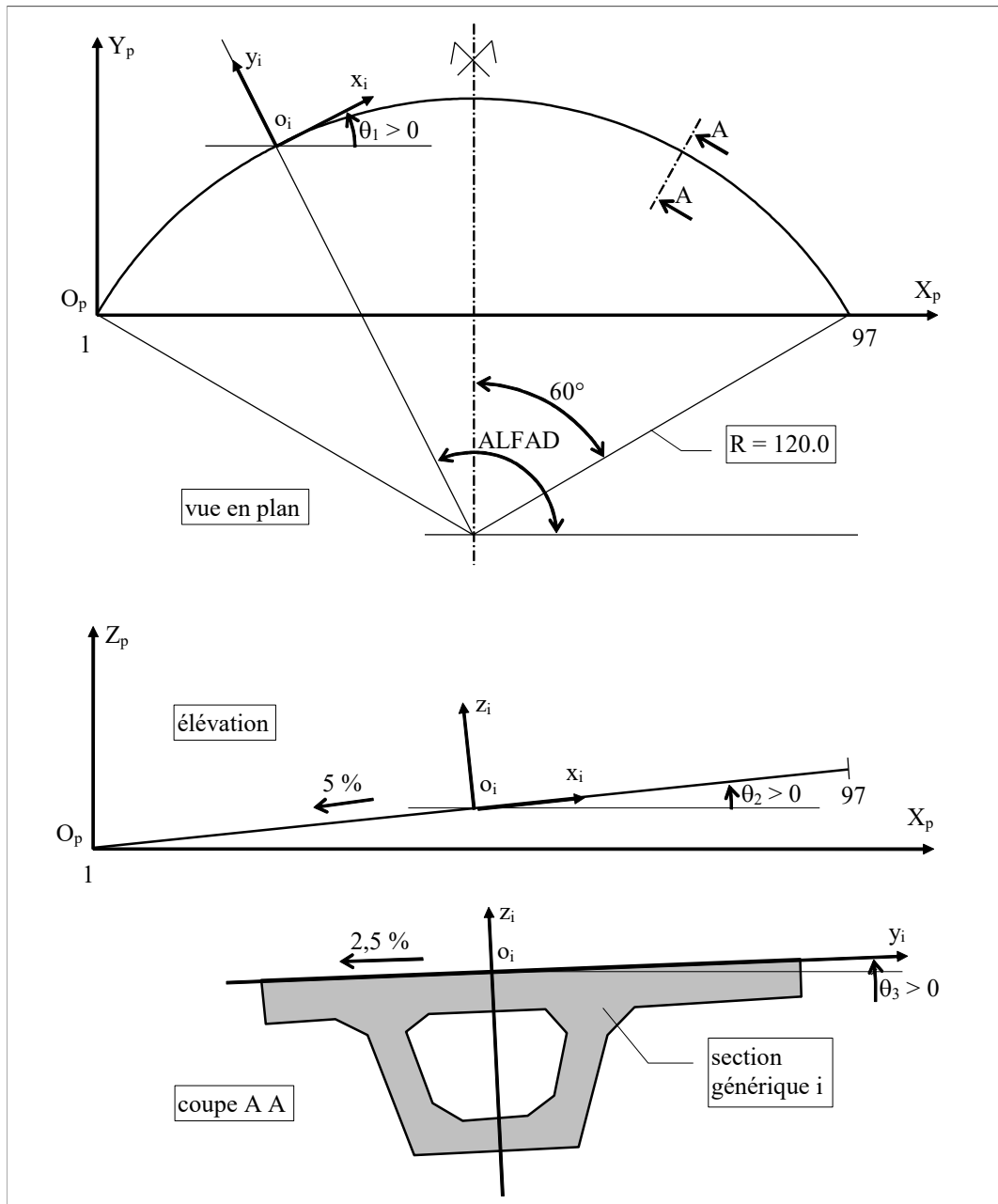


Figure 3.6 - Fibre repère elliptique

```

<R = 120.0>
FIBRE REPERE 97 3
<<<<
(X, R*SIN(ALFAR)-60.0, 0.05*X, ALFAD-90.0, -2.86241, 1.4321)>
X = (R*COS(ALFAR)+103.92305)>
ALFAR = (0.0174533*ALFAD)>
ALFAD = 150.0 A 30.0 DIV 96>
    
```

Commandes liées

GENERALITES ; AFFECTATION SECTION ; TRONCONS ; ARTICULATIONS
 EPAISSEURS PAROIS ; MATERIAU ; AFFECTATION MATERIAUX
 TRACE CABLE

3.5 – SECTION MASSIVE

```
SECTION MASSIVE nom_section nb_evid
  nb_points_ext [⟨nb_points_evid⟩nb_evid ]
  ⟨y_point z_point⟩nb_points_ext [⟨⟨y_point z_point⟩nb_points_evid⟩nb_evid ]
  ⟨y_sigma z_sigma⟩nb_sigma ⟨y_tau z_tau⟩nb_tau
  rigid_fy rigid_fz inertie_mx yp_centre zp_centre
  ⟨flux_fy flux_fz flux_mx⟩nb_tau larg_revet
```

Paramètres

Les paramètres `nb_sigma`, `nb_tau` et `type_sp` sont fournis par la commande `GENERALITES` ; se reporter à la figure 3.7.

- `nom_section` : nom de la section, ne pouvant être affecté à une autre section de la poutre ;
- `nb_evid` : nombre d'évidements, positif si la section est évidée, nul sinon ;
- `nb_points_ext` : nombre de points du contour extérieur, au moins 3 ;
- `nb_points_evid` : nombre de points d'un évidement, au moins 3 ;
 - `y_point`, `z_point` : coordonnées d'un point de définition de la section ; les évidements sont introduits dans le même ordre que leurs nombres de points ; chaque polygone (ouvert) est décrit en tournant dans le sens positif trigonométrique (de $o_i y_i$ vers $o_i z_i$), le choix du premier point est libre ;
- `y_sigma`, `z_sigma` : coordonnées d'un point de calcul des contraintes normales ;
- `y_tau`, `z_tau` : coordonnées d'un point de calcul des contraintes tangentes et normales ; ces coordonnées servent uniquement à calculer les contraintes normales (concomitantes) ;
- `rigid_fy`, `rigid_fz` : rigidités au cisaillement selon les axes principaux $G_i y_{p_i}$ et $G_i z_{p_i}$, positives ou nulles ; en l'absence d'une connaissance précise de ces paramètres, on peut introduire :
 - les sections réduites à l'effort tranchant ;
 - des valeurs nulles indiquant qu'on ne prend pas en compte les déformations dues à l'effort tranchant ;
- `inertie_mx` : inertie de torsion pure (constante de St-Venant), positive ou nulle ;
- `yp_centre`, `zp_centre` : coordonnées du centre de torsion en *repère principal* ;
- `flux_fy`, `flux_fz` : flux de cisaillements produits par des efforts tranchants unitaires appliqués selon $G_i y_{p_i}$ et $G_i z_{p_i}$; les contraintes tangentes (moyennes) s'obtiendront toujours en divisant ces valeurs de flux par les épaisseurs de parois correspondantes (voir commande `EPAISSEURS PAROIS`) ;
- `flux_mx` : flux de cisaillement produit par un moment de torsion unitaire ;
- `larg_revet` : largeur de revêtement (éventuellement nulle), à déduire du périmètre extérieur de la section avant de calculer son rapport surface/périmètre extérieur, si `type_sp` vaut 1 ; valeur fournie du rapport surface/périmètre extérieur de la section, si `type_sp` vaut 2.

Fonctions

Cette commande fournit une section massive ou supposée l'être, toujours définie en entier.

Conditions d'emploi

- L'utilisation de cette commande est facultative.

Conseils méthodologiques

- Si l'on ne s'intéresse pas aux valeurs des contraintes tangentes, on peut entrer des valeurs de flux de cisaillement sous efforts unitaires nulles.
- Les valeurs des flux unitaires flux_fy et flux_fz doivent être cohérentes avec les épaisseurs nettes fournies dans la commande EPAISSEURS PAROIS ; il s'agit d'épaisseurs fictives que l'on peut rendre égales à 1.0, si on choisit de le faire ou si la section est purement massive ; les flux s'identifient alors à des contraintes.

Exemples

La section à deux évidements ci-dessous, décrite comme SECTION MASSIVE, s'inscrit dans un rectangle de 7.20 m x 3 m.

On retrouve cette section, décrite comme section à contours avec morphologie, dans l'exemple de la commande SECTION CONTOURS ENTIERE. Comparer les deux définitions.

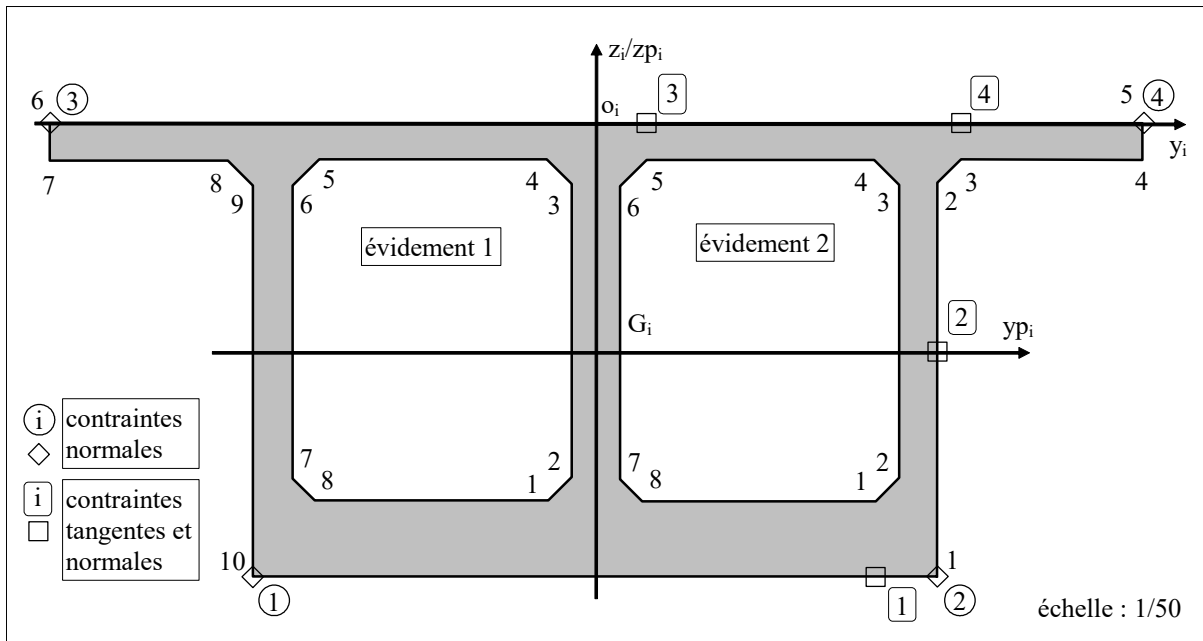


Figure 3.7 - Section évidée considérée comme « massive »

```

$          nb_sigma nb_tau type_s orig_s type_sp type_gth nb_hou type_noe
GENERALITES 4      4      1      0.0      1      1      0      2
.....
SECTION MASSIVE CAISSON1 2
$ nombres de points des contours
10 8 8
$ contour exterieur
 2.25 -3.00  2.25 -0.40  2.40 -0.25  3.60 -0.25
 3.60  0.00 -3.60  0.00 -3.60 -0.25 -2.40 -0.25
-2.25 -0.40 -2.25 -3.00
$ evidentement 1
-0.30 -2.50 -0.15 -2.35 -0.15 -0.40 -0.30 -0.25
-1.85 -0.25 -2.00 -0.40 -2.00 -2.35 -1.85 -2.50
$ evidentement 2
 1.85 -2.50  2.00 -2.35  2.00 -0.40  1.85 -0.25
 0.30 -0.25  0.15 -0.40  0.15 -2.35  0.30 -2.50
$ points de calcul des contraintes normales
-2.25 -3.00  2.25 -3.00 -3.60  0.00  3.60  0.00
$ points de calcul des contraintes tangentes et normales
 1.85 -3.00  2.25 -1.495  0.30  0.00  2.40  0.00
$ caracteristiques mecaniques de cisaillement-torsion
$ rigid_fy rigid_fz inertie_mx yp_centre zp_centre
 3.001  1.865  10.783  0.0000 -0.2180
$ flux de cisaillement sous efforts unitaires
$ entres dans le meme ordre que les points de calcul
$ des contraintes tangentes et normales
$ flux_fy flux_fz flux_mx
 0.08696 0.08044 0.04374
 0.03048 0.12889 0.04374
-0.10693 -0.04594 0.04374
 0.05314 0.05307 0.00000
$ largeur de revetement (rapports surface/perimetre calcules)
7.20

```

Commandes liées

GENERALITES ; AFFECTATION SECTION ; EPAISSEURS PAROIS

3.6 – SECTION CONTOURS ENTIERE

```
SECTION CONTOURS ENTIERE nom_section nb_evid
  nb_points_ext [⟨nb_points_evid⟩nb_evid ]
  [⟨nb_points_hou⟩nb_hou ]
  ⟨y_point z_point ordre_noeud noeud⟩nb_points_ext
  [⟨⟨y_point z_point ordre_noeud noeud⟩nb_pointsevid⟩nb_evid ]
  [⟨⟨ordre_contour contour⟩nb_pointshou⟩nb_hou ]
  ⟨y_sigma z_sigma⟩nb_sigma ⟨y_tau z_tau⟩nb_tau larg_revet
```

Paramètres

Les paramètres nb_sigma, nb_tau, type_sp et nb_hou sont fournis par la commande GENERALITES.

- nom_section : nom de la section, ne pouvant être affecté à une autre section de la poutre ;
- nb_evid : nombre d'évidements, positif si la section est évidée, nul sinon ;
- nb_points_ext : nombre de points du contour extérieur, au moins 3 ;
- nb_points_evid : nombre de points d'un évidement, au moins 3 ;
- nb_points_hou : nombre de points d'un hourdis généralisé, au moins 3. Le nombre de hourdis généralisé nb_hou a été défini dans la commande GENERALITES. Pour rappel, les hourdis généralisés sont formés en excluant les « âmes » et leurs prolongements (figure 3.8) ;

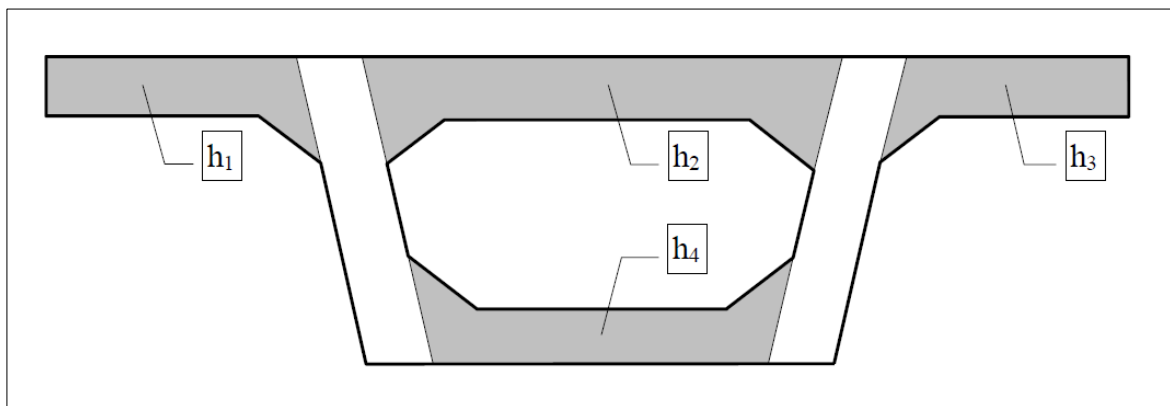


Figure 3.8 – Section à 4 hourdis généralisés

- y_point, z_point : coordonnées d'un point de définition de la section ; les évidements sont introduits dans le même ordre que leurs nombres de points ; chaque polygone (ouvert) est décrit en tournant dans le sens positif trigonométrique (de $o_i y_i$ vers $o_i z_i$), le choix du premier point est libre.

Pour calculer les flux de cisaillement en tout point de la section, le module GE3 doit en extraire une ligne moyenne dite « profilé à parois minces équivalent ». Pour que cette opération réussisse quelle que soit la forme de la section, il faut en définir la « morphologie », en séparant

par des coupures rectilignes, les parties massives ou « nœuds » des parties restantes ou « branches ».

Les parois issues naturellement des branches, déterminées par report de bissectrices, seront raccordées artificiellement par des parois issues des nœuds, pour assurer la connexité du modèle et conserver au mieux les caractéristiques de la section initiale (aire, centre de gravité, inerties de flexion).

On distingue les branches de liaison de deux nœuds, et les branches « pendantes », ayant une extrémité libre qui doit être repérée. Lors du parcours de la section, et après avoir « passé » un nœud, dans une branche « pendante », c'est le premier point d'extrémité rencontré qui doit être repéré.

La mise en œuvre des coupures de nœuds peut imposer l'introduction sur les contours, de points supplémentaires non strictement nécessaires à leur définition.

Chaque nœud (ouvert et possédant au moins 3 points), repéré par un numéro, est décrit dans le sens positif trigonométrique (de $o_i y_i$ vers $o_i z_i$), le choix du premier point est libre.

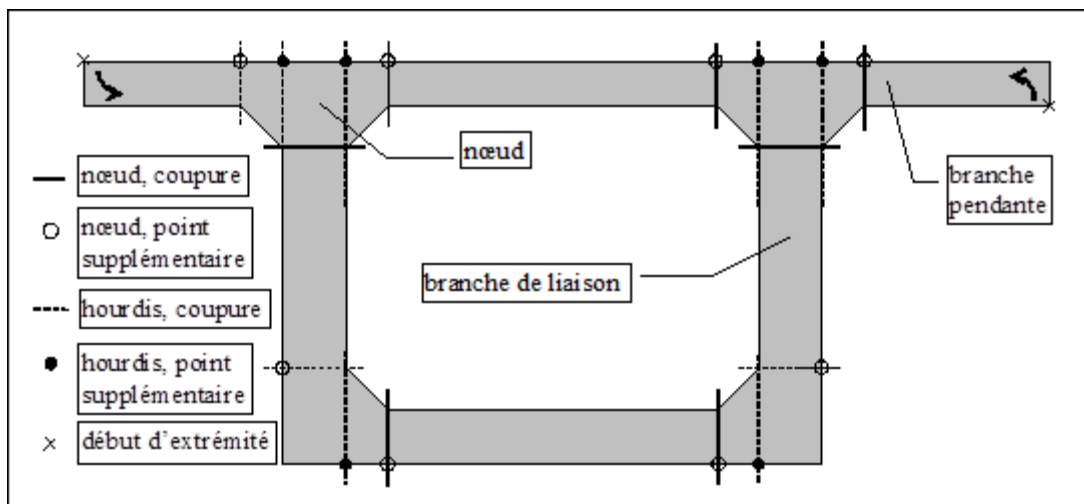


Figure 3.9 - Section à contours avec morphologie et hourdis

- ordre_nœud : si le point appartient à un nœud, numéro d'ordre du point sur le nœud, 1 si le point est un début d'extrémité de branche pendante, 0 dans les autres cas ;
- nœud : si le point appartient à un nœud, numéro du nœud, 0 sinon.

Les hourdis sont introduits dans le même ordre que leurs nombres de points, chacun devant occuper la même « position », pour toutes les sections de la poutre. Leur prise en compte peut imposer l'introduction, sur le contour extérieur, de points supplémentaires, dans le prolongement des segments principaux délimitant les âmes (figure 3.9).

Chaque hourdis (ouvert) est décrit en tournant dans le sens positif trigonométrique (de $o_i y_i$ vers $o_i z_i$), le choix du premier point est libre.

- ordre_contour : numéro d'ordre sur contour d'un point appartenant à un hourdis ;
- contour : numéro de contour correspondant, 0 pour le contour extérieur, i pour l'évidement i ;
- y_sigma, z_sigma : coordonnées d'un point de calcul des contraintes normales ;
- y_tau, z_tau : coordonnées d'un point de calcul des contraintes tangentes et normales ;

- si ces coordonnées sont toutes deux inférieures à 1000.0, elles sont conservées pour le calcul des contraintes normales ; le calcul des contraintes tangentes a lieu sur la projection du point fourni, sur la paroi de ligne moyenne qui en est la plus proche (figure 3.10 a) ;
- si y_{τ} est inférieure à 1000.0, et z_{τ} supérieure ou égale à 1000.0, le point de calcul des contraintes tangentes et normales est supposé être à l'intersection de la ligne moyenne avec l'axe Gyp_i , dont la coordonnée y est la plus proche de y_{τ} ; dans ce cas, y_{τ} peut avoir une simple valeur indicative puisqu'elle sera recalculée (figure 3.10 b) ;
- de façon analogue, on désigne une intersection de la ligne moyenne avec l'axe Gzp_i , en introduisant une valeur de y_{τ} supérieure ou égale à 1000.0, couplée avec une valeur indicative de z_{τ} (figure 3.10 c).

Les coordonnées y_{τ} et z_{τ} ne peuvent être toutes deux supérieures ou égales à 1000.0.

- $larg_revet$: largeur de revêtement (éventuellement nulle), à déduire du périmètre extérieur de la section avant de calculer son rapport surface/périmètre extérieur, si $type_sp$ vaut 1 ; valeur fournie du rapport surface/périmètre extérieur de la section, si $type_sp$ vaut 2.

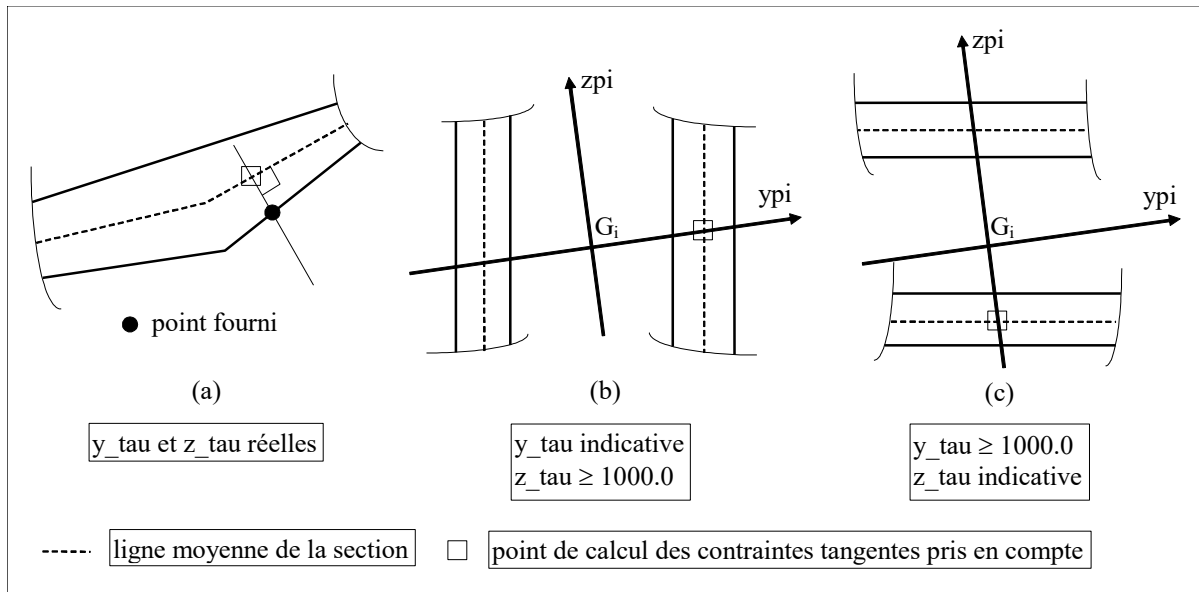


Figure 3.10 - Section à contours/parois, contraintes tangentes et normales

Fonctions

Cette commande fournit une section à parois minces définie entièrement, par contours polygonaux, avec morphologie.

Conditions d'emploi

- L'utilisation de cette commande est facultative.
- Utiliser exclusivement des sections à contours avec morphologie et hourdis (entières ou partielles), si on désire calculer automatiquement les corrections des contraintes tangentes dues à l'effet Résal.
- L'application de la théorie des profilés à parois minces suppose la section indéformable transversalement.

Conseils méthodologiques

La qualité du profilé mince équivalent et de ses caractéristiques mécaniques calculées sous sollicitations tangentes dépend notablement du placement des nœuds et de leur taille (ajustage des coupures).

Placement des nœuds

- Une branche non pendante doit toujours relier deux nœuds différents.
- Deux nœuds donnés ne peuvent être reliés par plus d'une branche.
- Le nombre minimum de nœuds à introduire est de un si la section n'est pas évidée (section minimale formée d'un nœud et une ou plusieurs branches pendantes), et de trois sinon.
- Une section doit posséder au moins une branche non verticale.

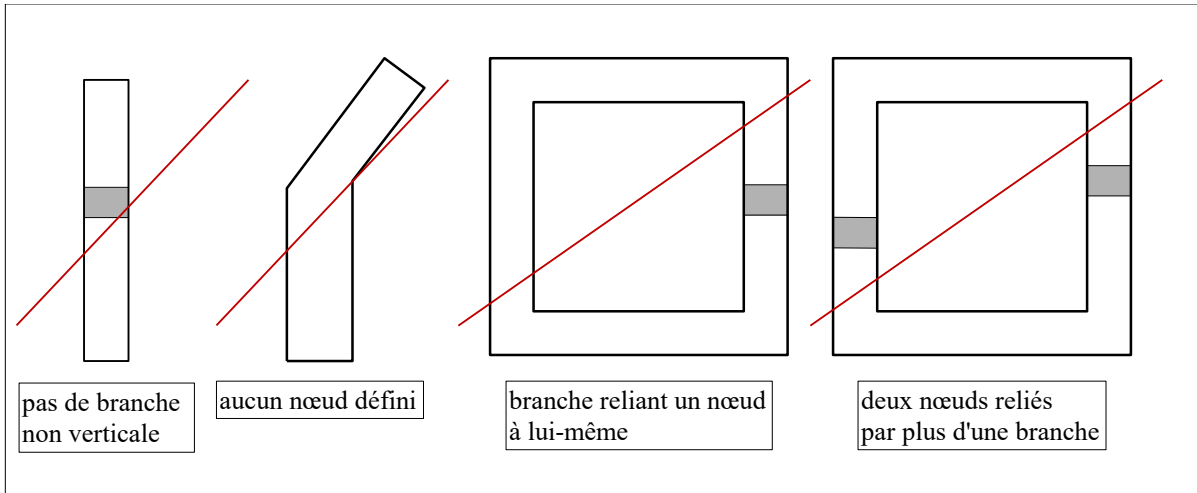


Figure 3.11 - Morphologie, schémas interdits

- La position d'un nœud n'est imposée que si la partie massive correspondante relie plus de deux branches.

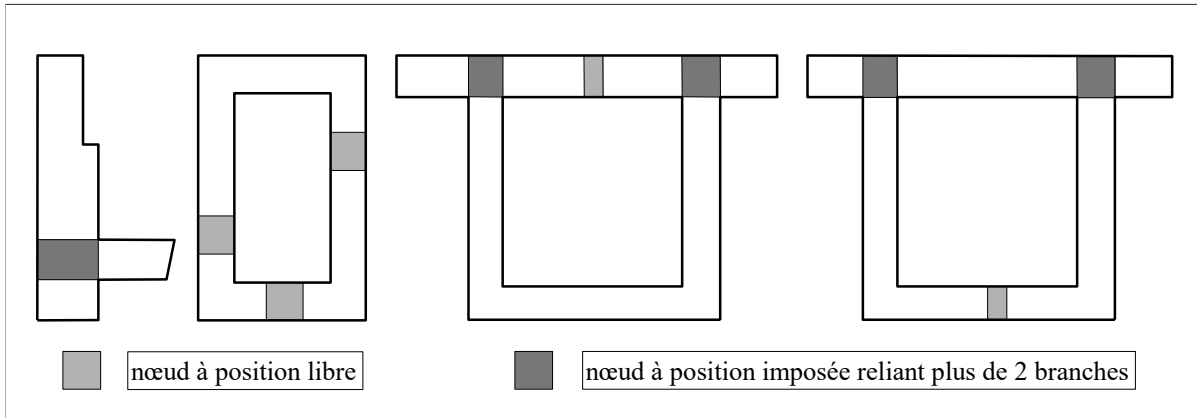


Figure 3.12 - Morphologie, schémas autorisés

- Lorsqu'une branche opère un brusque changement de direction, l'introduction d'un nœud, au changement de direction, n'est obligatoire que si la ligne moyenne est incalculable.

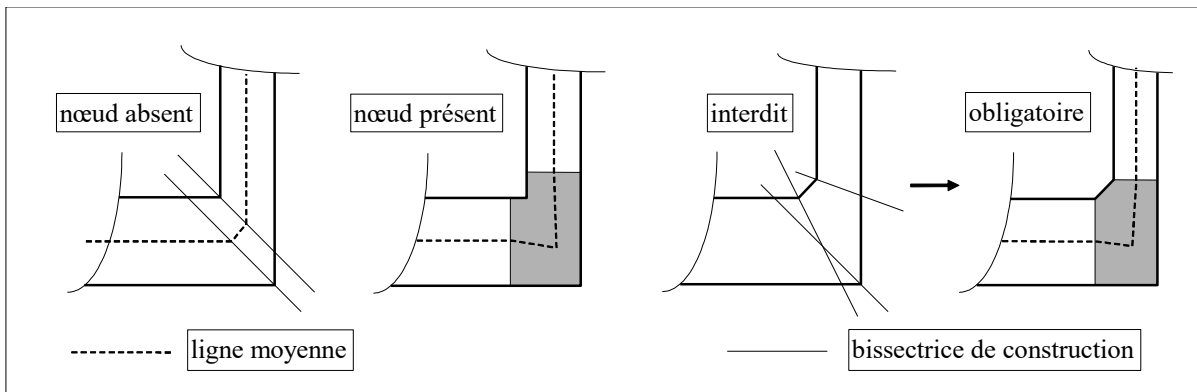


Figure 3.13 - Branche, changement brusque de direction

- Lorsqu'une branche possède un « accident » géométrique, l'introduction d'un nœud n'est obligatoire que si la ligne moyenne est incalculable.

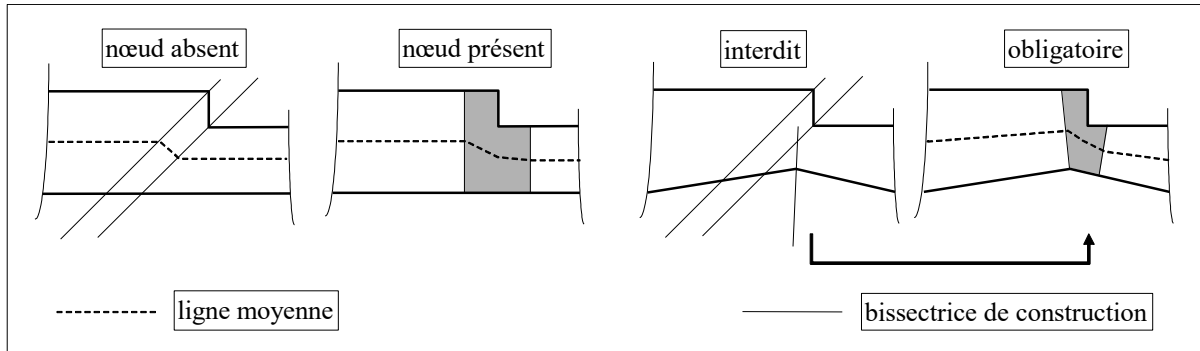


Figure 3.14 - Branche, accident géométrique

Taille des nœuds

- Les goussets de taille « raisonnable » peuvent être intégrés aux nœuds (figure 3.15, a et b).
- Certaines coupures trop biaisées peuvent empêcher le calcul de la ligne moyenne, par collision des bissectrices de construction avec les coupures de nœuds (figure 3.15, c).

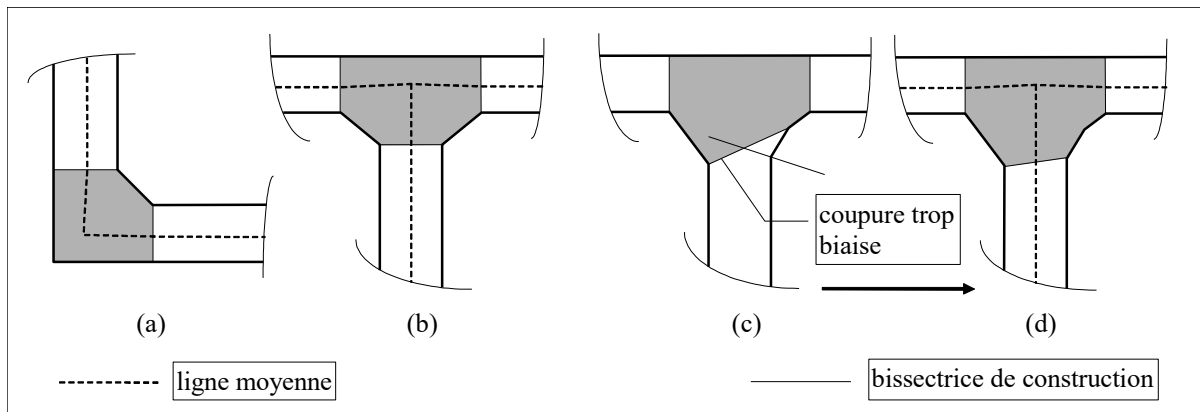


Figure 3.15 - Jonctions avec goussets

- Sur une jonction « à angle droit » sans gousset, agrandir le nœud si type_noe = 1 (voir commande GENERALITES), pour limiter le déport de la ligne moyenne (conservation des moments statiques) ; lorsque type_noe = 2, le découpage « au ras » de la jonction convient.

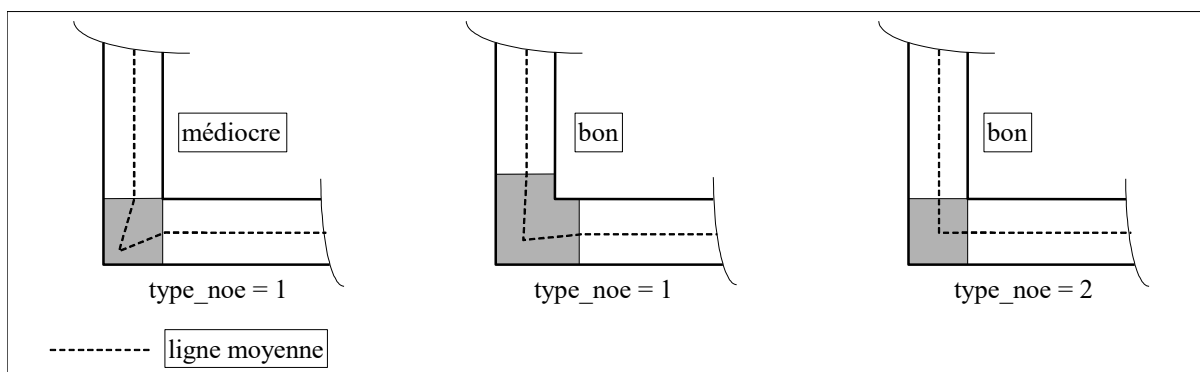


Figure 3.16 - Jonctions à angle droit, sans gousset

□ Il en est de même sur une jonction « en T » sans gousset.

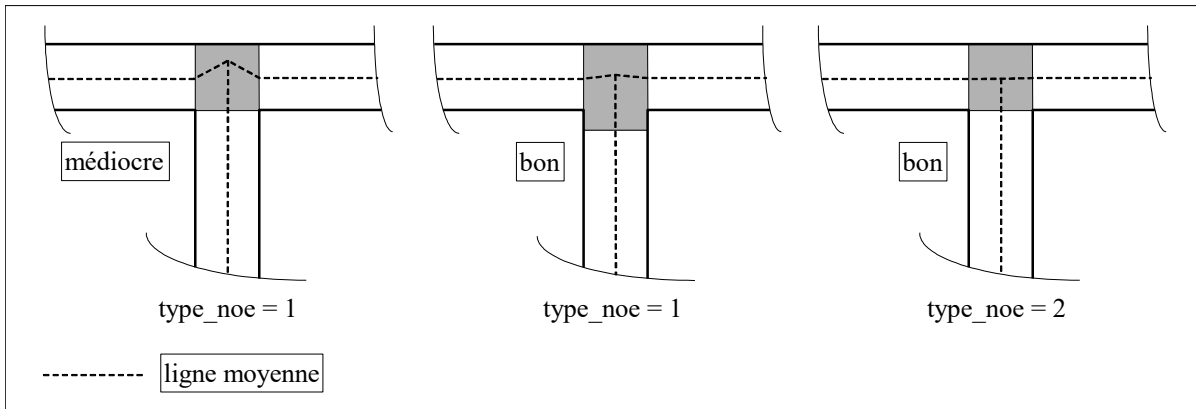


Figure 3.17 - Jonctions en T, sans gousset

Étude comparative sur un cas simple

La section traitée ci-après, selon 5 cas de modélisation, possède un contour extérieur carré de 1 m de côté, et un évidement rectangulaire de 0.8 m x 0.7 m, disposé de manière à conserver un axe de symétrie. Les épaisseurs de parois sont de 3 x 0.1 m et 0.2 m.

Les valeurs « de référence » sont fournies par la méthode des équations intégrales, avec une précision meilleure que 0.1 % (900 points de tabulation sur contours).

On compare, entre-elles et avec les valeurs de référence, les caractéristiques mécaniques intéressantes calculées par le module GE5 : rigidités au cisaillement selon G_{yp_i} et G_{zp_i} , constante de St-Venant et déport vertical du centre de torsion par rapport au centre de gravité.

Le cas 1 s'applique à la description de la section à l'aide de la commande SECTION PAROIS (définition directe de la ligne moyenne la plus simple et des épaisseurs de parois).

Les cas 2 à 5 s'appliquent à la description de la section à l'aide de la commande SECTION CONTOURS (ENTIERE ou PARTIELLE) ; nous y faisons varier la taille des nœuds. Tous ces cas sont traités avec $type_noe = 1$, sauf le cas 3 (b) pour lequel on choisit $type_noe = 2$.

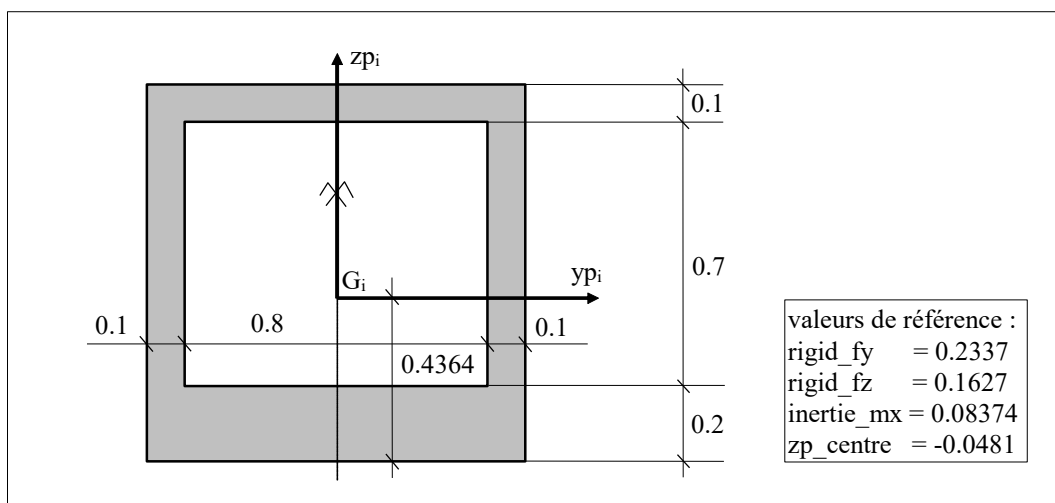


Figure 3.18 - Section à étudier

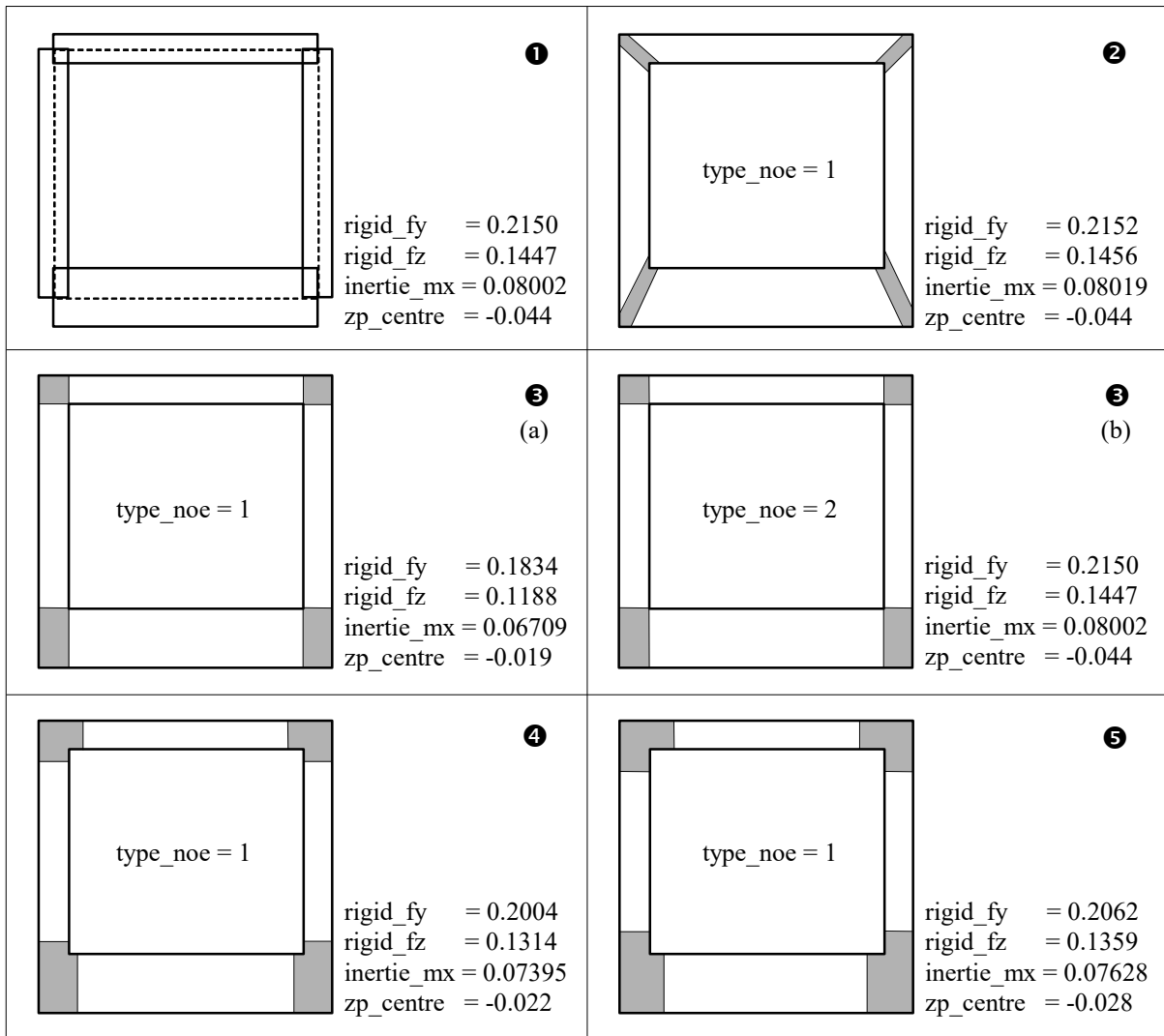


Figure 3.19 - Cas de modélisation, valeurs produites par le module GE5

On observe des variations notables des rigidités au cisaillement et de la constante de St-Venant, qui restent toujours en dessous des valeurs de référence.

Le centre de torsion, très sensible à la modélisation, reste au-dessus de sa position de référence.

Le cas 2 fournit de bonnes valeurs, tendant vers celles du cas 1 lorsque la surface des nœuds diminue, ce qui semble prouver, sur cet exemple au moins, qu'on peut tirer avantage d'une « bonne » réduction des nœuds, concurremment à l'agrandissement qu'on a l'habitude de pratiquer (avec type_noe = 1).

Le cas 3 (b) fournit des valeurs identiques à celles du cas 1, ce qui montre la supériorité du choix type_noe = 2 lorsque les jonctions sont sans goussets et lorsque les imprécisions dues à ce choix se compensent fortement.

Étude comparative sur un cas réel

La section symétrique transversalement traitée ci-après (section sur pile du tablier du pont de l'Ile de Ré) s'inscrit dans un rectangle de 15.50 m x 7.00 m.

Elle est traitée avec un seul découpage de nœuds (classiquement au ras des goussets), en prenant $\text{type_noe} = 1$ puis $\text{type_noe} = 2$.

Les valeurs de référence sont également fournies par la méthode des équations intégrales (avec 464 points de tabulation sur contours).

On compare, entre elles et avec les valeurs de référence, les mêmes caractéristiques mécaniques que pour le cas simple traité ci-dessus.

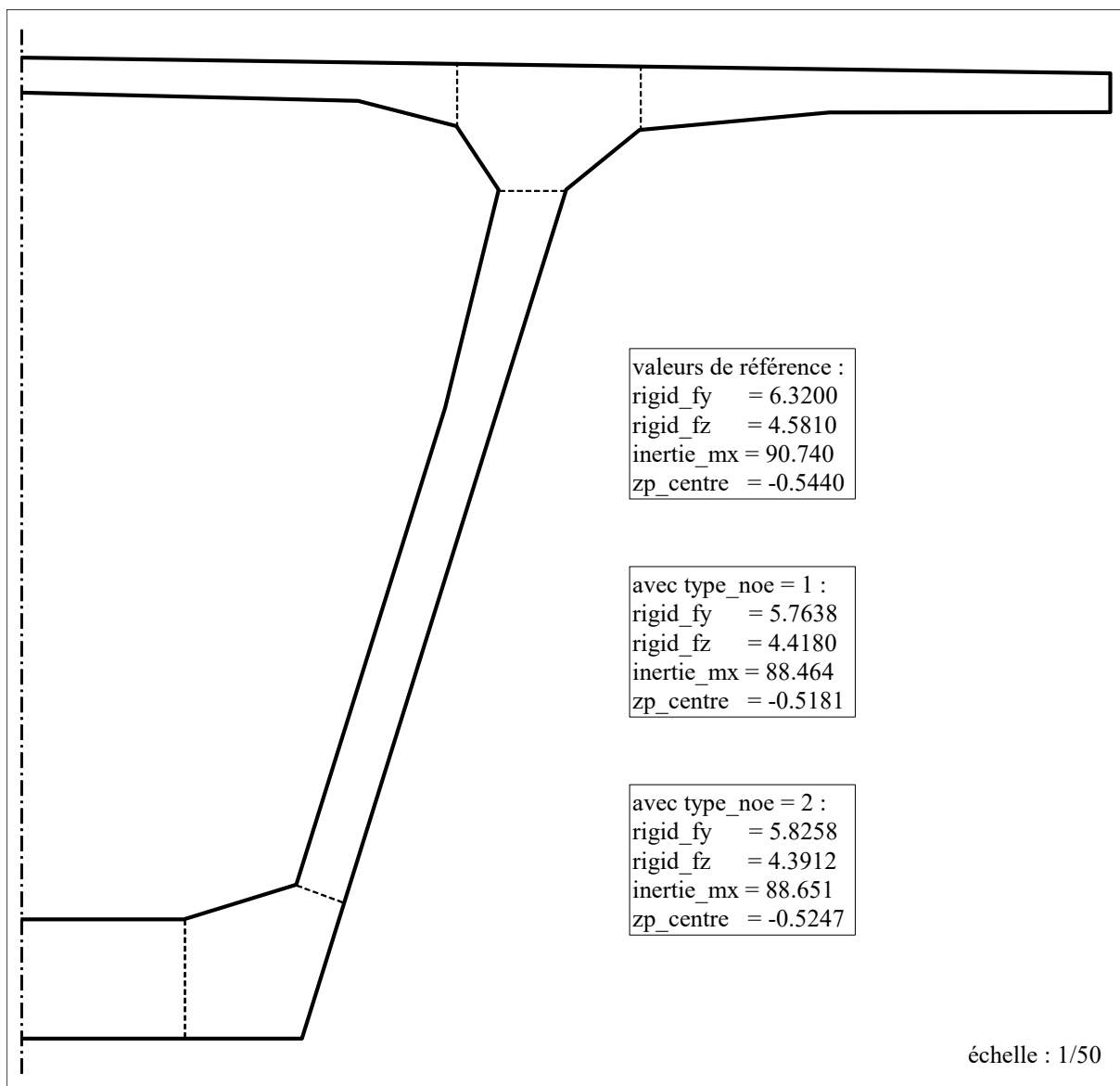


Figure 3.20 - Pont de l'Ile de Ré, demi-section sur pile du tablier

On constate que le deuxième mode de traitement des nœuds fournit des résultats en général plus proches de ceux de référence, mais que le premier mode fournit des résultats acceptables. Les différences irréductibles sont imputables à l'approximation qui est faite en appliquant la théorie des profilés à parois minces.

Exemples

L'exemple ci-dessous qui comporte 6 nœuds, 2 branches pendantes et 6 hourdis est dérivé de celui de la figure 3.7 (mêmes repères de coordonnées, mêmes contours, mêmes points de calcul des contraintes).

Le point 2 de calcul des contraintes tangentes et normales est cependant placé dans l'axe de l'âme droite, plutôt que sur son parement extérieur.

Compte-tenu de leur taille raisonnable, nous avons choisi d'intégrer les goussets aux nœuds.

La présence des nœuds 4 et 6 est indispensable, car en leur absence, nous serions dans un cas d'impossibilité de déterminer la ligne moyenne, dans ces « virages ».

Les caractéristiques mécaniques et les flux de cisaillement fournis en données de l'exemple de la figure 3.7 sont ceux que le module GE5 calculerait pour cette section, ainsi modélisée.

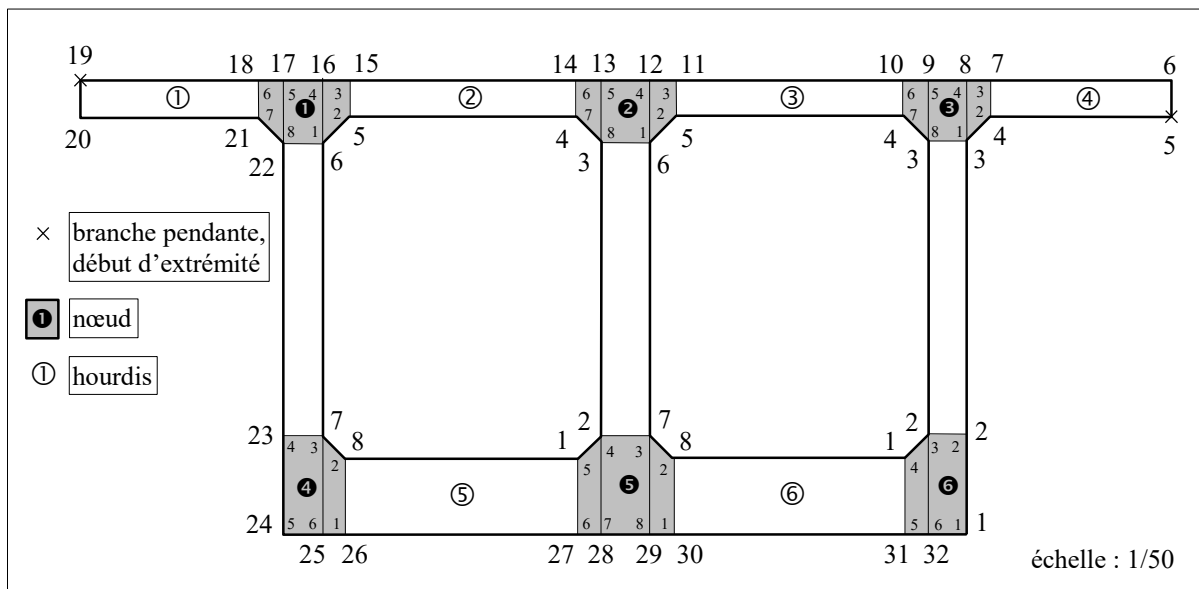


Figure 3.21 - Section à contours avec morphologie et hourdis

```

$          nb_sigma nb_tau type_s orig_s type_sp type_gth nb_hou type_noe
GENERALITES 4      4      1      0.0      1      1      6      2
.....
SECTION CONTOURS ENTIERE CAISSON1 2
$ nombres de points des contours
32 8 8
$ nombres de points des hourdis
6 8 8 6 8 8
$ contour extérieur, le premier point est le premier point du noeud 6
$ les points 5 et 19 sont des premières extrémités de branches pendantes
2.25 -3.00 1 6      2.25 -2.35 2 6      2.25 -0.40 1 3
2.40 -0.25 2 3      3.60 -0.25 1 0      3.60 0.00 0 0
2.40 0.00 3 3      2.25 0.00 4 3      2.00 0.00 5 3
1.85 0.00 6 3      0.30 0.00 3 2      0.15 0.00 4 2
-0.15 0.00 5 2      -0.30 0.00 6 2      -1.85 0.00 3 1
-2.00 0.00 4 1      -2.25 0.00 5 1      -2.40 0.00 6 1
-3.60 0.00 1 0      -3.60 -0.25 0 0      -2.40 -0.25 7 1
-2.25 -0.40 8 1      -2.25 -2.35 4 4      -2.25 -3.00 5 4
-2.00 -3.00 6 4      -1.85 -3.00 1 4      -0.30 -3.00 6 5
-0.15 -3.00 7 5      0.15 -3.00 8 5      0.30 -3.00 1 5
1.85 -3.00 5 6      2.00 -3.00 6 6
$ evidement 1
-0.30 -2.50 5 5      -0.15 -2.35 4 5      -0.15 -0.40 8 2
-0.30 -0.25 7 2      -1.85 -0.25 2 1      -2.00 -0.40 1 1
-2.00 -2.35 3 4      -1.85 -2.50 2 4
$ evidement 2
1.85 -2.50 4 6      2.00 -2.35 3 6      2.00 -0.40 8 3
1.85 -0.25 7 3      0.30 -0.25 2 2      0.15 -0.40 1 2
0.15 -2.35 3 5      0.30 -2.50 2 5
$ hourdis
$ le premier point du hourdis 1 est le 22-eme point du contour extérieur
22 0 17 0 18 0 19 0 20 0 21 0
$ le premier point du hourdis 2 est le 3-eme point de l'evidement 1
3 1 13 0 14 0 15 0 16 0 6 1 5 1 4 1
3 2 9 0 10 0 11 0 12 0 6 2 5 2 4 2
5 0 6 0 7 0 8 0 3 0 4 0
28 0 2 1 1 1 8 1 7 1 25 0 26 0 27 0
32 0 2 2 1 2 8 2 7 2 29 0 30 0 31 0
$ points de calcul des contraintes normales
-2.25 -3.00 2.25 -3.00 -3.60 0.00 3.60 0.00
$ points de calcul des contraintes tangentes et normales
1.85 -3.00 2.00 1000.00 0.30 0.00 2.40 0.00
$ largeur de revêtement (rapports surface/perimetre calculés)
7.20

```

Commandes liées

GENERALITES ; SECTION CONTOURS PARTIELLE

AFFECTATION SECTION ; EPAISSEURS PAROIS

3.7 – SECTION CONTOURS PARTIELLE

```
SECTION CONTOURS PARTIELLE nom_section non_section_ref
  nb_points_r_ext [⟨nb_points_r_evid⟩nb_evid ]
  [⟨ordre_contour y_point z_point⟩nb_points_r_ext ]
  [⟨f⟨ordre_contour y_point z_point⟩nb_points_r_evid⟩nb_evid ]
  ⟨y_sigma z_sigma⟩nb_sigma ⟨y_tau z_tau⟩nb_tau larg_revet
```

Paramètres

Les paramètres nb_sigma, nb_tau et type_sp sont fournis par la commande GENERALITES.

- nom_section : nom de la section, ne pouvant être affecté à une autre section de la poutre ;
- nom_section_ref : nom de la section à CONTOURS ENTIERE à nb-evid évidements, dont elle dérive par modification des coordonnées de certains de ses points.

La morphologie de cette section est intégralement reprise, ainsi que la définition de ses éventuels hourdis.

- nb_points_r_ext : nombre de points redéfinis sur le contour extérieur, positif ou nul ;
- nb_points_r_evid : nombre de points redéfinis sur un évidement, positif ou nul .

Le nombre total de points redéfinis doit être positif.

- ordre_contour : numéro d'ordre d'un point sur un contour ;
- y_point, z_point : nouvelles coordonnées.

L'ordre d'introduction des points redéfinis sur un contour n'est pas imposé.

- y_sigma, z_sigma, y_tau, z_tau, larg_revet : voir commande SECTION CONTOURS ENTIERE.

Fonctions

Cette commande fournit une section à parois minces définie partiellement, par contours polygonaux, avec morphologie.

Conditions d'emploi

- L'utilisation de cette commande est facultative.
- Cette commande ne peut exister que si on a défini au moins une section à CONTOURS ENTIERE.

Conseils méthodologiques

- Les points confondus étant admis, on peut utiliser cette technique pour modifier l'allure d'une section (création ou suppression de goussets, par exemple).

Exemples

Reprenons l'exemple de la figure 3.20, et faisons passer l'épaisseur du hourdis inférieur de 0,50 m à 0,25 m.

Le contour extérieur reste inchangé, mais ses points 2 et 23 sont redéfinis pour conserver l'orthogonalité des coupures sur les nœuds 4 et 6.

Le point 2 de calcul des contraintes tangentes et normales s'adaptera à la nouvelle position du centre de gravité.

```
SECTION CONTOURS PARTIELLE CAISSON2 CAISSON1
$ nombres de points redefinis sur contours
2 4 4
$ points redefinis sur le contour exterieur
2 2.25 -2.60 23 -2.25 -2.60
$ points redefinis sur l'evidement 1
1 -0.30 -2.75 2 -0.15 -2.60 7 -2.00 -2.60 8 -1.85 -2.75
$ points redefinis sur l'evidement 2
1 1.85 -2.75 2 2.00 -2.60 7 0.15 -2.60 8 0.30 -2.75
$ points de calcul des contraintes normales
-2.25 -3.00 2.25 -3.00 -3.60 0.00 3.60 0.00
$ points de calcul des contraintes tangentes et normales
1.85 -3.00 2.00 1000.00 0.30 0.00 2.40 0.00
$ largeur de revetement (rapports surface/perimetre calcules)
7.20
```

Commandes liées

GENERALITES ; SECTION CONTOURS ENTIERE

AFFECTATION SECTION ; EPAISSEURS PAROIS

3.8 – SECTION PAROIS

SECTION PAROIS nom_section nb_points nb_parois type_epaisseurs

[epaisseur_commune] $\langle y_point \quad z_point \rangle_{nb_points}$

$$\left. \begin{array}{l} \langle point_debut \quad point_fin \quad epaisseur_debut \quad epaisseur_fin \rangle_{nb_parois} \\ \langle point_debut \quad point_fin \quad epaisseur \rangle_{nb_parois} \\ \langle point_debut \quad point_fin \rangle_{nb_parois} \end{array} \right\}$$

$\langle y_sigma \quad z_sigma \rangle_{nb_sigma} \quad \langle y_tau \quad z_tau \rangle_{nb_tau} \quad larg_revet$

Paramètres

Les paramètres nb_sigma, nb_tau et type_sp sont fournis par la commande GENERALITES.

- nom_section : nom de la section, ne pouvant être affecté à une autre section de la poutre ;
- nb_points : nombre de points de jonction, au moins 3 ;
- nb_parois : nombre de parois, au moins 2 ;
- type_epaisseurs : type de variation des épaisseurs de parois, indiquer :
 - 1 si une paroi au moins est d'épaisseur variable (linéairement),
 - 2 si toutes les parois sont d'épaisseurs constantes, mais en général différentes,
 - 3 si toutes les parois ont la même épaisseur constante ;
- epaisseur_commune : épaisseur des parois, si type_epaisseurs = 3 ;
- y_point, z_point : coordonnées d'un point de jonction ;
- point_debut, point_fin : numéros des points de jonction de début et de fin d'une paroi, déterminant son sens de parcours.

Le portique plan formé doit être connexe ; chaque point de jonction doit être relié à au moins une paroi ; deux points de jonction ne peuvent être reliés par plus d'une paroi ; les longueurs des parois doivent être supérieures à 0.01.

- epaisseur_debut, epaisseur_fin, epaisseur : épaisseurs au début et à la fin d'une paroi, si type_epaisseurs = 1, ou épaisseur d'une paroi, si type_epaisseurs = 2.

Les épaisseurs des parois doivent être supérieures à 0.001.

- y_sigma, z_sigma, y_tau, z_tau : voir commande SECTION CONTOURS ENTIERE ; les lignes moyennes des parois constituent la ligne moyenne de la section ;
- larg_revet : largeur de revêtement (éventuellement nulle), à déduire du périmètre extérieur de la section avant de calculer son rapport surface/périmètre extérieur, si type_sp vaut 1 (le périmètre extérieur est alors assimilé au double de la somme des longueurs des parois) ; valeur fournie du rapport surface/périmètre extérieur de la section, si type_sp vaut 2.

Fonctions

Cette commande fournit une section à parois minces définie directement par sa ligne moyenne et les épaisseurs de ses parois.

Conditions d'emploi

- L'utilisation de cette commande est facultative.
- L'application de la théorie des profilés à parois minces suppose la section indéformable transversalement, et stable (n parois alignées interdites).

Exemples

La ligne moyenne du caisson ci-dessous s'inscrit dans un rectangle de 7.20 m x 2 m.

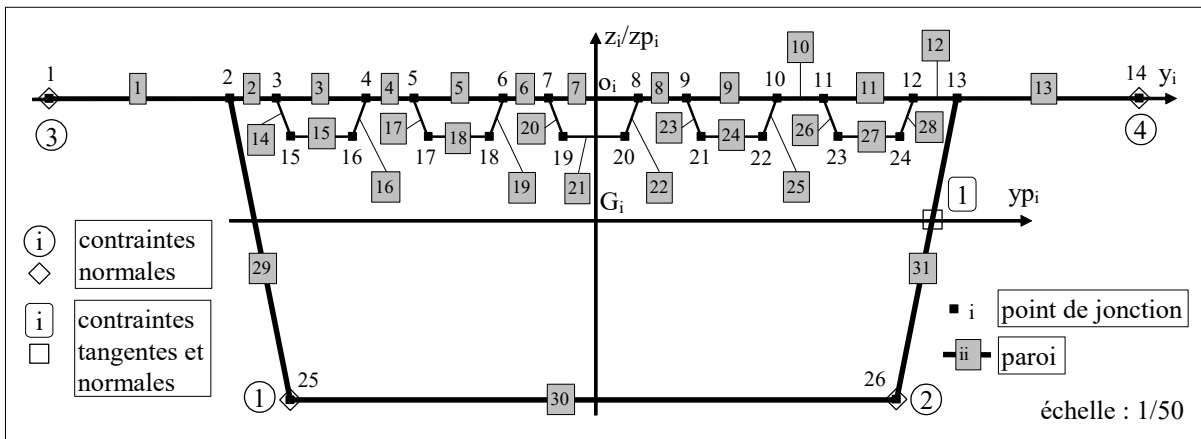


Figure 3.22 - Section à parois minces définie directement

```

$          nb_sigma nb_tau type_s orig_s type_sp type_gth nb_hou type_noe
GENERALITES 4          1          1          0.0          1          1          0          2
.....
SECTION PAROIS  CAISSON1  26  31  2
$ coordonnees des points de jonction
-3.60  0.00  -2.40  0.00  -2.10  0.00  -1.50  0.00  -1.20  0.00
-0.60  0.00  -0.30  0.00   0.30  0.00   0.60  0.00   1.20  0.00
 1.50  0.00   2.10  0.00   2.40  0.00   3.60  0.00
-2.00 -0.25  -1.60 -0.25  -1.10 -0.25  -0.70 -0.25  -0.20 -0.25
 0.20 -0.25   0.70 -0.25   1.10 -0.25   1.60 -0.25   2.00 -0.25
-2.00 -2.00   2.00 -2.00
$ incidences des parois et epaisseurs
 1  2  0.015   2  3  0.015   3  4  0.015   4  5  0.015
 5  6  0.015   6  7  0.015   7  8  0.015   8  9  0.015
 9 10  0.015  10 11  0.015  11 12  0.015  12 13  0.015  13 14  0.015
 3 15  0.010  15 16  0.010  16  4  0.010   5 17  0.010  17 18  0.010
18  6  0.010   7 19  0.010  19 20  0.010  20  8  0.010   9 21  0.010
21 22  0.010  22 10  0.010  11 23  0.010  23 24  0.010  24 12  0.010
 2 25  0.020  25 26  0.020  26 13  0.020
$ points de calcul des contraintes normales
-2.00 -2.00   2.00 -2.00  -3.60  0.00   3.60  0.00
$ points de calcul des contraintes tangentes et normales
 2.00 1000.0
$ largeur de revetement (rapports surface/perimetre calcules)
7.20
    
```

Commandes liées

GENERALITES ; AFFECTATION SECTION ; EPAISSEURS PAROIS

3.9 – AFFECTATION SECTION

AFFECTATION SECTION nom_section nb_points

⟨point_fibre⟩_{nb_points}

Paramètres

- nom_section : nom de la section à affecter ;
- nb_points : nombre de points de la fibre repère auxquels elle s'applique, au moins 1 ;
- point_fibre : numéro d'un point de la fibre repère ; l'ordre d'introduction des points n'est pas imposé.

Fonctions

Cette commande génère une partie du coffrage de la poutre, par affectation d'une section générique à un groupe de points de la fibre repère.

Conditions d'emploi

- S'il y a une seule section définie, ne pas l'affecter, elle le sera automatiquement à tous les points de la fibre repère (affectation par défaut).
- Sinon, introduire une commande AFFECTATION SECTION par section définie, chaque point de la fibre repère doit alors recevoir une affectation de section.

Exemples

```
FIBRE REPERE 5 3
.....
SECTION CONTOURS ENTIERE CAISSON1 1
.....
SECTION CONTOURS PARTIELLE CAISSON2 CAISSON1
.....
AFFECTATION SECTION CAISSON1 2
1 5
AFFECTATION SECTION CAISSON2 3
2 4 3
```

Commandes liées

FIBRE REPERE ; SECTION MASSIVE ; SECTION CONTOURS ENTIERE
SECTION CONTOURS PARTIELLE ; SECTION PAROIS ; TRONCONS

3.10 - TRONCONS

TRONCONS nb_points

$\langle \text{point_fibre} \rangle_{\text{nb_points}}$

Paramètres

- nb_points : nombre de points de « brisure » de la fibre moyenne, au moins 1 ;
- point_fibre : numéro d'un point de la fibre moyenne (ou repère) où apparaît une brisure ; on ne peut introduire de point de brisure au droit des sections de début et fin de la poutre ; l'ordre croissant d'introduction des numéros est imposé ; dans la liste des points, on ne peut introduire de groupe de plus de deux numéros consécutifs.

Fonctions

Cette commande désigne les points de la fibre moyenne de la poutre présentant des discontinuités de tracé et/ou de pente, pour mieux maîtriser le calcul de ses vecteurs tangents.

Un seul point suffit pour désigner une rupture de pente. Le vecteur tangent à la fibre moyenne est alors la moyenne des vecteurs tangents issus d'un lissage sur les tronçons situés « à gauche » puis « à droite » du point anguleux.

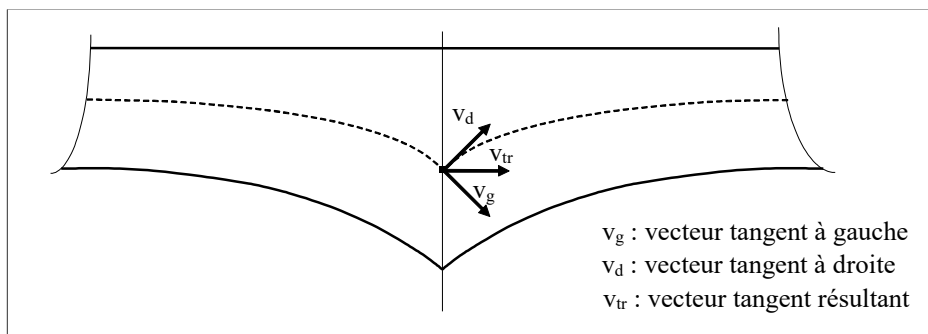


Figure 3.23 - Fibre moyenne, point anguleux

Lorsque la fibre moyenne présente une discontinuité de tracé due à la variation brutale des caractéristiques des sections, on peut désigner deux sections de brisure consécutives « rapprochées ». Les vecteurs tangents calculés à gauche et à droite de cet élément « de transition » sont alors conservés comme paramètres de la fibre moyenne.

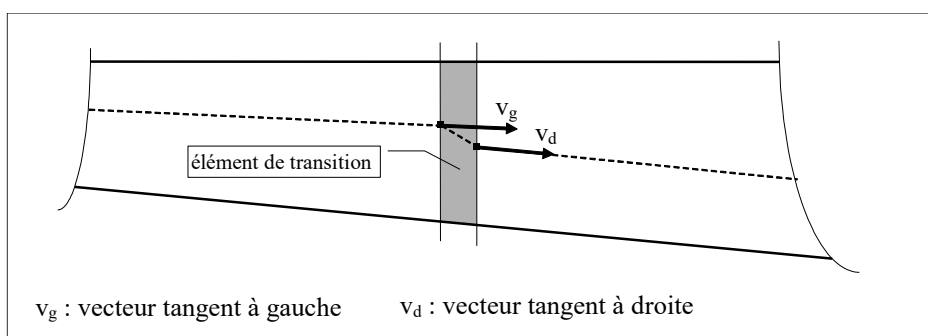


Figure 3.24 - Fibre moyenne, discontinuité de tracé

Le lissage des fibres moyennes des hourdis des sections à contours obéit aux mêmes règles que le lissage de la fibre moyenne de la poutre ; les éléments de transition se voient affecter des coefficients correcteurs d'effet Résal nuls.

Conditions d'emploi

- L'utilisation de cette commande est facultative.

Conseils méthodologiques

- La longueur des éléments de transition peut être de l'ordre du 1/10 de celle de leurs éléments adjacents.
- Pour créer un élément de transition, il suffit d'ajouter une section à gauche ou à droite de celle qui présente la « vraie » discontinuité.

Exemples

La fibre moyenne ci-dessous présente deux discontinuités de tracé et deux points anguleux.

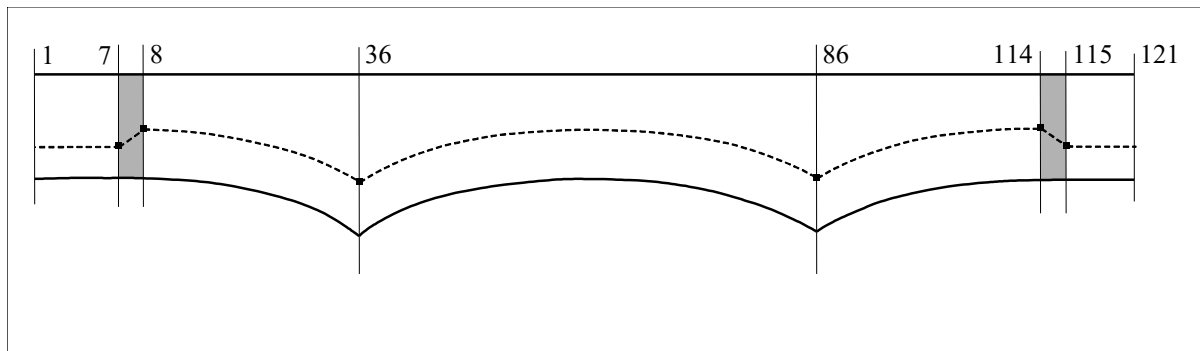


Figure 3.25 - Fibre moyenne, maîtrise des discontinuités

```
FIBRE REPERE 121 3
.....
TRONCONS 6
 7 8 $ premier element de transition
36 86 $ points anguleux
114 115 $ deuxieme element de transition
```

Commandes liées

FIBRE REPERE ; AFFECTATION SECTION

3.11 - ARTICULATIONS

ARTICULATIONS nb_points

$\langle \text{point_fibre} \rangle_{\text{nb_points}}$

Paramètres

- nb_points : nombre d'articulations internes à la poutre, au moins 1 ;
- point_fibre : numéro d'un point de la fibre moyenne (ou repère) où figure une articulation ; l'ordre d'introduction des numéros n'est pas imposé.

Fonctions

Cette commande fournit la position des articulations internes à la poutre.

Les sections correspondantes seront simplement repérées par des marqueurs, sur les dessins de coffrage.

Conditions d'emploi

- L'utilisation de cette commande est facultative.

Conseils méthodologiques

- Les sections d'articulations ne sont pas dédoublées dans la définition de la fibre repère, mais dans les données du modèle mécanique général.

Exemples

```
ARTICULATIONS 2  
24 96
```

Commandes liées

FIBRE REPERE

3.12 – EPAISSEURS PAROIS

EPAISSEURS PAROIS

$$\left\langle \left\langle \text{epaisseur_ori} \quad \text{epaisseur_ext} \right\rangle_{\text{nb_tau}} \right\rangle_{\text{nb_element}}$$

Paramètres

Le paramètre nb_tau est fourni par la commande GENERALITES ; nb_elements est le nombre d'éléments de la poutre.

- epaisseur_ori, epaisseur_ext : épaisseur nette d'une paroi à l'origine et à l'extrémité d'un élément, pour un point de calcul des contraintes tangentes et normales.

Fonctions

Cette commande fournit les épaisseurs nettes de parois à prendre en compte pour le calcul des contraintes tangentes ; les épaisseurs nettes peuvent différer des épaisseurs brutes s'il existe des câbles de précontrainte sous gaines.

Le dédoublement des valeurs pour les sections intermédiaires de la poutre permet de prendre en compte d'éventuelles variations brutales (arrêts de câbles) et de faire un calcul de contraintes de part et d'autre de chaque section.

Conditions d'emploi

- Introduire une seule commande de ce type.

Conseils méthodologiques

- Voir conseils méthodologiques de la commande SECTION MASSIVE.

Exemples

Dans la poutre ci-dessous, le premier point de calcul des contraintes tangentes et normales est situé dans un hourdis d'épaisseur nette constante et égale à 0.20 m, le deuxième est situé dans une âme dont l'épaisseur nette passe de 0.50 m à 0.45 m, au niveau de l'élément 3.

```

$          nb_sigma nb_tau type_s orig_s type_sp type_gth nb_hou type_noe
GENERALITES 4      2      1      0.0      1      1      4      2
FIBRE REPERE 5  3 $ 5 sections, 4 elements
EPAISSEURS PAROIS
$ ----- point 1 ----- point 2 -----
$ epaisseur_ori epaisseur_ext   epaisseur_ori epaisseur_ext
      0.20      0.20      0.50      0.50 $ element 1
      0.20      0.20      0.50      0.50 $ element 2
      0.20      0.20      0.50      0.45 $ element 3
      0.20      0.20      0.45      0.45 $ element 4

```

Commandes liées

GENERALITES ; FIBRE REPERE ; SECTION MASSIVE ; SECTION PAROIS
SECTION CONTOURS ENTIERE ; SECTION CONTOURS PARTIELLE

3.13 - MATERIAU

MATERIAU nom_materiau nb_parametres
loi_fluage loi_module loi_retrait
module_reference coef_poisson poids_volumique coef_dilatation
<para_supp>_{nb_parametres}

Paramètres

- nom_materiau : nom du matériau, ne pouvant être affecté à un autre matériau du modèle (de la poutre, d'autres poutres et d'éléments hors-poutres) ;
- nb_parametres : nombre de paramètres supplémentaires associés aux lois de comportement rhéologiques, indiquer 3 ou 8 en fonction du nombre de paramètres de la loi rhéologique des matériaux choisie ;
- loi_fluage : numéro de loi de fluage ;
- loi_module : numéro de loi de variation du module d'Young instantané ;
- loi_retrait : numéro de loi de retrait ;
- module_reference : module d'Young utilisé en l'absence de calcul rhéologique fin ;
- coef_poisson : coefficient de Poisson, doit être supérieur à -1.0 ;
- poids_volumique : poids volumique ;
- coef_dilatation : coefficient de dilatation thermique ;
- para_supp : paramètre supplémentaire dont le contenu dépend des lois de comportement rhéologiques choisies.

Voir l'annexe B pour la signification des numéros de lois de comportement rhéologiques et de leurs paramètres supplémentaires.

Lorsqu'un paramètre supplémentaire est inutilisé, entrer une valeur fictive lisible (1.0).

Les paramètres module_reference, poids_volumique et coef_dilatation doivent être supérieurs à 1.0E-8.

Fonctions

Cette commande fournit un matériau de base de la poutre, caractérisé par des paramètres physiques et des lois de comportement dans le temps, relatives à certains phénomènes, fixées par les textes réglementaires.

Ces lois de comportement et leurs paramètres associés sont utilisés par le module PH3 en mode CALCUL RHÉOLOGIQUE FIN.

Conditions d'emploi

- Fournir au moins une commande de ce type.
- Le nombre de matériaux ne peut être supérieur au nombre d'éléments de la poutre.

Conseils méthodologiques

- Les noms de matériaux d'une poutre peuvent contenir une particule l'identifiant, qui peut servir à générer d'autres noms de matériaux, s'il y a des copies de poutres dans les données du modèle mécanique général.
- On doit retrouver cette particule dans les noms de câbles-types et de câbles (voir commandes CARACTERISTIQUES CABLES et TRACE CABLE).
- Pour du métal, il n'y a pas de module d'Young différé ; pour du béton, entrer une valeur de module_reference correspondant au module différé si on envisage de faire des calculs avec ce module ; sinon, choisir le module instantané.
- Lorsque le module PH3 travaille en mode CALCUL RHÉOLOGIQUE FIN (voir chapitre 8, commande DATE), il prend toujours en compte le module d'Young instantané (para_supp1) ; sinon, c'est module_reference qui est choisi, à moins que l'option EINSTANTANE ne soit retenue au niveau de la commande ACTIVER ELEMENTS (voir chapitre 8).

Exemples

```

POUTRE 1          $ designee par particule P1 dans les noms de materiaux
.....
$ beton conforme au BPEL
MATERIAU P1BETON1 3
3                $ loi de fluage
14               $ loi de variation du module d'Young instantane
2                $ loi de retrait
3.60E06          $ module d'Young de reference
0.20             $ coefficient de Poisson
2.50             $ poids volumique
1.0E-05          $ coefficient de dilatation thermique
3.60E06          $ module instantane a 28 jours
1.0              $ parametre inutilise
0.95            $ parametre KS du reglement

```

Commandes liées

POUTRE ; FIBRE REPERE ; AFFECTATION MATERIAUX
 CARACTERISTIQUES CABLES ; TRACE CABLE

3.14 – AFFECTATION MATERIAUX

```
AFFECTATION MATERIAUX nb_troncons
    <nom_materiau point_fibre>_nb_troncons-1 nom_materiau
```

Paramètres

- nb_troncons : nombre de tronçons de poutre formés d'un matériau unique, au moins égal au nombre de matériaux et au plus égal au nombre d'éléments de la poutre ;
- nom_materiau : nom d'un matériau ;
- point_fibre : numéro de la section de fin du tronçon auquel il s'applique ; le premier tronçon débute à la première section et le dernier tronçon se termine à la dernière section (non fournie) ; l'ordre croissant d'introduction des numéros est imposé.

Fonctions

Cette commande affecte les matériaux de base aux éléments de la poutre.

Conditions d'emploi

- S'il y a un seul matériau, ne pas l'affecter, il le sera automatiquement à tous les éléments de la poutre (affectation par défaut).
- Sinon, introduire une commande AFFECTATION MATERIAUX.
- Chaque matériau doit être affecté à au moins un élément.

Exemples

```
POUTRE 1          $ designee par particule P1 dans les noms de materiaux
.....
FIBRE REPERE 121 3
MATERIAU PIBETON1 3
.....
MATERIAU PIBETON2 3
.....
AFFECTATION MATERIAUX 3
PIBETON1 50 $ troncon 1, sections 1 a 50
PIBETON2 72 $ troncon 2, sections 50 a 72
PIBETON1          $ troncon 3, sections 72 a 121
```

Commandes liées

FIBRE REPERE ; MATERIAU

3.15 – CARACTERISTIQUES CABLES

CARACTERISTIQUES CABLES nom_type
 sigma_initiale diametre_gaine section
 frot_courbes dev_parasite module_acier
 rentree_ancrage relax_1000h relax_3000h
 sigma_deformation sigma_rupture

Paramètres

- nom_type : nom du câble-type, ne pouvant être affecté à un autre câble-type du modèle (de la poutre et d'autres poutres) ;
- sigma_initiale : contrainte initiale à un ancrage ;
- diametre_gaine : diamètre extérieur de la gaine ;
- section : section ;
- frot_courbes : coefficient de frottement dans les courbes, en degrés⁻¹ ;
- dev_parasite : coefficient de déviation parasite ;
- module_acier : module d'Young de l'acier ;
- rentree_ancrage : rentrée du cône d'ancrage ;
- relax_1000h, relax_3000h : relaxation à 1000 heures et à 3000 heures, en % ;
- sigma_deformation : contrainte caractéristique de déformation ;
- sigma_rupture : contrainte de rupture garantie.

Pour les câbles tendus aux deux extrémités, sigma_initiale et rentree_ancrage sont supposés identiques aux deux ancrages.

Toutes ces valeurs doivent être positives, à l'exception de diametre_gaine, dev_parasite et recul_ancrage qui peuvent être nuls ; sigma_deformation doit être supérieure à sigma_initiale ; sigma_rupture doit être supérieure à sigma_deformation.

Fonctions

Cette commande fournit un câble-type, caractérisé par un ensemble de paramètres physiques, s'appliquant à certains câbles de précontrainte.

Conditions d'emploi

- La précontrainte est facultative, mais si on fournit au moins un câble-type, on doit définir au moins un tracé de câble.
- Chaque câble-type doit être affecté à au moins un tracé de câble, via la commande TRACE CABLE.

Conseils méthodologiques

- Les noms de câbles-types d'une poutre peuvent contenir une particule l'identifiant, qui peut servir à générer d'autres noms de câbles-types, s'il y a des copies de poutres dans les données du modèle mécanique général.
- On doit retrouver cette particule dans les noms de matériaux et de câbles (voir commandes MATERIAU et TRACE CABLE).
- Pour la précontrainte extérieure au béton, on peut introduire un diamètre de gaine et un coefficient de déviation parasite nuls.
- Lorsque les pertes par frottements avant reculs d'ancrages d'un câble tendu à ses deux extrémités sont trop faibles, il peut être impossible d'en déterminer le point de déplacement nul ; dans ce cas, il faut tendre le câble d'un seul coté, ou augmenter les coefficients de frottements de manière à obtenir, pour le câble tendu d'un seul coté, une perte par frottements totale d'au moins 2/10000 de la tension initiale.
- Pour transformer un groupe de câbles en aciers passifs, en vue d'effectuer des calculs non linéaires avec le module PH3, leur affecter une tension initiale « très faible » et un diamètre de gaine nul.
- Le coefficient de déviation parasite, noté ϕ dans le BPEL, correspond au produit de μ et de k dans l'Eurocode 2.

Exemples

```

POUTRE 1      $ designee par particule P1 dans les noms de cables-types
.....
$ pour cables 27T15 définitifs, interieurs au beton
$ -----
CARACTERISTIQUES CABLES  P1 27T15
144344.0      $ contrainte initiale, 0.8 x contrainte de rupture garantie
0.13         $ diametre de la gaine
4.05E-03     $ section
0.00314      $ coefficient de frottement en courbes (degres -1)
0.002        $ coefficient de deviation parasite
1.9E07       $ module d'Young de l'acier
0.008        $ rentree du cone d'ancrage
2.5          $ relaxation a 1000 heures (%)
3.0          $ relaxation a 3000 heures (%)
160380.0     $ contrainte caracteristique de deformation
180430.0     $ contrainte de rupture garantie

```

Commandes liées

POUTRE ; MATERIAU ; TRACE CABLE

3.16 – TRACE CABLE

TRACE CABLE nom_cable nom_type m_tension nb_points categ m_calage

$$\left\{ \begin{array}{l} \langle [\text{point_fibre}] \text{ nb_valeurs s_point y_point z_point } [\text{dev_ver}] [\text{dev_hor}] \rangle_{\text{nb_points}} \\ \langle [\text{point_fibre}] \text{ nb_valeurs s_point y_point z_point } [\text{rayon}] \rangle_{\text{nb_points}} \end{array} \right\}$$

Paramètres

Les paramètres type_s et orig_s sont fournis par la commande GENERALITES ; les abscisses curvilignes (approchées) sont calculées, pour les câbles, le long de la fibre repère, conformément à type_s.

- nom_cable : nom du câble, ne pouvant être affecté à un autre câble du modèle (de la poutre et d'autres poutres) ;
- nom_type : nom du câble-type indiquant ses caractéristiques et figurant sur une commande CARACTERISTIQUES CABLES ;
- m_tension : mode de mise en tension, indiquer :
 - 1 si le câble est tendu au début, 2 si le câble est tendu à la fin ;
 - 3 si le câble est tendu aux deux extrémités et relâché en premier au début ;
 - 4 si le câble est tendu aux deux extrémités et relâché en premier à la fin ;
- nb_points : nombre de points/pôles de définition, au moins égal à 2 si categ = 1, et au moins égal à 3 si categ = 2 ;
- categ : catégorie du câble, indiquer :
 - 1 si le câble est défini par des points de passage obligé, avec tangentes imposées éventuelles ;
 - 2 si le câble est défini par des pôles de proximité (formant une ligne brisée support), avec rayons de raccordements circulaires imposés éventuels ;
- m_calage : mode de positionnement longitudinal des points/pôles, indiquer :
 - -1 si l'abscisse curviligne de chaque point/pôle est mesurée par rapport à une section générique qui lui est propre ;
 - 0 si les abscisses curvilignes de tous les points/pôles du câble sont mesurées par rapport à une origine située à orig_s de la section 1, en abscisse curviligne ;
 - une valeur n positive et inférieure ou égale au nombre de points de la fibre repère, si les abscisses curvilignes de tous les points/pôles du câble sont mesurées par rapport à la section n ;
- point_fibre : numéro d'une section origine d'abscisse curviligne, à ne fournir que si m_calage = -1 ; l'ordre d'introduction des numéros n'est pas imposé ;
- nb_valeurs : nombre de valeurs réelles fournies pour un point/pôle, indiquer :
 - 3 s'il s'agit d'un point sans tangente, ou d'un pôle sans rayon de raccordement ;
 - 4 s'il s'agit d'un point avec demi-tangente (un angle de déviation verticale ou horizontale imposé), ou d'un pôle avec rayon de raccordement ;
 - 5 s'il s'agit d'un point avec tangente (deux angles de déviation imposés) ;
- s_point : abscisse curviligne d'un point/pôle, mesurée relativement à la section point_fibre si m_calage = -1, au point situé à orig_s de la section 1 si m_calage = 0, ou à la section m_calage si m_calage est positif.

Le repère générique $o_i x_i y_i z_i$ attaché à un point/pôle est celui dont l'abscisse curviligne de l'origine, mesurée relativement à la section 1 : $s_origine_1$, est la plus proche de la valeur de s_point , recalculée par rapport à la section 1 : s_point_1 .

L'abscisse locale d'un point/pôle dans ce repère est assimilée à $s_point_1 - s_origine_1$; elle coïncide avec s_point si la section choisie pour origine d'abscisse curviligne du point/pôle est sa section la plus proche (en abscisse curviligne).

Si elle est inférieure à 0.02 m, elle sera automatiquement ramenée à 0.0 (recalage des points/pôles trop proches des plans de sections génériques).

Les abscisses curvilignes s_point_1 des points/pôles du câble doivent être strictement croissantes, à au moins 0.02 m.

Aucune contrainte n'est imposée concernant la croissance des abscisses curvilignes des différentes origines choisies si $m_calage = -1$ (calage du câble sur des origines multiples).

- y_point , z_point : coordonnées d'un point/pôle dans son repère générique attaché ;
- dev_ver : angle de déviation « verticale », mesuré entre l'axe $o_i x_i$ du repère générique attaché à un point et la projection de son vecteur tangent sur le plan $x_i o_i z_i$, compté positivement de $o_i z_i$ vers $o_i x_i$;
- dev_hor : angle de déviation « horizontale », mesuré entre l'axe $o_i x_i$ du repère générique attaché à un point et la projection de son vecteur tangent sur le plan $x_i o_i y_i$, compté positivement de $o_i x_i$ vers $o_i y_i$.

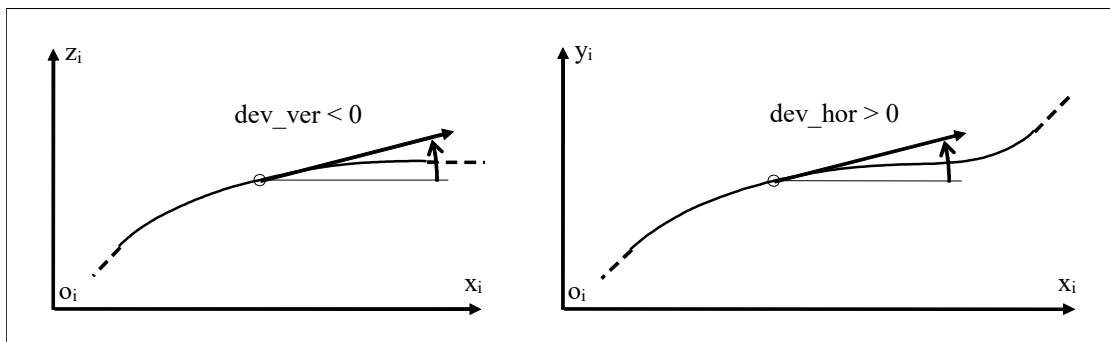


Figure 3.26 - Câble à points, déviations locales de tangentes

Ces angles facultatifs ne sont fournis que pour les câbles à points ($cat_{eg} = 1$), lorsque $nb_valeurs$ est supérieur à 3.

Si $nb_valeurs = 4$, indiquer une valeur avec partie entière à 2 chiffres, précédée de 1 s'il s'agit d'une déviation verticale, ou de 2 s'il s'agit d'une déviation horizontale, par exemple :

- 100.0 exprime une déviation verticale nulle ;
- -109.5 exprime une déviation verticale de -9.5 degrés ;
- 215.4 exprime une déviation horizontale de 15.4 degrés.

Si $nb_valeurs = 5$, indiquer deux valeurs effectives de déviations (89.0 pour la valeur absolue maximale) si la tangente est définie par déviations, sinon, indiquer -90.0 -90.0 si la tangente au point i est portée par le segment $[i-1, i]$, ou 90.0 90.0 si la tangente au point i est portée par le segment $[i, i+1]$.

- rayon : rayon du cercle de raccordement dans l'espace sur un pôle, compris entre 0.05 m et 1000.0 m.

Cette valeur n'est fournie que pour les câbles à pôles (categ = 2), lorsque nb_valeurs = 4 ; Il n'est pas permis d'imposer un rayon de raccordement sur un ancrage.

Si cette valeur n'est pas fournie (nb_valeurs = 3), un rayon de raccordement « minimum » (de 0.09 m à 0.03 m selon les cas) est appliqué ; c'est une manière de définir une brisure « presque parfaite ».

S'il y a un conflit de raccordements, les valeurs des rayons seront ajustées à la hausse ou à la baisse de manière à conserver des parties droites de longueurs significatives entre un ancrage et un arc de cercle, ou entre deux arcs de cercles.

Fonctions

Cette commande définit la géométrie d'un câble à points ou à pôles, son mode de mise en tension, ainsi que le nom du câble-type qui lui est rattaché.

Tous les câbles à pôles seront transformés en câbles à points après détermination des points de tangence entre parties droites et parties circulaires et remplacement des parties circulaires par des courbes d'interpolation. Tous les points de câbles seront finalement replacés dans leurs repères génériques attachés.

Conditions d'emploi

- La précontrainte est facultative, mais si on fournit au moins un tracé de câble, on doit définir au moins un câble-type.
- Tous les câbles doivent être décrits selon le sens de parcours de la poutre (figure 3.4).
- Chaque câble, dont une partie peut se situer en dehors du domaine longitudinal de la poutre, doit traverser au moins une section générique.

Conseils méthodologiques

- Les noms de câbles d'une poutre peuvent contenir une particule l'identifiant, qui peut servir à générer d'autres noms de câbles, s'il y a des copies de poutres dans les données du modèle mécanique général. On doit retrouver cette particule dans les noms de matériaux et de câbles-types (voir commandes MATERIAU et CHARACTERISTIQUES CABLES).
- Inclure également dans les noms de câbles des particules identifiant des parties d'ouvrage (travée, fléau, âme ...), permettant de les sélectionner plus facilement pour les compléter ou les dupliquer, si on utilise le générateur de câbles, ou pour les dessiner ; par exemple, tous les câbles de l'âme gauche contiennent la lettre "G", à remplacer par la lettre "D" lors de la création par symétrie transversale des câbles de l'âme droite.
- Tous les points de traversée de sections génériques d'un câble ne sont pas forcément à inclure dans sa définition.
- Un nombre quelconque de points peuvent être ajoutés à la définition d'un câble, entre les sections génériques qu'il traverse.
- Pour imposer un tronçon droit, on peut fournir deux points avec tangentes alignées portées (déviations angulaires fictives de +90.0 et -90.0) ; c'est la technique utilisée pour représenter les tronçons droits des câbles à pôles transformés en câbles à points.

- Deux points consécutifs avec tangentes imposées suffisent pour définir une courbe en "S", cependant, on maîtrise mieux la déviation angulaire qui lui est imputable si on ajoute le point d'inflexion avec sa tangente (exemple : courbe en "S" obtenue par deux arcs de cercles tangents en un point où l'inclinaison de la tangente est connue).
- Éviter les points trop rapprochés pouvant donner lieu à des déviations angulaires importantes et « cachées » (petits décrochements de tracé).

Exemples

L'exemple ci-dessous représente la première travée d'un tablier de hauteur variable, construit pour partie sur cintre et pour partie par encorbellements successifs.

La précontrainte de construction est intérieure au béton (câbles à points) et la précontrainte de continuité est extérieure au béton (câbles à pôles) ; le concept de câble à pôles s'adapte bien aux câbles extérieurs au béton, mais peut être utilisé pour des câbles intérieurs.

Nous définissons le demi-câble de fléau le plus long (qui sera complété par symétrie) et un câble de continuité couvrant la travée.

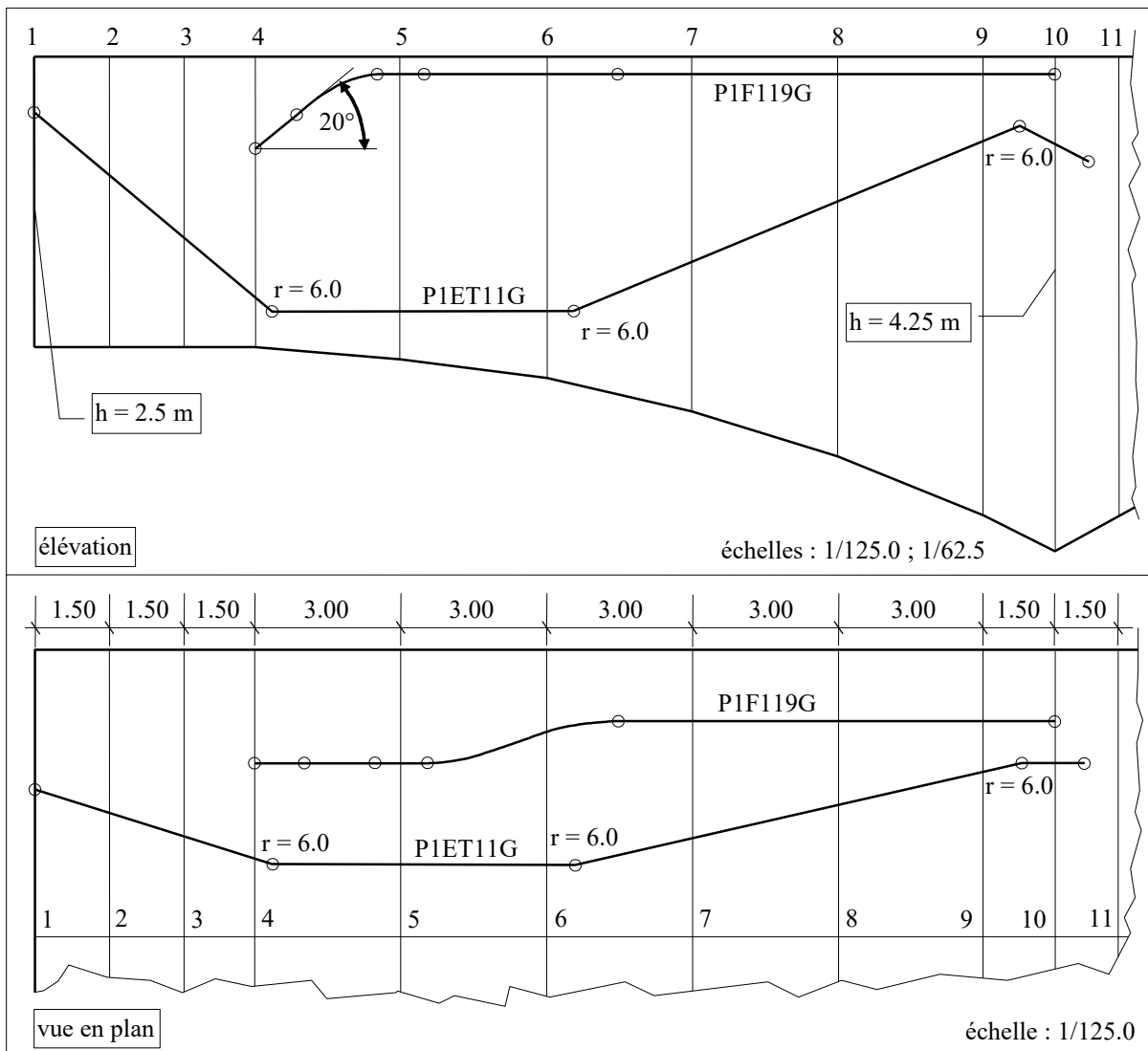


Figure 3.27 - Tracés de câbles

```

POUTRE 1 $ designee par particule P1 dans les noms de cables-types/cables
$          nb_sigma nb_tau type_s orig_s type_sp type_gth nb_hou type_noe
GENERALITES 4      1      1      0.0  1      1      0      2
FIBRE REPERE 33  3      $ axe de la poutre au niveau extradados
0.00  5*0.0      1.50  5*0.0      3.00  5*0.0      4.50  5*0.0
7.50  5*0.0      10.50 5*0.0      13.50 5*0.0      16.50 5*0.0
19.50 5*0.0      21.00 5*0.0      22.50 5*0.0      25.50 5*0.0
.....
CARA CABL P19T15S
.....
CARA CABL P119T15S
.....
$ demi-cable de fleau, cale longitudinalement sur sections multiples
$          nom_cable nom_type m_tension nb_points categ m_calage
TRACE CABLE P1F119G P19T15S 3      6      1      -1
$ point_fibre nb_valeurs s_point y_point z_point dev_ver dev_hor
4      5      0.00  3.00  -0.80 -20.00  0.00
4      5      1.00  3.00  -0.44 -20.00  0.00
4      5      2.50  3.00  -0.14  0.00  0.00
5      5      0.50  3.00  -0.14  0.00  0.00
6      5      1.50  3.75  -0.14  90.00  90.00
10     5      0.00  3.75  -0.14 -90.00 -90.00
$ cable de continuite, cale longitudinalement sur sections multiples
$          nom_cable nom_type m_tension nb_points categ m_calage
TRACE CABLE P1ET11G P119T15S 3      5      2      -1
$ point_fibre nb_valeurs s_point y_point z_point rayon
1      3      0.00  2.50  -0.50
4      4      0.20  1.25  -2.20  6.00
6      4      0.50  1.25  -2.20  6.00
9      4      0.75  3.00  -0.60  6.00
10     3      0.75  3.00  -0.90

```

Variante avec demi-câble de fléau calé sur la section 10 (plan de symétrie) et câble de continuité calé sur la section 1 qui est l'origine des abscisses curvilignes absolues, le paramètre orig_s de la commande GENERALITES étant nul.

```

TRACE CABLE P1F119G P19T15S 3 6 1 10
$ nb_valeurs s_point y_point z_point dev_ver dev_hor
5      -16.50  3.00  -0.80 -20.00  0.00
5      -15.50  3.00  -0.44 -20.00  0.00
5      -14.00  3.00  -0.14  0.00  0.00
5      -13.00  3.00  -0.14  0.00  0.00
5      -9.00  3.75  -0.14  90.00  90.00
5      0.00  3.75  -0.14 -90.00 -90.00
TRACE CABLE P1ET11G P119T15S 3 5 2 0
$ nb_valeurs s_point y_point z_point rayon
3      0.00  2.50  -0.50
4      4.70  1.25  -2.20  6.00
4      11.00  1.25  -2.20  6.00
4      20.25  3.00  -0.60  6.00
3      21.75  3.00  -0.90

```

Commandes liées

POUTRE ; GENERALITES ; FIBRE REPERE ; MATERIAU
 CARACTERISTIQUES CABLES

3.17 - FIN

FIN

Fonctions

Cette commande marque la fin des données d'une poutre.

Conditions d'emploi

- Doit constituer la dernière ligne du fichier de commandes.

Exemples

```
POUTRE 100  
.....  
.....  
FIN
```

Commandes liées

POUTRE

Chapitre 4

Génération de câbles

INTRODUCTION

SOMMAIRE

4.1 - CABLES

4.2 - EFFACEMENT

4.3 - COMPLETEMENT

4.4 - TRANSLATION

4.5 - SYMETRIE

4.6 - TENSION

4.7 - FIN

Introduction

Ce chapitre décrit les données nécessaires au complètement du câblage d'une poutre (spatiale) dont les parties redondantes n'ont pas été définies dans les câbles de base (parties manquantes des câbles symétriques à-demi définis, câbles pouvant être obtenus en translatant ou symétrisant des câbles définis entièrement, etc.).

Le terme « section » y désigne une section générique, le terme « repère », un repère générique, et le terme « coordonnées locales », des coordonnées en repères génériques multiples.

Le module MC1 ne « manipule » que des câbles à points (définis comme tels ou résultant de la transformation, par le module GE1, des câbles à pôles), avec ou sans tangentes entières (pouvant résulter du complètement, par le module GE1, des demi-tangentes des câbles à points).

Données

On produit habituellement un fichier par poutre, sa taille n'étant pas limitée.

Les tables de stockage peuvent accueillir jusqu'à 2_500 points de fibre repère, 20_000 noms de câbles et 250_000 points de définition de câbles (mémoire allouée statiquement) ; cependant, la taille maximale du problème à traiter se situe en deçà de ces limites, si on effectue des effacements ou compléments de câbles.

L'ordre d'entrée des données détermine l'ordre d'exécution des commandes, dont l'effet est cumulatif.

En l'absence de délimiteur de fin, chaque commande du module MC1 doit débiter sur une nouvelle ligne et le premier saut de ligne du libellé est à respecter. Par contre, le découpage en lignes, des données qui suivent un en-tête de commande, est libre.

Mode d'analyse

Le module MC1 effectue une analyse des données (doublée d'un contrôle), de type interprétation, en un seul passage, en s'arrêtant à la première erreur rencontrée.

Il est vérifié en permanence que tous les câbles « actifs » ont des noms corrects et différents et que la géométrie des câbles complétés, déplacés ou copiés, par symétrie ou translation, est conforme aux contraintes imposées par le module GE1 (en particulier, croissance stricte des abscisses curvilignes absolues des points et traversée d'une section au moins).

Enchaînement des traitements

Si le module MC1 n'a détecté aucune erreur, il est vérifié que la poutre possède au moins un câble de chacun des types prédéfinis (affectation de tous les câbles-types du câblage de base à au moins un tracé de câble), et le câblage modifié est enregistré.

Le module MC2 s'exécute alors, qui reconstitue le contenu de la base de données, puis les modules GE3 et GE5 s'exécutent, comme si les câbles générés avaient été introduits en données du module GE1.

Éditions

Le module MC1 ne fournit qu'un écho des commandes analysées.

Le module MC2 fournit un rappel sous forme claire des données de base de la poutre et de son câblage complété, ayant subi un premier état de transformation.

Les modules GE3 et GE5 fournissent les résultats des divers traitements géométriques et mécaniques.

Le volume de ces sorties est modulable globalement.

Sommaire

Commande	Page
4.1 - CABLES	4-5
4.2 - EFFACEMENT	4-6
4.3 - COMPLETEMENT	4-7
4.4 - TRANSLATION	4-10
4.5 - SYMETRIE	4-13
4.6 - TENSION	4-16
4.7 - FIN.....	4-17

4.1 - CABLES

CABLES no_poutre

Paramètres

- no_poutre : numéro de la poutre dont on va modifier le câblage, de 1 à 9999, doit correspondre à une poutre enregistrée en base de données par le module GE1.

Fonctions

Cette commande provoque la relecture d'une poutre en base de données et marque le début des données de génération de son câblage.

Conditions d'emploi

- Doit constituer la première ligne du fichier de commandes.

Exemples

```
CABLES 100  
.....  
.....  
FIN
```

Commandes liées

FIN

4.2 - EFFACEMENT

$$\text{EFFACEMENT} \begin{cases} \text{LISTE} & \text{nb_cables} \\ \text{PARTICULE} & \text{psel} \end{cases}$$

[$\langle \text{nom_cable} \rangle_{\text{nb_cables}}$]

Paramètres

- nb_cables : nombre de câbles à effacer, en cas de sélection des câbles par liste (option LISTE), positif ;
- psel : particule de sélection (assimilable à un nom), en cas de sélection des câbles par particule (option PARTICULE) ; tous les câbles dont les noms contiennent au moins une fois cette particule seront effacés ;
- nom_cable : nom d'un câble à effacer, en cas de sélection des câbles par liste.

Fonctions

Cette commande permet de supprimer un groupe de câbles.

Conditions d'emploi

- L'utilisation de cette commande est facultative.
- Après exécution de cette commande, la poutre doit posséder au moins un câble de chacun des types prédéfinis (affectation de tous les câbles-types du câblage de base à au moins un tracé de câble).

Exemples

```
$ suppression de 2 gaines vides
EFFACEMENT LISTE 2
P1F1GV1 P1F1GV2
```

```
$ suppression des cables dont les noms contiennent la particule "GV"
EFFACEMENT PARTICULE GV
```


4.3 - COMPLETEMENT

$$\text{COMPLETEMENT} \left\{ \begin{array}{l} \text{ORIRELATIF} \\ \text{ORIABSOLU} \\ \text{EXTRELATIF} \\ \text{EXTABSOLU} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \text{LISTE } \text{nb_cables} \\ \text{PARTICULE } \text{psel} \end{array} \right\}$$

$$[\langle \text{nom_cable} \rangle_{\text{nb_cables}}]$$

Paramètres

- `nb_cables` : nombre de câbles à compléter, en cas de sélection des câbles par liste (option LISTE), positif ;
- `psel` : particule de sélection (assimilable à un nom), en cas de sélection des câbles par particule (option PARTICULE) ; tous les câbles dont les noms contiennent au moins une fois cette particule seront complétés ;
- `nom_cable` : nom d'un câble à compléter, en cas de sélection des câbles par liste.

Fonctions

Cette commande permet de compléter, par symétrie longitudinale, un groupe de câbles à-demi définis, par leur origine, si on n'a défini que leur deuxième moitié (options ORIRELATIF et ORIABSOLU), ou leur extrémité, si on n'a défini que leur première moitié (options EXTRELATIF et EXTABSOLU).

Si `nb_points` est le nombre de points initial d'un demi-câble, son homologue complété aura $2 \times \text{nb_points} - 1$ points.

La transformation peut avoir lieu en abscisses curvilignes relatives (options ORIRELATIF et EXTRELATIF), ou absolues (options ORIABSOLU et EXTABSOLU).

Dans le premier cas, on recherche, pour chaque câble et pour chaque point à dupliquer (qui a toujours un repère de référence et une abscisse locale associée), le numéro de section qui s'y rattache « par symétrie » (qui doit exister), son abscisse locale étant changée de signe. Ce type de transformation ne double la longueur d'emprise curviligne des câbles, que si la répartition des sections est « symétrique » dans leur zone d'emprise longitudinale.

Dans le deuxième cas, chaque câble à compléter est recalé en abscisses curvilignes absolues, relativement à la section 1, complété par symétrie, puis recalé sur les sections les plus proches de ses points. Ce type de transformation double la longueur d'emprise curviligne des câbles, quelle que soit la répartition des sections dans leur zone d'emprise longitudinale.

Dans les deux cas, les coordonnées locales y et z sont conservées et les déviations verticales et horizontales de tangentes éventuelles (réelles ou fictives) sont changées de signes.

Conditions d'emploi

- L'utilisation de cette commande est facultative.

Conseils méthodologiques

- Le choix du mode de transformation (relatif ou absolu) est indifférent si la répartition des sections, en abscisses curvilignes, est symétrique (à moins de 0.02 m près) dans la zone d'emprise longitudinale des câbles complétés.
- Les modes de mise en tension des câbles restant inchangés dans la transformation, introduire, pour les demi-câbles, les modes de mise en tension des câbles complétés, ou les rétablir éventuellement à l'aide de la commande TENSION.

Exemples

Les câbles C1R et C1A ci-dessous, représentés schématiquement vus de dessus, sont complétés par symétrie relativement à leurs extrémités, seules leurs premières moitiés étant définies ; le câble C1R est complété en mode relatif, et le câble C1A, en mode absolu ; les résultats ne sont pas équivalents puisque la répartition longitudinale des sections n'est pas symétrique, dans la zone d'emprise longitudinale des câbles (sections 10 à 19).

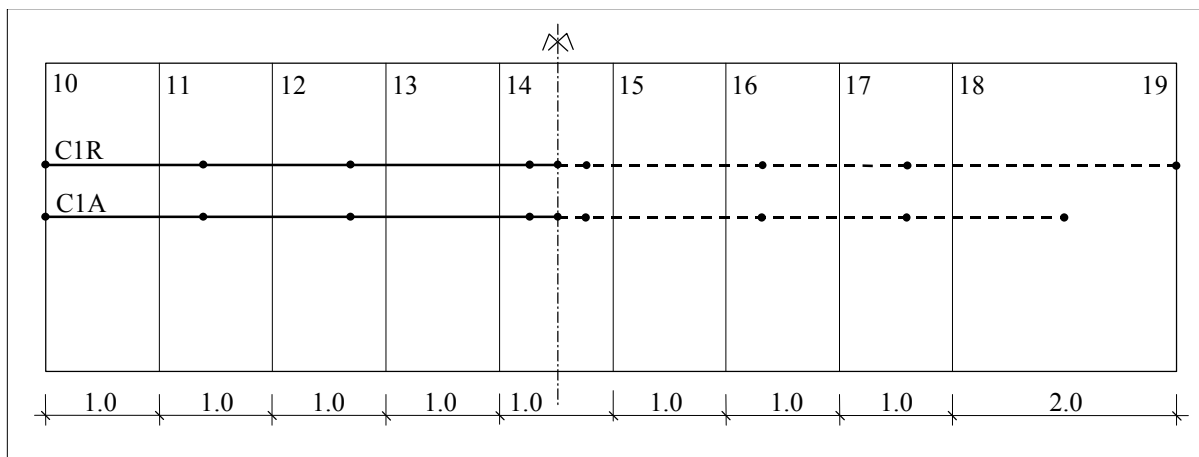


Figure 4.1 - modes de complèment par symétrie

\$ cable a 5 points defini par sa premiere moitie

```
TRACE CABLE C1R C12T13S 3 5 1 -1
10 5 0.00 2.50 -1.25 -20.0 0.0
11 5 0.40 2.50 -0.25 0.0 0.0
13 5 -0.30 2.50 -0.25 0.0 0.0
14 5 0.25 2.50 -0.25 0.0 0.0
14 5 0.50 2.50 -0.25 0.0 0.0
```

\$ cable a 9 points resultant de l'execution de la commande

```
$ COMPLETEMENT EXTRELATIF PARTICULE C1R
TRACE CABLE C1R C12T13S 3 9 1 -1
10 5 0.00 2.50 -1.25 -20.0 0.0
11 5 0.40 2.50 -0.25 0.0 0.0
13 5 -0.30 2.50 -0.25 0.0 0.0
14 5 0.25 2.50 -0.25 0.0 0.0
14 5 0.50 2.50 -0.25 0.0 0.0 $ plan de symetrie
15 5 -0.25 2.50 -0.25 0.0 0.0
16 5 0.30 2.50 -0.25 0.0 0.0
18 5 -0.40 2.50 -0.25 0.0 0.0
19 5 0.00 2.50 -1.25 20.0 0.0
```

\$ cable a 5 points defini par sa premiere moitie

TRACE	CABLE	C1A	C12T13S	3	5	1	-1
10	5	0.00	2.00	-1.25	-20.0	0.0	
11	5	0.40	2.00	-0.25	0.0	0.0	
13	5	-0.30	2.00	-0.25	0.0	0.0	
14	5	0.25	2.00	-0.25	0.0	0.0	
14	5	0.50	2.00	-0.25	0.0	0.0	

\$ cable a 9 points resultant de l'execution de la commande

\$ COMPLETEMENT EXTABSOLU PARTICULE C1A

TRACE	CABLE	C1A	C12T13S	3	9	1	-1
10	5	0.00	2.00	-1.25	-20.0	0.0	
11	5	0.40	2.00	-0.25	0.0	0.0	
13	5	-0.30	2.00	-0.25	0.0	0.0	
14	5	0.25	2.00	-0.25	0.0	0.0	
14	5	0.50	2.00	-0.25	0.0	0.0	\$ plan de symetrie
15	5	-0.25	2.00	-0.25	0.0	0.0	
16	5	0.30	2.00	-0.25	0.0	0.0	
18	5	-0.40	2.00	-0.25	0.0	0.0	
18	5	1.00	2.00	-1.25	20.0	0.0	

Commandes liées

TENSION

4.4 - TRANSLATION

$$\text{TRANSLATION} \left\{ \begin{array}{l} \text{LONRELATIVE} \quad \delta n \\ \text{LONABSOLUE} \quad \delta s \\ \text{TRANSVERSALE} \quad \delta y \\ \text{VERTICALE} \quad \delta z \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \text{COPIE} \\ \text{MOUVEMENT} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \text{LISTE} \quad \text{nb_cables} \\ \text{PARTICULE} \quad \text{psel} \quad [\text{psub}] \end{array} \right\}$$

[<nom_cable_s [nom_cable_c]>_{nb_cables}]

Paramètres

- δn : décalage longitudinal mesuré en nombre de sections, en cas de translation de type longitudinale relative (option LONRELATIVE) ; valeur algébrique entière non nulle à ajouter à tous les numéros de repères de référence des points des câbles à translater ; cette valeur ne doit pas provoquer de « sorties » de câbles du domaine longitudinal de la poutre (repères de référence non existants) ;
- δs : décalage longitudinal mesuré en abscisse curviligne, en cas de translation de type longitudinale absolue (option LONABSOLUE) ; valeur algébrique réelle non nulle à ajouter aux abscisses absolues (recalculées relativement à la section 1) des points des câbles à translater ; cette valeur peut provoquer des « sorties partielles » de câbles du domaine longitudinal de la poutre ; les câbles translétés sont recalés sur les sections les plus proches de leurs points de définition ;
- $\delta y, \delta z$: décalage transversal ou vertical, en cas de translation de type transversale (option TRANSVERSALE) ou verticale (option VERTICALE) ; valeur algébrique réelle non nulle à ajouter respectivement aux coordonnées locales y ou z des points des câbles à translater ;
- nb_cables : nombre de câbles à translater, en cas de sélection des câbles par liste (option LISTE), positif ;
- psel : particule de sélection (assimilable à un nom), en cas de sélection des câbles par particule (option PARTICULE) ; tous les câbles dont les noms contiennent au moins une fois cette particule seront translétés ;
- psub : particule de substitution (assimilable à un nom), en cas de sélection des câbles par particule et de transformation de type copie (option COPIE) ; les noms des câbles générés sont obtenus en remplaçant, dans ceux des câbles sélectionnés, les premières occurrences de la particule psel, par psub ;
- nom_cable_s : nom d'un câble à translater, en cas de sélection des câbles par liste ;
- nom_cable_c : nom du câble à créer, par translation du câble nom_cable_s, en cas de transformation de type copie, et de sélection des câbles par liste.

Fonctions

Cette commande permet de translater un groupe de câbles, longitudinalement (options LONRELATIVE ou LONABSOLUE), transversalement (option TRANSVERSALE), ou verticalement (option VERTICALE).

La translation longitudinale peut avoir lieu en abscisses curvilignes relatives (option LONRELATIVE, paramètre δn) ou absolues (option LONABSOLUE, paramètre δs).

Dans le premier cas, la longueur d'emprise curviligne des câbles n'est conservée que si la répartition des sections est « identique » dans leurs zones d'emprise longitudinale (initiale et de réception).

Dans le deuxième cas, la longueur d'emprise curviligne des câbles est conservée, quelle que soit la répartition des sections dans leurs zones d'emprise longitudinale.

Les nombres de points des câbles, les coordonnées locales non concernées (y et z en cas de translation longitudinale, x et z en cas de translation transversale, x et y en cas de translation verticale) sont conservées, ainsi que les déviations de tangentes éventuelles (réelles ou fictives).

Si la transformation est de type copie, les câbles sélectionnés sont dupliqués ; si la transformation est de type mouvement (option MOUVEMENT), les câbles sélectionnés sont déplacés.

Conditions d'emploi

- L'utilisation de cette commande est facultative.

Conseils méthodologiques

- Le choix du mode de transformation longitudinale (relatif ou absolu) est indifférent si la répartition des sections, en abscisses curvilignes, est identique (à moins de 0.02 m près) dans les zones d'emprise longitudinale des câbles à translater, et des câbles produits par la translation, et si la valeur du paramètre δs correspond à un nombre entier d'intervalles de sections.
- Les modes de mise en tension des câbles restant inchangés dans la transformation, modifier éventuellement les modes de mise en tension des câbles résultant de la transformation, à l'aide de la commande TENSION.

Exemples

Le câble T10 ci-dessous, représenté schématiquement vu de dessus, est copié longitudinalement par translation, en mode relatif (résultat : câble T1R) et en mode absolu (résultat : câble T1A, décalé transversalement pour la lisibilité du schéma) ; l'amplitude de la translation correspond dans les deux cas à un nombre entier d'intervalles des sections équidistantes, mais la longueur du tronçon de poutre situé entre les sections 18 et 19 étant de 2.0 m, les câbles T1R et T1A ont des longueurs différentes.

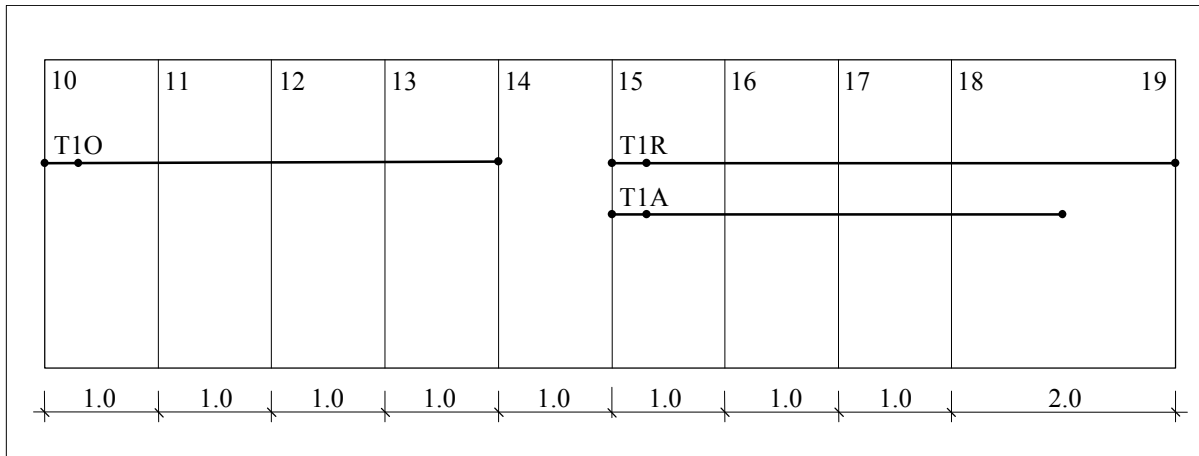


Figure 4.2 - modes de copie par translation longitudinale

```

$ cable a 3 points defini en entier
TRACE CABLE T10 C12T13S 3 3 1 -1
10 5 0.00 2.50 -1.25 -20.0 0.0
10 5 0.30 2.50 -0.75 -20.0 0.0
14 5 0.00 2.50 -0.25 0.0 0.0

$ cable a 3 points resultant de l'execution de la commande
$ TRANSLATION LONRELATIVE 5 COPIE LISTE 1
$ T10 T1R
TRACE CABLE T1R C12T13S 3 3 1 -1
15 5 0.00 2.50 -1.25 -20.0 0.0
15 5 0.30 2.50 -0.75 -20.0 0.0
19 5 0.00 2.50 -0.25 0.0 0.0

$ cable a 3 points resultant de l'execution des commandes
$ TRANSLATION LONABSOLUE 5.0 COPIE PARTICULE T10 T1A
$ TRANSLATION TRANSVERSALE -0.50 MOUVEMENT LISTE 1
$ T1A
$ TRANSLATION VERTICALE 0.10 MOUVEMENT PARTICULE T1A
TRACE CABLE T1A C12T13S 3 3 1 -1
15 5 0.00 2.00 -1.15 -20.0 0.0
15 5 0.30 2.00 -0.65 -20.0 0.0
18 5 1.00 2.00 -0.15 0.0 0.0
    
```

Commandes liées

TENSION

4.5 - SYMETRIE

$$\text{SYMETRIE} \left\{ \begin{array}{l} \text{LONRELATIVE} \quad \text{npv} \\ \text{LONABSOLUE} \quad \text{spv} \\ \text{TRANSVERSALE} \quad \text{ypv} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \text{COPIE} \\ \text{MOUVEMENT} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \text{LISTE} \quad \text{nb_cables} \\ \text{PARTICULE} \quad \text{psel} \quad [\text{psub}] \end{array} \right\}$$

$$[\langle \text{nom_cable_s} \quad \text{nom_cable_c} \rangle_{\text{nb_cables}}]$$

Paramètres

Le paramètre `orig_s` est fourni par la commande GENERALITES (voir chapitre 3).

- `npv` : numéro de la section servant de pivot à la transformation, en cas de symétrie de type longitudinale relative (option LONRELATIVE), indiquer :
 - une valeur positive désignant effectivement une section ;
 - ou une valeur négative, `-i`, désignant le plan situé à mi-distance entre les sections `i` et `i+1` ;
- `spv` : abscisse curviligne du pivot de la transformation, mesurée relativement à une origine située à `orig_s` de la section 1, en cas de symétrie de type longitudinale absolue (option LONABSOLUE) ; ce point ne coïncide pas forcément avec un point de la fibre repère ;
- `ypv` : décalage des axes de symétrie `z` locaux (éventuellement nul), par rapport aux axes `z` génériques, en cas de symétrie transversale (option TRANSVERSALE) ;
- `nb_cables` : nombre de câbles à symétriser, en cas de sélection des câbles par liste (option LISTE), positif ;
- `psel` : particule de sélection (assimilable à un nom), en cas de sélection des câbles par particule (option PARTICULE) ; tous les câbles dont les noms contiennent au moins une fois cette particule seront symétrisés ;
- `psub` : particule de substitution (assimilable à un nom), en cas de sélection des câbles par particule et de transformation de type copie (option COPIE) ; les noms des câbles générés sont obtenus en remplaçant, dans ceux des câbles sélectionnés, les premières occurrences de la particule `psel`, par `psub` ;
- `nom_cable_s` : nom d'un câble à symétriser, en cas de sélection des câbles par liste ;
- `nom_cable_c` : nom du câble à créer, par symétrisation du câble `nom_cable_s`, en cas de transformation de type copie, et de sélection des câbles par liste.

Fonctions

Cette commande permet de symétriser un groupe de câbles, longitudinalement (options LONRELATIVE ou LONABSOLUE), ou transversalement (option TRANSVERSALE).

Les nombres de points des câbles sont conservés.

La symétrie longitudinale peut avoir lieu relativement à un pivot fixé en abscisse curviligne relative (option LONRELATIVE, paramètre npv) ou absolue (option LONABSOLUE, paramètre spv).

Dans le premier cas, on recherche, pour chaque câble et pour chaque point à symétriser (qui a toujours un repère de référence et une abscisse locale associée), le numéro de section qui s'y rattache « par symétrie » (qui doit exister), son abscisse locale étant changée de signe. Ce type de transformation ne conserve la longueur d'emprise curviligne des câbles, que si la répartition des sections est « symétrique » dans leurs zones d'emprise longitudinale (initiale et de réception).

Dans le deuxième cas, chaque câble à symétriser est recalé en abscisses curvilignes absolues, relativement à la section 1, symétrisé, puis recalé sur les sections les plus proches de ses points. Ce type de transformation conserve la longueur d'emprise curviligne des câbles, quelle que soit la répartition des sections dans leurs zones d'emprise longitudinale.

Dans les deux cas, les coordonnées locales y et z sont conservées et les déviations verticales et horizontales de tangentes éventuelles (réelles ou fictives) sont changées de signes.

En cas de symétrie transversale, les numéros de repères de référence, les abscisses locales, les coordonnées z locales et les déviations verticales de tangentes éventuelles (réelles ou fictives) sont conservées ; les coordonnées y locales sont symétrisées et les déviations horizontales de tangentes sont changées de signe.

Si la transformation est de type copie, les câbles sélectionnés sont dupliqués ; si la transformation est de type mouvement (option MOUVEMENT), les câbles sélectionnés sont déplacés.

Conditions d'emploi

- L'utilisation de cette commande est facultative.

Conseils méthodologiques

- Le choix du mode de transformation longitudinale (relatif ou absolu) est indifférent si la répartition des sections, en abscisses curvilignes, est symétrique (à moins de 0.02 m près) dans les zones d'emprise longitudinale des câbles à symétriser, et des câbles produits par la symétrie, et si le paramètre spv de la transformation fixe le pivot sur une section ou à mi-distance entre deux sections.
- Les modes de mise en tension des câbles restant inchangés dans la transformation, modifier éventuellement les modes de mise en tension des câbles résultant de la transformation, à l'aide de la commande TENSION.

Exemples

Le câble S10 ci-dessous, représenté schématiquement vu de dessus, est copié longitudinalement par symétrie, en mode relatif (résultat : câble S1R) et en mode absolu (résultat : câble S1A, décalé transversalement pour la lisibilité du schéma) ; le pivot de la symétrie est fixé dans les deux cas à mi-distance des sections 14 et 15, mais la longueur du tronçon de poutre situé entre les sections 18 et 19 étant de 2.0 m, les câbles S1R et S1A ont des longueurs différentes.

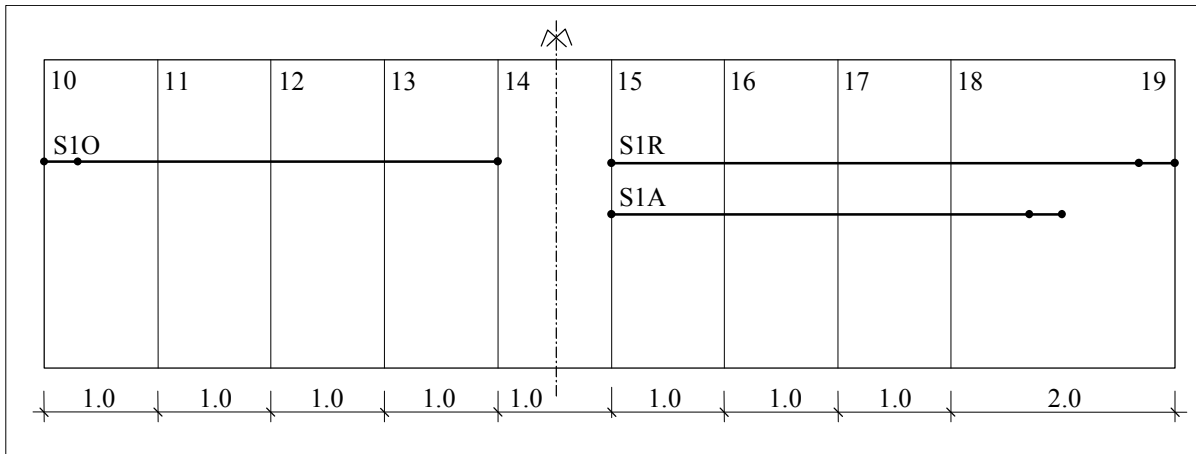


Figure 4.3 - modes de copie par symétrie longitudinale

```

$ cable a 3 points defini en entier
TRACE CABLE S10 C12T13S 3 3 1 -1
10 5 0.00 2.50 -1.25 -20.0 0.0
10 5 0.30 2.50 -0.75 -20.0 0.0
14 5 0.00 2.50 -0.25 0.0 0.0

$ cable a 3 points resultant de l'execution de la commande
$ (le code -15 y designe la "section" a mi-distance entre 14 et 15)
$ SYMETRIE LONRELATIVE -15 COPIE LISTE 1
$ S10 S1R
TRACE CABLE S1R C12T13S 3 3 1 -1
15 5 0.00 2.50 -0.25 0.0 0.0
19 5 -0.30 2.50 -0.75 20.0 0.0
19 5 0.00 2.50 -1.25 20.0 0.0

$ cable a 3 points resultant de l'execution des commandes
$ (les sections 1 a 10 etant supposees regulierement espacees de 1.0 m
$ et le parametre orig_s de la commande GENERALITES etant suppose nul,
$ le pivot de la transformation est situe a 13.5 m du debut de la poutre)
$ SYMETRIE LONABSOLUE 13.5 COPIE PARTICULE S10 S1A
$ TRANSLATION TRANSVERSALE -0.50 MOUVEMENT PARTICULE S1A
TRACE CABLE S1A C12T13S 3 3 1 -1
15 5 0.00 2.00 -0.25 0.0 0.0
18 5 0.70 2.00 -0.75 20.0 0.0
18 5 1.00 2.00 -1.25 20.0 0.0

```

Commandes liées

TENSION

4.6 - TENSION

$$\text{TENSION} \left\{ \begin{array}{l} \text{LISTE} \quad \text{nb_cables} \\ \text{PARTICULE} \quad \text{psel} \end{array} \right\} \quad \text{m_tension}$$

[$\langle \text{nom_cable} \rangle_{\text{nb_cables}}$]

Paramètres

- nb_cables : nombre de câbles à traiter, en cas de sélection des câbles par liste (option LISTE), positif ;
- psel : particule de sélection (assimilable à un nom), en cas de sélection des câbles par particule (option PARTICULE) ; tous les câbles dont les noms contiennent au moins une fois cette particule seront traités ;
- m_tension : nouveau mode de mise en tension, à affecter à tous les câbles sélectionnés (voir chapitre 3, commande TRACE CABLE, paramètre m_tension) ;
- nom_cable : nom d'un câble à traiter, en cas de sélection des câbles par liste.

Fonctions

Cette commande permet d'affecter à un groupe de câbles, une valeur commune de mode de mise en tension.

Conditions d'emploi

- L'utilisation de cette commande est facultative.

Exemples

```
$ changement du mode de mise en tension de deux cables
$ issus d'une copie par symetrie longitudinale
TENSION LISTE 2 4
S1R S1A
```

```
$ commandes equivalentes
TENSION PARTICULE S1R 4
TENSION PARTICULE S1A 4
```

Commandes liées

COMPLETEMENT ; TRANSLATION ; SYMETRIE

4.7 - FIN

FIN

Fonctions

Cette commande marque la fin des données de génération du câblage d'une poutre.

Conditions d'emploi

- Doit constituer la dernière ligne du fichier de commandes.

Exemples

```
CABLES 100  
.....  
FIN
```

Commandes liées

CABLES

Chapitre 5

Dessin

INTRODUCTION

SOMMAIRE

5.1 - DESBRUT / DESFIN

5.2 – ECHELLES STANDARD

5.3 - PROJECTION

5.4 – FAMILLE CABLES

5.5 – DESSIN SECTIONS

5.6 – DESSIN FIBRE

5.7 – DESSIN FAMILLE CABLES

5.8 - FIN

Introduction

Ce chapitre décrit les données complémentaires à produire, pour obtenir une représentation graphique en deux dimensions d'une poutre spatiale (sélection des sections, câbles et tronçons de coffrage à dessiner, positionnement des plans de projection, exécution des dessins).

On peut obtenir des images « brutes » (module GE2) qui n'utilisent que les données enregistrées et légèrement retraitées par le module GE1, ou des images « fines » (module GE4) représentant ces données et certains résultats produits par le module GE3 lors de leur traitement géométrique complet (lignes moyennes des sections à contours avec morphologie, fibre moyenne de la poutre, tracés de câbles lissés). La représentation brute est seule accessible si la poutre a été enregistrée avec succès par le module GE1 et si le module GE3 a détecté une erreur au moins.

Pour obtenir une bonne représentation graphique d'une poutre courbe, deux solutions se présentent :

- découper la poutre au niveau de certaines de ses sections et projeter les tronçons ainsi obtenus, sur des plans judicieusement choisis, accompagnant sa courbure ;
- « étirer » sa fibre repère le long de l'axe $O_p X_p$ de son repère de définition, en effectuer un enregistrement « temporaire » par le module GE1, et projeter la poutre ainsi « développée » sur deux plans orthogonaux pour la dessiner, en entier ou par tronçons.

Le plan $X_p O_p Y_p$ du repère poutre, nommé « plan horizontal » est associé à la notion de « vue en plan », alors que le plan $X_p O_p Z_p$, nommé « plan vertical », est associé à la notion de « vue en élévation ». Par extension, on considère les axes $o_i y_i$ des repères génériques comme des « horizontales locales », et les axes $o_i z_i$ comme des « verticales locales » (figure 3.4).

Échelles

Les modules GE2 et GE4 travaillent en échelles maximales imposées, pouvant être différentes dans les deux directions. Lorsque la taille d'espace d'affichage du matériel choisi (écran ou traceur) se révélera insuffisante pour accueillir certains dessins, les facteurs d'échelles correspondants seront ajustés à la hausse et arrondis, sinon, ils seront conservés.

Plans de projection

Les plans de projection, possèdent un attribut de vue en plan ou élévation, déterminant le type d'enveloppe de coffrage (horizontale ou verticale) à faire figurer sur les dessins projetés ; ils peuvent être liés à la poutre, en s'appuyant sur deux points de sa fibre repère et certains axes des repères poutre ou génériques, ou positionnés directement, en repère poutre.

Familles de câbles à dessiner

Les câbles peuvent être sélectionnés dans leur totalité, par particule, ou par liste de noms.

Dessins

Les modules GE2 et GE4 produisent des dessins de sections, de coffrage projeté, et de câblage projeté.

Le module GE2 représente les sections avec leur repère générique, le coffrage avec la fibre repère, et les câbles par des lignes brisées s'appuyant sur leurs points de définition, avec flèches de représentation des vecteurs tangents. Le module GE4 représente les sections avec leur repère principal d'inertie, le coffrage avec la fibre moyenne de la poutre, et les câbles par des courbes de lissage tabulées au pas de 0.25 m.

Données

Il faut produire un fichier par série de dessins à effectuer, sa taille n'étant pas limitée.

Les données peuvent être introduites dans un ordre quelconque (hormis les commandes de début et fin de fichier), les références en avant étant possibles (dessin d'une famille de câbles non encore définie, dessin de câbles projetés sur un plan non encore défini ...). L'ordre d'entrée des commandes de dessin détermine cependant leur ordre d'exécution, et l'ordre de production des dessins, par catégorie (sections, coffrage, câblage).

En l'absence de délimiteur de fin, chaque commande du module GE2 ou GE4 doit débiter sur une nouvelle ligne et le premier saut de ligne du libellé est à respecter. Par contre, le découpage en lignes, des données qui suivent un en-tête de commande, est libre.

Mode d'analyse

Les modules GE2 et GE4 effectuent une analyse des données (doublée d'un contrôle), de type compilation, par niveaux hiérarchiques, et balayages successifs de l'ensemble du fichier, du plus général au plus fin, en s'arrêtant au niveau où se produisent les premières erreurs.

Le nombre d'erreurs possibles à détecter n'est pas limité pour un niveau, mais la détection d'une erreur d'un certain niveau de gravité, pour une commande, peut empêcher la recherche d'autres erreurs du même niveau.

Enchaînement des traitements

Si le module GE2 ou GE4 n'a détecté aucune erreur, les dessins sont produits en séquence dans cet ordre : dessins de sections, de coffrage, de câblage.

Si le matériel choisi est de type interactif (écran), des points d'arrêts sont prévus pour observer les dessins (fonctions de zoom et recadrage), sinon (traceur ou assimilé), les dessins s'empilent dans un fichier.

Éditions

Les modules GE2 et GE4 fournissent un rappel des données introduites, et certains éléments issus de leur interprétation ; le volume de ces sorties n'est pas modulable.

Sommaire

Commande	Page
5.1 - DESBRUT / DESFIN.....	5-5
5.2 - ECHELLES STANDARD	5-6
5.3 - PROJECTION	5-8
5.4 - FAMILLE CABLES.....	5-10
5.5 - DESSIN SECTIONS	5-12
5.6 - DESSIN FIBRE	5-14
5.7 - DESSIN FAMILLE CABLES.....	5-15
5.8 - FIN.....	5-17

5.1 - DESBRUT / DESFIN

$\left\{ \begin{array}{l} \text{DESBRUT} \\ \text{DESFIN} \end{array} \right\}$ no_poutre

Paramètres

- no_poutre : numéro de la poutre à dessiner, de 1 à 9999, doit correspondre à une poutre enregistrée en base de données par le module GE1.

Fonctions

Cette commande provoque la relecture d'une poutre en base de données et marque le début d'un groupe de données de dessin s'y rapportant.

On peut obtenir une représentation sous forme brute des données du module GE1, éventuellement modifiées par le module MC1 (option DESBRUT, module GE2), ou un dessin plus fin incluant ces données et certains résultats du module GE3 (option DESFIN, module GE4).

Conditions d'emploi

- Doit constituer la première ligne du fichier de commandes.

Conseils méthodologiques

- GE4 est le module le plus utilisé, surtout pour les câbles, dont il fournit une représentation proche de leurs tracés réels.
- L'utilisation du module GE2 est seule autorisée, lorsque le module GE3 a détecté au moins une erreur (détermination de la ligne moyenne de certaines sections à contours avec morphologie impossible, lissage de la fibre moyenne de la poutre ou de certains câbles impossible ...).

Exemples

```
DESBRUT 100  
.....  
.....  
FIN
```

```
DESFIN 100  
.....  
.....  
FIN
```

Commandes liées

DESSIN SECTIONS ; DESSIN FIBRE ; DESSIN FAMILLE CABLES ; FIN

5.2 – ECHELLES STANDARD

ECHELLES STANDARD echl echh

Paramètres

- echl : facteur d'échelle imposé en largeur (axes génériques $o_i y_i$ pour les dessins de sections, directions moyennes de développement des tronçons de poutre pour les dessins de coffrage ou de câblage) ;
- echh : facteur d'échelle imposé en hauteur (axes génériques $o_i z_i$ pour les dessins de sections, autre direction orthogonale reflétant une vue en plan ou une élévation, selon les types de plans de projection choisis, pour les dessins de coffrage ou de câblage).

Ces valeurs doivent être supérieures ou égales à 0.1 ; indiquer 50 ou 50.0 pour exprimer une échelle de 1/50 ;

Lorsque l'un ou l'autre de ces facteurs d'échelle provoque un débordement de l'espace d'affichage du matériel choisi (écran ou traceur), celui qui provoque le débordement le plus sévère est ajusté à la valeur supérieure qui permet de remplir au mieux l'espace disponible (dans la direction correspondante) ; l'autre facteur d'échelle est ensuite ajusté de manière à conserver le rapport des valeurs initiales ; les deux facteurs d'échelle ainsi recalculés sont enfin recalés sur les multiples de 5.0 les plus proches par valeurs supérieures.

Par exemple, si les valeurs initiales sont : echl = 100.0 et echh = 50.0, s'il y a débordement dans les deux directions et si les valeurs théoriques minimales nécessaires au remplissage de l'espace d'affichage sont : echl = 133.0 et echh = 77.0, c'est le débordement en hauteur qui est le plus sévère, car $77.0/50.0 > 133.0/100.0$; on conserve donc le facteur correspondant (77.0) et on fait passer echl de 133.0 à $77.0 \times 2.0 = 154.0$; l'ajustement final de ces valeurs donne : echl = 155.0 et echh = 80.0 ; le rapport initial des facteurs d'échelles (2.0) est donc sensiblement conservé.

Fonctions

Cette commande fixe les facteurs d'échelle à prendre en compte pour toutes les commandes de dessin sans spécification d'échelle.

Conditions d'emploi

- L'utilisation de cette commande est obligatoire si on introduit au moins une commande de dessin sans spécification d'échelle, facultative sinon.

Conseils méthodologiques

- Si l'espace d'affichage doit être systématiquement rempli, dans une direction au moins, indiquer des valeurs de echl et echh indicatives mais faibles ; par exemple, coder echl = 2.0 et echh = 1.0, si on désire amplifier les dimensions en hauteur des dessins, d'un facteur 2.0, relativement à leurs dimensions en largeur).
- Veiller à ne pas remplir inconsidérément l'espace d'affichage des traceurs à rouleau, qui peut être de taille importante (plusieurs mètres de « largeur » pour un format A0⁺).

Exemples

\$ pour écran ou imprimante A4 ou A3, échelles indicatives
ECHELLES STANDARD 2.0 1.0

\$ pour traceur à rouleau, échelles imposées à respecter
\$ dans la mesure du possible
ECHELLES STANDARD 100.0 50.0

Commandes liées

DESSIN SECTIONS ; DESSIN FIBRE ; DESSIN FAMILLE CABLES

5.3 - PROJECTION

$$\text{PROJECTION} \left\{ \begin{array}{l} \text{PLAN} \\ \text{ELEVATION} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \left\{ \begin{array}{l} \text{GLOBAL} \\ \text{LOCAL} \end{array} \right\} \text{ plan sdeb sfin} \\ \text{QUELCONQUE} \text{ plan vnx vny vnz} \end{array} \right\}$$

Paramètres

- plan : nom du plan de projection, ne pouvant être affecté à un autre plan ;
- sdeb, sfin : numéros des points de fibre repère, supports d'une droite contenue dans le plan de projection, s'il est lié à la poutre (options GLOBAL ou LOCAL) ; sfin > sdeb.

Si le plan de projection est lié à la poutre de manière globale (option GLOBAL), il contient également une parallèle à l'axe O_pZ_p , s'il est de type vue en élévation (option ELEVATION) ; le plan de type vue en plan (option PLAN) lui est orthogonal.

Si on représente O_pZ_p vertical et ascendant, l'observateur posté debout regarde l'élévation en ayant sdeb à sa gauche et sfin à sa droite ; la vue en plan s'apparente à une vue de dessus, l'observateur regardant conventionnellement dans le sens opposé à celui de O_pZ_p .

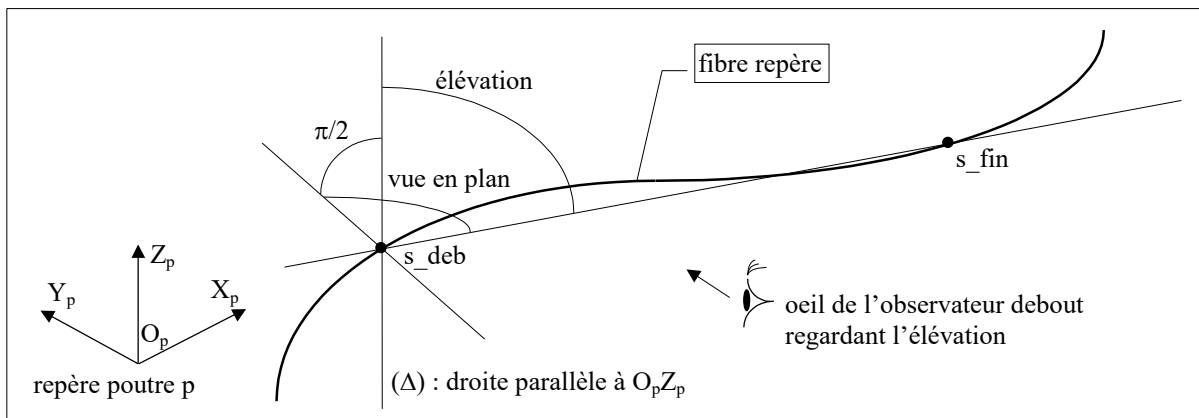


Figure 5.1 - Plans de projection liés à la poutre de manière globale

Si le plan de projection est lié à la poutre de manière locale (option LOCAL), remplacer la droite (Δ) (figure 5.1) par la moyenne (Δ_1) des axes génériques o_iZ_i aux points sdeb et sfin.

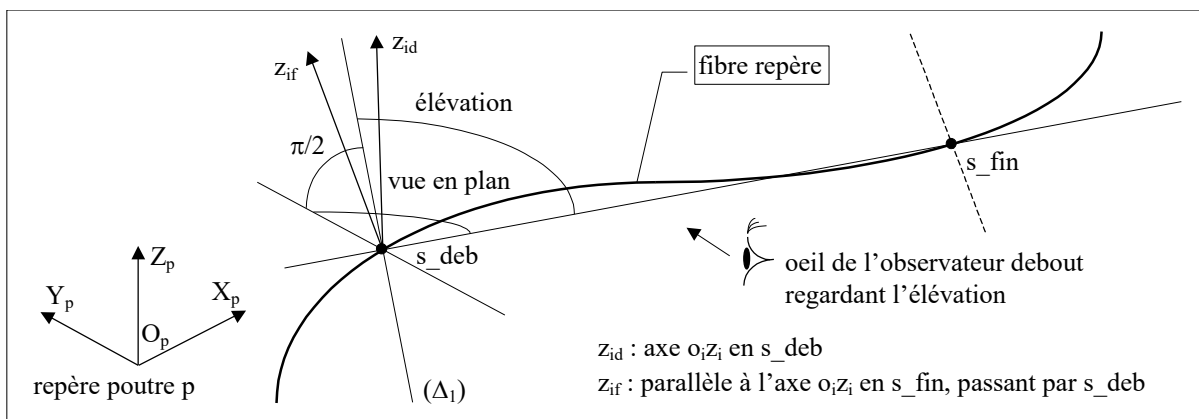


Figure 5.2 - Plans de projection liés à la poutre de manière locale

- v_{nx} , v_{ny} , v_{nz} : composantes en repère poutre du vecteur *normé* \vec{V}_n normal au plan à définir, si celui-ci est d'orientation quelconque (option QUELCONQUE), dont le sens indique le sens d'observation.

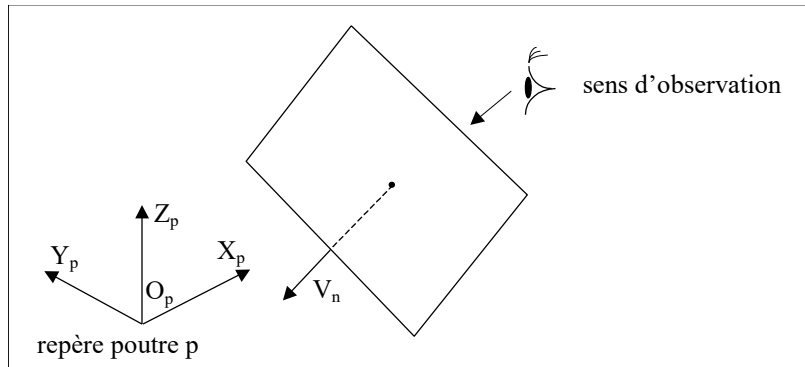


Figure 5.3 - Plan de projection d'orientation quelconque

Fonctions

Cette commande fournit un plan de projection à utiliser pour les dessins de coffrage ou de câblage.

Conditions d'emploi

- L'utilisation de cette commande est obligatoire si on introduit au moins une commande de dessin de coffrage ou de câblage, facultative sinon.
- Tous les plans de projection définis ne sont pas forcément utilisés (plans en réserve), mais la validité de leur existence est contrôlée.

Conseils méthodologiques

- Pour obtenir une approximation de la vue développée d'une poutre courbe, on peut la découper en tronçons, et projeter chaque tronçon sur un plan lié à la poutre qui s'appuie sur les points de fibre repère le délimitant.
- Pour les vues de câblage en élévation, choisir des plans orthogonaux à ceux des lits principaux de câbles, s'ils existent, pour minimiser les foisonnements.

Exemples

```
$ plans pour elevations d'un tablier courbe dessine travee par travee
PROJECTION ELEVATION GLOBALE P_TR1 1 33 $ travee 1
PROJECTION ELEVATION GLOBALE P_TR2 33 80 $ travee 2
PROJECTION ELEVATION GLOBALE P_TR3 80 112 $ travee 3
```

```
$ pour la vue de dessus, plan OpXpYp, vecteur normal dirige vers le bas
PROJECTION PLAN QUELCONQUE P_TAB 0.0 0.0 -1.0
```

Commandes liées

FAMILLE CABLES ; DESSIN FIBRE ; DESSIN FAMILLE CABLES

5.4 – FAMILLE CABLES

FAMILLE CABLES $\left\{ \begin{array}{l} \text{TOUS} \\ \text{LISTE} \\ \text{PARTICULE} \end{array} \right\}$ fami [psel] titre_famille
 [$\langle \text{nom_cable} \rangle_{\text{nb_cables}}$]

Paramètres

- fami : nom de la famille de câbles, ne pouvant être affecté à une autre famille ;
- psel : particule de sélection (assimilable à un nom), en cas de sélection des câbles par particule (option PARTICULE) ; tous les câbles dont les noms contiennent au moins une fois cette particule seront retenus ;
- titre_famille : chaîne de caractères identifiant la famille de câbles, sera reproduite sur tous les dessins s’y rapportant ;
- nom_cable : nom d’un câble à dessiner, en cas de sélection des câbles par liste (option LISTE) ; le nombre de noms fournis détermine la valeur du compteur nb_cables, non défini explicitement.

Fonctions

Cette commande permet de sélectionner un groupe de câbles à dessiner ou famille.

Conditions d’emploi

- L’utilisation de cette commande est subordonnée à la présence d’au moins un tracé de câble dans la définition de la poutre par le module GE1.
- L’utilisation de cette commande est obligatoire si on introduit au moins une commande de dessin de câblage, facultative sinon.
- Il n’est pas toléré de définir plusieurs familles de câbles contenant la même liste de noms, à l’ordre près ; la commande FAMILLE CABLES TOUS ne peut donc figurer qu’une fois au maximum.
- Toutes les familles de câbles définies ne font pas forcément l’objet de dessins (familles en réserve), mais la validité de leur existence est contrôlée.

Conseils méthodologiques

- En général, les vues en élévation des caissons comportant plusieurs âmes se font par sélections successives des câbles de chaque âme, pour éviter les recouvrements de tracés et de noms de câbles.
- La famille de type tous est couramment utilisée pour les vues en plan.

Exemples

FAMILLE CABLES TOUS FTC 'TOTALITE DES CABLES'

FAMILLE CABLES PARTICULE AME_G G 'CABLES DE L''AME GAUCHE'

FAMILLE CABLES LISTE FGV 'SELECTION DE GAINES VIDES'

P1F1GV1 P1F1GV2

P1T1GV1 P1T1GV2

P1F2GV1 P1F2GV2

Commandes liées

PROJECTION ; DESSIN FAMILLE CABLES

5.5 – DESSIN SECTIONS

DESSIN SECTIONS [ECHELLES] nb_tron c_noeu c_cont c_cabl [echl echh]
 ⟨sdeb sfin⟩_{nb_tron}

Paramètres

- nb_tron : nombre de tronçons de poutre dont on dessine toutes les sections, positif.

Un dessin de section comporte toujours son repère générique (dessin brut) ou principal (dessin fin) et une représentation de la géométrie de ses contours polygonaux ou de ses parois, selon le mode adopté pour sa définition, dans les données du module GE1 ; les autres informations sont reportées sur options.

- c_noeu : indiquer 1 si on désire dessiner les nœuds des sections à contours polygonaux (morphologie), leurs hourdis éventuels, et leur ligne moyenne, si elle est connue (dessin fin), 0 sinon, ou si la poutre ne comporte pas de section de ce type ;
- c_cont : indiquer 1 si on désire reporter les points de calcul des contraintes (normales, tangentes et normales), 0 sinon ;
- c_cabl : indiquer 1 si on désire reporter tous les points de passage de câbles fournis (dessin brut) ou fournis et déterminés par le module GE3 (dessin fin), 0 sinon, ou si la précontrainte n'est pas définie ;
- echl, echh : facteurs d'échelle imposés en largeur et en hauteur ; ces valeurs ne sont fournies que si l'option ECHELLES est utilisée, sinon, les facteurs d'échelle de la commande ECHELLES STANDARD sont pris en compte ; voir commande ECHELLES STANDARD pour leur signification ;
- sdeb, sfin : numéros des points de fibre repère de début et fin d'un tronçon de poutre ; sfin ≥ sdeb ; ces valeurs sont égales pour un tronçon réduit à une section ; les tronçons doivent être disjoints et fournis dans l'ordre croissant des numéros de sections.

Fonctions

Cette commande permet de dessiner une série de sections regroupées dans des intervalles continus, avec report sur options de certains détails d'habillage.

Conditions d'emploi

- L'utilisation de cette commande est facultative.
- La présence d'au moins une commande de dessin de sections sans spécification d'échelle rend obligatoire la commande ECHELLES STANDARD.

Conseils méthodologiques

- En général, on n'applique pas de distorsion d'échelles aux dessins de sections (facteurs d'échelle en largeur et en hauteur égaux).
- Ne pas reporter simultanément la morphologie et les points de passage de câbles (clarté).
- Les points de calcul des contraintes situés à hauteur du centre de gravité (fournis dans les données du module GE1 avec une coordonnée fictive) sont déclarés par le module GE2 en dehors des cadres de dessin (dessin brut), et représentés par le module GE4 dans leurs positions calculées par le module GE3 (dessin fin).
- La numérotation continue des points de passage de câbles, relative à chaque section, correspond à celle des sorties numériques du module GE1 (dessin brut) ou du module GE3 (dessin fin).

Exemples

```
ECHELLES STANDARD 50.0 50.0
$ dessin de 4 sections isolees avec points de passage de cables
$          nb_tron  c_noeu  c_cont  c_cabl
DESSIN SECTIONS  4      0      0      1
5 5   12 12   14 14   33 33

$ dessin d'une section isolee et de toutes les sections d'un demi-fleau
$ avec morphologie (+hourdis) (+ligne moyenne) et points-contraintes
$          nb_tron  c_noeu  c_cont  c_cabl  echl  echh
DESSIN SECTIONS ECHELLES  2      1      1      0      25.0  25.0
1 1    7 33
```

Commandes liées

DESBRUT / DESFIN ; ECHELLES STANDARD

5.6 – DESSIN FIBRE

DESSIN FIBRE [ECHELLES] plan sdeb sfin [echl echh]

Paramètres

- plan : nom du plan de projection utilisé, défini par une commande PROJECTION ;
- sdeb, sfin : numéros des points de fibre repère de début et fin du tronçon de poutre dont on dessine le coffrage ; sfin > sdeb ;
- echl, echh : facteurs d'échelle imposés en largeur et en hauteur ; ces valeurs ne sont fournies que si l'option ECHELLES est utilisée, sinon, les facteurs d'échelle de la commande ECHELLES STANDARD sont pris en compte ; voir commande ECHELLES STANDARD pour leur signification ;

Fonctions

Cette commande permet de dessiner un tronçon de coffrage projeté, avec fibre repère (dessin brut), ou fibre moyenne (dessin fin).

Suivant le facteur dominant du plan de projection choisi (plan ou élévation), on verra figurer l'enveloppe de coffrage calculée le long des axes génériques $o_i y_i$ ou $o_i z_i$ des sections, respectivement.

Conditions d'emploi

- L'utilisation de cette commande est facultative.
- La présence d'au moins une commande de dessin de coffrage rend obligatoire la définition d'un plan de projection au moins.
- La présence d'au moins une commande de dessin de coffrage sans spécification d'échelle rend obligatoire la commande ECHELLES STANDARD.

Exemples

```
$ vues en elevation suivant la courbure
ECHELLES STANDARD 100.0 50.0
DESSIN FIBRE P_TR1 1 33 $ travee 1
DESSIN FIBRE P_TR2 33 80 $ travee 2
DESSIN FIBRE P_TR3 80 112 $ travee 3

$ vue en plan globale
DESSIN FIBRE ECHELLES P_TAB 1 112 100.0 100.0
```

Commandes liées

DESBRUT / DESFIN ; ECHELLES STANDARD ; PROJECTION

5.7 – DESSIN FAMILLE CABLES

DESSIN FAMILLE CABLES [ECHELLES] fami plan sdeb sfin rcab [echl echh]

Paramètres

- fami : nom de la famille de câbles à dessiner, définie par une commande FAMILLE CABLES ;
- plan : nom du plan de projection utilisé, défini par une commande PROJECTION ;
- sdeb, sfin : numéros des points de fibre repère de début et fin du tronçon de poutre dont on dessine le câblage ; sfin > sdeb ;
- rcab : indiquer 1 si les noms des câbles doivent être reportés, préférentiellement au niveau de leurs ancrages, 0 sinon ;
- echl, echh : facteurs d'échelle imposés en largeur et en hauteur ; ces valeurs ne sont fournies que si l'option ECHELLES est utilisée, sinon, les facteurs d'échelle de la commande ECHELLES STANDARD sont pris en compte ; voir commande ECHELLES STANDARD pour leur signification ;

Fonctions

Cette commande permet de dessiner un tronçon de poutre projeté, avec certains de ses câbles, sous forme de lignes brisées avec flèches matérialisant les vecteurs tangents (dessin brut), ou de courbes de lissage tabulées au pas de 0.25 m (dessin fin) ; le report des noms de câbles est optionnel.

Suivant le facteur dominant du plan de projection choisi (plan ou élévation), on verra figurer l'enveloppe de coffrage calculée le long des axes génériques $o_i y_i$ ou $o_i z_i$ des sections, respectivement.

Conditions d'emploi

- L'utilisation de cette commande est facultative.
- L'utilisation de cette commande est subordonnée à la présence d'au moins un tracé de câble dans la définition de la poutre par le module GE1.
- La présence d'au moins une commande de dessin de câblage rend obligatoire la définition d'un plan de projection et d'une famille de câbles au moins.
- La présence d'au moins une commande de dessin de câblage sans spécification d'échelle rend obligatoire la commande ECHELLES STANDARD.
- Le tronçon de famille de câbles à projeter ne doit pas être vide.

Conseils méthodologiques

- Éviter de reporter les noms de câbles si les vues sont trop « ramassées » car la taille de leurs caractères qui dépend du matériel choisi, ne dépend pas des facteurs d'échelle utilisés ; les recouvrements de noms n'étant pas tolérés (la gestion des collisions s'opère par déplacements incrémentaux des noms le long des tracés de câbles projetés), le nombre de messages signalant l'impossibilité de reporter certains noms peut être élevé.
- Si le tronçon à dessiner débute à la première section de la poutre, et/ou se termine à sa dernière section, les portions de câbles correspondantes, débordant éventuellement du domaine longitudinal de la poutre, ne sont pas écrêtées.

Exemples

```
ECHELLES STANDARD 100.0 20.0
$ vues en elevation suivant la courbure, cables de l'ame gauche
DESSIN FAMILLE CABLES AME_G P_TR1 1 33 1 $ travee 1
DESSIN FAMILLE CABLES AME_G P_TR2 33 80 1 $ travee 2
DESSIN FAMILLE CABLES AME_G P_TR3 80 112 1 $ travee 3

$ vue en plan globale, tous les cables
DESSIN FAMILLE CABLES ECHELLES FTC P_TAB 1 112 1 100.0 100.0
```

Commandes liées

DESBRUT / DESFIN ; ECHELLES STANDARD ; PROJECTION ; FAMILLE CABLES

5.8 - FIN

FIN

Fonctions

Cette commande marque la fin d'un groupe de données de dessin d'une poutre.

Conditions d'emploi

- Doit constituer la dernière ligne du fichier de commandes.

Exemples

```
DESBRUT 100  
.....  
.....  
FIN
```

Commandes liées

DESBRUT / DESFIN

Chapitre 6

Définition

INTRODUCTION

SOMMAIRE

6.1 - MODELE

6.2 - TITRE

6.3 - MATERIAU

6.4 – SECTION TYPE

6.5 - ARTICULATION

6.6 - APPUI

6.7 – EQUIPAGE MOBILE

6.8 – POSITION POUTRE

6.9 – COPIE POUTRE

6.10 – NOEUDS FIBRE POUTRE

6.11 – NOEUDS REPERES POUTRE

6.12 – NOEUDS REPERE GLOBAL

6.13 – ELEMENTS POUTRE

6.14 – ELEMENTS COURANTS

6.15 – ELEMENTS RIGIDES

6.16 – ELEMENTS ARTICULATIONS

6.17 - EXCENTREMENTS

6.18 - FIN

Introduction

Ce chapitre décrit les données nécessaires à la définition du modèle mécanique général, comprenant les paramètres d'intégration des poutres (spatiales), les éléments hors-poutres avec leurs caractéristiques, et certains éléments complémentaires (articulations-types, appuis-types, équipages mobiles).

Données

Il faut produire un fichier pour le modèle, sa taille n'étant pas limitée. En particulier le nombre des commandes à introduire n'est pas limité, de même que le volume de données possible associé à une commande particulière. Par exemple, on peut introduire autant de sections-types et de matériaux que l'on veut, et autant de nœuds et éléments que nécessaire (mémoire allouée dynamiquement).

La seule limite existant concerne le nombre de poutres qui ne peut dépasser 9999.

Certaines commandes « excédentaires » sont acceptées (matériaux et sections-types pour éléments hors-poutres en réserve, non utilisés) ; par contre, aucune donnée excédentaire n'est tolérée dans une commande (nœuds ou éléments surnuméraires, relativement aux nombres annoncés ...).

Les données présentées dans un ordre logique et hiérarchique, pour leur description, peuvent être introduites dans un ordre quelconque (hormis les commandes de début et fin de fichier), les références en avant étant possibles (éléments courants recevant une affectation de matériau et section-type non encore définis, éléments reliant des nœuds non encore définis ...).

L'ordre d'entrée détermine cependant l'ordre de stockage interne de certaines entités et leur ordre d'apparition dans les résultats numériques (matériaux, sections-types ...).

En l'absence de délimiteur de fin, chaque commande du module PH1 doit débuter sur une nouvelle ligne et le premier saut de ligne du libellé est à respecter. Par contre, le découpage en lignes, des données qui suivent un en-tête de commande, est libre.

Mode d'analyse

Le module PH1 effectue une analyse des données (doublée d'un contrôle), de type compilation, par niveaux hiérarchiques, et balayages successifs de l'ensemble du fichier, du plus général au plus fin, en s'arrêtant au niveau où se produisent les premières erreurs.

Le nombre d'erreurs possibles à détecter n'est pas limité pour un niveau, mais la détection d'une erreur d'un certain niveau de gravité, pour une commande, peut empêcher la recherche d'autres erreurs du même niveau.

Par exemple la rencontre d'un mot-clé erroné sur une section-type empêche d'en analyser le contenu et la détection d'une valeur entière ou réelle lexicalement erronée dans une liste (alpha)numérique provoque l'arrêt de son analyse.

Enchaînement des traitements

Si le module PH1 n'a détecté aucune erreur du plus bas niveau, le modèle est déclaré correct et enregistré sous une forme homogène en base de données (nœuds et éléments

regroupés dans un ordre fixé, câbles des poutres rassemblés, matériaux de poutres et hors-poutres fusionnés ...).

Éditions

Le module PH1 édite un état du modèle enregistré réduit à ses tableaux principaux (éléments-types, poutres, nœuds, éléments ...).

Le volume de ces sorties n'est pas modulable.

Sommaire

Commande	Page
Sommaire	4
6.1 - MODELE.....	5
6.2 - TITRE.....	6
6.3 - MATERIAU.....	7
6.4 – SECTION TYPE.....	9
6.5 - ARTICULATION.....	12
6.6 - APPUI.....	14
6.7 – EQUIPAGE MOBILE	16
6.8 – POSITION POUTRE.....	18
6.9 – COPIE POUTRE	20
6.10 – NOEUDS FIBRE POUTRE	22
6.11 – NOEUDS REPERES POUTRE	25
6.12 – NOEUDS REPERE GLOBAL	28
6.13 – ELEMENTS POUTRE	29
6.14 – ELEMENTS COURANTS	31
6.15 – ELEMENTS RIGIDES	33
6.16 – ELEMENTS ARTICULATIONS	34
6.17 - EXCENTREMENTS.....	35
6.18 - FIN.....	37

6.1 - MODELE

MODELE

Fonctions

Cette commande marque le début des données du modèle.

Conditions d'emploi

- Doit constituer la première ligne du fichier de commandes.

Exemples

```
MODELE  
.....  
.....  
FIN
```

Commandes liées

TITRE ; FIN

6.2 - TITRE

TITRE titre_modele

Paramètres

- titre_modele : chaîne de caractères.

Fonctions

La première commande TITRE rencontrée détient l'intitulé principal du modèle, qui figure en tête de chaque page des sorties numériques (du module PH1) et de chaque dessin (du module PH2), s'y rapportant.

On retrouve également cet intitulé principal au début des résultats du module PH1, et au début et en tête de chaque page des résultats du module PH3, tant qu'il n'a pas été actualisé par une commande TITRE propre à ce module.

Le contenu de toutes les commandes TITRE (y compris la première) est également reproduit au début des résultats du module PH1.

Conditions d'emploi

- Introduire au moins une commande de ce type.

Exemples

```
TITRE '*** VIADUC D'ACCES B, MODELE ***'  
TITRE '-----'
```

Commandes liées

MODELE

6.3 - MATERIAU

```
MATERIAU  nom_materiau  nb_parametres
           loi_fluage  loi_module  loi_retrait
           module_reference  coef_poisson  poids_volumique  coef_dilatation
           ⟨para_supp⟩nb_parametres
```

Paramètres

- nom_materiau : nom du matériau, ne pouvant être affecté à un autre matériau du modèle (de poutres et d'éléments hors-poutres) ;
- nb_parametres : nombre de paramètres supplémentaires associés aux lois de comportement rhéologiques, indiquer 3 ;
- loi_fluage : numéro de loi de fluage ;
- loi_module : numéro de loi de variation du module d'Young instantané ;
- loi_retrait : numéro de loi de retrait ;
- module_reference : module d'Young utilisé en l'absence de calcul rhéologique fin ;
- coef_poisson : coefficient de Poisson, doit être supérieur à -1.0 ;
- poids_volumique : poids volumique ;
- coef_dilatation : coefficient de dilatation thermique ;
- para_supp : paramètre supplémentaire dont le contenu dépend des lois de comportement rhéologiques choisies.

Voir l'annexe B pour la signification des numéros de lois de comportement rhéologiques et de leurs paramètres supplémentaires.

Lorsqu'un paramètre supplémentaire est inutilisé, entrer une valeur fictive lisible (1.0).

Les paramètres module_reference, poids_volumique et coef_dilatation doivent être supérieurs à 1.0E-8.

Fonctions

Cette commande fournit un matériau de base pour éléments hors-poutres, caractérisé par des paramètres physiques et des lois de comportement dans le temps, relatives à certains phénomènes, fixées par les textes réglementaires.

Ces lois de comportement et leurs paramètres associés sont utilisés par le module PH3 en mode CALCUL RHÉOLOGIQUE FIN.

Conditions d'emploi

- Ne pas définir de matériau si le modèle ne comporte pas d'élément courant.
- Si le modèle comporte au moins un élément courant, fournir au moins un matériau ; le nombre de matériaux peut alors être quelconque, certains pouvant demeurer en réserve et non affectés.

Conseils méthodologiques

- Les matériaux de poutres n'étant « visibles » qu'au niveau des données qui les constituent (module GE1), ils sont dupliqués d'une poutre à l'autre en changeant leurs noms, s'ils ont les mêmes propriétés.
- Dans le même ordre d'idées, si des éléments hors-poutres et des éléments de poutres sont constitués de matériaux identiques, il faut les redéfinir dans les données du modèle avec des noms différents.
- Affecter un poids volumique très faible aux matériaux constitutifs des éléments « rigides » définis comme éléments courants avec des caractéristiques fortement majorées ; en effet, si leur poids propre peut ne pas être pris en compte lors de leur activation, leur masse initiale est calculée par le module DYN.
- Pour le choix du paramètre `module_reference`, voir conseils méthodologiques de la commande MATERIAU du module GE1 (chapitre 3).

Exemples

```
$ beton conforme au BPEL
MATERIAU  PILBETON  3
3           $ loi de fluage
14          $ loi de variation du module d'Young instantane
2           $ loi de retrait
3.60E06     $ module d'Young de reference
0.20        $ coefficient de Poisson
2.50        $ poids volumique
1.0E-05     $ coefficient de dilatation thermique
3.60E06     $ module instantane a 28 jours
1.0         $ parametre inutilise
0.95        $ paramètre KS du règlement
```

Commandes liées

SECTION TYPE ; ELEMENTS COURANTS

6.4 – SECTION TYPE

```
SECTION TYPE nom_section nb_sigma nb_tau
surface rigid_fy rigid_fz inertie_mx inertie_my inertie_mz
yp_centre zp_centre e_moyenne
[⟨sigma_fx sigma_my sigma_mz⟩nb_sigma ]
[⟨tau_fx tau_fy tau_fz tau_mx tau_my tau_mz
  sigmac_fx sigmac_my sigmac_mz⟩nb_tau ]
```

Paramètres

- `nom_section` : nom de la section-type, ne pouvant être affecté à une autre section-type ;
- `nb_sigma` : nombre de points de calcul des contraintes normales, positif ou nul ;
- `nb_tau` : nombre de points de calcul des contraintes tangentes « généralisées » et normales concomitantes, positif ou nul ;
- `surface` : surface ;
- `rigid_fy`, `rigid_fz` : rigidités au cisaillement selon les axes principaux Gy et Gz ; en l'absence d'une connaissance précise de ces paramètres, on peut introduire :
 - les sections réduites à l'effort tranchant ;
 - des valeurs nulles indiquant qu'on ne prend pas en compte les déformations dues à l'effort tranchant ;
- `inertie_mx` : inertie de torsion pure (constante de St-Venant) ;
- `inertie_my`, `inertie_mz` : inerties principales de flexion selon les axes principaux Gy et Gz ;
- `yp_centre`, `zp_centre` : coordonnées du centre de torsion en *repère principal* ;
- `e_moyenne` : rapport surface/périmètre extérieur, utilisé par PH3, en mode calcul rhéologique fin, dans certaines lois de retrait et fluage des matériaux (voir documents de référence mentionnés dans l'annexe B).
- `sigma_fx`, `sigma_my`, `sigma_mz` : coefficients pondérateurs des efforts Fx, My et Mz, pour le calcul des contraintes normales en un point ; à fournir si `nb_sigma` est positif ;
- `tau_fx`, `tau_fy`, `tau_fz`, `tau_mx`, `tau_my`, `tau_mz` : coefficients pondérateurs des efforts Fx, Fy, Fz, Mx, My et Mz, pour le calcul des contraintes tangentes généralisées en un point ; à fournir si `nb_tau` est positif ;
- `sigmac_fx`, `sigmac_my`, `sigmac_mz` : coefficients pondérateurs des efforts Fx, My et Mz, pour le calcul des contraintes normales concomitantes ; à fournir si `nb_tau` est positif.

Fonctions

Cette commande définit une section-type à affecter à certains éléments hors-poutres courants, par ses caractéristiques mécaniques, et ses coefficients éventuels permettant le calcul des contraintes (normales, tangentes généralisées et normales concomitantes), en certains points, à partir des efforts appliqués en repère principal.

Conditions d'emploi

- Ne pas définir de section-type si le modèle ne comporte pas d'élément courant.
- Si le modèle comporte au moins un élément courant, fournir au moins une section-type ; le nombre de sections-types peut alors être quelconque, certaines pouvant demeurer en réserve et non affectées.
- Les six premières caractéristiques de base (surface à inertie_mz) doivent être positives ou nulles, leur somme devant rester positive ; le paramètre e_moyenne doit être supérieur à 0.0001.
- Parmi les neuf caractéristiques de base (surface à e_moyenne), seules surface et e_moyenne doivent être différentes de 0.0 pour un élément bi-articulé (critère de reconnaissance).
- Les éléments courants non bi-articulés sont déclarés « standard ».

Conseils méthodologiques

- Éviter de mélanger les éléments « rigides » définis comme éléments courants avec des caractéristiques fortement majorées et les éléments introduits par la commande ELEMENTS RIGIDES.

Exemples

Dans la section ci-dessous, les contraintes tangentes sont calculées avec la théorie simplifiée, et les efforts de flexion sont sans influence sur elles.

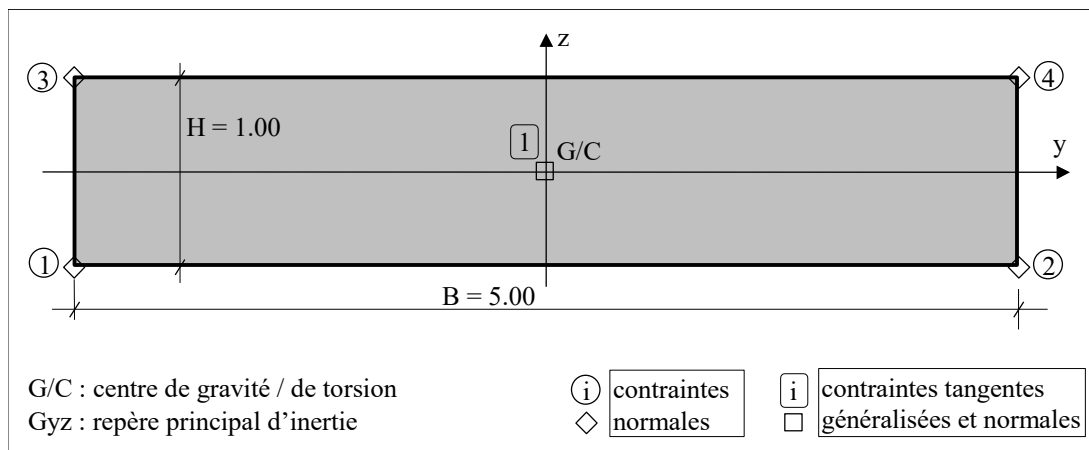


Figure 6.1 - Section rectangulaire

```

$ section rectangulaire parametree, pour elements standard
$ pour adapter a d'autres dimensions, changer B, H et K2
<B   = 5.0>
<H   = 1.0>
<K2  = 0.291>          $ pour constante de St-Venant et un rapport B/H=5.0
<S   = (B*H)>
<R_Y = (S*5.0/6.0)>
<R_Z = (R_Y)>
<I_X = (K2*B*H**3.0)>
<I_Y = (B*H**3.0/12.0)>
<I_Z = (H*B**3.0/12.0)>
<E_M = (0.5*S/(B+H))>
<M_Y = (B*H**2.0/8.0)>
<M_Z = (H*B**2.0/8.0)>

```

```

SECTION TYPE RECT_01 4 1
(S) $ surface
(R_Y) $ rigid_fy
(R_Z) $ rigid_fz
(I_X) $ inertie_mx
(I_Y) $ inertie_my
(I_Z) $ inertie_mz
0.0 $ yp_centre
0.0 $ zp_centre
(E M) $ e_moyenne
$ points de calcul des contraintes normales
$ sigma_fx sigma_my sigma_mz
(1.0/S) (-0.5*H/I_Y) (0.5*B/I_Z) $ point 1
(1.0/S) (-0.5*H/I_Y) (-0.5*B/I_Z) $ point 2
(1.0/S) (0.5*H/I_Y) (0.5*B/I_Z) $ point 3
(1.0/S) (0.5*H/I_Y) (-0.5*B/I_Z) $ point 4
$ points de calcul des contraintes tangentees generalisees et normales
$ tau_fx tau_fy tau_fz tau_mx tau_my tau_mz
0.0 (M_Z/(I_Z*H)) (M_Y/(I_Y*B)) 0.0 0.0 0.0
$ sigmac_fx sigmac_my sigmac_mz
(1.0/S) 0.0 0.0

$ section pour elements biarticules
$ pas de points de calcul des contraintes
SECTION TYPE HAUB_9 0 0
$ surface e_moyenne
0.007854 7*0.0 0.05

```

Commandes liées

MATERIAU ; ELEMENTS COURANTS

6.5 - ARTICULATION

ARTICULATION $\left\{ \begin{array}{l} \text{RIGIDITE} \\ \text{PARFAITE} \end{array} \right\}$ nom_arti

$\left\{ \begin{array}{l} \text{rigid_fx} \quad \text{rigid_fy} \quad \text{rigid_fz} \quad \text{rigid_mx} \quad \text{rigid_my} \quad \text{rigid_mz} \\ \text{bloq_fx} \quad \text{bloq_fy} \quad \text{bloq_fz} \quad \text{bloq_mx} \quad \text{bloq_my} \quad \text{bloq_mz} \quad [\text{c_pond}] \end{array} \right\}$

Paramètres

- nom_arti : nom de l'articulation-type, ne pouvant être affecté à une autre articulation-type ;
- rigid_fx, rigid_fy, rigid_fz, rigid_mx, rigid_my, rigid_mz : coefficients de rigidité (positifs ou nuls) reliant les efforts F_x , F_y , F_z , M_x , M_y et M_z , aux déplacements u_x , u_y , u_z , θ_x , θ_y et θ_z , dans le repère local de l'articulation-type, si elle est définie par sa matrice de rigidité diagonale (option RIGIDITE) ;
- bloq_fx, bloq_fy, bloq_fz, bloq_mx, bloq_my, bloq_mz : coefficients reliant efforts et déplacements ci-dessus, en cas d'articulation-type parfaite (option PARFAITE) ; indiquer 0, si le déplacement correspondant est libre, 1 s'il est bloqué de manière pondérée ;
- c_pond : coefficient de pondération commun aux déplacements bloqués de l'articulation-type parfaite ; cette valeur sera déterminée par le module PH3 si elle n'est pas fournie ; indiquer 1.0E7 pour obtenir un blocage « parfait » dans les cas courants (coefficient absolu).

Fonctions

Cette commande définit une articulation-type ponctuelle, par sa matrice de rigidité, ou ses degrés de liberté bloqués de manière pondérée.

Conditions d'emploi

- Ne pas définir d'articulation-type si le modèle ne comporte pas d'élément articulation.
- Si le modèle comporte au moins un élément articulation, définir au moins une articulation-type ; les articulations-types, placées ou remplacées par le module PH3 durant la construction, ne font pas l'objet d'affectation initiale aux éléments du modèle.

Conseils méthodologiques

- Réduire ou ne pas définir les coefficients de pondération définis des articulations-types parfaites qui provoquent des instabilités de type 3, durant la construction.

Exemples

```
ARTICULATION RIGIDITE  ARTI_1
$ rigid_fx  rigid_fy  rigid_fz  rigid_mx  rigid_my  rigid_mz
  1.0E6     1.0E4     1.0E4     1.0E3     1.0E2     1.0E3
```

```
ARTICULATION PARFAITE  ARTI_BLO
$ bloq_fx  bloq_fy  bloq_fz  bloq_mx  bloq_my  bloq_mz
  1         1         1         1         1         1
```

```
ARTICULATION PARFAITE  P_NEO1
$ bloq_fx  bloq_fy  bloq_fz  bloq_mx  bloq_my  bloq_mz  c_pond
  0         0         1         0         0         0         1.0E5
```

Commandes liées

ELEMENTS ARTICULATIONS

6.6 - APPUI

$$\text{APPUI} \left\{ \begin{array}{l} \text{RIGIDITE} \\ \text{SOUPLESSE} \\ \text{PARFAIT} \end{array} \right\} \text{ nom_appui}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \langle m_rigidite \rangle_{21} \\ \langle m_souplesse \rangle_{21} \\ \text{bloq_fx} \quad \text{bloq_fy} \quad \text{bloq_fz} \quad \text{bloq_mx} \quad \text{bloq_my} \quad \text{bloq_mz} \quad [\text{c_pond}] \end{array} \right\}$$

Paramètres

- nom_appui : nom de l'appui-type, ne pouvant être affecté à un autre appui-type ;
- m_rigidite : coefficient de rigidité reliant un effort Fx, Fy, Fz, Mx, My ou Mz, à un déplacement ux, uy, uz, θx, θy ou θz, dans le repère local de l'appui-type, s'il est défini par sa matrice de rigidité pleine (option RIGIDITE) ; les 21 coefficients représentent la matrice triangulaire supérieure décrite ligne par ligne ;

$$\begin{bmatrix} Fx \\ Fy \\ Fz \\ Mx \\ My \\ Mz \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ . & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 \\ . & . & 12 & 13 & 14 & 15 \\ . & . & . & 16 & 17 & 18 \\ . & . & . & . & 19 & 20 \\ . & . & . & . & . & 21 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \\ \theta_x \\ \theta_y \\ \theta_z \end{bmatrix} \quad (6.1)$$

- m_souplesse : coefficient de souplesse reliant un déplacement ux, uy, uz, θx, θy ou θz, à un effort Fx, Fy, Fz, Mx, My ou Mz, dans le repère local de l'appui-type, s'il est défini par sa matrice de souplesse pleine (option SOUPLESSE) ; les 21 coefficients représentent la matrice triangulaire supérieure décrite ligne par ligne ; les termes négatifs ou nuls ne sont pas admis sur la diagonale ; les termes supérieurs au terme maximum de la diagonale divisé par 1.0E7 sont considérés comme des coefficients de souplesse réels ; les termes inférieurs ou égaux à cette valeur sont considérés comme des coefficients à écarter « provisoirement », ainsi que les lignes et colonnes qui leur correspondent (termes forcément nuls), avant inversion de la matrice, puis à remplacer par leurs inverses « encadrés » de zéros, sur la diagonale de la matrice inverse ;

$$\begin{bmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \\ \theta_x \\ \theta_y \\ \theta_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ . & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 \\ . & . & 12 & 13 & 14 & 15 \\ . & . & . & 16 & 17 & 18 \\ . & . & . & . & 19 & 20 \\ . & . & . & . & . & 21 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} Fx \\ Fy \\ Fz \\ Mx \\ My \\ Mz \end{bmatrix} \quad (6.2)$$

- bloq_fx, bloq_fy, bloq_fz, bloq_mx, bloq_my, bloq_mz : coefficients reliant efforts et déplacements ci-dessus, en cas d'appui-type parfait, défini par sa matrice de rigidité diagonale (option PARFAIT) ; indiquer 0, si le déplacement correspondant est libre, 1 s'il est bloqué de manière pondérée ;

- `c_pond` : coefficient de pondération commun aux déplacements bloqués de l'appui-type parfait ; cette valeur sera déterminée par le module PH3 si elle n'est pas fournie ; indiquer 1.0E5 pour obtenir un blocage « parfait » dans les cas courants (coefficient relatif).

Fonctions

Cette commande définit un appui-type par sa matrice de rigidité ou de souplesse complète, ou ses degrés de liberté bloqués de manière pondérée.

Conditions d'emploi

- Définir au moins un appui-type.

Conseils méthodologiques

- Réduire ou ne pas définir les coefficients de pondération définis des appuis-types parfaits qui provoquent des instabilités de type 3, durant la construction.

Exemples

```
$ pile sud, appui type 1 (matrice de rigidite, triangulaire superieure)
APPUI RIGIDITE  FPISU1
0.0520E+6      0.0          0.0          0.0          -0.1916E+6    0.0
                0.0521E+6    0.0          0.1941E+6    0.0          0.0
                    0.5319E+6    0.0          9.8144E+6    0.0          0.0
                        9.8144E+6    0.0          2.9782E+6    0.0          0.0
                            2.9782E+6    0.0          1.0204E+6
```

```
$ matrice de souplesse inverse de la matrice ci-dessus, le terme maximum de
$ la diagonale est 0.252057E-4, aucun terme de celle-ci n'etant inferieur a
$ 0.252057E-4/1.0E+7, la matrice sera inversee globalement, pour sa prise
$ en compte dans les calculs, sans en extraire de ligne ou colonne
```

```
APPUI SOUPLASSE  FPISU1
0.252057E-4  0.0          0.0          0.0          0.162159E-5  0.0
                0.207205E-4  0.0          -0.409792E-6  0.0          0.0
                    0.188005E-5  0.0          0.0          0.0          0.0
                        0.109996E-6  0.0          0.0          0.0          0.0
                            0.440097E-6  0.0          0.0          0.0          0.0
                                0.980008E-6
```

```
APPUI PARFAIT  PILE_NEO
$ bloq_fx  bloq_fy  bloq_fz  bloq_mx  bloq_my  bloq_mz
0          0          1          1          0          0
```

```
APPUI PARFAIT  PILE_NEO
$ bloq_fx  bloq_fy  bloq_fz  bloq_mx  bloq_my  bloq_mz  c_pond
0          0          1          1          0          0          1.0E5
```

Commandes liées

NOEUDS FIBRE POUTRE ; NOEUDS REPERES POUTRE

NOEUDS REPERE GLOBAL

6.7 – EQUIPAGE MOBILE

```
EQUIPAGE MOBILE nom_equipage nb_points
  x_poids y_poids poids
  <x_point y_point>_nb_points
```

Paramètres

- `nom_equipage` : nom de l'équipage mobile, ne pouvant être affecté à un autre équipement mobile ;
- `nb_points` : nombre de points d'application de charges, au moins 3 ;
- `x_poids`, `y_poids` : coordonnées du point de passage de la ligne d'action du poids total de l'équipage mobile, dans le repère générique $o_i x_i y_i$ attaché lors de son placement le long d'une poutre (voir chapitre 8, commande PLACER EQUIPAGES) ;
- `poids` : poids total ;
- `x_point`, `y_point` : coordonnées en repère générique $o_i x_i y_i$ d'un point d'application de charge M_j ; il est vérifié que ces points ne sont pas tous alignés (stabilité d'ensemble).

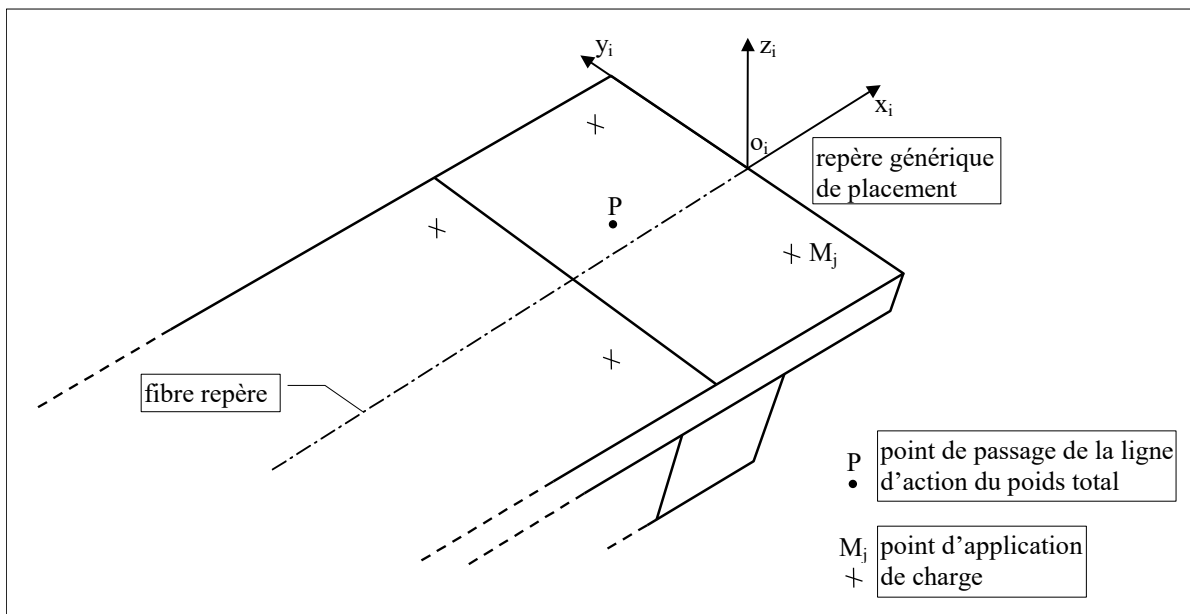


Figure 6.2 - Équipage mobile placé sur poutre en construction

Fonctions

Cette commande fournit les caractéristiques d'un équipement mobile de mise en œuvre de poutres.

La présence d'équipages mobiles est utile au placement d'éléments de poutres suspendus, par le module PH3 (voir chapitre 8, option SUSPENDUS de la commande PLACER ELEMENTS).

Conditions d'emploi

- Ne pas définir d'équipage mobile si le modèle ne comporte pas de poutre.
- Si le modèle comporte au moins une poutre, l'utilisation de cette commande est acceptée, mais non obligatoire.

Conseils méthodologiques

- Un équipage mobile ne pouvant être placé simultanément en plusieurs endroits différents pendant la construction, il faut le dupliquer autant de fois que nécessaire, s'il y a lieu, en changeant son nom.

Exemples

```
EQUIPAGE MOBILE COUL_VO1 4
$ x_poids y_poids poids
  -2.25   0.00   60.0
$ x_point y_point x_point y_point
  -3.50   4.75   -3.50   -4.75
  -1.00   4.75   -1.00   -4.75
```

Commandes liées

NOEUDS FIBRE POUTRE ; ELEMENTS POUTRE

6.8 – POSITION POUTRE

POSITION POUTRE no_poutre
x_trans y_trans z_trans θ_1 θ_2 θ_3

Paramètres

- no_poutre : numéro d'une poutre à intégrer au modèle, par positionnement d'une poutre enregistrée ;
- x_trans, y_trans, z_trans : coordonnées de l'origine de son repère de définition, en repère global ;
- θ_1 , θ_2 , θ_3 : triple rotation normalisée (voir figure 1.2) orientant son repère de définition, relativement au repère global.

Fonctions

Cette commande fournit les données de positionnement d'une poutre, appartenant au modèle et non définie en repère global.

Conditions d'emploi

- Ne pas introduire de commande de ce type si le modèle ne comporte pas de poutre.
- Si le modèle comporte au moins une poutre, fournir une commande de ce type par poutre lui appartenant, et non définie en repère global.
- La commande POSITION POUTRE est facultative pour toutes les poutres appartenant au modèle et définies en repère global (auxquelles sont affectées par défaut, des valeurs nulles de x_trans, y_trans, z_trans, θ_1 , θ_2 et θ_3).
- Le numéro no_poutre doit faire partie de la liste de poutres de référence du modèle, fixée par les couples de commandes NOEUDS FIBRE POUTRE et ELEMENTS POUTRE ; il ne peut être utilisé simultanément pour une poutre définie en repère global et positionnée implicitement, ou pour une poutre obtenue par copie (deuxième paramètre de la commande COPIE POUTRE).

Conseils méthodologiques

- Toutes les poutres dont la direction moyenne de développement est parallèle à l'axe OZ du repère global, ou s'en rapproche, doivent être décrites dans un repère local adéquat et positionnées en repère global.

Exemples

Le modèle comporte deux poutres numérotées 10 et 20, préalablement enregistrées sous ces numéros ; la poutre 10 est définie directement en repère global, dont elle occupe une partie de l'axe OX, et ne fait donc pas l'objet de positionnement ; la poutre 20 est décrite dans un repère local, dont elle occupe une partie de l'axe $O_{p20}X_{p20}$, déduit du repère global par une double translation et une simple rotation.

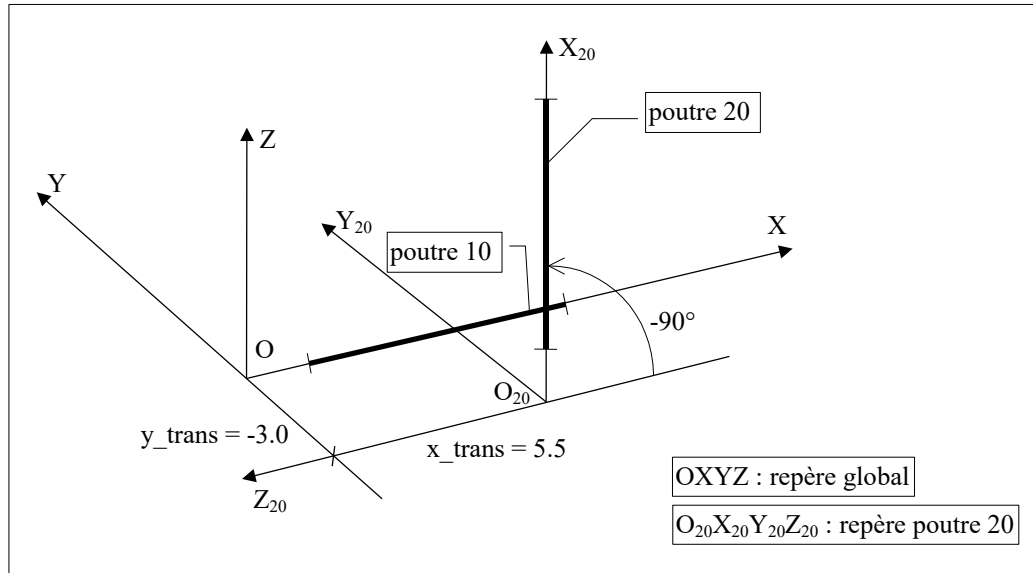


Figure 6.3 - poutre positionnée (ou copiée)

```

$ cette suite de commandes determine la liste de poutres de reference
NOEUDS FIBRE POUTRE 10 (..)
.....
NOEUDS FIBRE POUTRE 20 (..)
.....
ELEMENTS POUTRE 10
.....
ELEMENTS POUTRE 20
.....
$ positionnement de la poutre 20 par translation et rotation de son repere
POSITION POUTRE 20
$ x_trans y_trans z_trans teta1 teta2 teta3
  5.5      -3.0      0.0      0.0      -90.0  0.0

```

Commandes liées

COPIE POUTRE ; NOEUDS FIBRE POUTRE ; NOEUDS REPERES POUTRE
ELEMENTS POUTRE

6.9 – COPIE POUTRE

COPIE POUTRE n1_poutre n2_poutre
x_trans y_trans z_trans θ_1 θ_2 θ_3 part_sel part_sub

Paramètres

- n1_poutre : numéro d'une poutre enregistrée ;
- n2_poutre : numéro de la poutre à intégrer au modèle, par copie de la poutre n1_poutre ; n2_poutre \neq n1_poutre ;
- x_trans, y_trans, z_trans : coordonnées de l'origine de son repère de définition, en repère global ;
- θ_1 , θ_2 , θ_3 : triple rotation normalisée (voir figure 1.2) orientant son repère de définition, relativement au repère global ;
- part_sel : particule de sélection (assimilable à un nom), obligatoirement présente dans les noms de matériaux, câbles-types et câbles de la poutre n1_poutre ;
- part_sub : particule (assimilable à un nom), qui se substituera aux premières occurrences de part_sel, pour générer les noms de matériaux, câbles-types et câbles de la poutre n2_poutre ; la substitution ne doit provoquer ni débordement de longueur, ni duplication de noms, dans chaque catégorie, relativement au modèle complet (matériaux hors-poutres inclus).

Fonctions

Cette commande fournit les données de repositionnement d'une poutre, à intégrer au modèle par copie d'une poutre « originale » appartenant également au modèle.

La copie intéresse le coffrage de la poutre, son câblage éventuel, et ses matériaux constitutifs.

Cette technique permet de ne pas définir, au niveau du module GE1, les poutres redondantes, à une translation et/ou rotation près.

L'intitulé principal d'une poutre obtenue par copie est celui de la poutre copiée, préfixé par n2_poutre, dans ses quatre premiers caractères ; les dates d'enregistrement sont également reprises à partir de celles de la poutre copiée.

Conditions d'emploi

- Ne pas introduire de commande de ce type si le modèle ne comporte pas de poutre.
- Si le modèle comporte au moins une poutre, fournir une commande de ce type pour chaque poutre lui appartenant, et obtenue par copie.
- Le numéro n1_poutre doit faire partie de la liste de poutres de référence du modèle, fixée par les couples de commandes NOEUDS FIBRE POUTRE et ELEMENTS POUTRE ; il doit correspondre à une poutre originale définie en repère global ou positionnée. Il n'est donc pas permis de copier une poutre qui est enregistrée mais n'appartient pas au modèle, ni de copier une poutre obtenue par copie (copies en cascade).
- Le numéro n2_poutre doit également faire partie de la liste de poutres de référence du modèle ; il ne doit correspondre ni à une poutre originale définie en repère global ou positionnée, ni à une poutre enregistrée en base de données (en réserve ou référencée).

Conseils méthodologiques

- Attention, la translation et la triple rotation ne s'opèrent pas relativement à la position réelle occupée par n1_poutre, si elle fait l'objet de positionnement, mais en « absolu », comme si la poutre n2_poutre était positionnée.

Exemples

Le modèle comporte deux poutres identiques numérotées 10 et 20, la poutre 10 est préalablement enregistrée sous ce numéro ; elle est définie directement en repère global et ne fait donc pas l'objet de positionnement ; la poutre 20 est déduite de la poutre 10 par copie, translations et rotation de son repère (la figure 6.3 peut s'appliquer à ce cas également).

Il est vérifié que la poutre 20 n'est pas enregistrée en base de données.

```
$ cette suite de commandes determine la liste de poutres de reference
NOEUDS FIBRE POUTRE 10 (..)
.....
NOEUDS FIBRE POUTRE 20 (..)
.....
ELEMENTS POUTRE 10
.....
ELEMENTS POUTRE 20
.....
$ repositionnement de la poutre 10 pour obtenir la poutre 20 par copie
COPIE POUTRE 10 20
$ x_trans y_trans z_trans teta1 teta2 teta3
  5.5     -3.0     0.0     0.0    -90.0     0.0
$ part_sel part_sub
  P10      P20
```

Commandes liées

POSITION POUTRE ; NOEUDS FIBRE POUTRE ; NOEUDS REPERES POUTRE
ELEMENTS POUTRE

6.10 – NOEUDS FIBRE POUTRE

NOEUDS FIBRE POUTRE no_poutre [nb_noeuds]

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{noeud_depart} \quad \text{pas_n} \\ \left\langle \text{nb_noeuds_s} \quad \langle \text{no_noeud} \rangle_{\text{nb_noeuds_s}} \right\rangle_{\text{nb_points_f}} \end{array} \right\}$$

Paramètres

- no_poutre : numéro d'une poutre appartenant au modèle et obtenue, soit par enregistrement direct suivi d'un positionnement éventuel, soit par copie et repositionnement d'une poutre existante ;
- nb_noeuds : nombre de nœuds géométriques créés par l'introduction de la poutre, au niveau de sa fibre moyenne :
 - ne pas coder cette valeur si chaque section de la poutre engendre un seul nœud ; on suppose alors que ces nœuds sont numérotés par le module PH1, en progression arithmétique, cas 1 ;
 - indiquer une valeur supérieure ou égale au nombre de points de la fibre repère (ou moyenne) de la poutre (nb_points_f), si tous les numéros de nœuds sont fournis et/ou si au moins un point de la fibre moyenne est pointé plus d'une fois, cas 2 ;
- noeud_depart, pas_n : valeur de départ (positive) et pas sur la numérotation des nœuds (positif ou négatif) dans le cas 1 ;
- nb_noeuds_s, no_noeud : nombre de nœuds générés par une section de poutre (supérieur ou égal à 1) et numéro d'un nœud, dans le cas 2.

Dans les deux cas, tous les nœuds de la poutre sont référencés dans l'ordre croissant des numéros de ses sections (sens de parcours). Qu'ils soient générés ou fournis, les numéros de nœuds doivent être uniques (pour le modèle complet), positifs et inférieurs à 1000_000.

Dans le cas 2, chaque point de la fibre moyenne doit être décrit au moins une fois, et il est vérifié que $\sum_1^{\text{nb_points_f}} \text{nb_noeuds_s} = \text{nb_noeuds}$.

Fonctions

Cette commande fournit les numéros de nœuds appartenant à la fibre moyenne d'une poutre du modèle, et la manière de les resituer.

Conditions d'emploi

- Ne pas introduire de commande de ce type si le modèle ne comporte pas de poutre.
- Si le modèle comporte au moins une poutre, fournir une commande de ce type par poutre lui appartenant (présente directement ou obtenue par copie).
- Les groupes de commandes NOEUDS FIBRE POUTRE et ELEMENTS POUTRE (en nombres égaux) déterminent le nombre de poutres appartenant au modèle, et la liste de référence de leurs numéros (identique, à l'ordre près, d'un groupe à l'autre).

Conseils méthodologiques

- Pour introduire une articulation interne à une poutre, pointer deux fois sur le nœud correspondant.
- Pour introduire une articulation, au niveau de la fibre moyenne d'une poutre, qui ne rompt pas sa continuité, on peut dédoubler le nœud correspondant de la fibre moyenne ou en définir une copie, comme nœud hors-poutres.

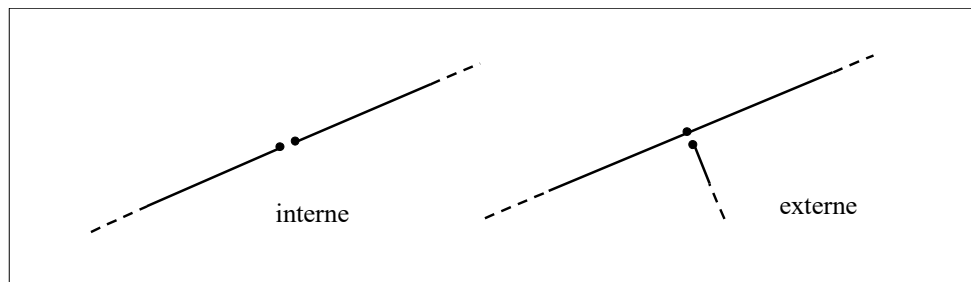


Figure 6.4 - Poutre, articulations au niveau de la fibre moyenne

Exemples

Soit une poutre numéro 20 comportant 5 sections ; dans le cas 1, chaque section ne produit qu'un nœud (cas très fréquent) ; leurs numéros sont en progression arithmétique.

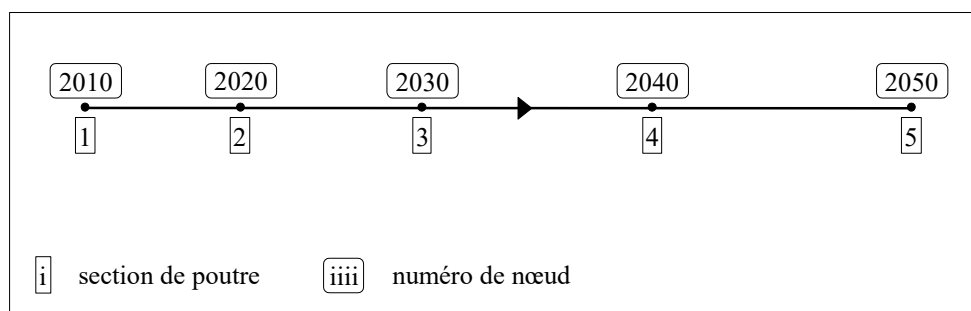


Figure 6.5 - Poutre, nœuds de la fibre moyenne, cas 1

```
NOEUDS FIBRE POUTRE 20
$ noeud_depart pas_n
2010 10
```

Dans le cas 2, chaque section produit un nœud, sauf la troisième qui est dédoublée ; tous les numéros de nœuds sont fournis.

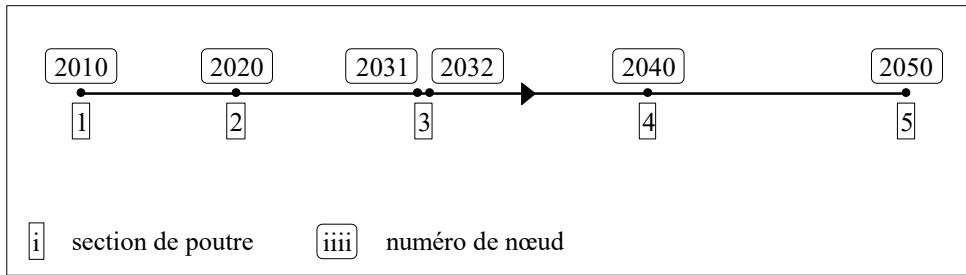


Figure 6.6 - Poutre, nœuds de la fibre moyenne, cas 2

```

NOEUDS FIBRE POUTRE 20 6
$ nb_noeuds_s no_noeud no_noeud nb_noeuds_s no_noeud no_noeud
1 2010 2020 1 2020
2 2031 2032 1 2040
1 2050
    
```

Commandes liées

APPUI ; EQUIPAGE MOBILE ; POSITION POUTRE ; COPIE POUTRE
 NOEUDS REPERES POUTRE ; NOEUDS REPERE GLOBAL
 ELEMENTS POUTRE ; ELEMENTS COURANTS ; ELEMENTS RIGIDES
 ELEMENTS ARTICULATIONS ; EXCENTREMENTS

6.11 – NOEUDS REPERES POUTRE

NOEUDS REPERES POUTRE no_poutre [nb_noeuds]

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{noeud_depart pas_n x_loc y_loc z_loc} \\ \langle \text{no_noeud point_fibre x_loc y_loc z_loc} \rangle_{\text{nb_noeuds}} \end{array} \right\}$$

Paramètres

- no_poutre : numéro d'une poutre appartenant au modèle et obtenue, soit par enregistrement direct suivi d'un positionnement éventuel, soit par copie et positionnement d'une poutre existante ;
- nb_noeuds : nombre de nœuds hors-poutres décrits relativement à sa fibre repère, (re)positionnée éventuellement en repère global (via une commande POSITION POUTRE ou COPIE POUTRE) :
 - ne pas fournir cette valeur si le nombre de nœuds à créer est égal au nombre de points de la fibre repère, s'ils sont numérotés par le module PH1, en progression arithmétique, et si leurs coordonnées locales sont constantes ; il s'agit alors d'une file de nœuds « parallèle » à la fibre repère, cas 1 ;
 - indiquer une valeur positive, si une des trois conditions ci-dessus au moins n'est pas vérifiée, cas 2 ;
- noeud_depart, pas_n : valeur de départ (positive) et pas sur la numérotation des nœuds (positif ou négatif), dans le cas 1 ;
- no_noeud, point_fibre : numéro d'un nœud et numéro du point de fibre repère auquel il se rattache, dans le cas 2 ; l'ordre de pointage des sections de poutre n'est pas imposé ;
- x_loc, y_loc, z_loc : coordonnée d'un nœud, dans le repère générique désigné implicitement par son numéro d'ordre (cas 1), ou explicitement par point_fibre (cas 2).

Qu'ils soient générés ou fournis, les numéros de nœuds doivent être uniques (pour le modèle complet), positifs et inférieurs à 1000_000.

Fonctions

Cette commande fournit les numéros et coordonnées locales d'une série de nœuds décrits dans certains repères génériques d'une poutre.

Conditions d'emploi

- Ne pas introduire de commande de ce type si le modèle ne comporte pas de poutre.
- Si le modèle comporte au moins une poutre, on peut introduire un nombre quelconque de commandes NOEUDS REPERES POUTRE, pouvant être supérieur au nombre de poutres du modèle (une poutre définie, avec plusieurs files de nœuds parallèles s'y rattachant).
- Le numéro no_poutre doit faire partie de la liste de poutres de référence du modèle, fixée par les couples de commandes NOEUDS FIBRE POUTRE et ELEMENTS POUTRE.

Conseils méthodologiques

- Cette commande peut être utile pour définir simplement les nœuds hors-poutres des tabliers nervurés ou mixtes, modélisés en plusieurs poutres « parallèles », ou des nœuds dont les coordonnées sont facilement accessibles, relativement à l'axe de chaussée d'un tablier ou l'axe d'un pylône (points d'accrochage de haubans), concurremment avec la commande EXCENTREMENTS.

Exemples

Soit une poutre numéro 20 comportant 5 sections ; dans le cas 1, chaque section produit un nœud hors-poutre, dont les numéros sont en progression arithmétique et les coordonnées locales constantes.

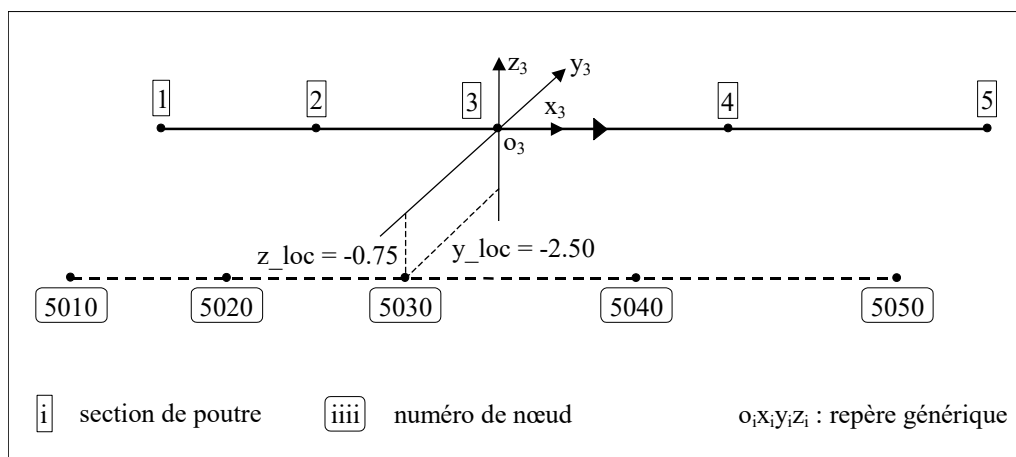


Figure 6.7 - Poutre, file de nœuds parallèle à la fibre repère, cas 1

```

NOEUDS REPERES POUTRE 20
$ noeud_depart pas_n x_loc y_loc z_loc
5010 10 0.00 -2.50 -0.75

```

Dans le cas 2, les sections 1 et 5 produisent un nœud hors-poutre, la troisième en produit deux, les sections 2 et 4 n'en produisent aucun ; leurs coordonnées locales sont variables ; l'ordre non croissant de pointage des sections de la poutre est accepté.

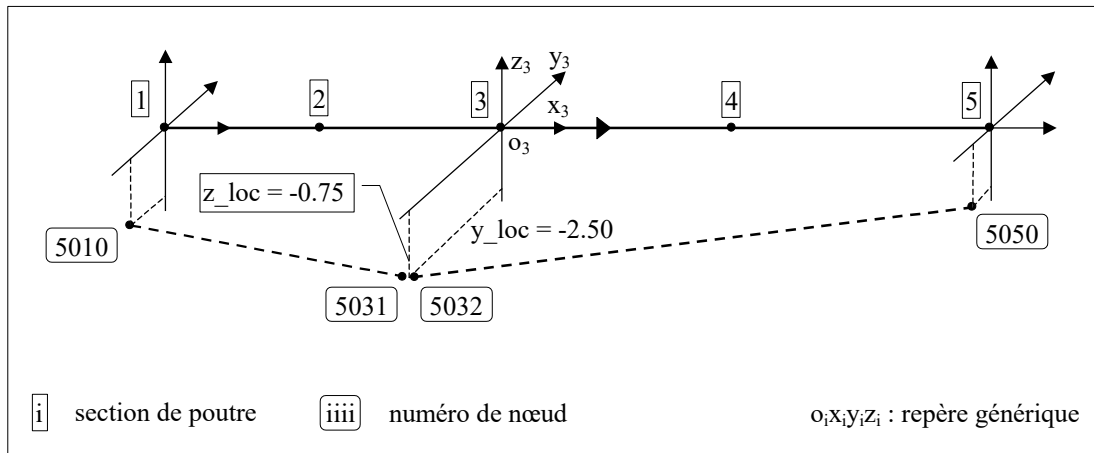


Figure 6.8 - Poutre, nœuds discrets en repères génériques, cas 2

```

NOEUDS REPERES POUTRE 20 4
$ no_noeud point_fibre x_loc y_loc z_loc
5010 1 0.00 -0.50 -0.75
5050 5 0.00 -0.35 -0.75
5031 3 0.00 -2.50 -0.75
5032 3 0.00 -2.50 -0.75
  
```

Commandes liées

APPUI ; POSITION POUTRE ; COPIE POUTRE ; NOEUDS FIBRE POUTRE
 NOEUDS REPERE GLOBAL ; ELEMENTS POUTRE ; ELEMENTS COURANTS
 ELEMENTS RIGIDES ; ELEMENTS ARTICULATIONS

6.12 – NOEUDS REPERE GLOBAL

```
NOEUDS REPERE GLOBAL nb_noeuds  
  <no_noeud x_noeud y_noeud z_noeud>_nb_noeuds
```

Paramètres

- `nb_noeuds` : nombre de nœuds hors-poutres (autres que ceux décrits à l'aide des commandes `NOEUDS REPERES POUTRE`) ; cette valeur doit être positive, s'il existe au moins une poutre, et supérieure à 1 sinon ;
- `no_noeud` : numéro d'un nœud ; les numéros de nœuds doivent être uniques (pour tout le modèle), positifs et inférieurs à 1000_000 ;
- `x_noeud`, `y_noeud`, `z_noeud` : coordonnées d'un nœud, en repère global.

Fonctions

Cette commande fournit les numéros et coordonnées de tous les nœuds hors-poutres décrits directement en repère global.

Conditions d'emploi

- Cette commande est obligatoire si le modèle ne comporte pas de poutre, facultative sinon.
- Introduire une seule commande de ce type, si le modèle comporte au moins un nœud défini en repère global.

Exemples

```
NOEUDS REPERE GLOBAL 3  
$ no_noeud x_noeud y_noeud z_noeud      no_noeud x_noeud y_noeud z_noeud  
  2000      0.00    0.00    1.00        2025      0.00    0.00    2.00  
  2050      0.00    0.00    3.00
```

Commandes liées

APPUI ; NOEUDS FIBRE POUTRE ; NOEUDS REPERES POUTRE

ELEMENTS COURANTS ; ELEMENTS RIGIDES ; ELEMENTS ARTICULATIONS

6.13 – ELEMENTS POUTRE

ELEMENTS POUTRE no_poutre

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{element_de part } [\text{pas_e}] \\ \langle \text{no_element } \text{noeud_debut } \text{noeud_fin} \rangle_{\text{nb_points_f}-1} \end{array} \right\}$$

Paramètres

- no_poutre : numéro d'une poutre appartenant au modèle et obtenue, soit par enregistrement direct suivi d'un positionnement éventuel, soit par copie et repositionnement d'une poutre existante.

Le nombre d'éléments géométriques créés par l'introduction d'une poutre est toujours égal au nombre de points de sa fibre repère moins un ($\text{nb_points_f} - 1$).

Si on est dans le cas 1, de la commande NOEUDS FIBRE POUTRE no_poutre, les éléments sont supposés numérotés en progression arithmétique et leurs numéros et incidences sont déterminés par le module PH1 ; dans le cas 2, les numéros et incidences des éléments sont fournis.

- element_depart, pas_e : valeur de départ (positive) et pas sur la numérotation des éléments (positif ou négatif, à ne fournir que si le nombre de sections de la poutre excède 2), dans le cas 1 ;
- no_element : numéro d'un élément de poutre, dans le cas 2, positif ;
- noeud_debut, noeud_fin : numéros de nœuds de début et fin (devant exister, et en regard des bonnes sections, dans la liste de la commande NOEUDS FIBRE POUTRE no_poutre), dans le cas 2.

Dans les deux cas, tous les éléments de la poutre sont référencés dans l'ordre croissant des numéros de ses sections (sens de parcours). Qu'ils soient générés ou fournis, les numéros d'éléments doivent être uniques (pour le modèle complet) et inférieurs à 1000_000.

Fonctions

Cette commande fournit les numéros et incidences des éléments d'une poutre du modèle.

Conditions d'emploi

- Ne pas introduire de commande de ce type si le modèle ne comporte pas de poutre.
- Si le modèle comporte au moins une poutre, fournir une commande de ce type par poutre lui appartenant (présente directement ou obtenue par copie).
- Les groupes de commandes NOEUDS FIBRE POUTRE et ELEMENTS POUTRE (en nombres égaux) déterminent le nombre de poutres appartenant au modèle, et la liste de référence de leurs numéros (identique, à l'ordre près, d'un groupe à l'autre).

Conseils méthodologiques

- Si les nœuds de la fibre moyenne d'une poutre sont conformes au cas 1, et si on numérote ses éléments non régulièrement, fournir le nombre et la liste complète des numéros de nœuds, dans la commande NOEUDS FIBRE POUTRE associée (passage forcé au cas 2).

Exemples

Soit une poutre numéro 20 comportant 5 sections et 4 éléments ; dans le cas 1, chaque section ne produit qu'un nœud (cas très fréquent) ; leurs numéros sont en progression arithmétique ; les éléments sont numérotés de la même manière, leurs incidences sont déterminées par le module PH1.

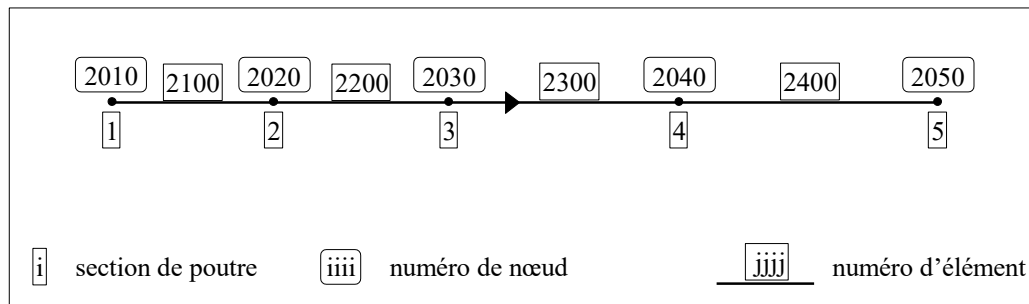


Figure 6.9 - Poutre, nœuds et éléments de la fibre moyenne, cas 1

```
NOEUDS FIBRE POUTRE 20
$ noeud_depart pas_n
2010 10
ELEMENTS POUTRE 20
$ element_depart pas_e
2100 100
```

Dans le cas 2, chaque section produit un nœud, sauf la troisième qui est dédoublée ; tous les numéros de nœuds sont fournis ; les numéros d'éléments, bien que régulièrement espacés, sont fournis également, ainsi que leurs incidences.

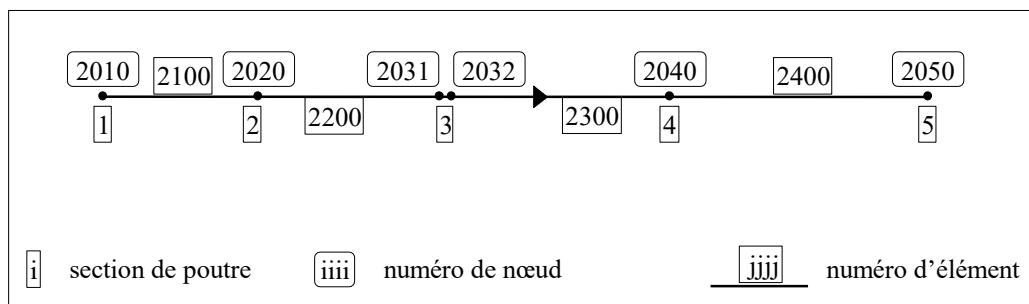


Figure 6.10 - Poutre, nœuds et éléments de la fibre moyenne, cas 2

```
NOEUDS FIBRE POUTRE 20 6
$ nb_noeuds_s no_noeud no_noeud nb_noeuds_s no_noeud no_noeud
1 2010 2020 1 2020
2 2031 2032 1 2040
1 2050
ELEMENTS POUTRE 20
$ no_element noeud_debut noeud_fin no_element noeud_debut noeud_fin
2100 2010 2020 2200 2020 2031
2300 2032 2040 2400 2040 2050
```

Commandes liées

EQUIPAGE MOBILE ; POSITION POUTRE ; COPIE POUTRE

NOEUDS FIBRE POUTRE ; NOEUDS REPERES POUTRE ; EXCENTREMENTS

6.14 – ELEMENTS COURANTS

$$\text{ELEMENTS COURANTS} \left\{ \begin{array}{l} \text{GROUPES} \\ \text{INDIVIDUAL ISES} \end{array} \right\} \text{nb_elements}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \langle \text{no_element} \quad \text{noeud_debut} \quad \text{noeud_fin} \rangle_{\text{nb_elements}} \quad \beta \quad \text{nom_matériau} \quad \text{nom_section} \\ \langle \text{no_element} \quad \text{noeud_debut} \quad \text{noeud_fin} \quad \beta \quad \text{nom_matériau} \quad \text{nom_section} \rangle_{\text{nb_elements}} \end{array} \right\}$$

Paramètres

- nb_elements : nombre d'éléments courants du modèle, positif ;
- no_element : numéro d'un élément courant, positif ; les numéros d'éléments doivent être uniques (pour le modèle complet) et inférieurs à 1000_000 ;
- noeud_debut , noeud_fin : numéros de nœuds de début et fin, décrits sur une commande NOEUDS FIBRE POUTRE, NOEUDS REPERES POUTRE ou NOEUDS REPERE GLOBAL ;
- β : angle de rotation, autour de l'axe Gx d'un élément, positionnant le repère principal Gyz de sa section droite, par rapport au repère global ; la position d'origine de l'élément (correspondant à une valeur nulle de β) dépend de l'angle d'inclinaison absolu α_v , de son axe Gx sur la verticale (parallèle à l'axe OZ du repère global, figure 6.11) ; l'élément est supposé vertical lorsque α_v est inférieur à 0.0001 rd ; deux cas se présentent :
 - ajouter 1000.0 à la valeur absolue de β (en conservant son signe) revient à désigner un élément vertical ; dans ce cas, un message d'erreur apparaîtra lorsque α_v est supérieur ou égal à 0.01 rd ;
 - fournir une valeur « vraie » de β revient à désigner un élément non vertical ; dans ce cas, un message d'avertissement apparaîtra lorsque α_v est inférieur à 0.01 rd.

Dans ces deux cas, lorsque α_v est supérieur ou égal à 0.0001 rd et inférieur à 0.01 rd, l'angle β est corrigé par retrait de l'angle calculé entre l'axe OX et la projection de l'axe Gx sur le plan OXY .

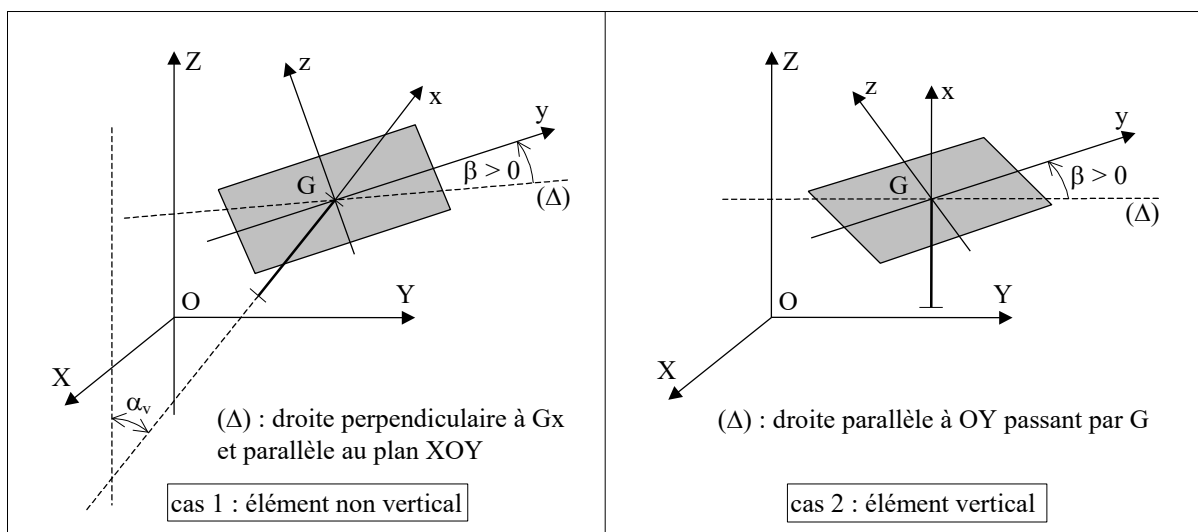


Figure 6.11 - Elément courant, angle β de rotation autour de Gx

- `nom_materiau` : nom du matériau affecté, défini sur une commande MATERIAU (pour éléments hors-poutres) ;
- `nom_section` : nom de la section-type affectée, défini sur une commande SECTION TYPE.

Si les angles β , les matériaux et sections-types affectés sont les mêmes, ils sont factorisables (option GROUPES), sinon (option INDIVIDUALISES), ils doivent être fournis individuellement.

Fonctions

Cette commande fournit les numéros, incidences, angles de rotation, matériaux, et sections-types affectés à un groupe d'éléments courants (éléments en dehors des poutres qui ne sont ni rigides, ni articulations).

Conditions d'emploi

- Cette commande est obligatoire si le modèle ne comporte pas de poutre, facultative sinon.
- Si le modèle comporte au moins un élément courant, fournir au moins une commande de ce type.
- La longueur d'un élément courant doit être supérieure à 0.01.

Conseils méthodologiques

- Voir commande SECTION TYPE.

Exemples

```
$ elements d'une pile prismatique a fibre moyenne rectiligne et verticale
ELEMENTS COURANTS GROUPES 3
$ no_element noeud_debut noeud_fin
10801 1405 1410
10802 1410 1415
10803 1415 1420
-1010.0 BETON_T S_PILE $ elements verticaux, beta = -10.0
```

```
$ elements d'une pile de section variable
$ a fibre moyenne rectiligne et verticale
ELEMENTS COURANTS INDIVIDUALISES 3
$ no_element noeud_debut noeud_fin beta nom_materiau nom_section
10801 1405 1410 -1010.00 BETON_T PILE_1
10802 1410 1415 -1010.00 BETON_T PILE_2
10803 1415 1420 -1010.00 BETON_T PILE_3
```

```
$ groupe d'elements non verticaux a caracteristiques differentes
ELEMENTS COURANTS INDIVIDUALISES 3
$ no_element noeud_debut noeud_fin beta nom_materiau nom_section
1001 105 110 90.00 BETON_T LIAISON
1002 110 115 0.00 ACIER_HR HAUBAN
1003 115 120 90.00 BETON_T LIAISON
```

Commandes liées

MATERIAU ; SECTION TYPE ; NOEUDS FIBRE POUTRE

NOEUDS REPERES POUTRE ; NOEUDS REPERE GLOBAL ; EXCENTREMENTS

6.15 – ELEMENTS RIGIDES

```
ELEMENTS RIGIDES nb_elements
  <no_element noeud_debut noeud_fin>_nb_elements
```

Paramètres

- nb_elements : nombre d'éléments rigides du modèle, positif ;
- no_element : numéro d'un élément rigide :
 - une valeur positive désigne un élément «visible», traité par les modules mécaniques comme les éléments de poutres ou courants ; les numéros d'éléments positifs doivent être uniques (pour le modèle complet), et inférieurs à 1000_000 ;
 - une valeur nulle désigne un élément «invisible», activable implicitement par contact avec un élément activé ou une articulation-type placée ; les résultats le concernant ne sont pas éditables ;
- noeud_debut, noeud_fin : numéros de nœuds de début et fin, décrits sur une commande NOEUDS FIBRE POUTRE, NOEUDS REPERES POUTRE ou NOEUDS REPERE GLOBAL.

Fonctions

Cette commande fournit les numéros et incidences de tous les éléments infiniment rigides définis explicitement, visibles ou invisibles, sans affectation de section-type, ni de matériau.

Leurs caractéristiques mécaniques seront déterminées par le module PH3, sur la base d'une amplification des caractéristiques maximales des éléments de poutres ou courants.

Conditions d'emploi

- Si le modèle comporte au moins un élément rigide défini explicitement, fournir une seule commande de ce type.
- La longueur d'un élément rigide doit être supérieure à 0.01.
- Il n'est pas permis d'appliquer des charges sur les éléments rigides, visibles ou invisibles.

Conseils méthodologiques

- Voir commande SECTION TYPE.

Exemples

```
ELEMENTS RIGIDES 4
$ no_element noeud_debut noeud_fin no_element noeud_debut noeud_fin
  20801      12405      12410      20802      12410      12415
   0         12415      12420         0         12420      12425
```

Commandes liées

```
NOEUDS FIBRE POUTRE ; NOEUDS REPERES POUTRE
NOEUDS REPERE GLOBAL
```

6.16 – ELEMENTS ARTICULATIONS

```
ELEMENTS ARTICULATIONS nb_elements  
  ⟨no_element noeud_debut noeud_fin⟩nb_elements
```

Paramètres

- nb_elements : nombre d'éléments articulations du modèle, positif ;
- no_element : numéro d'un élément articulation, positif ; les numéros d'éléments doivent être uniques (pour le modèle complet), et inférieurs à 1000_000 ;
- noeud_debut, noeud_fin : numéros de nœuds de début et fin, décrits sur une commande NOEUDS FIBRE POUTRE, NOEUDS REPERES POUTRE ou NOEUDS REPERE GLOBAL.

Fonctions

Cette commande fournit les numéros et incidences de tous les éléments articulations (ponctuels), sans affectation d'articulation-type.

Conditions d'emploi

- Si le modèle comporte au moins un élément articulation, fournir une seule commande de ce type.
- La longueur d'un élément articulation doit être inférieure à 0.01.

Conseils méthodologiques

- La présence d'éléments articulations peut être imposée par l'utilisation de certaines commandes spécifiques du module PH3, ou de certains modes de construction (poussage ...).

Exemples

```
ELEMENTS ARTICULATIONS 2  
$ no_element noeud_debut noeud_fin  
  30501      52405      52410  
  30502      52415      52420
```

Commandes liées

```
ARTICULATION ; NOEUDS FIBRE POUTRE ; NOEUDS REPERES POUTRE  
NOEUDS REPERE GLOBAL
```

6.17 - EXCENTREMENTS

$$\text{EXCENTREMENTS} \left\{ \begin{array}{l} \text{ORIGINE} \\ \text{EXTREMITE} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \text{CONSTANTS} \\ \text{VARIABLES} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \text{GLOBAL} \\ \text{POUTRE} \quad \text{no_poutre} \end{array} \right\} \text{nb_exe}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \langle \text{no_element} \quad [\text{point_fibre}] \rangle_{\text{nb_exe}} \quad \text{exc_x} \quad \text{exc_y} \quad \text{exc_z} \\ \langle \text{no_element} \quad [\text{point_fibre}] \quad \text{exc_x} \quad \text{exc_y} \quad \text{exc_z} \rangle_{\text{nb_exe}} \end{array} \right\}$$

Paramètres

- no_poutre : numéro d'une poutre appartenant au modèle, dont les repères génériques de la fibre repère, éventuellement remplacée dans le repère global (par positionnement ou copie), servent de référence pour exprimer les excentremets, si on travaille en repères génériques d'une poutre (option POUTRE) ;
- nb_exe : nombre d'éléments courants à excentrer, positif ;
- no_element : numéro d'un élément, appartenant à la liste des numéros de la commande ELEMENTS COURANTS ;
- point_fibre : numéro du point de fibre repère de la poutre no_poutre, dans le repère générique duquel sont fournis les excentremets, si on utilise l'option POUTRE ;
- exc_x, exc_y, exc_z : valeurs d'excentremets d'un élément, à son origine (option ORIGINE), ou à son extrémité (option EXTREMITE), exprimées dans un repère translaté du repère global, au nœud origine ou extrémité de l'élément (option GLOBAL) ; nouvelles coordonnées de son nœud origine ou extrémité dans le repère générique point_fibre de la poutre no_poutre, si on utilise l'option POUTRE.

Si les valeurs d'excentremets sont constantes (option CONSTANTS), elles sont factorisables, sinon (option VARIABLE), on doit fournir trois valeurs par élément à excentrer.

Fonctions

Cette commande permet d'excentrer un groupe d'éléments courants, en leur origine ou extrémité, par interposition de nœuds non numérotés (mais chargeables et accessibles indirectement pour leurs déplacements), et d'éléments rigides invisibles définis implicitement.

Les excentremets peuvent être exprimés en repère global, ou dans certains repères génériques d'une poutre.

Conditions d'emploi

- Ne pas introduire de commande de ce type si le modèle ne comporte pas d'élément courant.
- Si le modèle comporte au moins un élément courant, introduire une commande de ce type par groupe d'éléments à excentrer.
- Il n'est pas permis d'excentrer des éléments de poutres, rigides, ou articulations.
- Il n'est pas permis d'excentrer un élément plus d'une fois, à l'origine ou à l'extrémité.
- Si certains excentremets sont fournis en repères poutres, le modèle doit en être pourvu et le numéro no_poutre doit faire partie de la liste de poutres de référence du modèle, fixée par les couples de commandes NOEUDS FIBRE POUTRE et ELEMENTS POUTRE.

Exemples

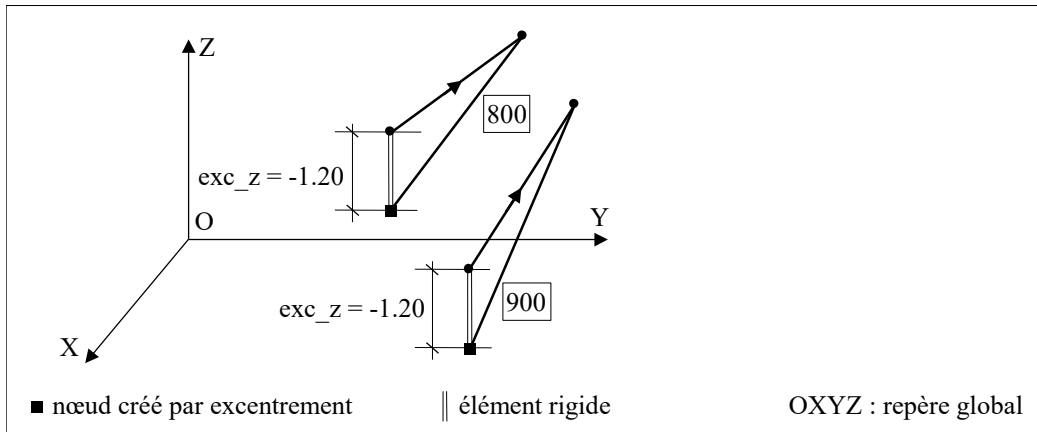


Figure 6.12 - Excentrements à l'origine, constants, en repère global

```
EXCENTREMENTS ORIGINE CONSTANTS GLOBAL 2
$ no_element no_element
  700         800
$ exc_x exc_y exc_z
  0.00  0.00 -1.20
```

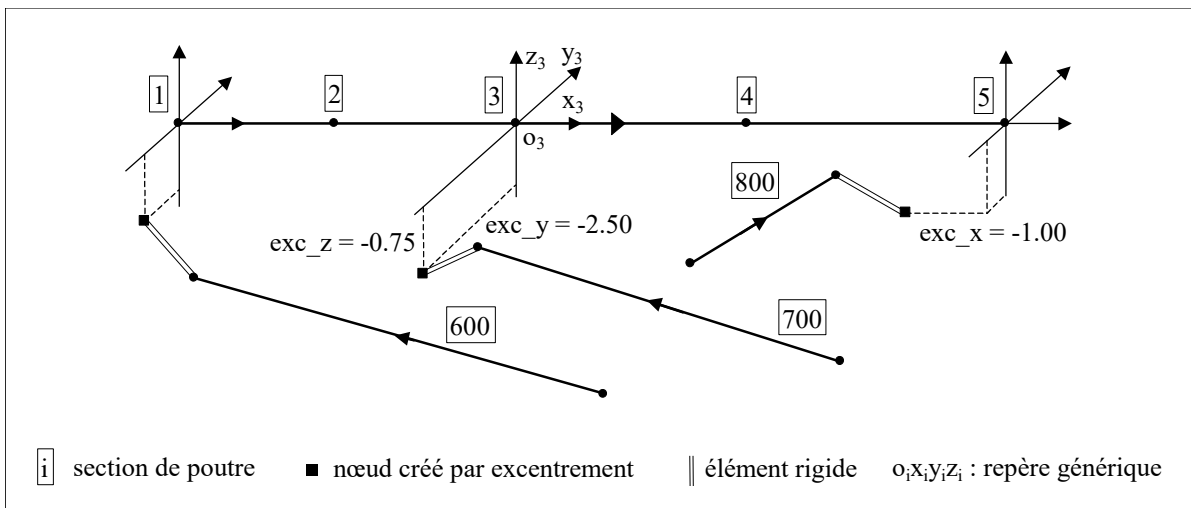


Figure 6.13 - Excentrements à l'extrémité, variables, en repères génériques d'une poutre

```
EXCENTREMENTS EXTREMITE VARIABLES POUTRE 20 3
$ no_element point_fibre exc_x exc_y exc_z
  600         1          0.00 -0.50 -0.75
  800         5         -1.00 -0.35 -0.75
  700         3          0.00 -2.50 -0.75
```

Commandes liées

NOEUDS FIBRE POUTRE ; ELEMENTS POUTRE ; ELEMENTS COURANTS

6.18 - FIN

FIN

Fonctions

Cette commande marque la fin des données du modèle.

Conditions d'emploi

- Doit constituer la dernière ligne du fichier de commandes.

Exemples

```
MODELE  
.....  
.....  
FIN
```

Commandes liées

MODELE

Chapitre 7

Dessin

INTRODUCTION

Principes de fonctionnement

Consistance et aspect des dessins

Liste exhaustive des fonctions

Écran type

Textes du menu

7.1 - OPTIONS

WISEUR

AFFI1X1 / AFFI4X4

ECHEEGA / ECHEDIF

STRUINI / STRUACT / STRUTOT

STRUDEF

PRIOINI / PRIODEF

LEGESTRU

MARQNOE

NUMENOE

REPEAPP

HABIELE / NUMEELE / SECTELE / MATEELE

SENSELE

REPEELE

RESUELE

TRAIRAP

LABLEG / LABRES

IMPRTOT / IMPR4X4 / IMPRZON / IMPRECH / IMPRNOR

DESSOPT

7.2 - ACTIONS

DECOUPER

CHOISIR

RECOLLER

ZOOMER

RESITUER

FIXEECH

DEPLACER

CHERCHER

TOURNER

RECADRER

AMPL DEF

Conseils d'utilisation

ECHE RES

LONG LAB

POINTER

GOMMER V

XY>XZ>YZ

PROJETER

CHGTIMP

IMPRIMER

Introduction

Le module PH2 est chargé de représenter graphiquement le modèle projeté, ainsi que certains résultats de calculs qui s'y rapportent. Ce chapitre décrit ses fonctions et options de dessin, la manière de les mettre en œuvre, et leurs effets prévisibles.

La représentation graphique type fournie peut comprendre :

- une image habillable de la STRUCTURE INITIALE (non déformée) figée dans un schéma statique sauvegardé par le module PH3 durant la simulation du processus de construction (avec certains appuis-types et articulations-types placés) ; les éléments actifs et inactifs y sont gérés séparément ;
- une image habillable de la STRUCTURE DÉFORMÉE active (s'appliquant à un état de déformation réel ou à un mode propre de flambement ou de vibration), avec déplacements des nœuds amplifiés (leurs rotations ne sont pas prises en compte) ;
- un groupe de COURBES issues de résultats de calculs reportés en certaines extrémités d'éléments actifs sélectionnées (efforts en repères éléments ou sections, contraintes normales et/ou tangentés).

Le dessin peut être réduit à une SOUS-STRUCTURE obtenue à l'aide de plan(s) de découpage et/ou de sélection(s) de groupe(s) d'éléments.

Tous les détails d'habillage y sont reportés sur options ; leur visibilité est liée à celle des parties de structure auxquelles ils se rattachent ; leurs tailles, fixées en valeurs réelles pour chaque type de matériel graphique, peuvent être agrandies par effet de loupe.

Quatre vues-types, dont on peut modifier les plans de projection, sont mémorisées : une perspective, une vue de dessus, une élévation et une vue de droite. Elles peuvent être déroulées en séquence si le mode d'affichage choisi est SIMPLE, ou affichées simultanément et permutées, s'il est QUADRUPLE (une seule vue-type est alors ACTIVE et habillable).

Les facteurs d'échelles en largeur et en hauteur (calculés ou imposés) peuvent être égaux ou différents (mode ÉCHELLES ÉGALES ou ÉCHELLES DIFFÉRENTES).

Les fonctions de recadrage automatique prennent en compte la structure initiale, la structure déformée et le facteur d'échelle choisi pour transformer en longueurs les valeurs de résultats aux extrémités d'éléments.

Ces fonctions sont activées lorsque le cadrage doit offrir les meilleures conditions de visibilité à tout ce qui est demandé, on travaille alors en mode FENÊTRE TOTALE. Elles sont désactivées lorsque la fenêtre totale n'est plus en vigueur (focalisation sur une partie du dessin, par exemple), on travaille alors en mode FENÊTRE PARTIELLE.

Principes de fonctionnement

Pour représenter le modèle avec structure déformée ou courbes, il faut lancer le module RES et choisir STRUCTURE dans son menu principal (en concurrence avec l'option GRAPHE), après avoir sélectionné les ÉTUDES et EFFETS voulus (version complète).

Le dessin de la géométrie du modèle complet peut être obtenu de manière indépendante, dans les conditions suivantes (version réduite) :

- tous ses éléments sont considérés comme actifs ;
- aucun appui-type et aucune articulation-type ne sont placés ;
- les fonctions de représentation de la structure déformée et des résultats aux extrémités d'éléments sont neutralisées.

Ces deux versions fonctionnent de manière identique, interactivement, donc sans fichier de données à fournir. Les données complémentaires sont entrées au clavier et les choix et pointages sont effectués à l'aide de la souris.

Pour le module RES, au premier passage par le choix STRUCTURE, le modèle complet est présenté, sur une vue simple en perspective, avec une structure déformée ou un groupe de courbes. Les détails d'habillage y sont réduits à certaines légendes de présentation. Lors des passages ultérieurs, la rémanence des options d'affichage, de calcul des facteurs d'échelles, d'habillage et d'impression, est assurée. Pour la version réduite, le modèle complet est présenté, par défaut, de manière analogue.

Consistance et aspect des dessins

Les dessins à produire sur ÉCRAN ou à imprimer sur TRACEUR peuvent comprendre :

- une image du repère global projeté (repère direct, toujours présent) ;
- les carrés de marquage des nœuds non appuyés des structures initiale et déformée, et les triangles de marquage des nœuds appuyés de la structure initiale ;
- les numéros de nœuds de la structure initiale ou déformée ; les valeurs de déplacements peuvent être reportées sur certains nœuds de la structure déformée ;
- la légende des déplacements pointés non nuls, avec coefficient amplificateur ;
- les images des repères appuyés projetés et les noms des appuis-types placés, reportés sur la structure initiale ;
- les lignes moyennes rectilignes des éléments initiaux et déformés ; la couleur en désigne la classe ; le type de trait distingue les éléments initiaux actifs, les éléments initiaux inactifs et les éléments déformés (toujours actifs) ;
- la légende de structure attestant de l'utilisation des attributs de lignes pour les éléments présents à l'affichage ;
- les numéros, noms de sections-types ou noms de matériaux-types affectés aux éléments initiaux ou déformés ;
- les flèches de marquage du sens des éléments initiaux ;
- les repères yz projetés des éléments initiaux ;
- les courbes représentatives des résultats reportés aux extrémités de certains éléments initiaux actifs, avec lignes de rappel ; les couples de courbes enveloppes ont des attributs de représentation identiques ; le type et l'épaisseur du trait remplacent la couleur sur les traceurs monochromes ; certaines valeurs peuvent être pointées ;
- les labels d'identification reportés sur les courbes ou dans une légende de résultats.

Liste exhaustive des fonctions

Les fonctions marquées « * » sont neutralisées dans la version réduite.

- affichage ou suppression du viseur de recherche à l'écran ;
- passage du mode d'affichage simple à l'écran, au mode quadruple, ou inversement ;
- passage du mode échelles égales au mode échelles différentes, ou inversement ;
- visualisation ou masquage des éléments initiaux actifs ou inactifs ;
- affichage ou enlèvement de la structure déformée * ;
- mise en valeur de la structure déformée par rapport à celle initiale, ou inversement * ;
- report sur option d'une légende de structure ;
- report sur option des marqueurs de nœuds ;
- report sur option des numéros de nœuds ;
- report sur option des repères appuis et noms d'appuis-types ;
- report sur option des numéros, noms de sections-types ou matériaux-types, pour éléments initiaux ou déformés ;
- marquage sur option du sens des éléments initiaux ;
- report sur option des repères yz sur éléments initiaux ;
- report sur option des résultats aux extrémités de certains éléments initiaux actifs * ;
- transfert des labels d'identification des courbes vers la légende de résultats, ou inversement * ;
- choix d'un mode d'impression sur traceur ;
- verrouillage ou déverrouillage de la prise en compte immédiate des changements d'options de report ;
- découpage de la sous-structure courante par un plan et élimination temporaire des nœuds et éléments d'un demi-espace ;
- choix des éléments définissant la sous-structure courante, à lui ajouter ou retrancher ;
- passage d'une sous-structure à la structure complète ;
- agrandissement d'une partie rectangulaire du dessin (zoom), ou de la taille des détails d'habillage, avec possibilité de retour à la taille normale (loupe) ;
- rapprochement ou éloignement du dessin, avec conservation de son point central ;
- imposition de facteur(s) d'échelle(s) ;
- déplacement de la fenêtre courante avec conservation des facteurs d'échelles ;
- recherche d'un nœud ou élément avec placement au centre du dessin ;
- rotation du dessin dans son plan ;
- recadrage du dessin (retour à la fenêtre totale) ;
- modification du coefficient amplificateur de déplacements pour structure déformée * ;
- modification du facteur d'échelle pour résultats * ;
- modification de la longueur utile maximale des labels d'identification de courbes * ;
- pointage et affichage de valeurs sur courbes, ou de déplacements de nœuds, avec marqueurs spécifiques ; effacement d'une valeur pointée * ;
- effacement des valeurs pointées, sur courbes, ou de déplacements de nœuds * ;
- passage rapide de la vue-type active à l'une des trois autres vues-types ;
- changement des angles d'orientation du plan de projection de la vue-type active ;
- changement du nom du fichier de stockage des sorties à imprimer ;
- impression de tout ou partie de la vue-type active, ou des quatre vues-types.

Écran type

L'écran est subdivisé selon les cinq zones suivantes :

- zone de titre ;
- zone de dessin du modèle ;
- zone des messages d'erreurs, informatifs, ou de demande d'entrée de données ;
- zone de sous-titre et d'entrée de données ;
- zone de menu composée d'un groupe de cases OPTIONS et d'un groupe de cases ACTIONS (il n'y a pas de sous-menus).

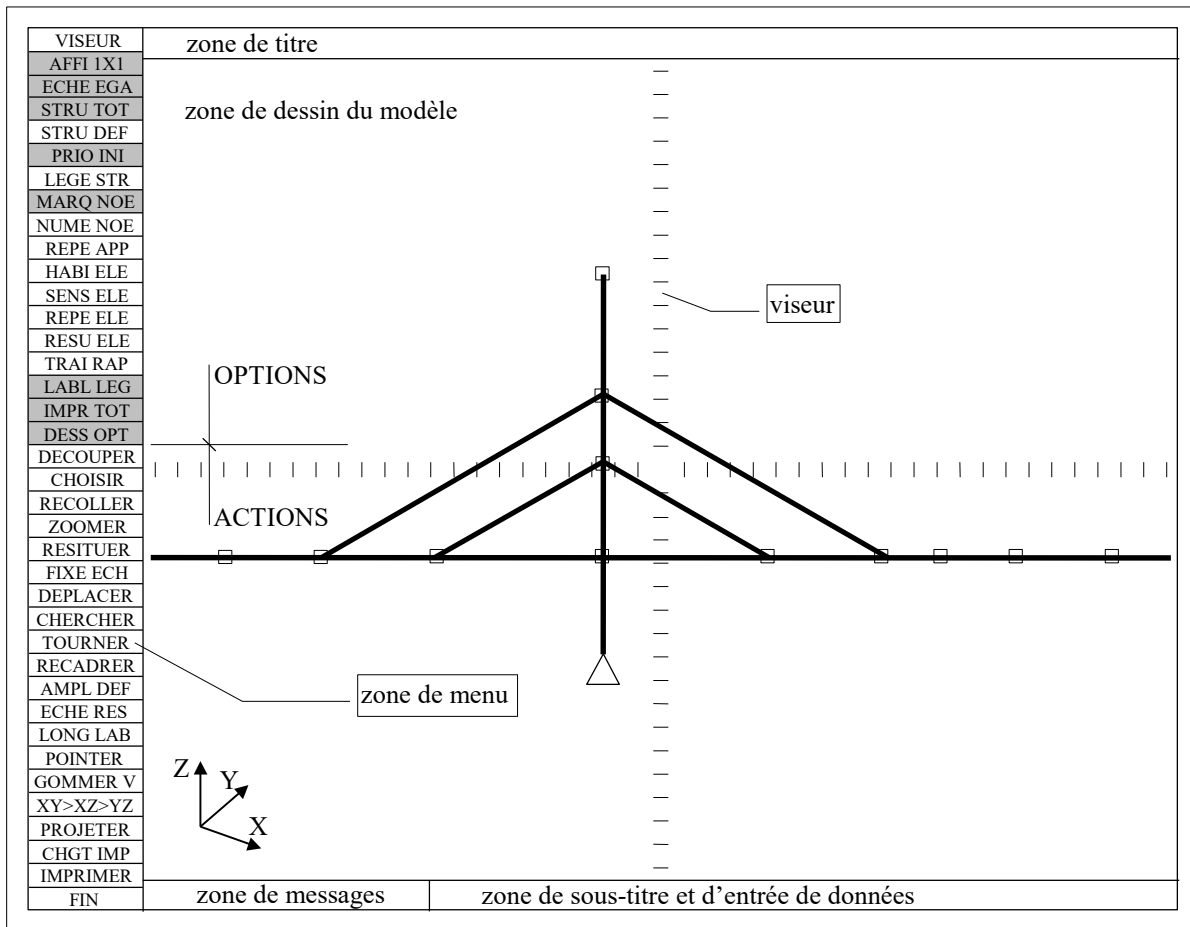


Figure 7.1 - Subdivisions de l'écran type

Zone de titre

Contient, sur une ligne, les rubriques suivantes :

- l'intitulé abrégé de l'organisme exploitant le logiciel (cinq caractères) ;
- --PCP-PH2 ;
- la date et l'heure courantes ;
- l'intitulé principal du modèle (compacté) ;
- les angles d'orientation du plan de projection courant ;
- les facteurs d'échelles calculés ou imposés, en largeur et en hauteur, précédés de '1/' et symbolisés dans certains schémas ultérieurs par ai, bi, ci et di.

Zone de dessin du modèle

Avec la zone de titre, elle peut accueillir une ou quatre vues-types ; en cas d'affichage quadruple, la zone de titre est répétée.

Chaque vue-type est munie d'une bordure de sécurité dont la largeur dépend du mode de fenêtrage en vigueur et de la taille effective de certains détails d'habillage.

Le rapport largeur/hauteur de cette zone détermine celui des facteurs d'échelles correspondants, lorsqu'on travaille en mode échelles différentes et en fenêtre totale.

Zone de messages

Les messages d'erreurs ou informatifs y apparaissent sur fond rouge, ceux de demande d'entrée de données y apparaissent sur fond vert.

Zone de sous-titre et d'entrée de données

Il faut y entrer les données, désignées dans la zone de messages.

Les mots-clés sont convertis en majuscules, s'il y a lieu, et reconnus sur leurs quatre premières lettres. Les valeurs numériques sont contrôlées (nombre de champs, lisibilité, véracité de leur contenu relativement à certaines tolérances).

Si un message d'erreur apparaît, cette zone est remise à blanc et il faut entrer de nouvelles valeurs ou appuyer sur la touche ÉCHAPPEMENT avant d'engager une nouvelle action.

Menu, cases OPTIONS

La couleur de fond est verte si une option est inactive, ou rouge si elle est active.

Les options « multiples » de partage de l'écran, de mode de calcul des facteurs d'échelles, d'attribution de priorité à la structure déformée, de placement des labels d'identification des courbes et de choix du mode d'impression restent actives.

Le basculement d'un état à l'autre pour une option simple, ou d'un choix à l'autre pour une option multiple, se fait en cliquant simplement dans la case choisie.

Menu - cases ACTIONS

Déplacer le pointeur et cliquer simplement sur la case choisie ou appuyer sur la touche ENTRÉE, pour engager une action.

La touche ÉCHAPPEMENT permet l'interruption d'une action en cours.

Puisque le pointeur revient à la case choisie après exécution d'une action, il est possible de la répéter en appuyant sur la touche ENTRÉE, sans réutiliser la souris.

Textes du menu

Voici la liste exhaustive des textes pouvant figurer au menu, dans leur ordre d'apparition, et leur signification.

Texte	Signification
WISEUR	Gestion de l'affichage du viseur de recherche
AFFI 1X1	Le modèle est représenté sur une vue-type simple
AFFI 4X4	Le modèle est représenté sur quatre vues-types simultanées
ECHE EGA	Les facteurs d'échelles sont égaux en largeur et en hauteur
ECHE DIF	Les facteurs d'échelles peuvent être différents en largeur et en hauteur
STRU INI	La structure initiale n'est pas dessinée
STRU ACT	Seuls sont dessinés les éléments actifs de la structure initiale
STRU TOT	La structure initiale totale (éléments actifs et inactifs) est dessinée
STRU DEF	Gestion de l'affichage de la structure déformée
PRIO INI	Si elle figure, la structure initiale, devenue prioritaire, est renforcée et habillable
PRIO DEF	Si elle figure, la structure déformée, devenue prioritaire, est renforcée et habillable
LEGE STR	Gestion de l'affichage de la légende de structure
MARQ NOE	Gestion de l'affichage des marqueurs de nœuds
NUME NOE	Gestion de l'affichage des numéros de nœuds
REPE APP	Gestion de l'affichage des repères appuis et noms d'appuis-types
HABI ELE	L'habillage des éléments est neutralisé
NUME ELE	Les numéros d'éléments sont reportés sur structure initiale/déformée
SECT ELE	Les noms de sections-types d'éléments sont reportés sur structure initiale/déformée
MATE ELE	Les noms de matériaux-types d'éléments sont reportés sur structure initiale/déformée
SENS ELE	Gestion du marquage du sens des éléments initiaux
REPE ELE	Gestion du report des repères yz sur éléments initiaux
RESU ELE	Gestion du report des résultats aux extrémités d'éléments
TRAI RAP	Gestion de l'affichage des traits de rappel sur courbes
LABL LEG	Les labels d'identification des courbes sont reportés en légende de résultats
LABL RES	Les labels d'identification des courbes sont dispersés sur les courbes
IMPR TOT	Impression totale simple, facteurs d'échelles calculés, traceur saturé
IMPR 4X4	Impression totale quadruple, facteurs d'échelles calculés, traceur saturé
IMPR ZON	Impression partielle simple, facteurs d'échelles calculés, traceur saturé
IMPR ECH	Impression partielle simple, facteurs d'échelles imposés, traceur saturé
IMPR NOR	Impression normalisée avec cartouche, facteurs d'échelles imposés, traceur non saturé
DESS OPT	Gestion de la prise en compte immédiate des changements d'options de report

Tableau 7.1 - Menu, options

Seules les options ECHE EGA, ECHE DIF, STRU INI, STRU ACT, STRU TOT, STRU DEF, PRIO INI et PRIO DEF affectent les quatre vues-types, en mode d'affichage quadruple.

Texte	Signification
DECOUPER	Découpage de la sous-structure courante par un plan
CHOISIR	Sélection d'éléments pour définir ou modifier la sous-structure courante
RECOLLER	Passage d'une sous-structure à la structure complète
ZOOMER	Agrandissement d'une partie de dessin * ou des détails d'habillage
RESITUER	Rapprochement ou éloignement du dessin *
FIXE ECH	Imposition de facteurs d'échelles *
DEPLACER	Déplacement de la fenêtre courante *
CHERCHER	Recherche d'un nœud ou élément *
TOURNER	Rotation du dessin dans son plan
RECADRER	Recadrage du dessin **
AMPL DEF	Modification du coefficient amplificateur des déplacements de nœuds
ECHE RES	Modification du facteur d'échelle pour résultats
LONG LAB	Modification de la longueur utile maximale des labels d'identification des courbes
POINTER	Pointage de valeurs sur courbes, ou de déplacements de nœuds
GOMMER V	Effacement des valeurs pointées sur courbes, ou de déplacements de nœuds
XY>XZ>YZ	Déroulement rapide des quatre vues-types **
PROJETER	Changement du plan de projection de la vue-type active **
CHGT IMP	Changement du nom du fichier d'impression
IMPRIMER	Impression de tout ou partie du dessin
FIN	Arrêt du traitement (version réduite), suite du traitement (version complète)

(*) passage en mode fenêtre partielle ; (**) passage en mode fenêtre totale

Tableau 7.2 - Menu, actions

Seules les actions DECOUPER, CHOISIR, RECOLLER et XY>XZ>YZ affectent les quatre vues-types, en mode d'affichage quadruple.

7.1 - OPTIONS

VISEUR

Cette option gère le report du viseur gradué matérialisant le centre de la zone de dessin du modèle, sur écran uniquement (figure 7.1).

En cas d'affichage quadruple (voir option AFFI 4X4), seule la vue-type active reçoit le viseur (marque de reconnaissance).

L'action CHERCHER utilise le centre du viseur comme point d'aboutissement.

AFFI 1X1 / AFFI 4X4

Cette option provoque le passage du mode d'affichage simple (1X1) au mode quadruple (4X4), avec partage de la zone de dessin du modèle (associée à la zone de titre), en quatre quadrants de même taille, ou inversement.

En cas de passage du mode 1X1 au mode 4X4, la vue-type simple initiale est placée dans le coin inférieur gauche, et reste seule active pour les saisies et les habillages. Sa fenêtre n'est pas altérée et les éventuelles rotations qu'elle a subies (voir action **TOURNER**) sont conservées, si leur nombre n'excède pas 10. Ses facteurs d'échelles sont recalculés.

Les trois autres vues-types (entières, passives et non habillables, mais avec leurs titres propres) entourent la vue-type active, dans l'ordre où elles auraient été générées par l'action **XY>XZ>YZ**, en tournant dans le sens positif trigonométrique.

Le mode de calcul des facteurs d'échelles en vigueur pour la vue-type simple initiale, est appliqué aux quatre vues-types (voir option **ECHE EGA / ECHE DIF**).

Les changements d'options ou actions qui interviennent en mode 4X4 peuvent entraîner une mise-à-jour de la vue-type active seule, ou des quatre vues-types.

Le mode d'impression n'étant pas lié au mode d'affichage, on peut obtenir une impression quadruple (voir option **IMPR 4X4**), en mode d'affichage simple à l'écran, ou inversement.

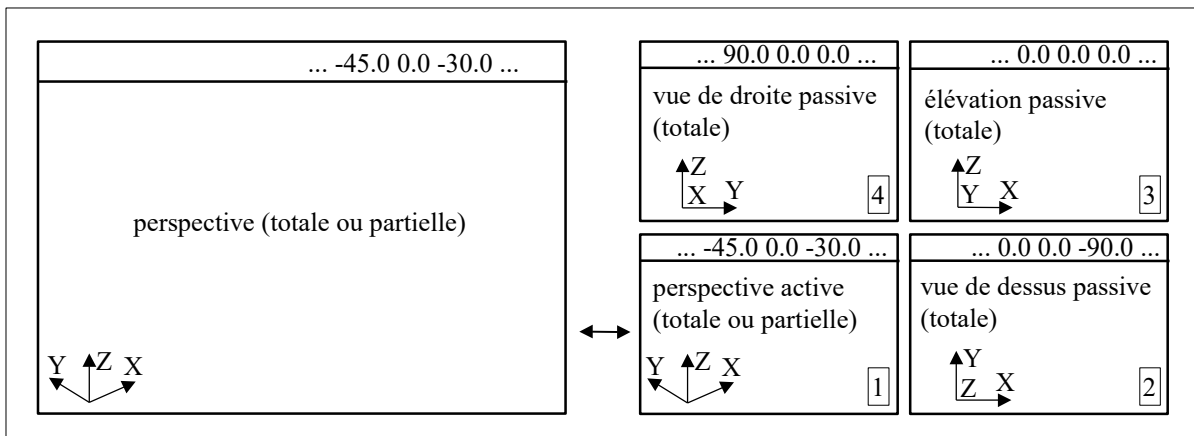


Figure 7.2 - Quatre vues-types obtenues à partir d'une perspective

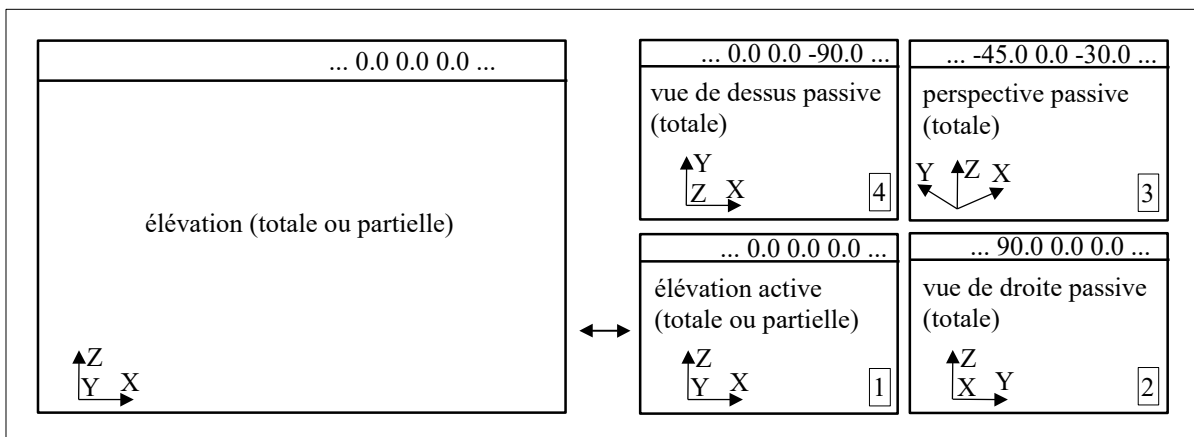


Figure 7.3 - Quatre vues-types obtenues à partir d'une élévation

ECHE EGA / ECHE DIF

Cette option concerne les sorties et saisies sur écran, et influence les sorties sur traceur pour certains modes d'impression (voir option IMPR TOT / IMPR 4X4 / IMPR ZON).

Le mode de prise en compte des facteurs d'échelles (calculés ou imposés) influence l'aspect des structures initiale et déformée, et des courbes représentatives des résultats aux extrémités d'éléments.

Par défaut, les dessins sont produits avec des facteurs d'échelles égaux en largeur et en hauteur, la zone de dessin du modèle n'étant saturée, en général, que dans une direction ; les proportions et les angles y sont conservés (mode ECHE EGA).

Si le mode ECHE DIF est activé, les dessins sont produits avec des facteurs d'échelles pouvant être différents en largeur et en hauteur, la zone de dessin du modèle étant saturée dans les deux directions ; les proportions et les angles n'y sont pas conservés.

En mode fenêtre totale, il y a recadrage automatique sur les nœuds, éléments et résultats présents à l'affichage.

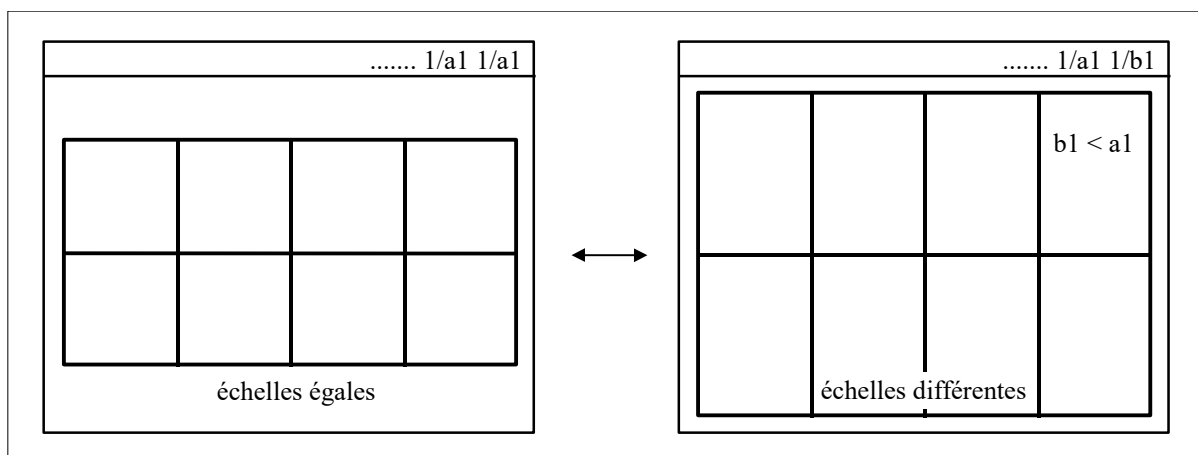


Figure 7.4 - Échelles égales et différentes, fenêtre totale (largeur prépondérante)

En mode fenêtre partielle, le dessin est dilaté en largeur ou en hauteur.

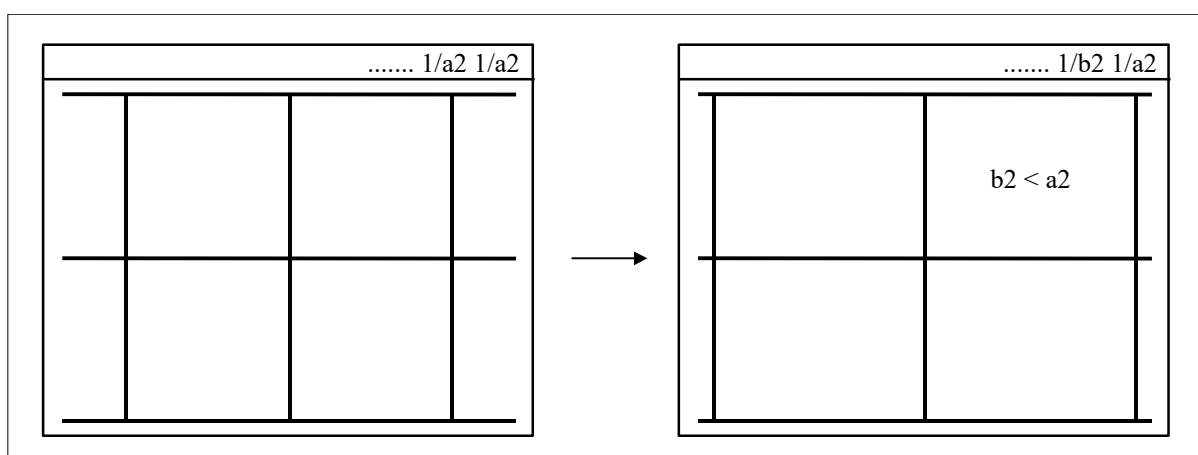


Figure 7.5 - Échelles égales et différentes, fenêtre partielle, comportement possible

STRU INI / STRU ACT / STRU TOT

Cette option gère le niveau de représentation des nœuds et éléments de la structure initiale (non déformée).

La structure initiale active comprend les éléments non articulations activés par le module PH3 (explicitement ou implicitement), et les éléments articulations en lesquels subsistent des articulations-types placées, ainsi que les nœuds actifs.

Sont déclarés actifs : les nœuds extrémités des éléments actifs, et les nœuds isolés en lesquels subsistent des appuis-types placés.

Il existe trois possibilités de représentation de la structure initiale (le dessin des éléments inactifs seuls n'est pas jugé utile), qui se déroulent cycliquement dans cet ordre :

- la structure initiale n'est pas dessinée (STRU INI) ;
- seuls les éléments et nœuds initiaux actifs sont dessinés (STRU ACT) ;
- les éléments et nœuds initiaux actifs et inactifs sont dessinés (STRU TOT).

Seuls sont représentés les nœuds et éléments de la sous-structure courante.

En mode fenêtre totale, il y a recadrage automatique sur les nœuds, éléments et résultats présents à l'affichage.

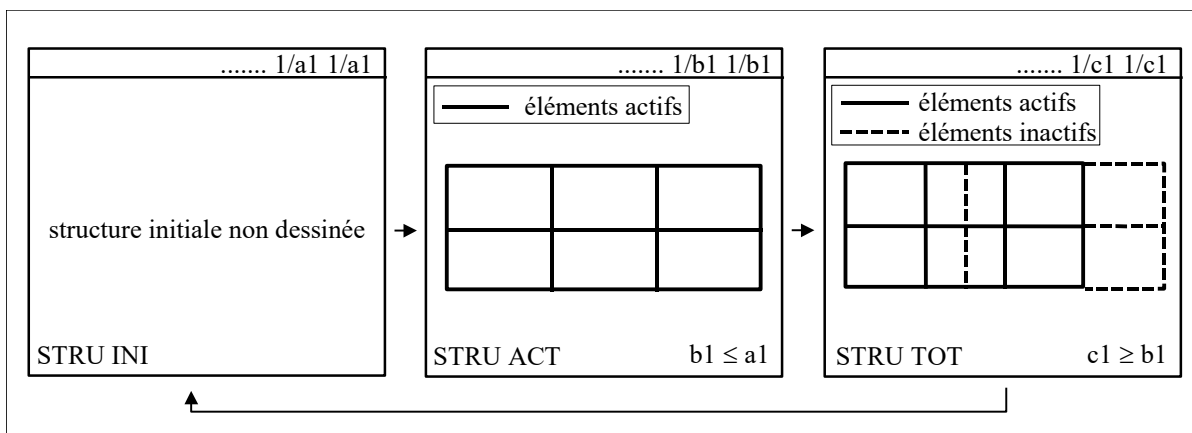


Figure 7.6 - Trois états de la structure initiale en fenêtre totale (échelles égales)

En mode fenêtre partielle, le cadrage et les facteurs d'échelles ne sont pas altérés.

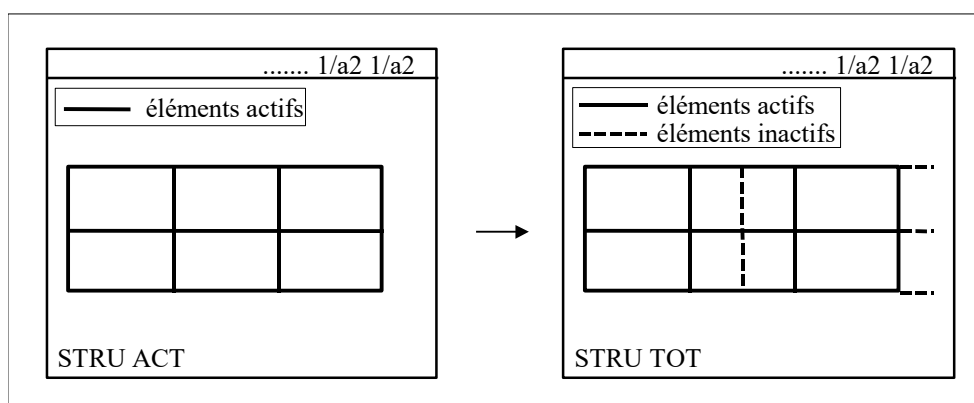


Figure 7.7 - Passage de STRU ACT à STRU TOT en fenêtre partielle (échelles égales)

STRU DEF

Cette option gère le report des nœuds et éléments de la structure déformée ; elle est neutralisée en cas d'absence de structure déformée.

La structure déformée comprend les éléments actifs déplacés, aux nœuds extrémités desquels est appliqué un coefficient amplificateur des déplacements (modifiable à l'aide de l'action AMPL DEF).

Elle peut être dessinée avec ou sans la structure initiale, mais jamais avec des résultats aux extrémités d'éléments.

Seuls sont représentés les nœuds et éléments de la sous-structure courante.

En mode fenêtre totale, il y a recadrage automatique sur les nœuds et éléments présents à l'affichage.

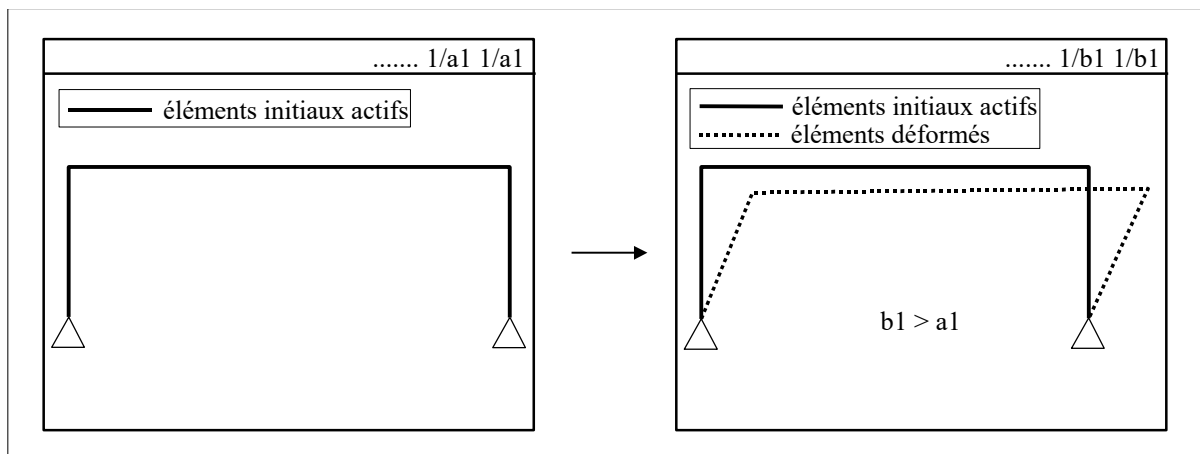


Figure 7.8 - Ajout de la structure déformée en fenêtre totale (échelles égales)

En mode fenêtre partielle, le cadrage et les facteurs d'échelles ne sont pas altérés.

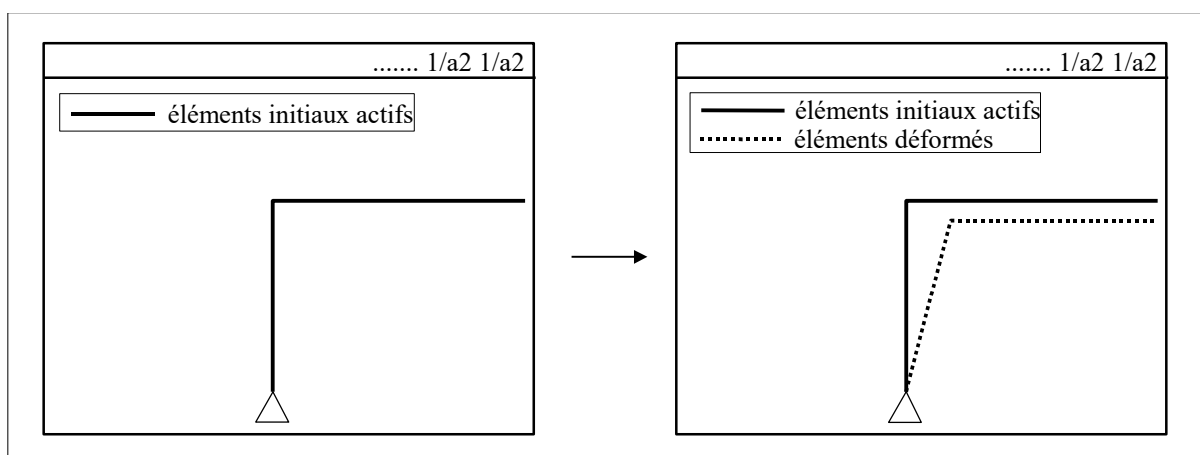


Figure 7.9 - Ajout de la structure déformée en fenêtre partielle (échelles égales)

PRIO INI / PRIO DEF

Par défaut, les structures initiale et déformée utilisent ces conventions de représentation :

- les éléments initiaux actifs sont dessinés en trait continu et les éléments déformés sont dessinés en trait pointillé ;
- lorsque les structures initiale et déformée coexistent, la structure initiale est dessinée en dernier, de manière à « recouvrir » la structure déformée (effet visible sur écrans et traceurs POSTSCRIPT notamment) ;
- les marqueurs de nœuds (non appuis) de la structure initiale sont dessinés avec une taille « normale », ceux de la structure déformée sont réduits de moitié en taille ;
- les numéros de nœuds et les numéros, noms de sections-types et matériaux-types d'éléments sont reportés sur la structure initiale.

Ces dispositions confèrent à la structure initiale une certaine mise en valeur ou « priorité » de représentation (option PRIO INI).

Lorsqu'on décide d'accorder à la structure déformée la priorité de représentation (option PRIO DEF), il y a :

- croisement des types de traits des éléments initiaux actifs, et déformés ;
- permutation de l'ordre de dessin des structures initiale et déformée ;
- croisement des tailles des marqueurs de nœuds (non appuis) initiaux et déplacés ;
- transfert des numéros de nœuds et numéros, noms de sections-types et matériaux-types d'éléments concernés, vers la structure déformée.

Dans les deux cas, les éléments initiaux inactifs sont représentés en trait tireté.

Attention, lorsque la structure initiale ou déformée est rendue seule visible et non prioritaire, aucun habillage « baladeur » n'est visible.

Les détails d'habillage suivants sont reportés sur la structure initiale, et non transférables vers la structure déformée :

- marqueurs de nœuds appuis ;
- repères appuis et noms d'appuis-types placés ;
- marqueurs de sens des éléments et repères yz éléments.

Cette option est neutralisée en cas d'absence de structure déformée.

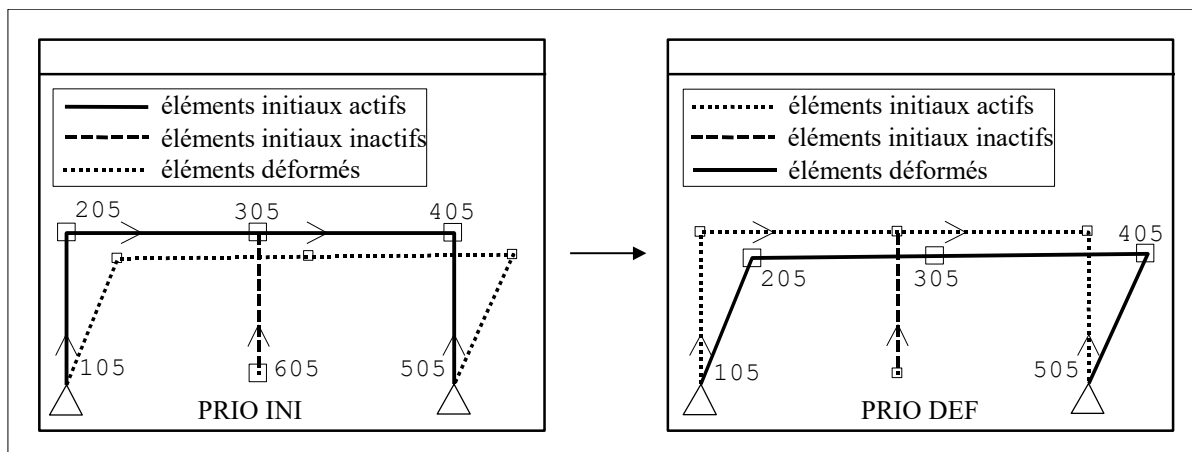


Figure 7.10 - Priorité accordée à la structure initiale, puis déformée

LEGE STRU

Cette option gère le report de la légende de structure qui atteste de la présence supposée des éléments à l’affichage, et de leur statut.

Lorsque la structure initiale est déclarée prioritaire (option PRIO INI), le type de trait utilisé pour la représentation est :

- continu pour les éléments initiaux actifs (1) ;
- tireté pour les éléments initiaux inactifs (2) ;
- pointillé pour les éléments actifs déformés (3).

Lorsque la structure déformée devient prioritaire (voir option PRIO DEF) les types de traits (1) et (3) sont croisés.

Cinq couleurs de trait distinguent les éléments selon leur classe (rigides, articulations, biarticulations, standard et poutres). Les éléments articulations sont représentés par des carrés de marquage de leurs nœuds extrémités.

Le contenu de la légende de structure s’adapte automatiquement, lorsqu’on modifie le choix sur option STRU INI / STRU ACT / STRU TOT, STRU DEF ou PRIO INI / PRIO DEF.

<table border="1"> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">RIGI ARTI BIAR STAN POUT</td> </tr> <tr> <td>ELEM ACTIFS</td> <td style="text-align: center;">—— ——— ——— ——— ———</td> </tr> </table> <p>(option PRIO INI)</p>		RIGI ARTI BIAR STAN POUT	ELEM ACTIFS	—— ——— ——— ——— ———	<table border="1"> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">RIGI ARTI BIAR STAN POUT</td> </tr> <tr> <td>ELEM ACTIFS</td> <td style="text-align: center;">—— ——— ——— ——— ———</td> </tr> <tr> <td>ELEM INACTIFS</td> <td style="text-align: center;">- - - - - ······ - - - - -</td> </tr> </table> <p>(option PRIO INI)</p>		RIGI ARTI BIAR STAN POUT	ELEM ACTIFS	—— ——— ——— ——— ———	ELEM INACTIFS	- - - - - ······ - - - - -						
	RIGI ARTI BIAR STAN POUT																
ELEM ACTIFS	—— ——— ——— ——— ———																
	RIGI ARTI BIAR STAN POUT																
ELEM ACTIFS	—— ——— ——— ——— ———																
ELEM INACTIFS	- - - - - ······ - - - - -																
<table border="1"> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">RIGI ARTI BIAR STAN POUT</td> </tr> <tr> <td>ELEM ACTIFS</td> <td style="text-align: center;">—— ——— ——— ——— ———</td> </tr> <tr> <td>ELEM INACTIFS</td> <td style="text-align: center;">- - - - - ······ - - - - -</td> </tr> <tr> <td>ELEM DEFORMES</td> <td style="text-align: center;">······ - - - - -</td> </tr> </table> <p>(option PRIO INI)</p>		RIGI ARTI BIAR STAN POUT	ELEM ACTIFS	—— ——— ——— ——— ———	ELEM INACTIFS	- - - - - ······ - - - - -	ELEM DEFORMES	······ - - - - -	<table border="1"> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">RIGI ARTI BIAR STAN POUT</td> </tr> <tr> <td>ELEM ACTIFS</td> <td style="text-align: center;">······ - - - - -</td> </tr> <tr> <td>ELEM INACTIFS</td> <td style="text-align: center;">- - - - - ······ - - - - -</td> </tr> <tr> <td>ELEM DEFORMES</td> <td style="text-align: center;">—— ——— ——— ——— ———</td> </tr> </table> <p>(option PRIO DEF)</p>		RIGI ARTI BIAR STAN POUT	ELEM ACTIFS	······ - - - - -	ELEM INACTIFS	- - - - - ······ - - - - -	ELEM DEFORMES	—— ——— ——— ——— ———
	RIGI ARTI BIAR STAN POUT																
ELEM ACTIFS	—— ——— ——— ——— ———																
ELEM INACTIFS	- - - - - ······ - - - - -																
ELEM DEFORMES	······ - - - - -																
	RIGI ARTI BIAR STAN POUT																
ELEM ACTIFS	······ - - - - -																
ELEM INACTIFS	- - - - - ······ - - - - -																
ELEM DEFORMES	—— ——— ——— ——— ———																

Figure 7.11 - Quelques aspects possibles de la légende de structure

MARQ NOE

Cette option gère le report simultané :

- des carrés de marquage des nœuds non appuyés des structures initiale et déformée ;
- des triangles de marquage des nœuds appuyés de la structure initiale.

Seuls sont concernés les nœuds reliés à des éléments visibles de la sous-structure courante (carrés de marquage), et les nœuds appuyés visibles de la sous-structure courante (triangles de marquage).

L’option PRIO INI / PRIO DEF détermine les tailles relatives des marqueurs de nœuds des structures initiale et déformée.

NUME NOE

Cette option gère le report des numéros de nœuds de la structure initiale ou déformée.

C'est la structure rendue prioritaire par l'option PRIO INI / PRIO DEF qui reçoit cette numérotation.

Seuls sont concernés les nœuds à numéros positifs (ce qui exclut les nœuds générés par excentremets) reliés à des éléments visibles de la sous-structure courante.

Chaque numéro peut occuper 16 positions types, gravitant autour du nœud projeté et examinées dans un ordre de priorité décroissante. Les collisions sont détectées et évitées dans la mesure du possible ; les numéros provoquant des collisions inévitables sont reportés d'autorité.

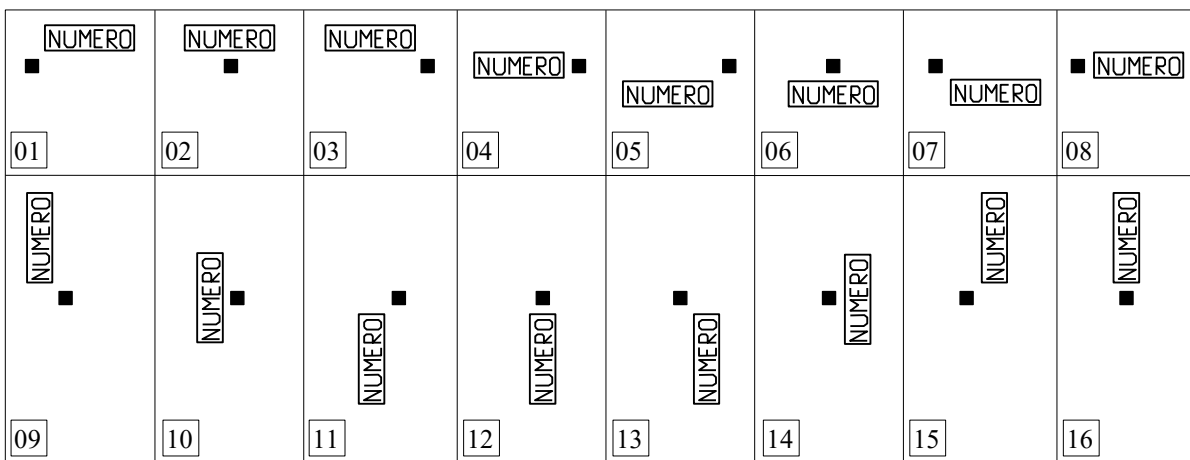


Figure 7.12 - Positions types pour numéro de nœud

Les collisions entre numéros de nœuds et numéros, noms de sections-types ou matériaux-types d'éléments ne sont pas gérées (possibilité de les reporter sur des dessins séparés).

REPE APP

Cette option gère le report simultané des repères appuis projetés et noms d'appuis-types placés, sur les nœuds appuis visibles de la sous-structure courante initiale.

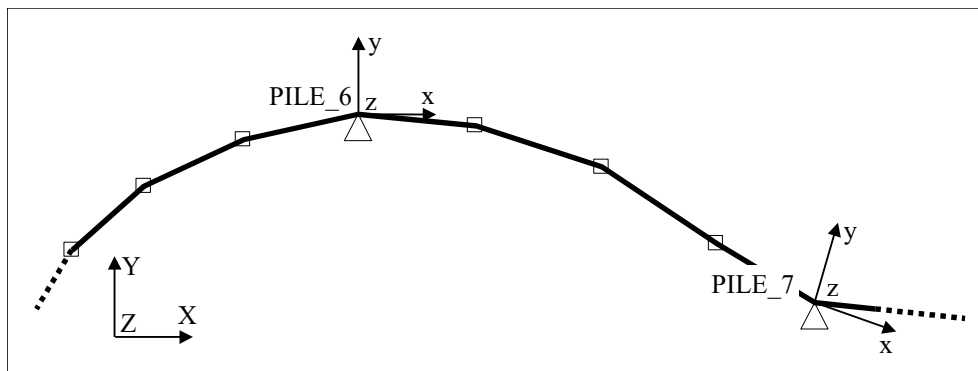


Figure 7.13 - Repères appuis et noms d'appuis-types (vue de dessus)

HABI ELE / NUME ELE / SECT ELE / MATE ELE

Cette option gère le report des numéros (NUME ELE), noms de sections-types (SECT ELE) ou matériaux-types (MATE ELE) des éléments de la structure initiale ou déformée.

C'est la structure rendue prioritaire par l'option PRIO INI / PRIO DEF qui reçoit cet habillage.

En plus des articulations visibles (ponctuelles), seuls sont concernés les éléments de la sous-structure courante dont la partie visible a une longueur projetée supérieure à un minimum fixé à 3 mm sur écran, et à 2 ou 2.5 mm sur traceur ; ces valeurs sont multipliées par 1.732 en mode loupe (voir action ZOOMER).

Pour les éléments rigides, seuls les numéros positifs (ce qui exclut les éléments générés par excentremments) sont reportés et il n'y a pas de sections-types ni de matériaux-types affectés.

Pour les éléments articulations, les numéros sont reportés comme s'il s'agissait de nœuds et les noms d'articulations-types placées éventuelles se substituent aux noms de sections-types ; il n'y a pas de matériaux-types affectés.

Pour les éléments de poutres, les noms de sections-types sont obtenus par concaténation de 'P_' et du numéro de poutre concerné.

Chaque numéro peut occuper 48 positions types, soit 16 positions types (analogues à celles de la figure 7.12) gravitant successivement autour d'un point situé au quart, à la moitié, et au trois-quarts de la partie visible de chaque élément projeté, en suivant son sens ; les numéros suivent l'inclinaison éventuelle des éléments sur l'horizontale ; ces positions sont examinées dans un ordre de priorité décroissante qui est influencé par la présence éventuelle de plusieurs éléments sur la même incidence.

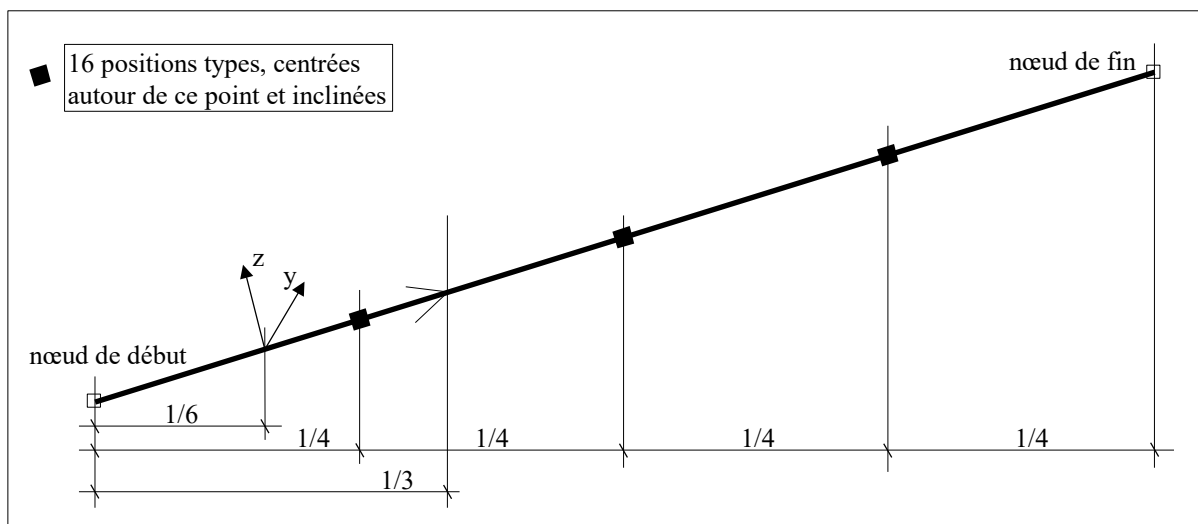


Figure 7.14 - Élément entier, positions types pour habillages, sens, repère local yz

Les collisions sont détectées et évitées dans la mesure du possible ; les habillages provoquant des collisions inévitables sont reportés d'autorité.

Les collisions entre ces habillages et les numéros de nœuds ne sont pas gérées (possibilité de les reporter sur des dessins séparés).

SENS ELE

Cette option gère le report des flèches de marquage du sens (nœud de début => nœud de fin) des éléments non articulations de la structure initiale.

Seuls sont concernés les éléments de la sous-structure courante dont la partie visible a une longueur projetée supérieure à un minimum fixé (voir option HABI ELE / NUME ELE / SECT ELE / MATE ELE).

Les pointes des flèches sont positionnées au premier tiers des parties d'éléments visibles, en suivant leurs sens (figure 7.14).

REPE ELE

Cette option gère le report des repères locaux yz projetés, des éléments non articulations de la structure initiale.

Tous les éléments de la sous-structure courante situés dans le champ de vision sont concernés, y compris ceux dont la projection est ponctuelle ou considérée comme telle.

Pour les éléments ayant leur projection non ponctuelle, les origines des repères sont positionnées au premier sixième de leurs parties visibles, en suivant leurs sens (figure 7.14).

Les lignes moyennes orientées des éléments sont les axes x de leurs repères locaux directs.

RESU ELE

Cette option gère le report d'un groupe de « courbes » représentatives de résultats aux extrémités d'éléments sélectionnés par le module RES, via les options ETUDES et EFFETS de son menu principal, et leurs sous-options ; elle est neutralisée en cas d'absence de résultats.

Seuls sont concernés les éléments non articulations actifs de la sous-structure courante, dont une extrémité au moins appartient au(x) domaine(s) d'étude désigné(s).

Technique de représentation

Les valeurs sont reportées aux extrémités des éléments, le long de traits de rappel facultatifs (voir option TRAI RAP) « orthogonaux » à leur ligne moyenne et banalisés (trait fin continu blanc sur écran ou noir sur traceur) ; les points correspondants sont reliés par des traits rectilignes pour former des « tronçons de courbes ».

L'orthogonalité des traits de rappel n'est effective que si on travaille en mode échelles égales (option ECHE EGA) ; dans le cas contraire, ils sont simplement parallèles entre eux.

Le facteur d'échelle transforme toutes les valeurs de résultats en longueurs à reporter dans le repère 2D du modèle projeté ; cette disposition crée un couplage entre la géométrie du modèle et les longueurs des traits de rappel, via les facteurs d'échelles globaux.

Les valeurs positives sont représentées conventionnellement au dessus d'un élément horizontal de sens gauche => droite.

Sur les matériels graphiques qui gèrent la couleur, chaque courbe simple (ou enveloppe) est représentée en trait continu et distinguée par sa couleur ; sur les matériels monochromes, on utilise quatre types (continu, tireté, pointillé, mixte) et deux épaisseurs de trait.

Tous les traits de rappel sont continus et fins, en blanc sur écran et en noir sur traceur.

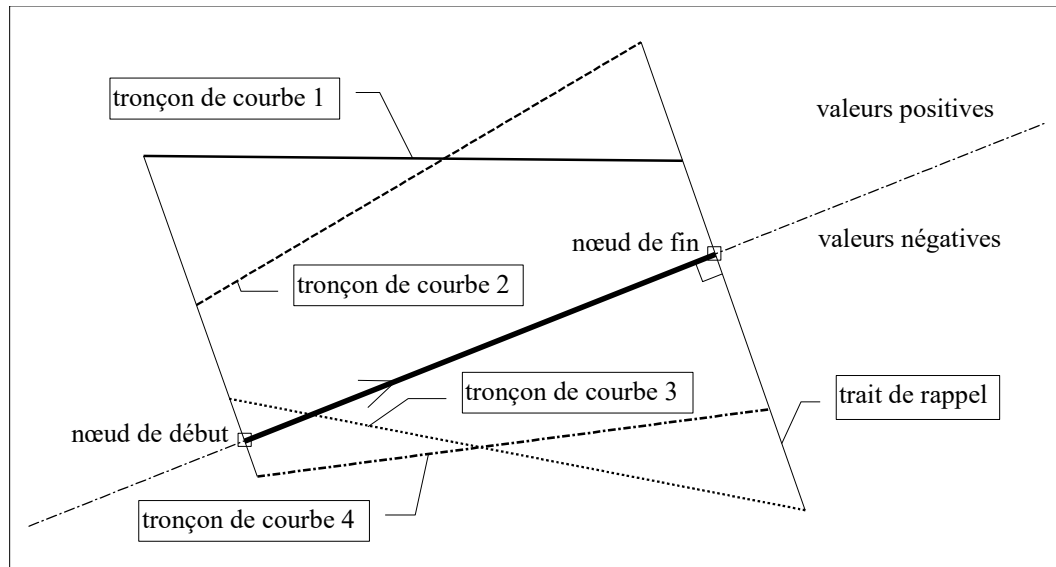


Figure 7.15 - Quatre tronçons de courbes pour un élément entier (échelles égales)

Principales conventions

Les résultats ne peuvent être reportés sur le modèle, en même temps qu'une structure déformée.

Lorsque l'option DESS OPT est inactive, et que l'option RESU ELE est active, les résultats (non visibles) sont pris en compte dans la fenêtre totale.

On ne peut représenter simultanément plus de 8 courbes « simples » ou 8 courbes « enveloppes » (couples de courbes ayant les mêmes attributs).

On peut apposer sur chaque courbe (simple ou enveloppe) dont une partie au moins est visible, un « label d'identification » de même couleur ; ces labels, peuvent être transférés vers une « légende de résultats » ; il est possible également de ne reporter (sur courbes ou en légende) que le début des labels, dont on fixe une « longueur utile maximale ».

En mode fenêtre totale, il y a recadrage automatique sur les nœuds, éléments et résultats présents à l'affichage.

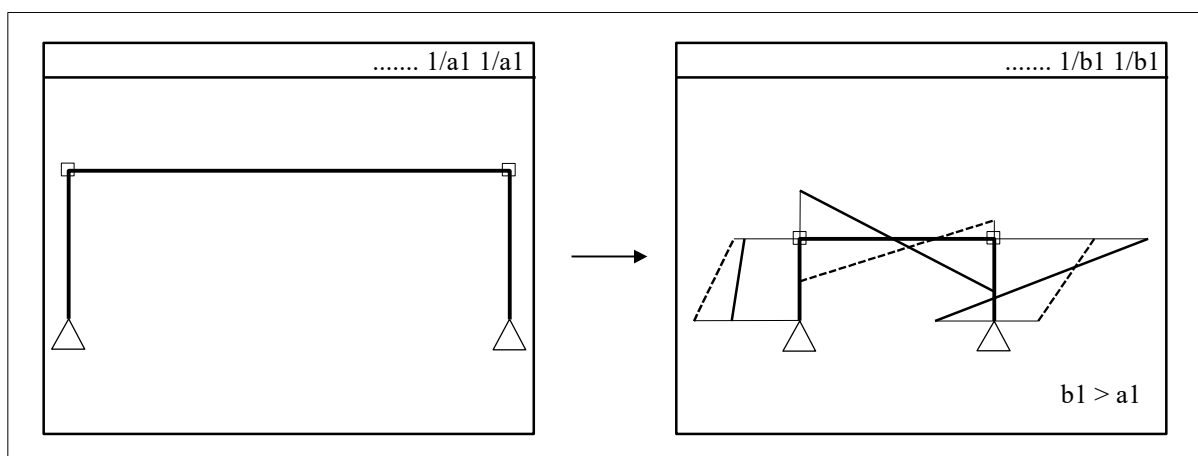


Figure 7.16 - Ajout des résultats en fenêtre totale (échelles égales)

En mode fenêtre partielle, le cadrage et les facteurs d'échelle ne sont pas altérés.

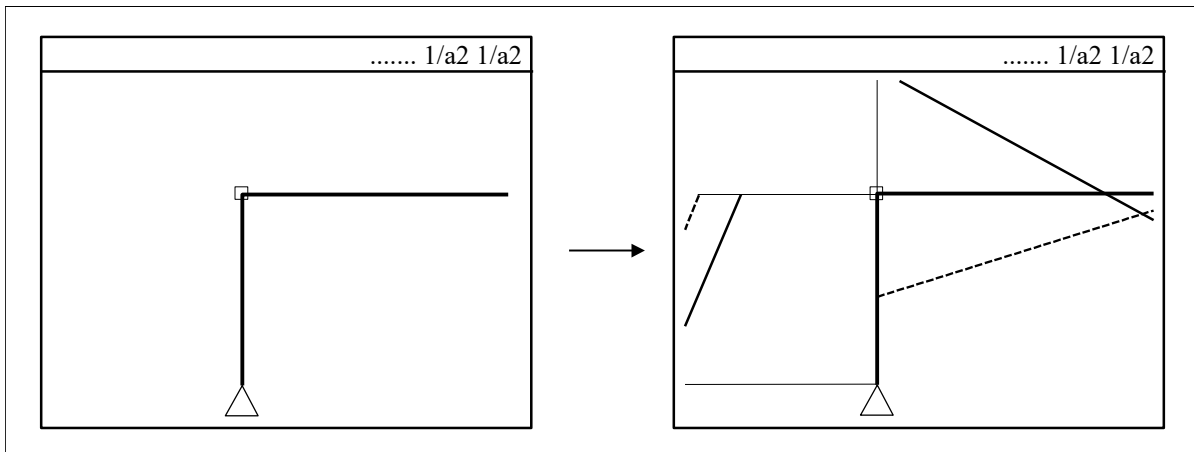


Figure 7.17 - Ajout des résultats en fenêtre partielle (échelles égales)

Critères de visibilité

Lorsque toutes les valeurs de résultats au début et à la fin d'un élément sont nulles, les tronçons de courbes qui seraient confondus avec sa ligne moyenne n'y sont pas représentés.

Les tronçons de courbes ne sont pas pris en compte pour les éléments dont la longueur totale projetée réelle est inférieure à 1 mm.

Lorsque la partie visible d'un élément projeté mesure moins de 0.025 mm (sur écran ou traceur, valeur non affectée par l'effet de loupe de l'action ZOOMER), les tronçons de courbes n'y sont pas dessinés. Il s'ensuit en particulier qu'un zoom sur une partie de courbe n'incluant pas les éléments qui s'y rapportent peut provoquer sa « disparition » temporaire.

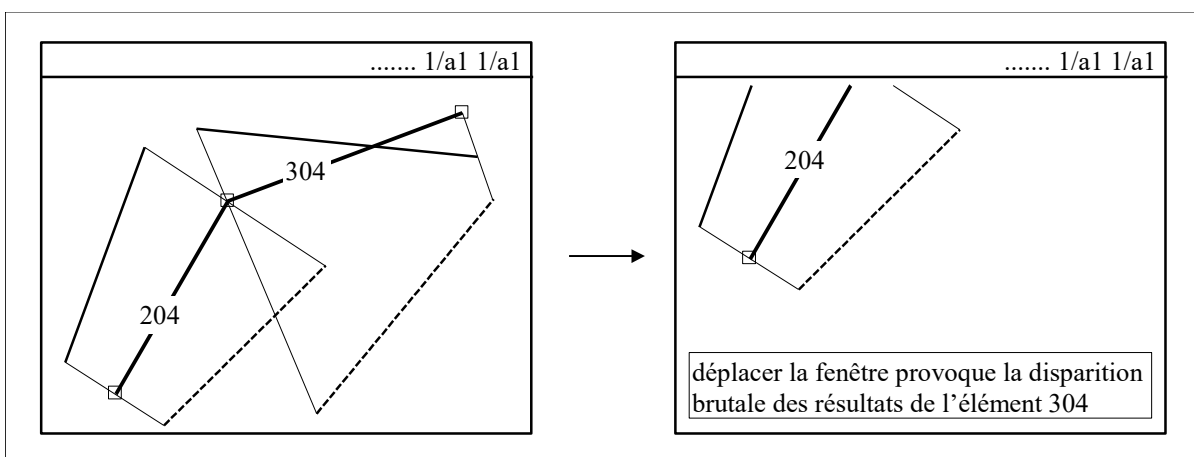


Figure 7.18 - Principal critère de visibilité des résultats

TRAI RAP

Cette option gère le report de tous les traits de rappel sur courbes représentatives des résultats aux extrémités d'éléments.

Elle est neutralisée lorsque les résultats sont absents ou non affichés.

LABL LEG / LABL RES

Cette option gère le transfert des labels d'identification des courbes de la légende de résultats (LABL LEG, option par défaut) vers les courbes (LABL RES), ou inversement.

L'algorithme de report des labels sur courbes teste la visibilité des tronçons de courbes, opère une dispersion des labels, si possible sur plusieurs éléments, et s'efforce de les maintenir dans le champ de vision. Par contre, la légende de résultats est reportée globalement, sans présumer de la non visibilité éventuelle de certaines courbes.

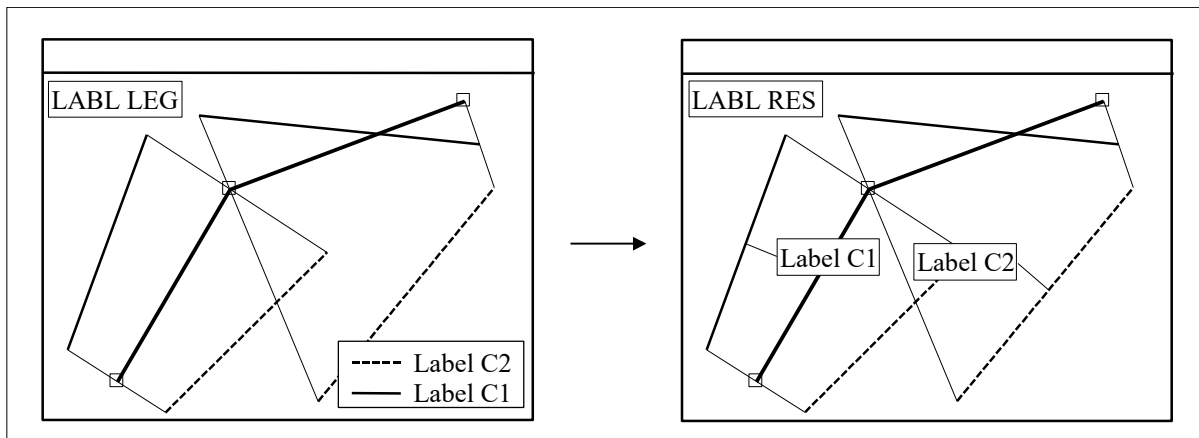


Figure 7.19 - Dispersion sur courbes de la légende de résultats

IMPR TOT / IMPR 4X4 / IMPR ZON / IMPR ECH / IMPR NOR

Cette option permet de choisir le mode de reproduction sur traceur de tout ou partie du dessin affiché à l'écran.

Cinq possibilités d'impression existent que l'on peut dérouler cycliquement dans l'ordre ci-dessus ; l'un d'eux est toujours actif.

Lorsqu'il y a saturation de l'espace d'affichage du traceur, les dessins imprimés sont dits « non normalisés » et peuvent être simples ou quadruples. Ils comprennent alors la zone de titre, la zone de dessin du modèle et une zone de sous-titre, auquel on adjoint un sous-titre complémentaire facultatif d'impression. Les facteurs d'échelles sont calculés ou imposés et il ne peut y avoir ni débordement, ni erreur.

Les dessins imprimés « normalisés » s'inscrivent dans un cadre rectangulaire (formé de « formats A4 » empilés en largeur et/ou en hauteur et délimités par des croix de pliage), augmenté d'un cartouche au format A4 contenant un en-tête, le titre et les sous-titres. L'espace d'affichage du traceur n'est pas saturé et si sa taille le permet, les dessins s'y empilent en hauteur, puis en largeur, jusqu'à saturation. Les facteurs d'échelles sont imposés et en cas de débordement, un message d'erreur est émis et l'impression concernée est annulée.

Le mode d'impression choisi par défaut est non normalisé pour les traceurs de format « réduit », et normalisé pour les traceurs de « grand » format (supérieur à A0). Cependant, on peut appliquer le mode normalisé aux traceurs de format réduit (les formats A4 prennent alors des tailles fictives), ou un mode non normalisé aux traceurs de grand format (déconseillé).

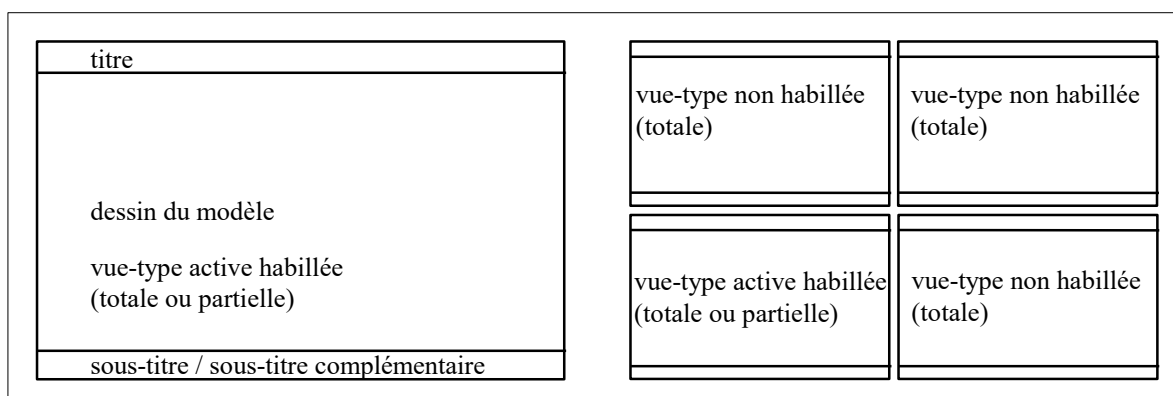


Figure 7.20 - Impressions non normalisées, simple et quadruple

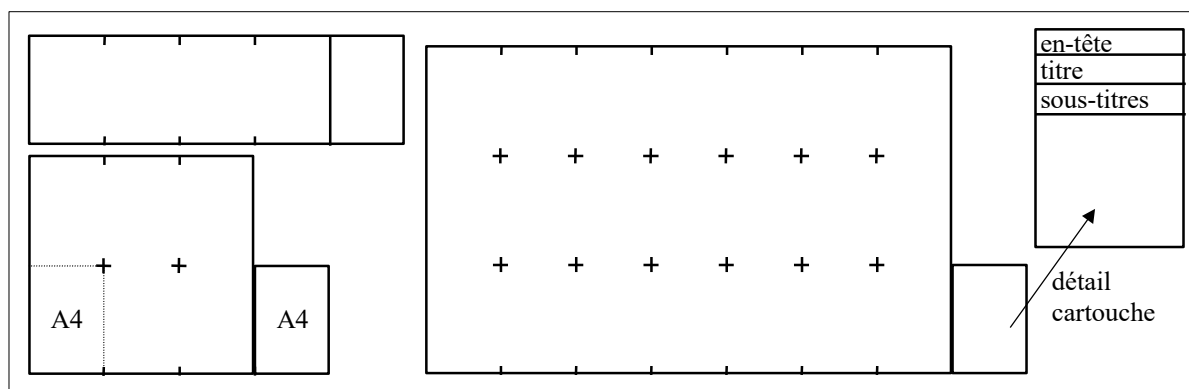


Figure 7.21 - Impressions normalisées empilées

Le tableau ci-dessous résume les principales conventions attachées aux différents modes d'impression, et la manière dont ils sont mis en œuvre.

Mode d'impression	Partie d'écran imprimée	Saturation traceur	Facteurs d'échelles
IMPR TOT, impression totale simple non normalisée *	Vue-type active totale, en mode 1X1 ou 4X4	Oui	Calculés, égaux ou différents, selon option ECHE EGA / ECHE DIF
IMPR 4X4, impression totale quadruple non normalisée	Vue-type active et autres vues-types totales, en mode 1X1, écran total en mode 4X4	Oui	Calculés, égaux ou différents, selon option ECHE EGA / ECHE DIF
IMPR ZON, impression de zone, simple non normalisée	Partie rectangulaire saisie de la vue-type active, en mode 1X1 ou 4X4	Oui	Calculés, égaux ou différents, selon option ECHE EGA / ECHE DIF
IMPR ECH, impression partielle, simple non normalisée, avec échelles imposées	Partie rectangulaire de la vue-type active, en mode 1X1 ou 4X4, désignée par son centre ; sa taille dépend des facteurs d'échelles fournis	Oui	Égaux ou différents, selon les valeurs fournies
IMPR NOR, impression normalisée avec échelles imposées *	Partie rectangulaire saisie de la vue-type active, en mode 1X1 ou 4X4	Non, dessins empilés	Égaux ou différents, selon les valeurs fournies

Tableau 7.3 - Modes d'impression

(*) options par défaut

On peut obtenir une impression simple lorsque le mode de partage de l'écran est simple ou quadruple (voir option AFFI 1X1 / AFFI 4X4), et inversement.

Selon le mode de partage de l'écran, le mode de prise en compte des facteurs d'échelles (voir option ECHE EGA / ECHE DIF), le type de fenêtre en vigueur (totale ou partielle), le rapport largeur/hauteur de l'espace d'affichage du traceur et le mode d'impression choisi, le nombre de possibilités est très grand.

Les figures ci-dessous montrent l'allure des dessins imprimés dans deux cas d'utilisation très courants (le rapport largeur/hauteur de l'espace d'affichage du traceur est fixé à 1.414).

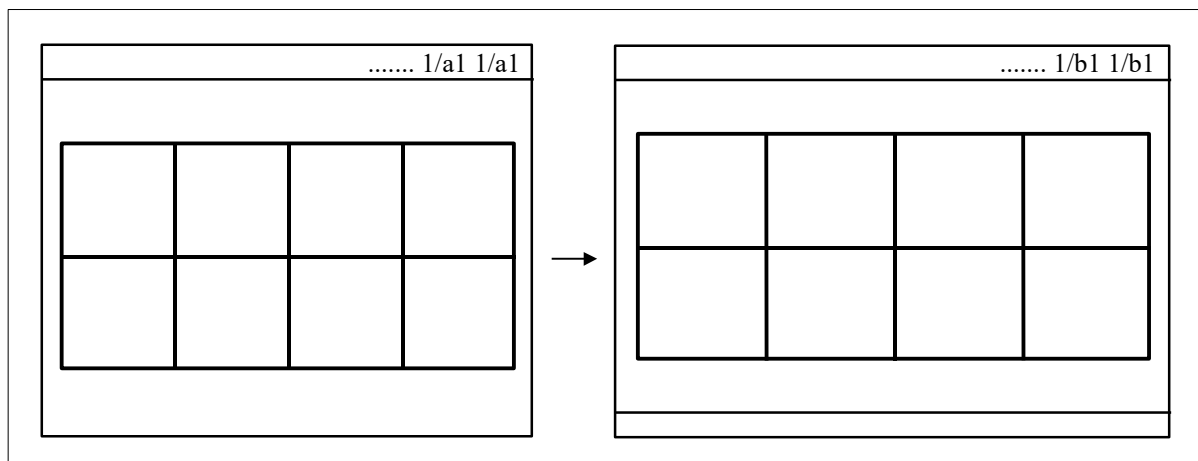


Figure 7.22 - Impression totale en fenêtre totale, échelles égales

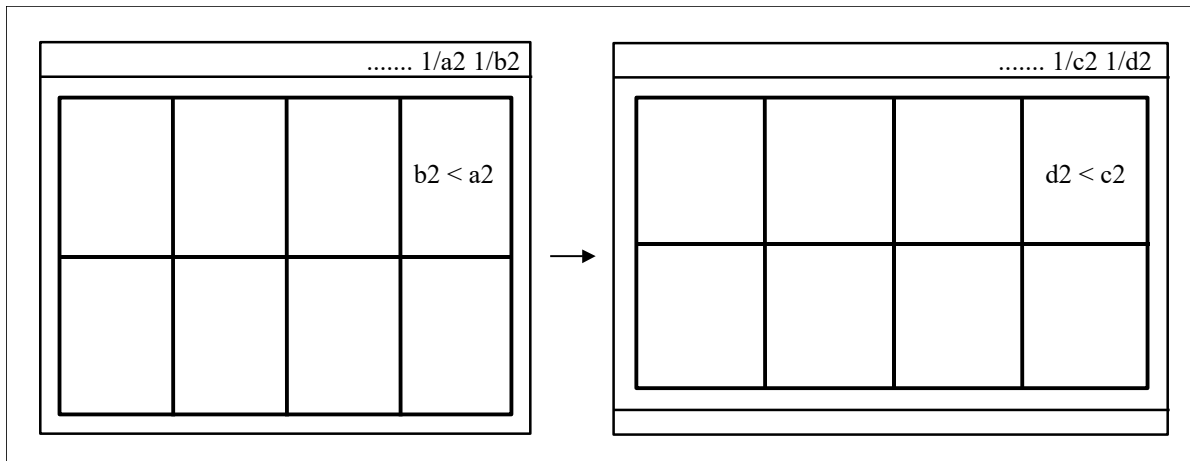


Figure 7.23 - Impression totale en fenêtre totale, échelles différentes

L'impression totale précédée d'un zoom sur zone est équivalente à l'impression de zone.

DESS OPT

Cette option gère le report global et individuel, sur écran, des détails d'habillage suivants :

- légende de structure (option LEGE STR) ;
- marqueurs de nœuds (option MARQ NOE) ;
- numéros de nœuds (option NUME NOE) ;
- repères appuis et noms d'appuis-types (option REPE APP) ;
- numéros, noms de sections-types ou matériaux-types des éléments (option NUME ELE / SECT ELE / MATE ELE) ;
- marqueurs de sens des éléments (option SENS ELE) ;
- repères yz des éléments (option REPE ELE) ;
- résultats aux extrémités d'éléments, avec labels d'identification (option RESU ELE).

Lorsqu'elle est inactive, les détails demandés demeurent invisibles et les changements d'options d'habillage sont mémorisés, mais non répercutés à l'affichage.

Lorsqu'elle devient active, les détails demandés s'affichent simultanément et les changements d'options d'habillage sont répercutés individuellement à l'affichage.

Attention, les détails d'habillage demandés sont pris en compte pour les impressions (action IMPRIMER), que l'option DESS OPT soit active ou non.

Les options VISEUR, AFFI 1X1 / AFFI 4X4, ECHE EGA / ECHE DIF, STRU INI / STRU ACT / STRU TOT, STRU DEF et PRIO INI / PRIO DEF ne sont pas pilotées par la case DESS OPT.

Conseils d'utilisation

Désactiver l'option DESS OPT puis choisir l'option d'habillage des éléments qui convient, avant de sélectionner une sous-structure (action CHOISIR), si l'on est en fenêtre totale et si l'affichage risque d'être ralenti et confus.

Désactiver l'option DESS OPT avant de faire les choix d'options pour l'impression si le dessin à l'écran risque d'être surchargé.

7.2 - ACTIONS

DECOUPER

Cette action provoque le découpage de la sous-structure initiale courante par un plan perpendiculaire au plan de projection.

Ses effets sont cumulatifs et combinables à ceux de l'action CHOISIR, et la rémanence de la sous-structure courante est assurée.

La structure déformée éventuelle s'adapte fidèlement aux modifications de la sous-structure courante.

La trace du plan de coupe sur le plan de projection est désignée par deux points de la zone de dessin du modèle ; le troisième point saisi (nécessairement en dehors de la trace de coupe) désigne le demi-espace à « effacer » ; les nœuds situés dans ce demi-espace et les éléments qui s'y rattachent sont retirés de la sous-structure courante.

En mode fenêtre totale, il y a recadrage automatique sur les nœuds, éléments et résultats présents à l'affichage.

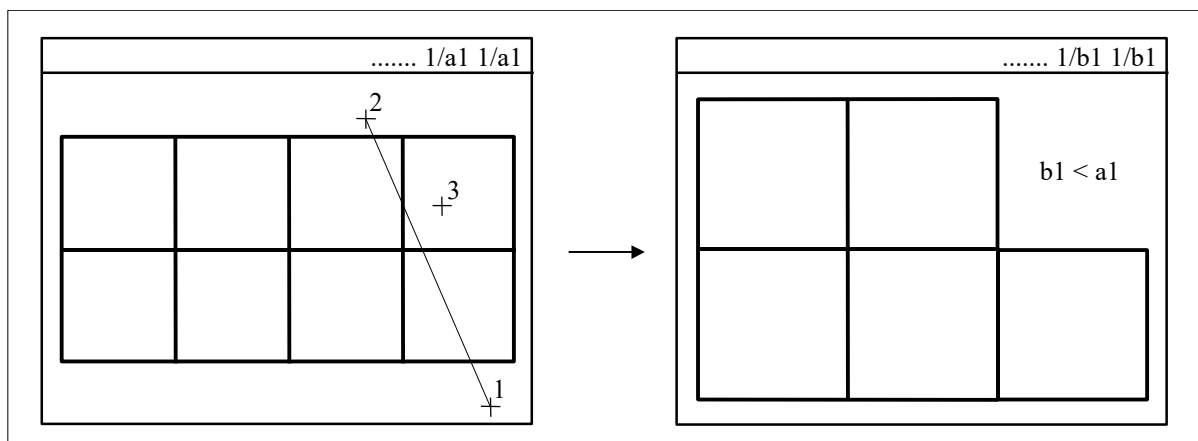


Figure 7.24 - Découpage sous-structure courante en fenêtre totale (échelles égales)

En mode fenêtre partielle, le cadrage et les facteurs d'échelles ne sont pas altérés.

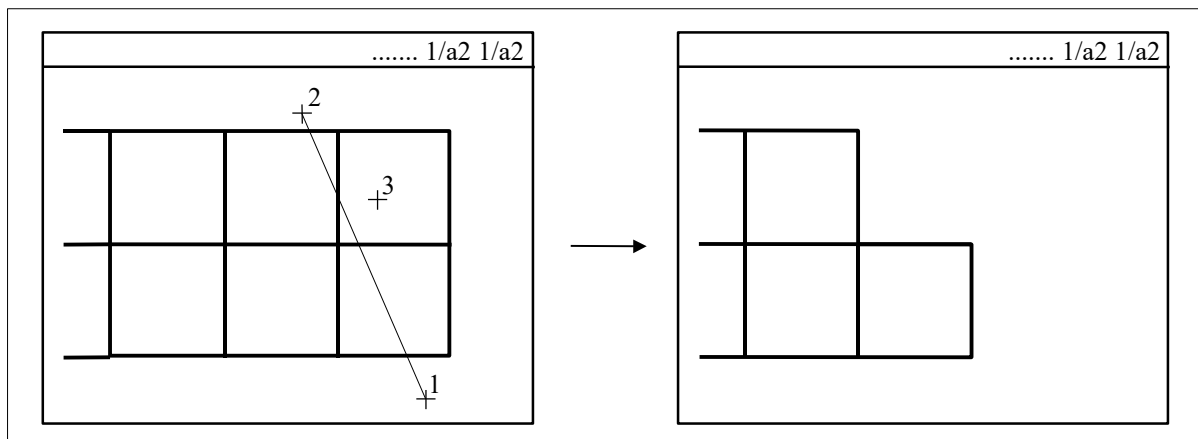


Figure 7.25 - Découpage sous-structure courante en fenêtre partielle (échelles égales)

CHOISIR

Cette action permet de (re)définir la sous-structure courante par sélection d'un groupe d'éléments, ou de la modifier par ajout ou retrait d'un groupe d'éléments (entré en données).

En cas de modification, ses effets sont cumulatifs et combinables à ceux de l'action DECOUPER, et la rémanence de la sous-structure courante est assurée.

En mode fenêtre totale, il y a recadrage automatique sur les nœuds, éléments et résultats présents à l'affichage ; en mode fenêtre partielle, le cadrage et les facteurs d'échelles ne sont pas altérés.

La structure déformée éventuelle s'adapte fidèlement aux modifications de la sous-structure courante.

Mode de sélection

C'est le mode d'habillage des éléments (voir option HABI ELE / NUME ELE / SECT ELE / MATE ELE) qui détermine leur mode de sélection (qu'ils soient actifs ou inactifs) :

- par classe, si l'habillage est neutralisé (option HABI ELE) ;
- par fourchette de numéros, bornes comprises (option NUME ELE) ;
- par particule sur les noms de sections-types (option SECT ELE), ou de matériaux-types (option MATE ELE).

La légende de structure (voir option LEGE STR) rappelle les abréviations utilisées pour désigner les cinq classes normalisées d'éléments (RIGI, ARTI, BIAR, STAN, POUT).

Nous y ajoutons la classe RESU qui désigne les éléments aux extrémités desquels des résultats sont fournis.

Opérateur de préfixage

La sélection peut être précédée d'un opérateur :

- +, si on ajoute des éléments à la sous-structure courante ;
- -, si on en retire ;
- *, si on ne conserve de la sous-structure courante que les éléments qui vérifient le nouveau critère de sélection.

Lorsque l'opérateur est absent, la sous-structure courante est redéfinie.

Remarques, conseils d'utilisation

Les quatre principaux modes de sélection peuvent être combinés librement, en modifiant l'option HABI ELE / NUME ELE / SECT ELE / MATE ELE.

Utiliser si nécessaire les actions PROJETER et DECOUPER, en alternance avec l'action CHOISIR.

Les particules de type 'P_i' peuvent être utilisées pour sélectionner certaines poutres, en mode d'habillage SECT ELE.

Les particules de sélection pour noms de sections-types et matériaux-types ne sont pas contrôlées comme vérifiant les conventions lexicales d'écriture des noms ; elles peuvent donc débiter ou se terminer par '_', débiter par un chiffre ou ne contenir que des chiffres.

Exemples

Les termes de chaque sélection sont séparés par au moins un blanc.

Sélection	Type	Signification
POUT	Par classe	La sous-structure courante est redéfinie et comprend les éléments de poutres
+ STAN	Par classe	On ajoute les éléments standard à la sous-structure courante
* RESU	Par classe	On ne retient de la sous-structure courante que les éléments qui possèdent des résultats
100 500	Par fourchette de numéros	La sous-structure courante est redéfinie et comprend les éléments dont les numéros sont compris entre 100 et 500
+ 750 1000	Par fourchette de numéros	On ajoute à la sous-structure courante les éléments dont les numéros sont compris entre 750 et 1000
- 400 400	Par fourchette de numéros	On retire l'élément 400 de la sous-structure courante
- 21	Par particule sur noms de sections-types	On retire de la sous-structure courante les éléments dont les noms de sections-types contiennent la particule 21
+ BET	Par particule sur noms de matériaux-types	On ajoute à la sous-structure courante les éléments dont les noms de matériaux-types contiennent la particule BET

Tableau 7.4 - Quelques exemples de sélections d'éléments

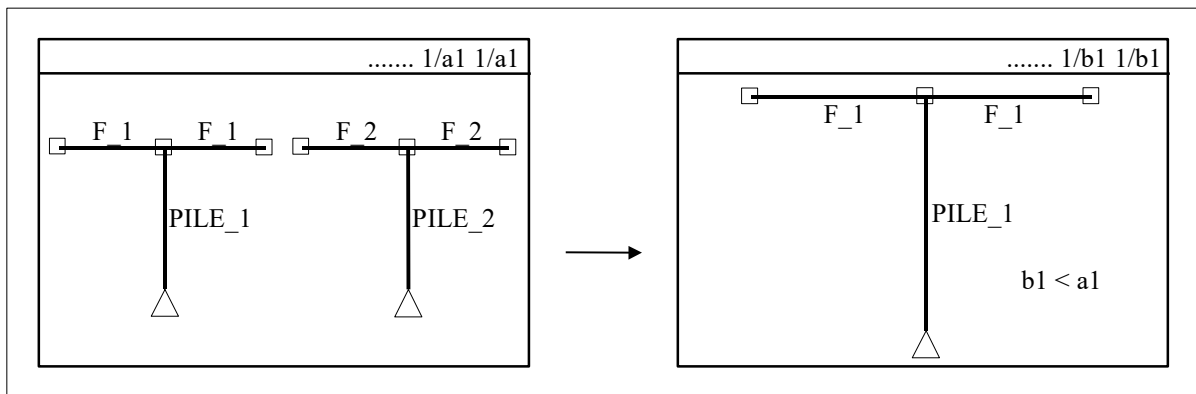


Figure 7.26 - Option SECT ELE, effet de sélection - 2 en fenêtre totale (échelles égales)

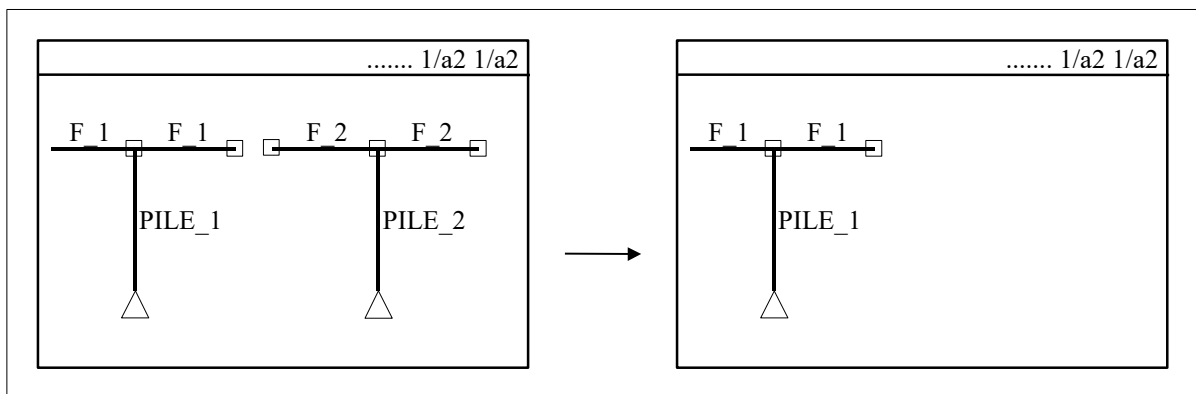


Figure 7.27 - Option SECT ELE, effet de sélection - 2 en fenêtre partielle (échelles égales)

RECOLLER

Cette action annule les effets de tous les découpages (action DECOUPER) et sélections d'éléments (action CHOISIR) intervenus depuis le début, ou la dernière action RECOLLER ; la structure initiale complète est restituée comme sous-structure courante (option par défaut).

Elle est sans effet si la structure n'a fait l'objet d'aucun découpage ni sélection d'éléments.

En mode fenêtre totale, il y a recadrage automatique sur les nœuds, éléments et résultats présents à l'affichage.

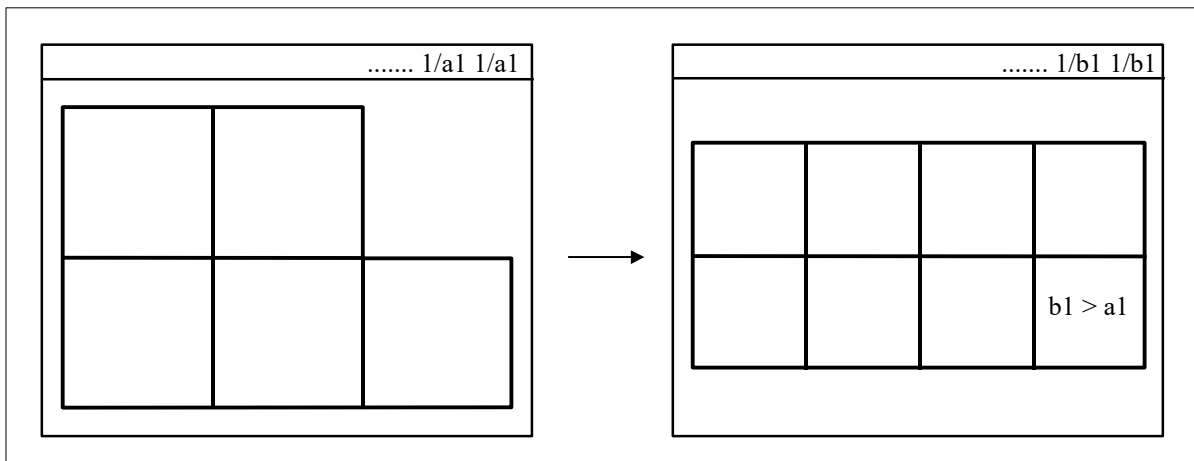


Figure 7.28 - Recollage en fenêtre totale (échelles égales)

En mode fenêtre partielle, le cadrage et les facteurs d'échelles ne sont pas altérés.

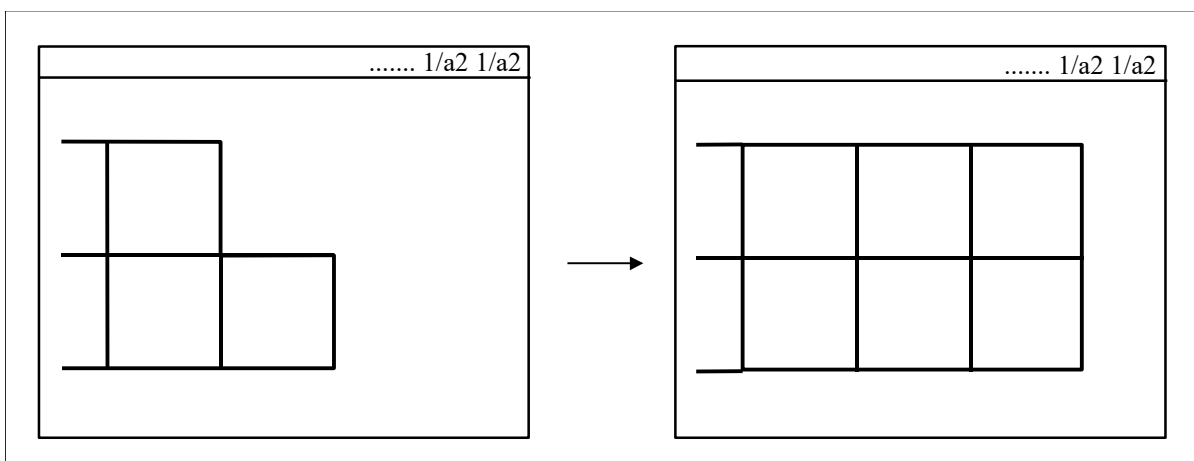


Figure 7.29 - Recollage en fenêtre partielle (échelles égales)

ZOOMER

Cette action provoque la saisie d'une partie rectangulaire de la zone de dessin du modèle, qui deviendra, après ajustement éventuel, la nouvelle fenêtre de visualisation sur écran, ou d'impression en mode total (voir option IMPR TOT).

Elle provoque également le passage éventuel du mode fenêtre totale au mode fenêtre partielle.

En mode échelles égales (option ECHE EGA), la partie saisie est agrandie symétriquement en largeur ou en hauteur, pour obtenir de nouveaux facteurs d'échelles égaux, et saturer la zone de dessin du modèle en largeur ou en hauteur.

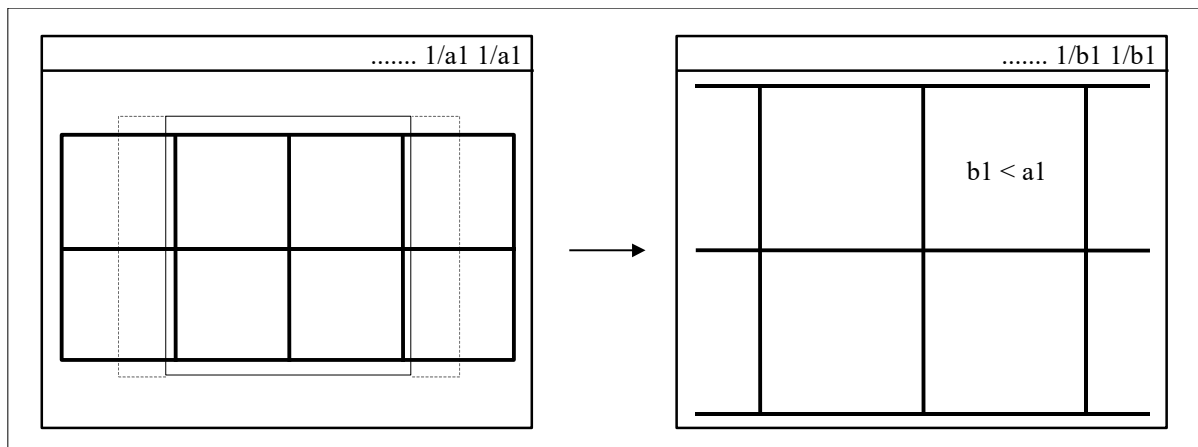


Figure 7.30 - Zoom en mode échelles égales

En mode échelles différentes (option ECHE DIF), la partie saisie est conservée et vient saturer la zone de dessin du modèle en largeur et en hauteur, avec des facteurs d'échelles recalculés en général différents.

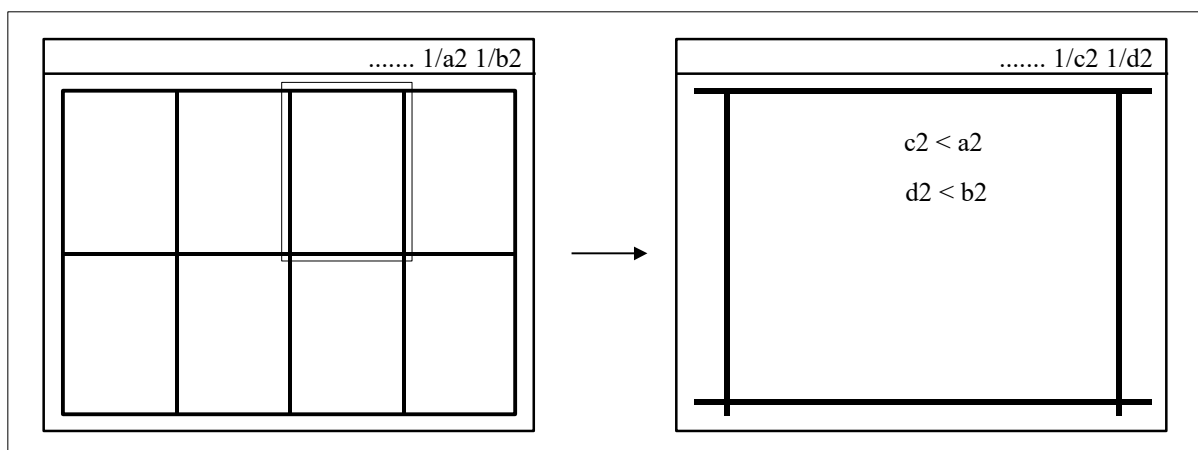


Figure 7.31 - Zoom en mode échelles différentes

Mode loupe

Lorsque le rectangle saisi a une largeur et une hauteur inférieures à 2 % de celles de la zone de dessin du modèle, le zoom est supposé « ponctuel » et le mode « normal » (choisi par défaut) cède la place au mode « loupe », ou inversement.

En mode « loupe », la plupart des épaisseurs nominales de traits sont doublées et la plupart des détails d’habillage (symboles, et textes en dehors des légendes) voient leurs tailles nominales multipliées par 1.732 ; les facteurs d’échelles et le cadrage ne sont pas altérés.

Attention, le mode loupe s’applique aussi aux sorties imprimées (voir action IMPRIMER).

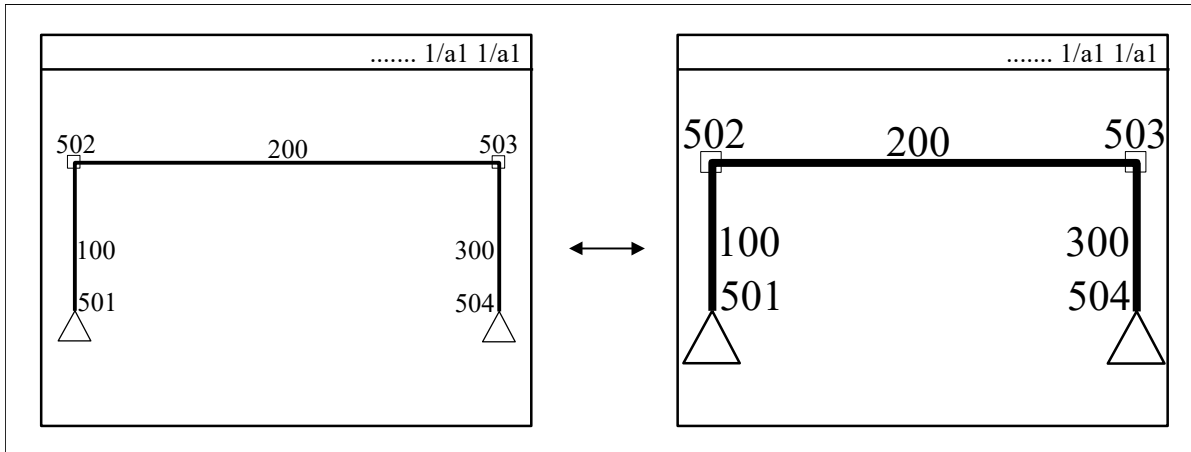


Figure 7.32 - Quelques effets du mode loupe

RESITUER

Cette action permet d’appliquer au dessin du modèle sur écran, un coefficient d’agrandissement ou de rétrécissement entré en données ; le cadrage est modifié en proportion mais le point central du dessin (milieu du réticule) est conservé.

Elle provoque également le passage éventuel du mode fenêtre totale au mode fenêtre partielle.

La structure semble s’éloigner si le coefficient est supérieur à 1.0, ou se rapprocher s’il est inférieur à 1.0. Sa valeur plancher est fixée à 0.1, il n’y a pas de borne supérieure.

L’effet « apparent » est nul si le coefficient est égal à 1.0, mais on peut utiliser cette possibilité pour « forcer le passage » au mode fenêtre partielle et empêcher les recadrages automatiques ultérieurs.

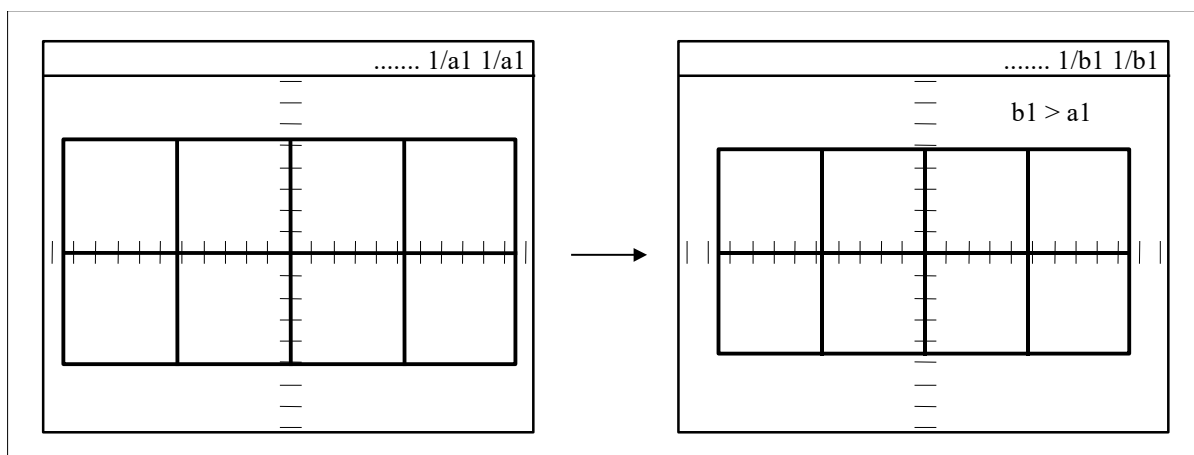


Figure 7.33 - Rétrécissement appliqué en mode échelles égales (coefficient 1.10)

FIXE ECH

Cette option permet d'appliquer au dessin du modèle sur écran, deux facteurs d'échelles entrés en données (en largeur et en hauteur) ; le cadrage est modifié en conséquence mais le point central du dessin (milieu du réticule) est conservé.

Elle provoque également le passage éventuel du mode fenêtre totale au mode fenêtre partielle.

La valeur plancher d'un facteur d'échelle est fixée à 0.05, il n'y a pas de borne supérieure.

En mode échelles égales (option ECHE EGA), si on entre deux valeurs différentes, seule la plus grande est prise en compte comme facteur d'échelle, à appliquer en largeur et en hauteur ; la deuxième est mise en réserve et appliquée seulement en cas de basculement vers le mode échelles différentes (option ECHE DIF).

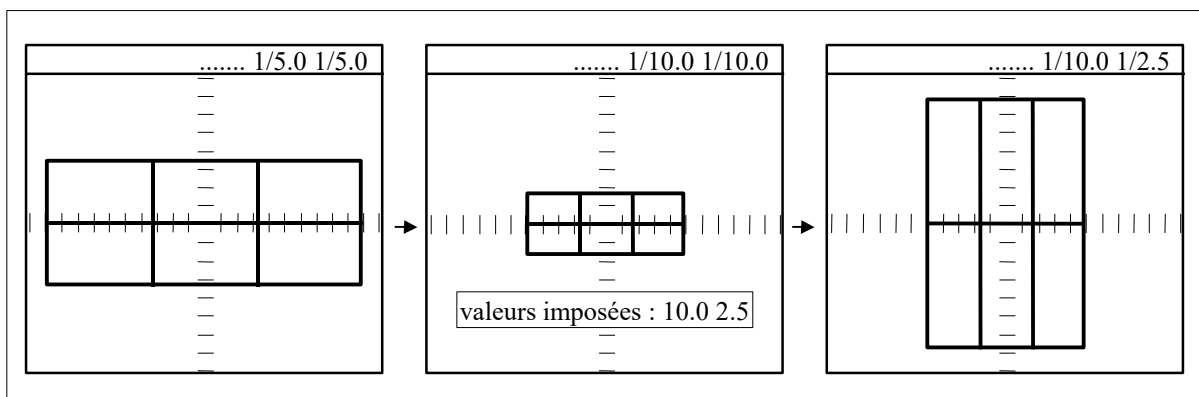


Figure 7.34 - Facteurs imposés en échelles égales, basculement en échelles différentes

En mode échelles différentes (option ECHE DIF), les deux valeurs sont prises en compte, en largeur et en hauteur, dans leur ordre d'entrée.

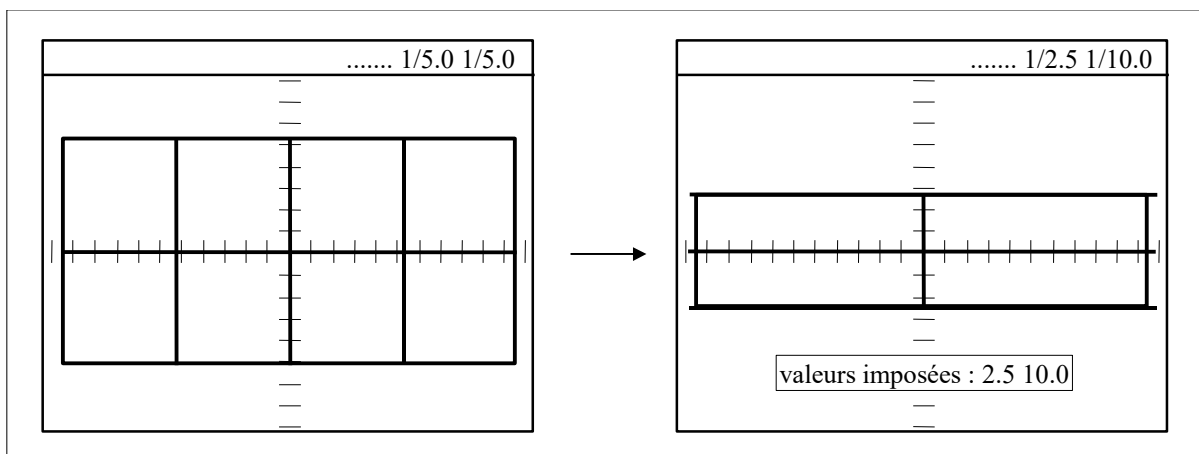


Figure 7.35 - Facteurs imposés en échelles différentes

DEPLACER

Cette action provoque une translation de la fenêtre de visualisation ; le centre du réticule est déplacé virtuellement vers un point saisi de la zone de dessin du modèle ; les facteurs d'échelles sont conservés.

Elle provoque également le passage éventuel du mode fenêtre totale au mode fenêtre partielle.

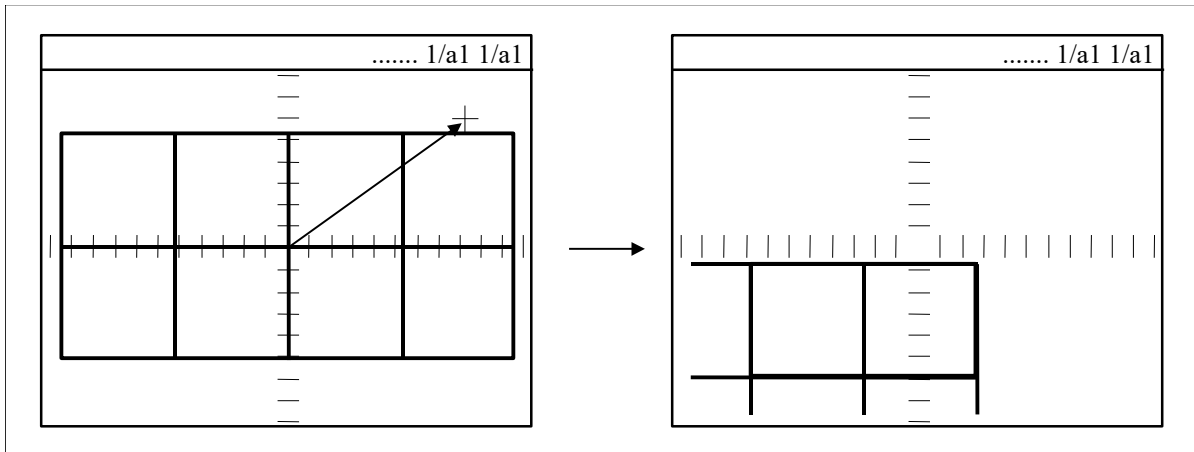


Figure 7.36 - Déplacement de fenêtre en mode échelles égales

CHERCHER

Cette action provoque une translation de la fenêtre de visualisation ; le centre du réticule est déplacé virtuellement vers un nœud ou le milieu d'un élément, dont on fournit le numéro, précédé du mot-clé NOEUD ou ELEMENT ; les facteurs d'échelles sont conservés.

Elle provoque également le passage éventuel du mode fenêtre totale au mode fenêtre partielle.

Le nœud ou élément localisé peut demeurer invisible s'il n'appartient pas à la partie de modèle dessinée.

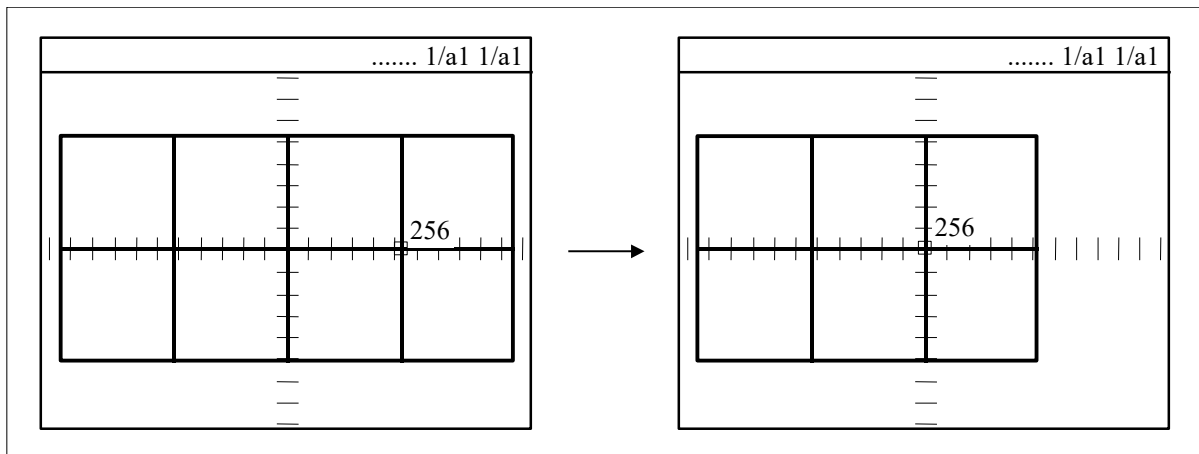


Figure 7.37 - Recherche du NOEUD 256 en mode échelles égales

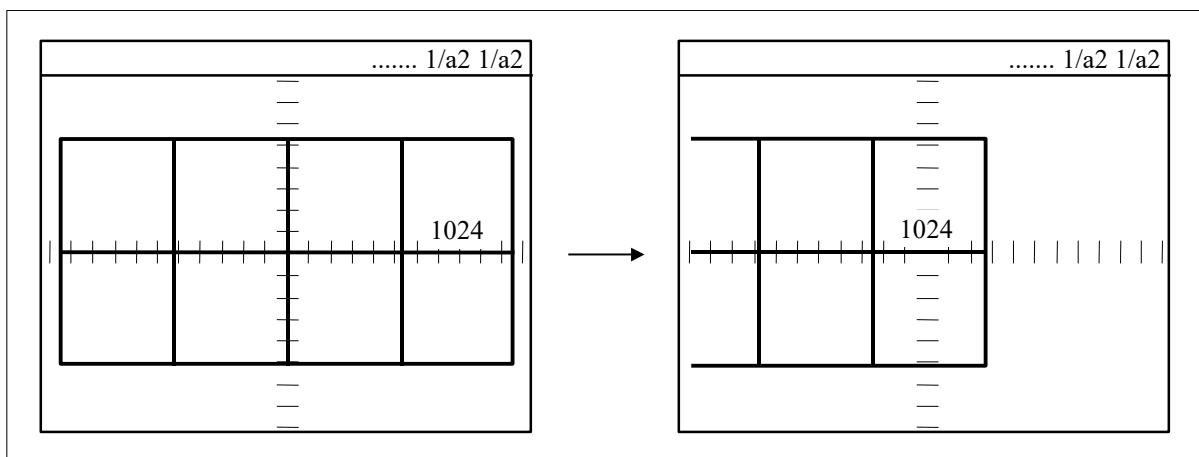


Figure 7.38 - Recherche de l'ELEMENT 1024 en mode échelles égales

TOURNER

Cette action provoque une rotation du modèle dans son plan de projection, dont les paramètres sont définis par trois points P1, P2 et P3 saisis dans sa zone de dessin ; P1 est le centre de rotation ; P2-P1-P3 est l'angle orienté de rotation.

Elle s'avère utile, notamment, pour « remettre en ligne » une perspective avant impression (sur traceur à rouleau).

On peut enchaîner plusieurs rotations dont les effets se cumulent ; seul le changement du plan de projection de la vue-type active (voir action XY>XZ>YZ ou PROJETER) annule leurs effets.

On garde la trace de 10 rotations au maximum, effectuées depuis le dernier changement de plan de projection, afin d'en restituer les effets lors des changements du mode d'affichage (voir option AFFI 1X1 / AFFI 4X4).

En mode fenêtre totale, il y a recadrage automatique sur les nœuds, éléments et résultats présents à l'affichage.

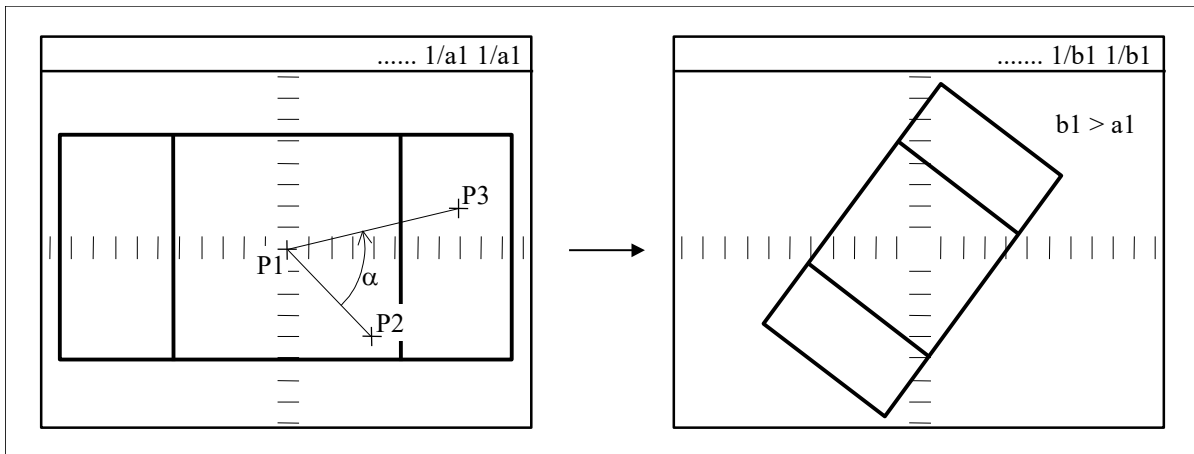


Figure 7.39 - Rotation autour du centre du réticule, fenêtre totale (échelles égales)

En mode fenêtre partielle, le cadrage et les facteurs d'échelles ne sont pas altérés.

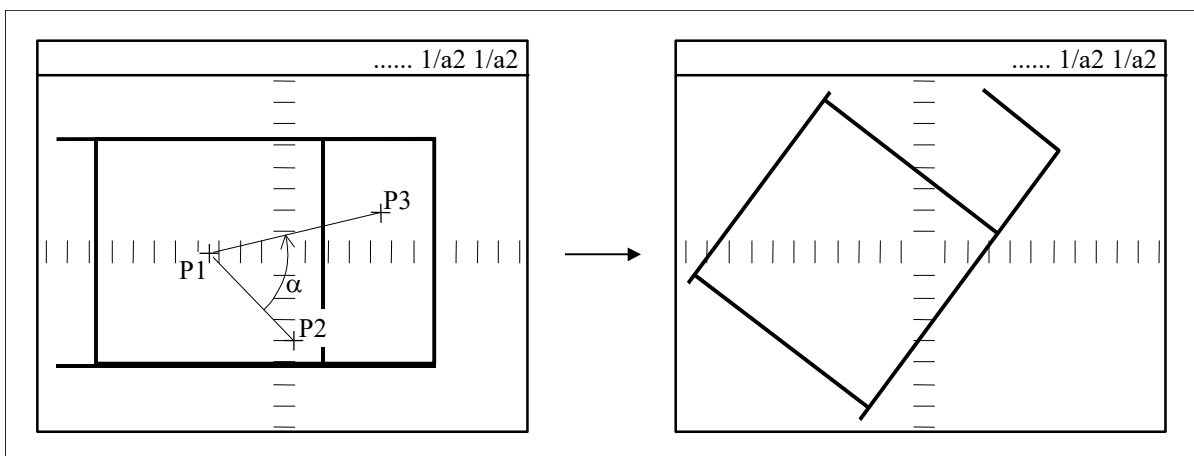


Figure 7.40 - Rotation autour d'un point quelconque, fenêtre partielle (échelles égales)

RECADRER

Cette action provoque un recadrage du dessin sur les nœuds, éléments et résultats présents à l'affichage, de manière à utiliser au mieux l'espace disponible ; les facteurs d'échelles sont recalculés en conséquence ; la bordure de sécurité permet d'inscrire la plupart des détails d'habillage, sans écrêtage.

Elle provoque également le passage éventuel du mode fenêtre partielle au mode fenêtre totale.

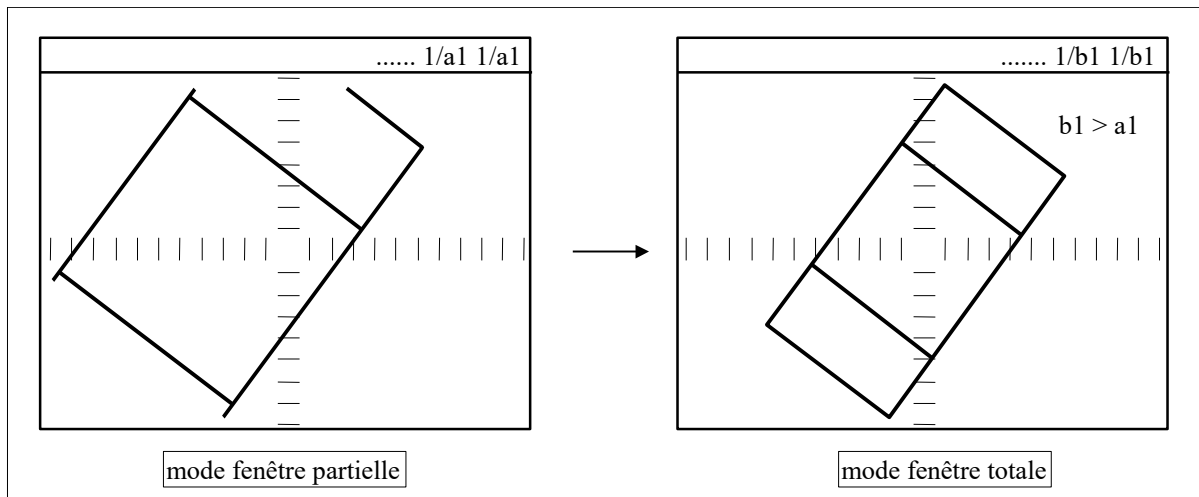


Figure 7.41 - Recadrage après rotation, en mode échelles égales

AMPL DEF

Cette action permet de modifier la valeur courante du coefficient amplificateur des déplacements de la structure déformée, pour la vue-type active uniquement ; elle est sans effet immédiat si la structure déformée existe sans être affichée, ou neutralisée en son absence.

Ce coefficient multiplie simultanément les trois valeurs de déplacements des nœuds actifs du modèle complet et sa rémanence est assurée.

Il est fixé par défaut à 10 % du quotient de la taille maximale de la structure (selon les axes du repère global : OX, OY et OZ pour la perspective, OX et OY pour la vue de dessus, OX et OZ pour l'élévation, ou OY et OZ pour la vue de droite) par la valeur absolue maximale de déplacement, et remplaçable par une valeur quelconque positive ou nulle.

En mode fenêtre totale lorsque la structure déformée est demandée (option STRU DEF active), il y a recadrage automatique sur les nœuds et éléments présents à l'affichage.

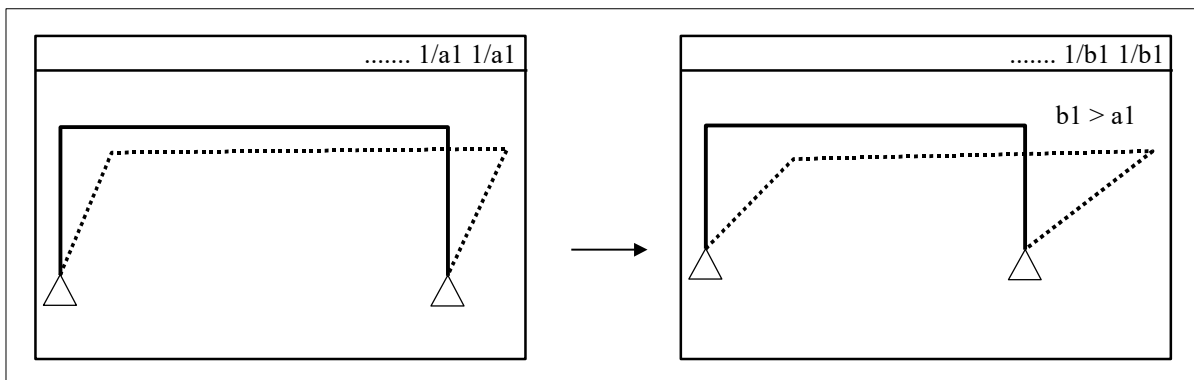


Figure 7.42 - Augmentation d'amplification des déplacements en fenêtre totale

En mode fenêtre totale, lorsque la structure déformée n'est pas demandée, ou en mode fenêtre partielle, le cadrage et les facteurs d'échelles ne sont pas altérés.

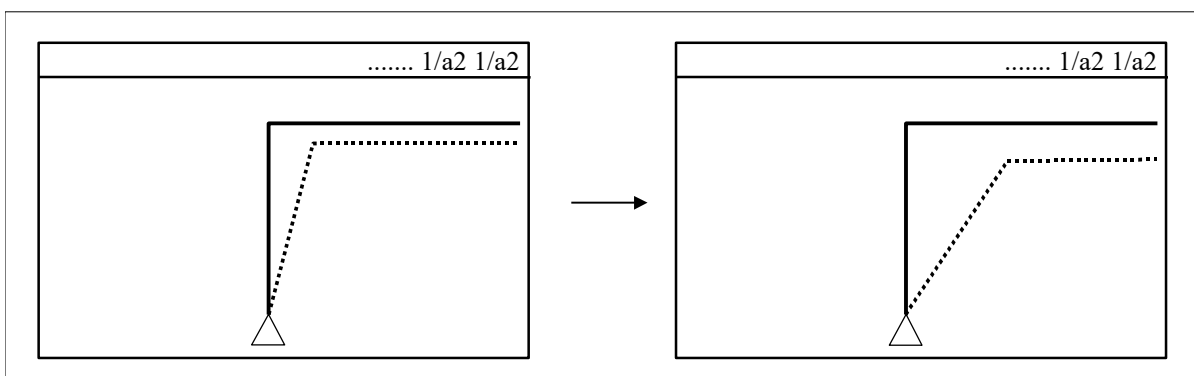


Figure 7.43 - Augmentation d'amplification des déplacements en fenêtre partielle

Conseils d'utilisation

Les coefficients amplificateurs calculés par défaut pour les quatre vues-types se réduisent à deux valeurs différentes au maximum. Pour leur appliquer d'autres coefficients, utiliser en alternance les actions XY>XZ>YZ et AMPL DEF.

ECHE RES

Cette action permet de modifier la valeur courante du facteur d'échelle pour résultats aux extrémités d'éléments ; elle est neutralisée en cas d'absence de résultats.

Ce facteur d'échelle est la longueur équivalente à la plus grande valeur absolue de résultats, pour un groupe de courbes à reporter simultanément ; sa rémanence est assurée.

Il est fixé par défaut aux $3/8$ de la dimension maximale de la structure (selon les axes du repère global), et remplaçable par une valeur quelconque supérieure à 0.1.

En mode fenêtre totale, lorsque les résultats sont demandés et affichés (options RESU ELE et DESS OPT actives), il y a recadrage automatique sur les nœuds, résultats et éléments présents à l'affichage.

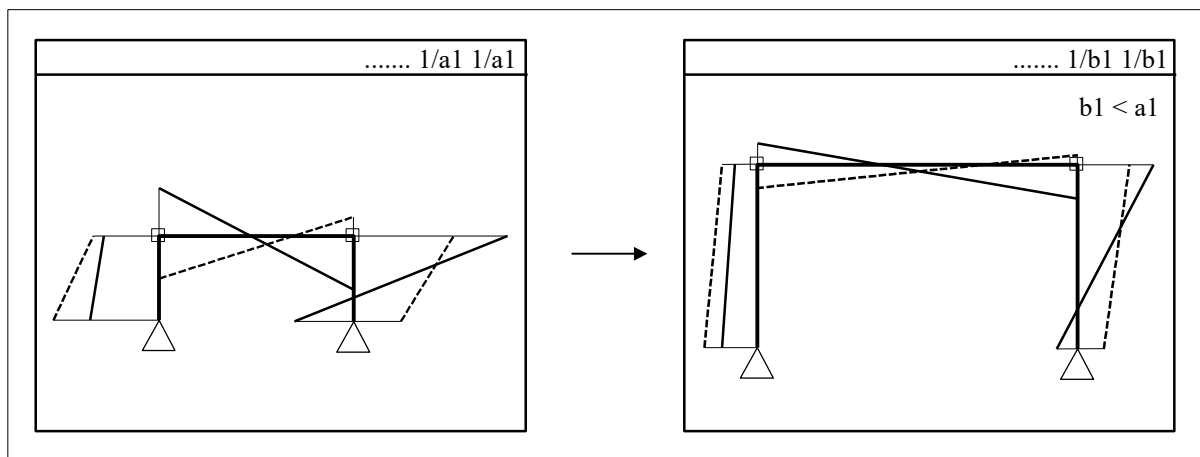


Figure 7.44 - Diminution facteur d'échelle résultats (fenêtre totale, échelles égales)

En mode fenêtre totale lorsque les résultats ne sont pas visibles, ou en mode fenêtre partielle, le cadrage et les facteurs d'échelles ne sont pas altérés.

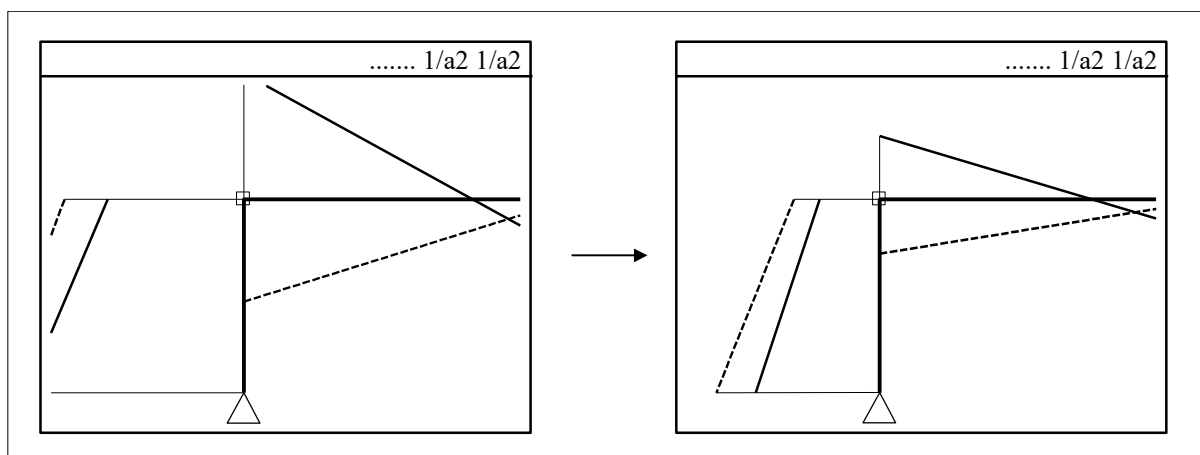


Figure 7.45 - Diminution facteur d'échelle résultats (fenêtre partielle, échelles égales)

LONG LAB

Cette action permet de modifier la longueur utile maximale des labels d'identification des courbes ; elle est sans effet immédiat si les résultats existent et ne sont pas affichés, ou neutralisée en cas d'absence de résultats.

Par défaut, les labels à reporter (compactés et cadrés à gauche) sont exploités sur 60 caractères au plus ; cette longueur utile maximale peut être portée à une valeur quelconque comprise entre 0 et 80 ; une valeur nulle entraîne la disparition des labels.

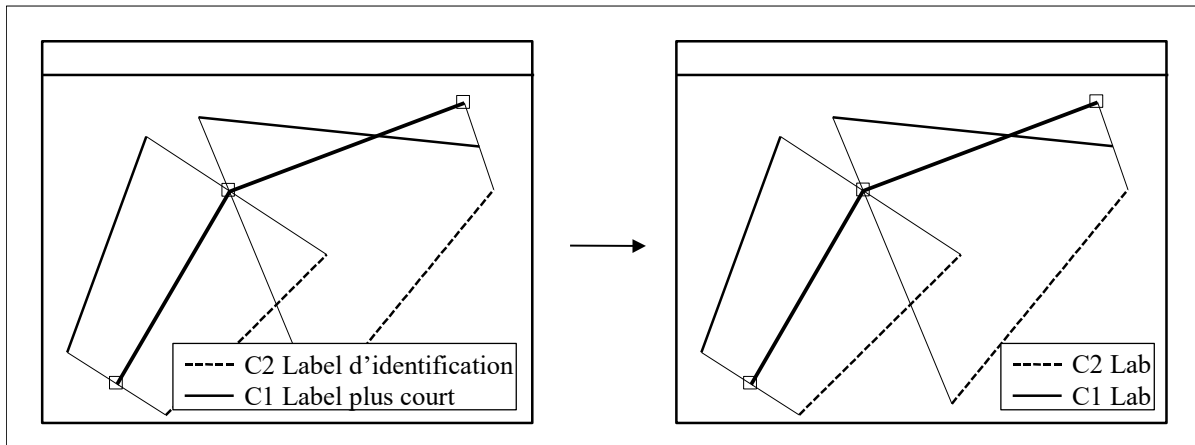


Figure 7.46 - La longueur utile maximale des labels en légende résultats passe de 25 à 6

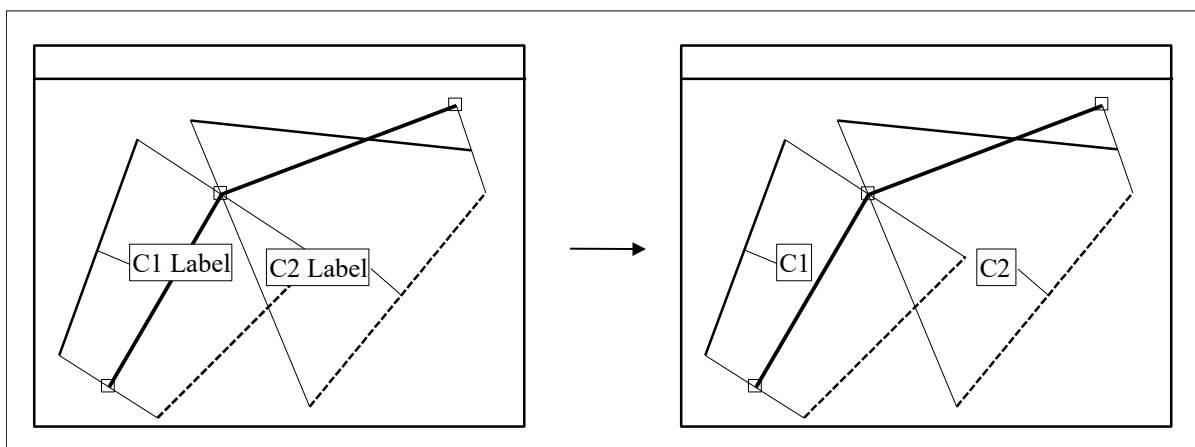


Figure 7.47 - La longueur utile maximale des labels sur courbes passe de 8 à 2

POINTER

Cette action permet de reporter certaines valeurs de résultats aux extrémités d'éléments sur les courbes, ou de déplacements sur les nœuds de la structure déformée, par pointages individuels répétés ; elle est neutralisée lorsque les courbes ou la structure déformée ne sont pas affichées ou absentes.

Technique employée

Centré en chaque point saisi dans la zone de dessin du modèle, un « cercle de proximité » est établi, de rayon égal à 1.5 mm.

Toutes les courbes sont examinées dans leur ordre d'introduction (voir la légende de résultats parcourue de bas en haut), et point par point, dans l'ordre fixé par les domaines d'étude correspondants ; les nœuds déplacés sont examinés dans leur ordre de stockage.

Le point retenu est la première extrémité de tronçon de courbe, ou le premier nœud déplacé, rencontré à l'intérieur du cercle de proximité ; il est repéré par apposition d'un marqueur circulaire et de la valeur de résultat ou des valeurs de déplacements qui lui correspondent.

Si aucun point n'est détecté, le programme renouvelle la recherche en multipliant le rayon du cercle par 15 ; si elle est fructueuse, aucune valeur n'est reportée mais le pointage peut continuer ; sinon, le pointage est interrompu (sortie possible par pointage « loin des courbes ou de la structure déformée »).

On peut également interrompre le pointage en appuyant sur la touche ÉCHAPPEMENT ou son équivalent.

La rémanence des valeurs pointées est assurée jusqu'à utilisation éventuelle de la gomme générale (voir action GOMMER V).

Le pointage de valeurs déjà reportées entraîne leur effacement (gomme individuelle).

Sur les matériels graphiques qui gèrent la couleur, les marqueurs et valeurs de résultats utilisent les couleurs des courbes auxquelles ils se rapportent ; les marqueurs et valeurs de déplacements n'utilisent que le blanc sur écran et le noir sur traceur.

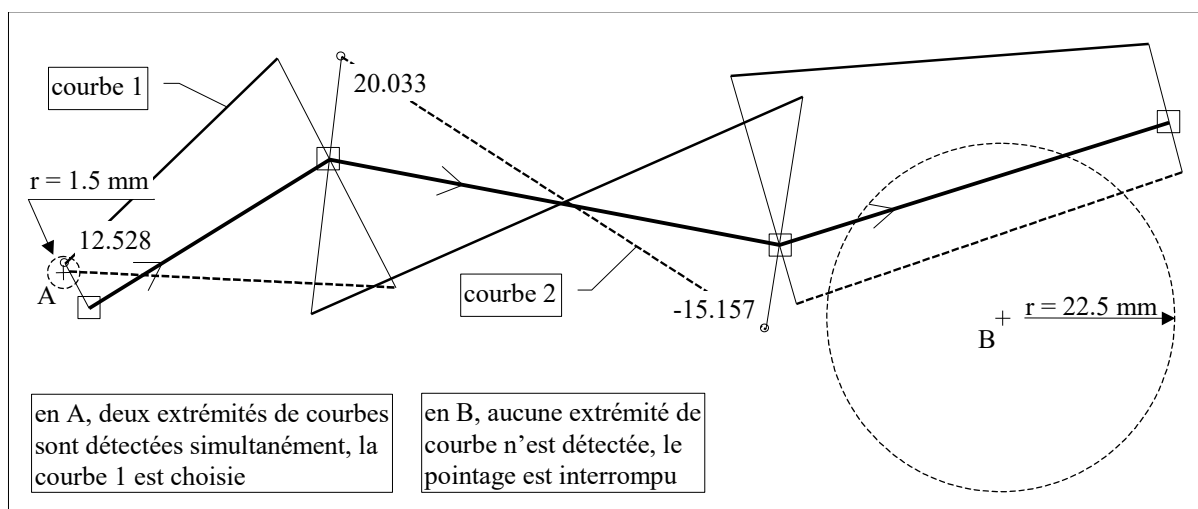


Figure 7.48 - Pointage de valeurs sur courbes

Les formats d'édition utilisés sont les suivants (limites données en valeurs absolues) :

- avec exposant et quatre chiffres significatifs pour les valeurs inférieures à 0.1 ;
- fixe, avec trois chiffres après le point pour les valeurs supérieures ou égales à 0.1 et inférieures à 1.0E6 ;
- avec exposant et six chiffres significatifs pour les valeurs supérieures ou égales à 1.0E6.

Seules les valeurs de déplacements (non amplifiées) correspondant à des « colonnes non nulles » sont reportées, séparées éventuellement par des points-virgules ; la légende des déplacements, qui en indique la signification, contient également le coefficient amplificateur appliqué, précédé d'une étoile.

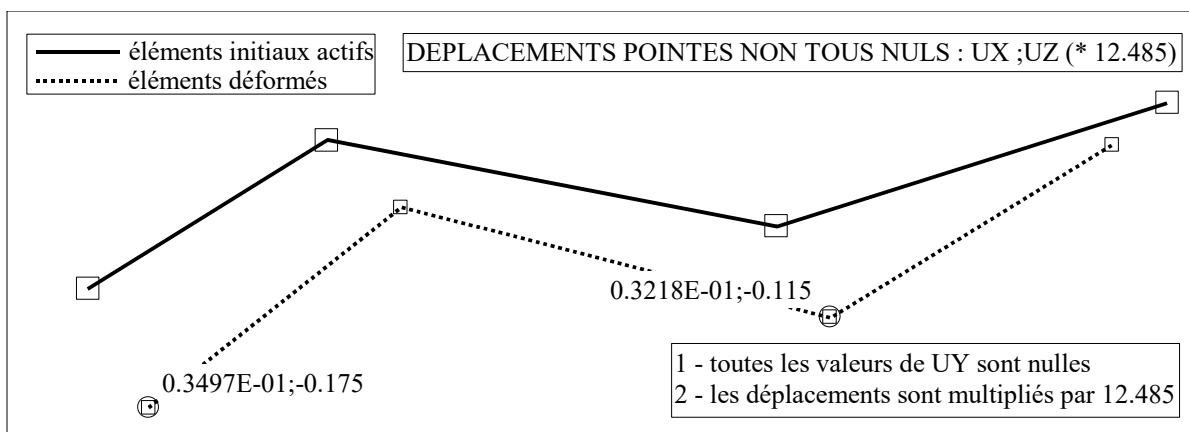


Figure 7.49 - Pointage de déplacements de nœuds sur structure déformée

Selon l'appartenance des marqueurs à l'un des quadrants délimités par le réticule et le cadre du dessin, les valeurs pointées peuvent occuper quatre positions relatives types, ce qui garantit leur maintien dans le champ de vision.

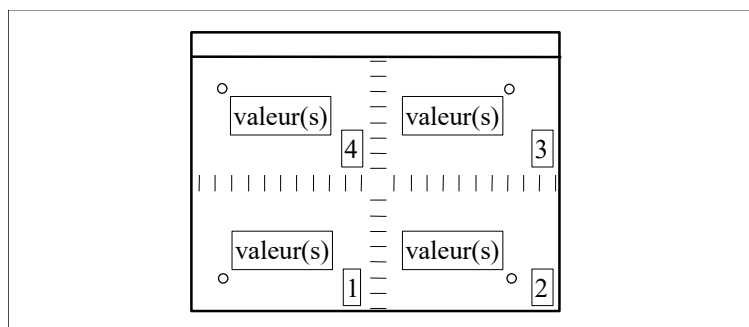


Figure 7.50 - Positions relatives des marqueurs et valeurs pointées

Conseils d'utilisation

Sur écran, puisque les valeurs pointées s'inscrivent sur fonds rectangulaires noirs, elles se chevauchent mutuellement dans l'ordre du pointage, lorsque leur densité est forte ; on peut donc faire resurgir les valeurs cachées en les repointant deux fois. Pour faire disparaître les traces des valeurs effacées individuellement, régénérer l'affichage par une action quelconque.

À l'impression, sur les matériels qui gèrent les recouvrements (traceurs POSTSCRIPT notamment), les valeurs pointées se chevauchent dans un ordre immuable, non maîtrisable.

GOMMER V

Cette action annule les effets de tous les pointages antérieurs de valeurs sur courbes ou de déplacements de nœuds ; elle est neutralisée lorsque les courbes ou la structure déformée ne sont pas affichées ou absentes ; son effet est nul si les courbes ou la structure déformée sont affichées sans valeurs pointées.

Si les courbes ou la structure déformée sont visibles, l’affichage est régénéré, mais le cadrage et les facteurs d’échelles ne sont pas altérés.

XY>XZ>YZ

Cette action permet de passer rapidement de l’une à l’autre des quatre vues-types, cycliquement, dans l’ordre ci-dessous :

PERSPECTIVE => VUE DE DESSUS => ÉLÉVATION => VUE DE DROITE

Les angles d’orientation de leurs repères locaux sont fixés par défaut avec les valeurs ci-dessous (ils sont modifiables par l’action PROJETER) :

Vue-type	θ_1	θ_2	θ_3	Plan de projection
PERSPECTIVE	-45.0	0.0	-30.0	
VUE DE DESSUS	0.0	0.0	-90.0	XOY, vue en sens inverse de OZ
ÉLÉVATION	0.0	0.0	0.0	XOZ, vue dans le sens OY
VUE DE DROITE	90.0	0.0	0.0	YOZ, vue en sens inverse de OX

Tableau 7.5 - Quatre vues-types

Ce changement de plan de projection s’accompagne d’un recadrage sur les nœuds, éléments et résultats présents à l’affichage, et d’un passage éventuel au mode fenêtre totale.

En mode d’affichage quadruple, la nouvelle vue-type devient active et se place dans le coin inférieur gauche ; les trois autres vues-types sont permutées circulairement.

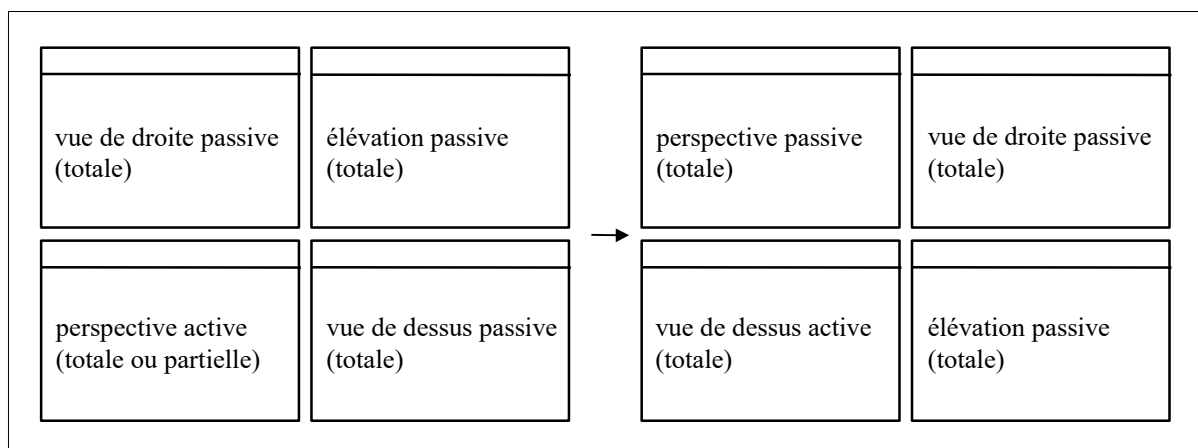


Figure 7.51 - Permutation des quatre vues-types, à partir de leur disposition standard

Attention, les appellations standard des quatre vues-types peuvent devenir inadaptées si on modifie les angles d’orientation de leurs plans de projection.

PROJETER

Cette action permet de modifier les angles d'orientation du plan de projection de la vue-type active.

Son effet est rémanent et la vue-type modifiée peut être retrouvée après passage par d'autres vues-types (action XY>XZ>YZ).

Elle s'accompagne d'un recadrage automatique sur les nœuds, éléments et résultats présents à l'affichage.

Le modèle est supposé projeté sur le plan xOz d'un repère, déduit du repère global par une triple rotation conforme aux conventions générales (voir figure 1.2) ; son axe Oy indique le sens d'observation.

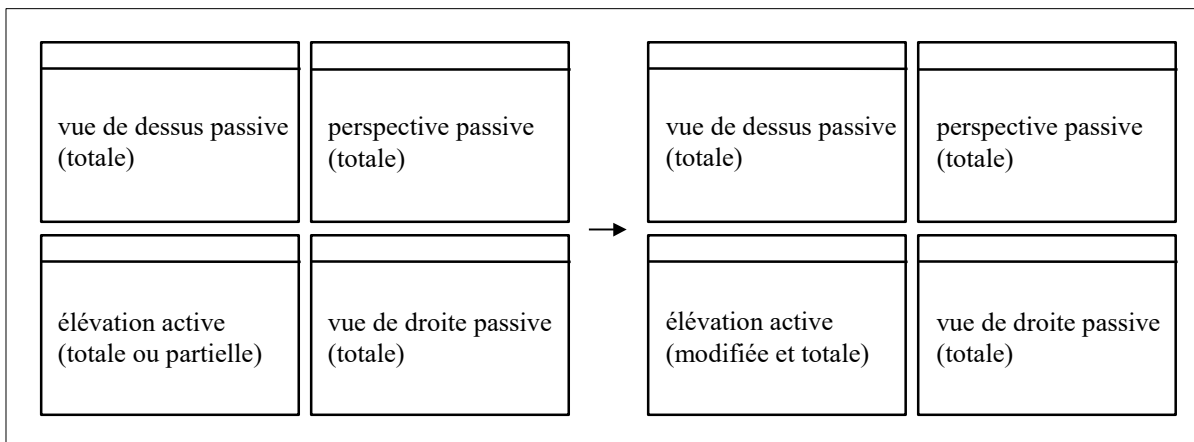


Figure 7.52 - Changement du plan de projection de l'élévation, en mode quadruple

CHGT IMP

Cette action permet de changer le nom du fichier d'impression courant, ou d'envoyer les dessins à imprimer sur des fichiers multiples ; par défaut, ils sont empilés dans un fichier unique ayant pour nom : pcpres.tra (ou pcpph2.tra pour la version réduite).

IMPRIMER

Cette action permet de transférer sur fichier tout ou partie du dessin affiché, selon le mode d'impression choisi (voir option IMPR TOT / IMPR 4X4 / IMPR ZON / IMPR ECH / IMPR NOR) ; le tableau 7.3 indique quelle est la partie d'écran imprimée.

Toutes les options actives sont prises en compte, même si l'écran n'affiche pas les habillages (option DESS OPT inactive), ainsi que le mode loupe éventuel (action ZOOMER).

Le sous-titre complémentaire facultatif est entré en données, ainsi que les facteurs d'échelles imposés éventuels (impression à l'échelle ou normalisée, option IMPR ECH / IMPR NOR) ; la valeur plancher d'un facteur d'échelle est fixée à 0.05, il n'y a pas de borne supérieure.

En mode d'impression normalisée (option IMPR NOR), lorsque la taille d'un dessin est supérieure à celle de l'espace d'affichage du traceur, il n'est pas transféré, et le message d'erreur : « ** IMPRESSION ARRETEE » est émis.

Chapitre 8

Phases de construction

INTRODUCTION

SOMMAIRE

SOMMAIRE (SUITE)

8.1 - PHASES

8.2 - VERIFIER

8.3 - UNITES

8.4 – CALCUL LINEAIRE

8.5 – CALCUL NONLINEAIRE

8.6 – PARAMETRES RHEOLOGIQUES

8.7 – APPUI ELASTOPLASTIQUE

8.8 – ARTICULATION ELASTOPLASTIQUE

8.9 – ELEMENT ELASTOPLASTIQUE

8.10 – MATERIAUX ELASTOPLASTIQUES

8.11 – ACIERS ELASTOPLASTIQUES

8.12 - TITRE

8.13 - CHAINETTES

8.14 – DEFINIR STRUCTURE POUSSEE

8.15 – EMPATTEMENT EQUIPAGES

8.16 – PERTES PRECONTRAINTE

8.17 – OPTIMISER NUMEROTATION

8.18 – CALCULER CONTRAINTES

8.19 – CALCULER EXTREMAS

8.20 - ENREGISTRER

8.21 - SUSPENDRE / CONTINUER CONCORDANCE

8.22 - REPERCUTER / NONREPERCUTER DEPLACEMENTS / TRANSLATIONS

8.23 - SUSPENDRE / CONTINUER CUMUL

8.24 - SUSPENDRE / CONTINUER ANALYSE

8.25 - SUSPENDRE / CONTINUER ENREGISTREMENT

8.26 - EDITER / NONEDITER

- 8.27 - SUSPENDRE / CONTINUER EDITIONS**
- 8.28 – AFFECTER CONTRAINTES**
- 8.29 - DATE**
- 8.30 – PLACER APPUIS**
- 8.31 – REMPLACER APPUIS**
- 8.32 – SUPPRIMER APPUIS**
- 8.33 – PLACER EQUIPAGES**
- 8.34 – DEPLACER EQUIPAGES**
- 8.35 – SUPPRIMER EQUIPAGES**
- 8.36 – PLACER ELEMENTS**
- 8.37 – PLACER ARTICULATIONS**
- 8.38 – REMPLACER ARTICULATIONS**
- 8.39 – ACTIVER ELEMENTS**
- 8.40 – TENDRE ELEMENTS**
- 8.41 – SUPPRIMER ELEMENTS**
- 8.42 – TENDRE CABLES**
- 8.43 – INJECTER CABLE[S]**
- 8.44 – DETENDRE CABLES**
- 8.45 – PERTES CABLES**
- 8.46 – CAS DE CHARGE**
- 8.47 – CHARGEMENT [IDENTIQUE] NOEUDS / EXTREMITES**
- 8.48 – DEFORMATION APPUIS**
- 8.49 – CHARGEMENT POUTRE / [IDENTIQUE] ELEMENTS**
- 8.50 – CHARGEMENT POUTRE / ELEMENTS FIBRE_REPERE**
- 8.51 – DISTORSION ELEMENTS**
- 8.52 – CHARGEMENT [IDENTIQUE] THERMIQUE**
- 8.53 – POUSSER [AUTOMATIQUEMENT] STRUCTURES**
- 8.54 - REDISTRIBUER**
- 8.55 - SAUVER**
- 8.56 - ETAT**
- 8.57 – IMPRIMER EXTREMAS**
- 8.58 – IMPRIMER TENSIONS**
- 8.59 – ANALYSE CRITIQUE**
- 8.60 - FIN**

Introduction

L'annexe A fournit les libellés complets des documents référencés dans ce chapitre sous les appellations condensées : « IP 2 », « BAEL 83 » et « BPEL (99) ».

Dans ce chapitre, le terme « câble » désigne un câble de précontrainte, et le terme « poutre » désigne une poutre spatiale.

Fonctions du module PH3

Ce module permet de reproduire par simulation les PHASES successives de CONSTRUCTION et de CHARGEMENT, d'un ouvrage, et de suivre l'évolution de son état de DÉFORMATION et de SOLLICITATION.

Les comportements VISCO-ÉLASTIQUES des matériaux, dans le TEMPS, peuvent être pris en compte de manière précise si un HISTORIQUE de construction est fourni, ou de manière approchée dans le cas contraire.

Grâce aux modules d'acquisition des poutres et au module PH1, les caractéristiques géométriques et mécaniques du modèle de structure à assembler, ainsi que les pertes de tension instantanées dans les câbles sont connus.

Il faut fournir au module PH3 le détail des opérations de construction et des chargements appliqués, les OPTIONS de calcul retenues, des données éventuelles complétant la définition du modèle, et des directives concernant l'ÉDITION et l'ENREGISTREMENT de certains résultats utiles.

À l'origine, la structure est entièrement inactivée et non sollicitée ; la rigidité de ses appuis et éléments est introduite au fur et à mesure de leur mise en place.

À chaque phase de construction, la structure ACTIVE peut comporter plusieurs sous-structures indépendantes entre elles, mais dont la STABILITÉ sous l'effet des chargements appliqués est nécessaire (les instabilités dues aux nœuds isolés reliés partiellement à des sous-structures stables sont inhibées automatiquement).

Les numéros des éléments (entités mécaniques) et les incidences (entités géométriques) sont mis initialement en CONCORDANCE ; si elle est temporairement suspendue, certains éléments pourront occuper des incidences distinctes de celles qui leur étaient affectées lors de leur définition ; cette disposition permet de simuler les opérations de POUSSAGE.

La répercussion des déplacements et rotations des nœuds de la structure active sur les nœuds libres connectés à des éléments nouvellement activés peut être effective (mode DÉPLACEMENTS RÉPERCUTÉS) ou non (mode DÉPLACEMENTS NON RÉPERCUTÉS). Lorsque les déplacements sont seuls concernés par cette répercussion, et non les rotations, il s'agit du mode TRANSLATIONS RÉPERCUTÉES.

Les effets des chargements IMPLICITES sont cumulés automatiquement à l'état courant de la structure active ; ils résultent de la simulation des opérations de construction suivantes :

- placement d'appuis avec vérinage, suppression ou remplacement d'appuis ;
- placement, déplacement ou suppression d'équipages mobiles ;
- introduction du poids propre d'éléments ;
- placement d'articulations avec rétablissement de continuité ou remplacement d'articulations ;
- mise en tension d'éléments ou de câbles ;
- suppression d'éléments ou détension de câbles ;
- modification de la date courante ;
- redistribution de sollicitations abordée de manière forfaitaire.

Les effets des chargements EXPLICITES (regroupés en CAS DE CHARGE) peuvent être cumulés automatiquement à l'état courant de la structure active (mode CUMUL), ou non (mode CUMUL SUSPENDU) ; il peut s'agir :

- d'efforts appliqués aux nœuds ou éléments ;
- de déformations d'appuis ou distorsions d'éléments ;
- de chargements thermiques sur éléments.

Le module ETU pourra relire les déplacements et sollicitations enregistrés (états de la structure, effets d'un cas de charge ou d'un mode de flambement), les éditer ou les combiner, entre eux ou avec des résultats compatibles produits par les modules ENV ou DYN, ou fournis ; le module RES pourra en donner une représentation graphique.

Terminologie

L'EFFET d'une opération de construction désigne l'ensemble des effets qu'elle provoque sur la structure (déplacements, réactions d'appuis, efforts et contraintes).

Le module PH3 peut gérer quatre types d'ÉTATS de la structure, à une phase de construction donnée :

- l'état PROBABLE (de déformation et sollicitation) est le résultat du cumul de l'ensemble des effets des opérations déclarés cumulables, depuis le début de la construction jusqu'à la phase considérée (incluse) ;
- l'état EXTRÊMAL contient les valeurs minimales et maximales prises par l'état probable durant la construction et réduites à certains effets (réactions d'appuis, efforts ou contraintes) et certaines composantes ;
- l'état PONDÉRÉ (ou CARACTÉRISTIQUE) est un état enveloppe déduit de l'état probable par pondération individuelle des effets favorables et défavorables des tensions initiales des câbles, de leurs pertes de tension, et des autres chargements permanents ;
- l'état PRÉCONTRAIN est l'état probable des sollicitations isostatiques de précontrainte, dans les éléments de poutres.

Calcul FORFAITAIRE

Sous ce mode, les comportements visco-élastiques du béton et des aciers et leurs interactions sont supposés PRÉDÉTERMINÉS par les règlements de référence.

Lors de la mise en tension des câbles, le module PH3 ajoute aux pertes de tension instantanées les PERTES ÉLASTIQUES déduites des CONTRAINTES FINALES dans le béton, ESTIMÉES et FOURNIES en données au début de la construction.

Les PERTES de tension dans les câbles, dues au FLUAGE et au RETRAIT du béton, et à la RELAXATION des aciers de précontrainte sont déterminées selon les formules SIMPLIFIÉES du règlement choisi ; ces pertes différées sont appliquées à la demande, en une ou plusieurs étapes, selon des RATIOS imposés.

La REDISTRIBUTION des efforts par fluage est évaluée en COMBINANT l'état courant, pondéré par un coefficient $1 - v_2$, et l'état de la structure obtenu en appliquant au modèle mécanique courant les charges cumulées depuis le début de la construction, pondéré par un coefficient v_2 ; l'état ainsi obtenu devient l'état courant.

Calcul RHÉOLOGIQUE FIN

Sous ce mode, les comportements visco-élastiques du béton et des aciers et leurs interactions sont évalués en prenant en compte les lois d'évolution des déformations dans le TEMPS.

La variable temps est introduite sous la forme d'un historique de construction qui permet sa discrétisation (automatique ou non), et l'intégration des phénomènes différés ; on distingue :

- la période de CONSTRUCTION durant laquelle les incréments de temps sont de quatre à huit jours ;
- la période de VIEILLISSEMENT durant laquelle les incréments de temps croissent selon une progression géométrique.

Les pertes de tension instantanées dans les câbles sont déduites lors de leur mise en tension ; à la fin de chaque incrément de temps, sont calculés et pris en compte :

- les effets structuraux du FLUAGE et du RETRAIT du béton, et de la RELAXATION des aciers de précontrainte ;
- les VARIATIONS de tension dans les câbles provoquées par les déformations du béton, qui sont répercutées au niveau du béton.

La REDISTRIBUTION des efforts s'effectue automatiquement, et parallèlement au déroulement chronologique du processus de construction.

Lors de la définition de l'historique de construction par la commande DATE, l'utilisateur peut rentrer les différentes phases de chargement dans un ordre non chronologique. Lors de l'exécution du module, PCP prendra en compte ces phases dans l'ordre chronologique à condition que l'option « tri des phases » soit activée (Options/Tri des phases/Actif). Dans ce cas, le logiciel fournit dans le répertoire de l'affaire un fichier *.PHASES_TRIEES.dec (où * est le nom du fichier de données choisi par l'utilisateur) comportant les phases de construction dans l'ordre chronologique et permettant à l'utilisateur de vérifier la bonne cohérence de la construction.

Calcul LINEAIRE et non LINÉAIRE

CALCUL LINEAIRE : Par défaut, les structures sont supposées se comporter géométriquement en petits déplacements et petites rotations c'est à dire sans effet du second ordre. Dans ce cadre, certaines entités peuvent avoir un comportement ELASTOPLASTIQUE

global : APPUIS, ARTICULATIONS et ELEMENTS. Les éléments BIARTICULES quant-à-eux peuvent avoir un comportement intrinsèque en CHAINETTE mais les déplacements aux extrémités sont calculés en petits déplacements. Les modes de calcul LINÉAIRE et RHÉOLOGIQUE FIN sont compatibles.

CALCUL NON LINEAIRE : Les non linéarités géométriques sont prises en compte et les matériaux peuvent avoir un comportement ELASTOPLASTIQUE. Comme en CALCUL LINEAIRE, certaines entités peuvent avoir un comportement ELASTOPLASTIQUE global : APPUIS, ARTICULATIONS et ELEMENTS. Les éléments BIARTICULES peuvent avoir un comportement intrinsèque en CHAINETTE mais les déplacements aux extrémités sont calculés en grands déplacements. Les modes de calcul NON LINÉAIRE et RHÉOLOGIQUE FIN sont compatibles.

L'option de calcul NON LINÉAIRE doit être choisie pour mener à bien les calculs de FLAMBEMENT (linéaire ou non).

Les modes de flambement sont des effets de type MODES pouvant être édités par le module ETU ou visualisés par le module RES.

Le tableau ci-dessous résume les possibilités.

Fonction	CALCUL LINEAIRE	CALCUL NON LINEAIRE
Petits déplacements et petites rotations	Oui	Oui
Grands déplacements et grandes rotations	Non	Oui
APPUI/ARTICULATION ELASTOPLASTIQUE	Oui	Oui
ELEMENT ELASTOPLASTIQUE (global)	Oui	Oui
MATERIAU ELASTOPLASTIQUE	Non	Oui
ACIER ELASTOPLASTIQUE	Non	Oui
BIARTICULATION ELASTIQUE	Oui	Oui
BIARTICULATION ELASTOPLASTIQUE	Oui	Oui
BIARTICULATION CHAINETTE ELASTIQUE	Oui	Oui
BIARTICULATION CHAINETTE ELASTOPLASTIQUE	Non	Oui
CALCUL RHEOLOGIQUE FIN	Oui	Oui
FLAMBEMENT LINEAIRE	Non	Oui

Tableau 8.0 – Tableau des fonctions linéaires et non linéaires

Conditions générales

L'utilisation du module PH3 est subordonnée à la constitution préalable du modèle mécanique général, par le module PH1.

Mode d'analyse des données

Les commandes de phasage sont analysées en totalité, dans l'ordre de leur introduction (interprétation) ; il peut être demandé au module PH3 de les vérifier simplement, sans les exécuter ; les vérifications portent sur leur syntaxe et leur compatibilité logique avec les commandes déjà traitées.

Lorsque des chargements implicites ou explicites lui sont appliqués, la stabilité de la structure n'est vérifiée que s'il est demandé d'exécuter les commandes.

En l'absence de délimiteur de fin, chaque commande du module PH3 doit débiter sur une nouvelle ligne et le premier saut de ligne du libellé est à respecter. Par contre, le découpage en lignes, des données qui suivent un en-tête de commande, est libre.

Éditions

L'écho des commandes est produit au fur et à mesure de leur interprétation ; toute commande erronée est suivie de message(s) d'erreur(s).

Le fichier de résultats contient les différents effets et états dont l'édition a été ordonnée implicitement, ainsi que certains résultats produits par les commandes d'éditions explicites (états extrémaux, tensions dans les câbles).

Sommaire

Commande	Page
8.1 - PHASES	8-10
8.2 - VERIFIER	8-11
8.3 - UNITES	8-12
8.4 – CALCUL LINEAIRE	8-13
8.5 – CALCUL NONLINEAIRE	8-15
8.6 – PARAMETRES RHEOLOGIQUES	8-20
8.7 – APPUI ELASTOPLASTIQUE.....	8-22
8.8 – ARTICULATION ELASTOPLASTIQUE.....	8-26
8.9 – ELEMENT ELASTOPLASTIQUE.....	8-35
8.10 – MATERIAUX ELASTOPLASTIQUES	8-41
8.11 – ACIERS ELASTOPLASTIQUES	8-45
8.12 - TITRE.....	8-48
8.13 - CHAINETTES	8-49
8.14 – DEFINIR STRUCTURE POUSSEE	8-51
8.15 – EMPATTEMENT EQUIPAGES	8-54
8.16 – PERTES PRECONTRAINTE	8-56
8.17 – OPTIMISER NUMEROTATION	8-57
8.18 – CALCULER CONTRAINTES.....	8-59
8.19 – CALCULER EXTREMAS.....	8-60
8.20 - ENREGISTRER	8-62
8.21 - SUSPENDRE / CONTINUER CONCORDANCE.....	8-64
8.22 - REPERCUTER / NONREPERCUTER DEPLACEMENTS / TRANSLATIONS	8-65
8.23 - SUSPENDRE / CONTINUER CUMUL.....	8-66
8.24 - SUSPENDRE / CONTINUER ANALYSE	8-67
8.25 - SUSPENDRE / CONTINUER ENREGISTREMENT	8-69
8.26 - EDITER / NONEDITER.....	8-70
8.27 - SUSPENDRE / CONTINUER EDITIONS.....	8-74
8.28 – AFFECTER CONTRAINTES.....	8-75
8.29 - DATE	8-77
8.30 – PLACER APPUIS	8-82
8.31 – REMPLACER APPUIS.....	8-85
8.32 – SUPPRIMER APPUIS	8-87
8.33 – PLACER EQUIPAGES	8-88
8.34 – DEPLACER EQUIPAGES.....	8-90
8.35 – SUPPRIMER EQUIPAGES	8-92
8.36 – PLACER ELEMENTS	8-93
8.37 – PLACER ARTICULATIONS	8-97
8.38 – REMPLACER ARTICULATIONS	8-101
8.39 – ACTIVER ELEMENTS	8-103
8.40 – TENDRE ELEMENTS.....	8-106
8.41 – SUPPRIMER ELEMENTS	8-108
8.42 – TENDRE CABLES	8-110
8.43 – INJECTER CABLE[S].....	8-112
8.44 – DETENDRE CABLES.....	8-113
8.45 – PERTES CABLES.....	8-114

Sommaire (suite)

Commande	Page
8.46 – CAS DE CHARGE	8-115
8.47 – CHARGEMENT [IDENTIQUE] NOEUDS / EXTREMITES..	8-118
8.48 – DEFORMATION APPUIS	8-119
8.49 – CHARGEMENT POUTRE / [IDENTIQUE] ELEMENTS	8-120
8.50 – CHARGEMENT POUTRE / ELEMENTS FIBRE_REPERE ..	8-122
8.51 – DISTORSION ELEMENTS	8-124
8.52 – CHARGEMENT [IDENTIQUE] THERMIQUE	8-126
8.53 – POUSSER [AUTOMATIQUEMENT] STRUCTURES	8-130
8.54 - REDISTRIBUER	8-135
8.55 - SAUVER.....	8-136
8.56 - ETAT	8-138
8.57 – IMPRIMER EXTREMAS.....	8-143
8.58 – IMPRIMER TENSIONS	8-144
8.59 – ANALYSE CRITIQUE.....	8-145
8.60 - FIN	8-147

8.1 - PHASES

PHASES [DE CONSTRUCTION] [SUITE nom_structure]

Paramètres

- nom_structure : nom d'une structure sauvegardée.

Fonctions

Cette commande identifie un fichier de phasage de construction et débute une « session » d'utilisation du module PH3.

En l'absence de l'option SUITE, le module PH3 s'apprête à débiter un processus de construction pour lequel les options de fonctionnement qui ne sont pas prises par défaut devront être établies.

Avec l'option SUITE, le module PH3 rappelle la structure sauvegardée dans son état d'activation et de sollicitation par la commande SAUVER nom_structure, introduite dans une session antérieure ; le processus de construction est alors repris, au moment où l'opération de sauvegarde l'avait suspendu.

Les définitions acquises et les options de fonctionnement en vigueur au moment de la sauvegarde sont également restaurées, hormis les éventuelles options d'éditations (fixées par les commandes EDITER / NONEDITER) qui se trouvent annulées et qu'il faut (ré)introduire.

Dans ces deux cas, il est permis d'utiliser la commande VERIFIER.

Conditions d'emploi

- Doit figurer au début du fichier de commandes.

Exemples

```
PHASES DE CONSTRUCTION
$ etablissement de toutes les options de construction utiles
CALCULER CONTRAINTES
.....
EDITER ....
$ démarrage du processus de construction
.....
SAUVER STRUCT_1
.....
FIN

PHASES SUITE STRUCT_1
$ retablissement des seules options d'editions
EDITER ....
$ reprise du processus de construction, (avec possibilite de resauvegarder)
.....
FIN
```

Commandes liées

UNITES ; PARAMETRES RHEOLOGIQUES ; CAS DE CHARGE ; SAUVER ; FIN

8.2 - VERIFIER

VERIFIER [nb_max_erreurs]

Paramètres

- nb_max_erreurs : nombre maximum d'erreurs détectables, supérieur ou égal à 1 ; le contrôle des commandes est interrompu dès que ce nombre d'erreurs est atteint ; sa valeur par défaut est 20.

Fonctions

Tant qu'il n'a pas rencontré de commande VERIFIER, le module PH3 signale toutes les erreurs syntaxiques et logiques qu'il détecte, et effectue, si possible, toutes les analyses de structure demandées (mode EXÉCUTION).

Cette commande provoque le basculement irréversible en mode VÉRIFICATION ; les commandes qui la suivent seront contrôlées, mais non exécutées.

La stabilité de la structure sous l'effet des charges appliquées n'est vérifiée qu'en mode EXÉCUTION.

Conditions d'emploi

- Cette commande optionnelle ne peut figurer qu'une seule fois et peut être introduite à une étape quelconque du processus de construction.

Conseils méthodologiques

- Vérifier systématiquement les commandes avant de lancer un calcul important, en plaçant la commande VERIFIER immédiatement après la commande PHASES.
- Fixer nb_max_erreurs à 1 si on veut corriger les erreurs une à une, en évitant celles qui sont induites par d'autres erreurs.

Exemples

```
PHASES DE CONSTRUCTION
$ par défaut, le module PH3 controle et execute les commandes
$ (mode EXECUTION)
.....
FIN
```

```
PHASES DE CONSTRUCTION
$ prefixer cette commande par un caractere "$"
$ pour inhiber ses effets et rebasculer en mode EXECUTION
VERIFIER 1
.....
FIN
```

Commandes liées

UNITES

Toutes commandes produisant des chargements, et/ou des résultats édités ou enregistrés.

8.3 - UNITES

UNITES FORCES v_newtons + $\left. \begin{array}{l} \text{L_FORCES label_forc es} \\ \text{L_CONTRAIN TES label_cont raintes} \end{array} \right\}$

Paramètres

- v_newtons : valeur en Newtons de l'unité utilisée pour exprimer les forces, qui sera utilisée par les modules PH3, ENV, DYN et ETU ;
- label_forces, label_contraintes : intitulés de l'unité de forces et de contraintes (chaînes de 8 caractères au maximum).

Fonctions

Cette commande désigne l'unité utilisée pour exprimer les forces ; en son absence, le kilo-déca-Newton est utilisé par défaut (v_newtons = 10_000.0, label_forces = 'kdaN' et label_contraintes = 'kdaN/m2').

Conditions d'emploi

- Cette commande optionnelle dont un seul exemplaire est autorisé doit suivre immédiatement la commande PHASES (ou la commande VERIFIER éventuelle si celle-ci figure en deuxième position).
- Cette commande est interdite lorsque l'option SUITE de la commande PHASES est employée.

Exemples

```
PHASES
$ commande UNITES absente, les forces sont exprimees en kdaN par default
.....
CHARGEMENT IDENTIQUE NOEUDS 50
1 A 50
0.0 0.0 -500.0      0.0 0.0 -1500.0
.....
```

```
PHASES
$ les forces sont exprimees en MN
UNITES FORCES 1000000.0 L_FORCES 'MN' L_CONTRAIN TES 'Mpa'
.....
CHARGEMENT IDENTIQUE NOEUDS 50
1 A 50
0.0 0.0 -5.0      0.0 0.0 -15.0
.....
```

Commandes liées

PHASES ; VERIFIER ; MATERIAUX ELASTOPLASTIQUES
 ACIERS ELASTOPLASTIQUES ; CHAINETTES ; AFFECTER CONTRAINTES
 TENDRE ELEMENTS ; CHARGEMENT [IDENTIQUE] NOEUDS / EXTREMITES
 CHARGEMENT POUTRE / [IDENTIQUE] ELEMENTS

8.4 – CALCUL LINEAIRE

$$\text{CALCUL LINEAIRE} \left[\left\{ \begin{array}{l} \text{FORCES} \left\{ \begin{array}{l} * \text{ITERATIONS nb_iter_f} \\ \text{RELATIF residu_rela} \\ \text{MAXABSOLU residu_max} \\ \text{MINABSOLU residu_min} \end{array} \right\} \\ \text{ECHO_TRACE} \end{array} \right\} \right]$$

Paramètres

- nb_iter_f : nombre maximum d'itérations (200 par défaut) ;
- residu_rela : tolérance relative du test d'arrêt pour la convergence du processus de recherche d'équilibre en forces de la structure (1.0E-7 par défaut) ;
- residu_max : residu absolu en unités de force nécessaire pour que le résidu relatif soit suffisant (1.0E-1 par défaut) ;
- residu_min : residu absolu en unités de force suffisant quelque soit le residu relatif (1.0E-3 par défaut) avec residu_max > residu_min;

Fonctions

Cette commande permet de modifier les paramètres de contrôle d'un calcul linéaire.

Elle permet également de retoucher, en cours de calcul, les valeurs desdits paramètres déjà réétablies ou prises par défaut.

L'option ECHO_TRACE permet d'obtenir l'affichage à l'écran des différentes étapes d'équilibre global.

Les valeurs relatives et absolues sont calculées sur la base de la norme Euclidienne du vecteur résidu nodal. La valeur du résidu exigée est comprise entre les valeurs absolues fixées par cette commande. Si la valeur relative calculée est inférieure au seuil exigé et que la valeur absolue calculée est inférieure à residu_max alors le calcul converge. Si la valeur relative calculée est supérieure au seuil exigé et que la valeur absolue calculée est inférieure à residu_min alors le calcul converge. Le critère de convergence s'écrit donc de la façon suivante :

$$\left\{ \begin{array}{l} R_{\text{rel}} \leq \text{residu_rela} \\ ET \\ R_{\text{abs}} \leq \text{residu_max} \end{array} \right\} \quad OU \quad R_{\text{abs}} \leq \text{residu_min}$$

Conditions d'emploi

- Par défaut, le module de phasage fonctionne en mode CALCUL LINEAIRE. Cette commande n'est donc utile que pour modifier les paramètres par défaut.
- Cette commande optionnelle peut être introduite plusieurs fois, à diverses étapes de la construction.
- Les commandes suivantes éventuelles de ce type permettent de modifier un ou plusieurs paramètres se rattachant au calcul non linéaire.

Exemple

PHASES

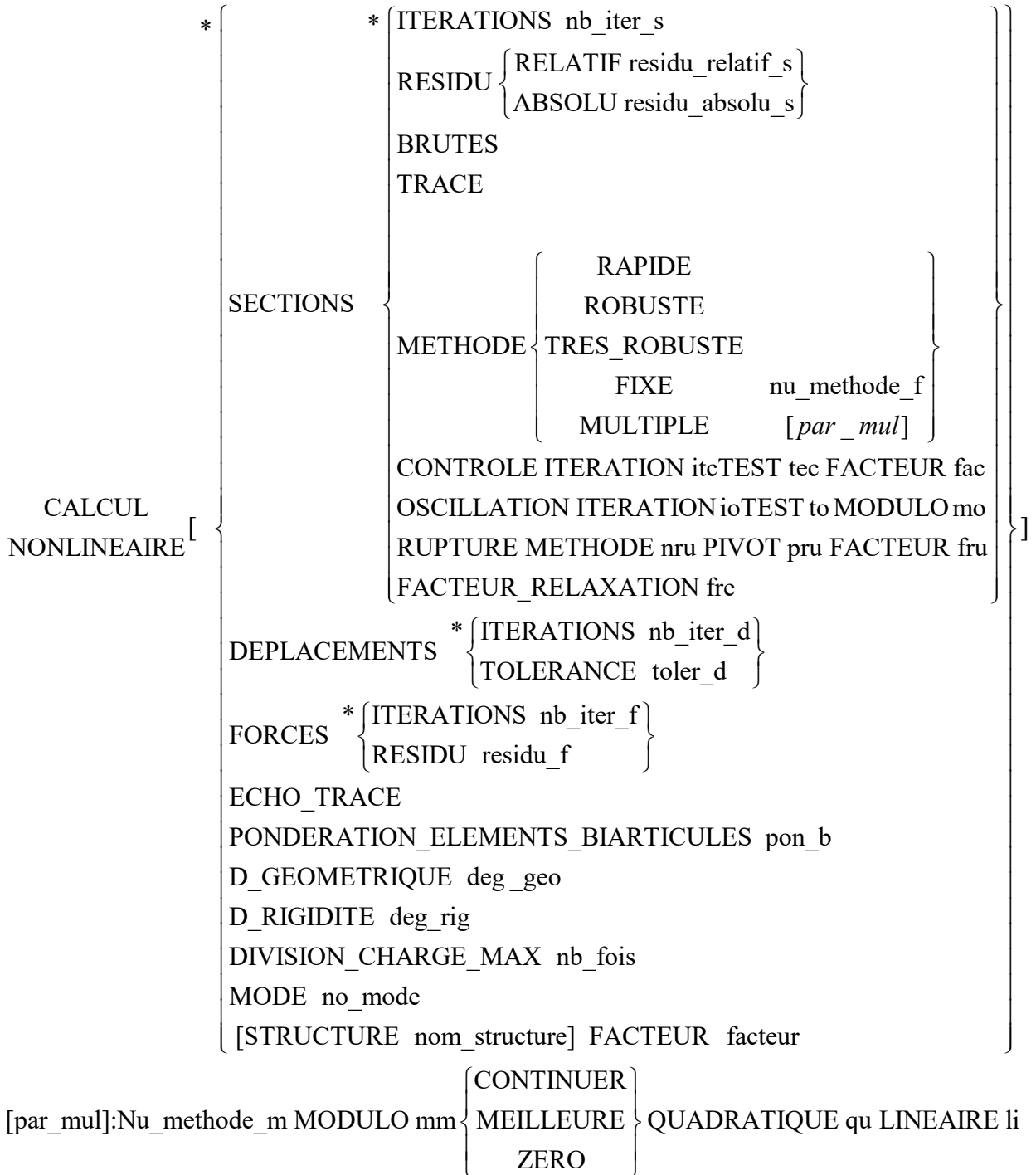
.....

\$ modification des parametres de conergence et affichage de l echo

CALCUL LINEAIRE ECHO FORCES ITER 100 RESI 1.e-5 MAXA 0.1 MINA 0.0001

.....

8.5 – CALCUL NONLINEAIRE



Paramètres

- nb_iter_s : nombre maximum d'itérations pour la convergence du calcul des déformations des sections (200 par défaut) ;
- residu_relatif_s : valeur relative du résidu d'équilibre de la section eu égard à la norme des efforts appliqués dans la section (1.0E-6 par défaut).

- `residu_absolu_s` : valeur absolue du résidu d'équilibre de la section exprimée dans l'unité de force de calcul (Cf. Commande UNITE). La valeur par défaut est 0.0001 KdaN.
- `nu_methode_f` : Numéro de la méthode de convergence fixée compris entre 1 et 12 inclus.
- `nu_methode_m` : Numéro de la première méthode de convergence compris entre 1 et 12 inclus.
- `qu` et `mm` : `qu`, valeur < 1 , telle que si $\text{modulo}(\text{itération}, \text{mm}) = 0$ et si le rapport des résidus moyennés courants/résidus moyennés précédents $> qu$, alors PCP change de méthode quadratique en l'incrémentant de 1 (par défaut, `mm` = 20 et `qu` = 0.50).
- `li` et `mm` : `li`, valeur < 1 , telle que si $\text{modulo}(\text{itération}, \text{mm}) = 0$ et si le rapport des résidus moyennés courants/résidus moyennés précédents $> li$, alors PCP change de méthode linéaire en l'incrémentant de 1 (par défaut, `mm` = 20 et `li` = 0.95).
- `itc`, `tec` et `fac` : si $\text{itération} > \text{itc}$ et valeur du rapport résidu courant/résidu précédent $> \text{tec}$, la déformation courante est multipliée par le facteur de sur-relaxation `fac` (par défaut, `itc` = 15, `tec` = 1.5 et `fac` = 4/5).
- `io`, `mo` et `fo` : si $\text{itération} > \text{io}$ et $\text{modulo}(\text{itération}, \text{mo}) = 0$ et $\| \text{déformation courante} + \text{déformation précédente} \| < \| \text{déformation précédente} \| / \text{fo}$, la déformation courante est multipliée par un facteur de sur-relaxation égal à 0.50 (par défaut, `io` = 10, `mo` = 5 et `fo` = 3).
- `nru` : Numéro de méthode à utiliser en cas de rupture de section (par défaut, `nru` = 10).
- `pru` : Valeur minimale du pivot pour la détection d'une rupture de section (par défaut, `nru` = 1.e-12)
- `fru` : Facteur de sur-relaxation (≤ 1) de l'incrément de déformation en cas de rupture (par défaut, `Fru` = 1).
- `fre` : Facteur de sur-relaxation (≤ 1) de l'incrément de déformation avant rupture (par défaut, `Fre` = 1).
- `nb_iter_d`, `toler_d` : nombre maximum d'itérations et tolérance relative du test d'arrêt pour la convergence du calcul des déplacements des nœuds (par défaut, `nb_iter_d` = 20 et `toler_d` = 1.0E-5) ;
- `nb_iter_f`, `residu_f` : nombre maximum d'itérations et tolérance relative du test d'arrêt pour la convergence du processus de recherche d'équilibre en forces de la structure (par défaut, `nb_iter_f` = 50 et `residu_f` = 1.0E-5) ;
- `pon_b` : facteur de perturbation numérique compris entre 0 et 1 des termes transversaux de la diagonale de la matrice de rigidité des éléments bi-articulés et donc des chaînettes pour la rendre inversible ou pour stabiliser numériquement les déplacements transversaux (1.0E-6 par défaut) ;
- `deg_geo`, `deg_rig` : ordre de troncature des déplacements dans les formules régissant l'équilibre des nœuds, et de calcul de la matrice de rigidité tangente ; il s'agit d'exposants (pouvant valoir 0, 3, 4 ou 5) au delà desquels les termes exprimés en déplacements sont ignorés ; une valeur nulle indique qu'aucun terme de déplacement n'est pris en compte (calcul au premier ordre) ; `deg_geo` doit être supérieur ou égal à `deg_rig` ; si `deg_geo` est seul fourni, `deg_rig` lui est supposé égal ; si `deg_rig` est seul fourni, le programme adopte une formulation géométrique exacte ; en l'absence de ces paramètres, les formulations exactes, sans troncature, sont adoptées ;
- `nb_fois` : nombre maximal de fois que la charge appliquée doit être divisée par 2, lors de la recherche de la charge limite de ruine (10 par défaut) ;

- `no_mode`, `nom_structure`, `facteur` : numéro d'enregistrement du mode de flambement unitaire et nom de la structure sauvegardée éventuelle s'y rattachant, à prendre en compte comme défaut géométrique initial de la structure, après l'avoir multiplié, en amplitude, par le coefficient `facteur`.

Les paramètres `nb_fois`, `no_mode`, `nom_structure` et `facteur` sont utiles aux commandes ANALYSE CRITIQUE qui suivent.

Fonctions

Cette commande permet d'enclencher un calcul non linéaire, en fixant éventuellement certains paramètres de contrôle de son évolution, de maîtrise des instabilités, ou utiles à la conduite future de certaines analyses critiques.

Elle permet également de retoucher, en cours de calcul, les valeurs desdits paramètres déjà ré-établies ou prises par défaut.

Avec les options SECTIONS BRUTES, le calcul est conduit en sections brutes d'aciers passifs (selon le BPEL) ; par défaut, les sections des aciers passifs sont déduites des sections de béton. Les sections de gaines des câbles en sont déduites systématiquement.

L'option TRACE permet d'obtenir l'affichage à l'écran des différentes étapes d'équilibre des sections. L'option ECHO_TRACE permet d'obtenir l'affichage à l'écran des différentes étapes d'équilibre global.

La valeur de PONDERATION n'influence pas le critère d'équilibre des nœuds mais permet en l'augmentant en phase de convergence de stabiliser les déplacements transversaux des nœuds uniquement en équilibre au second ordre comme les nœuds des câbles porteurs des ponts suspendus. Par contre, cette valeur influence la rigidité tangente utilisée pour un calcul dynamique ou sous charges d'exploitation. Il faut donc une fois la convergence atteinte pour un cas de charge donné rétablir la valeur par défaut.

Pour la recherche de l'équilibre des sections plusieurs méthodes de convergence sont disponibles en partant de la plus rapide à la plus lente :

1. Méthode de la fausse position,
2. Méthode tangente numérique,
3. Méthode tangente diagonale,
4. Méthode corde mixte 1,
5. Méthode corde mixte 2,
6. Méthode corde stricte,
7. Méthode de Broyden,
8. Méthode DFP,
9. Méthode BFGS,
10. Méthode sécante diagonale,
11. Méthode élastique avec accélération,
12. Méthode élastique stricte.

Les six premières méthodes ont une vitesse de convergence dite quadratique et les 6 dernières une vitesse linéaire ou quasi-quadratique. Le facteur de sur-relaxation peut venir réduire ces vitesses s'il est fixé par l'utilisateur à une valeur inférieure à 1.

La méthode MULTIPLE commence par la méthode nu_methode_m qui est incrémentée de 1 si la progression mesurée tous les mm itérations est inférieure à qq ou li selon le type de vitesse de convergence de la méthode. Le nombre d'itérations maximal peut alors être augmenté par l'utilisateur pour permettre à PCP de tester de nouvelles méthodes. En cas de changement de méthode, la déformation initiale utilisée est soit la MEILLEURE précédente, soit remise à ZERO soit en CONTINUE (valeur par défaut) par rapport aux étapes précédentes en fonction des choix de l'utilisateur.

La méthode RAPIDE est en fait une méthode MULTIPLE avec les valeurs de l'option correspondante fixées aux valeurs par défaut (nb_iters = 200, mm = 20 qu = 0.50 et li= 0.95) et une méthode de départ fixée à la méthode de la fausse position.

La méthode ROBUSTE est une méthode MULTIPLE avec une méthode de départ fixée à la méthode de la fausse position, nb_iters = 500, mm = 20, qu = 0.50 et li= 0.95.

La méthode TRES_ROBUSTE est en fait une méthode MULTIPLE avec une méthode de départ fixée à la méthode de la fausse position, nb_iters = 1000, mm = 20, qu = 0.70 et li= 0.98.

La méthode FIXE est en fait une méthode MULTIPLE avec une méthode de départ fixée à la méthode choisie, nb_iters = 1000 et mm = 1000000 pour que la méthode ne change pas.

Les paramètres complémentaires permettent de gérer la réduction du résidu (itc, tec et fac) ou les oscillations des déformations successives (io, to et mo).

En cas de rupture de la section PCP bascule vers une méthode corde stricte ou la méthode nru choisie par l'utilisateur. La détection de la rupture est pilotée par le pivot : pru. Le facteur de sur-relaxation permet de réduire encore plus le pas de calcul pour approcher au plus près la charge de rupture.

Conditions d'emploi

- Cette commande optionnelle peut être introduite plusieurs fois, à diverses étapes de la construction.
- La première commande de ce type, qui doit figurer avant le début de la construction, provoque le basculement du mode CALCUL LINÉAIRE (retenu par défaut) vers le mode CALCUL NON LINÉAIRE, de manière irréversible.
- Les commandes suivantes éventuelles de ce type permettent de modifier un ou plusieurs paramètres se rattachant au calcul non linéaire.

Conseils méthodologiques

- En cas de divergence ou de rupture il faut activer les options ECHO et TRACE pour identifier les éléments concernés. PCP affiche alors les valeurs des résidus et de convergence qui permettent alors de modifier les paramètres de cette commande. Ces paramètres peuvent être modifiés localement durant le phasage et resteront actifs jusqu'à la fin du calcul sauf modification supplémentaire.
- La modification des paramètres residu_xx et toler_d impacte la précision des calculs. Des valeurs plus petites rendent les calculs plus précis et des valeurs plus grandes les calculs moins précis. Leur modification est parfois nécessaire mais doit toujours être minimisée.

- Les autres paramètres n'impactent que la vitesse de convergence et non le résultat final. On commencera donc toujours par modifier ces paramètres avant de modifier les résidus et tolérances.
- Facteur de pondération des éléments biarticulés (et donc des chaînettes) : d'une manière générale, la dichotomie sur les charges mise en œuvre dans PCP dans le cadre d'un calcul non linéaire est couplée à une augmentation automatique de ce coefficient. La modification de ce coefficient n'est donc pertinente que pour accélérer ce processus de calcul en fixant tout au début une valeur minimale assurant la convergence. Dans ce cas là, il ne faut pas oublier de rétablir la valeur initiale égale à 1.e-06 avant toute sauvegarde de STRUCTURE afin que les calculs des charges d'exploitation ou les calculs dynamiques linéaires utilisent une matrice de rigidité tangente non perturbée.

Exemples

```
PHASES
$ basculement irreversible en mode CALCUL NON LINEAIRE
$ tous les parametres preinitialises prennent leurs valeurs par default
CALCUL NONLINEAIRE
.....
.....
$ modification des parametres nb_iter_f et toler_s
CALCUL NONLINEAIRE FORCES ITERATIONS 100 SECTIONS TOLERANCE 1.0E-6
.....

.....
.....
$ modification du facteur de ponderation
CALCUL NONLINEAIRE PONDERATION 0.001
.....
```

Commandes liées

MATERIAUX ELASTOPLASTIQUES ; ACIERS ELASTOPLASTIQUES
DEFINIR STRUCTURE POUSSEE ; SUSPENDRE / CONTINUER CONCORDANCE
SUSPENDRE / CONTINUER ANALYSE ; EDITER / NONEDITER
AFFECTER CONTRAINTES ; PLACER APPUIS ; REMPLACER APPUIS
ANALYSE CRITIQUE

8.6 – PARAMETRES RHEOLOGIQUES

PARAMETRES RHEOLOGIQUES	* {	TEMPERATURE θ	}
		HYGROMETRIE p_hyg	
		C_FLUAGE c_flu	
		C_RETRAIT c_ret	
		C_CISAILLEMENT c_cis	
		METHODE {	}
		SUPERPOSITION	
		KELVIN	

Paramètres

- θ : température ambiante (20.0 par défaut) ;
- p_hyg : pourcentage hygrométrique de l'air (70.0 par défaut) ;
- c_flu, c_ret, c_cis : coefficients de pondération des déformations de fluage, de retrait et de cisaillement d'effort tranchant et de torsion (1.0, 1.0 et 0.0 par défaut).

Fonctions

Cette commande permet de définir un groupe de paramètres utilisables en mode CALCUL RHÉOLOGIQUE FIN.

L'option METHODE permet de définir le mode de calcul de fluage.

- La méthode par défaut est la méthode par SUPERPOSITION qui s'appuie sur le principe de superposition de Boltzman : si l'histoire de chargement $\sigma(t)$ est décomposé en n incréments de charge $\Delta\sigma$, la déformation de fluage à partir du temps de chargement t_c est déterminée comme suit :

$$\varepsilon^{fl}(t) = \sum_{i=0}^n J(t, t_{ci}) \Delta\sigma_i$$

La fonction $J(t, t_{ci})$ est une fonction croissante de $(t-t_{ci})$ et nulle pour $(t-t_{ci})$ négatif.

- La méthode de KELVIN utilise un modèle de Kelvin qui part du principe que tout corps visco-élastique linéaire non-vieillissant peut être modélisé par un groupement en série de chaînes de Kelvin. La fonction de fluage peut se mettre sous la forme :

$$J(t, t_c) = \sum_{s=1}^r J_s \left(1 - \exp\left(-\frac{t-t_c}{\tau_s}\right) \right)$$

Où τ_s et J_s sont, respectivement, le temps de retard et la souplesse de chaque chaîne s de Kelvin. (cf document R7.01.01 de Code_Aster).

Conditions d'emploi

- Cette commande optionnelle peut être introduite plusieurs fois mais doit toujours figurer avant la première commande DATE ; il n'est donc pas permis de redéfinir des paramètres rhéologiques en cours de construction.

- Cette commande est interdite lorsque l'option SUITE de la commande PHASES est employée.

Exemples

```
PHASES
.....
$ les deformations de cisaillement ne sont pas prises en compte par default
$ dans les phenomenes d'adaptation ; tous les autres parametres sont fixes
$ par default, en particulier la temperature (20 degres Celsius)
PARAMETRES RHEOLOGIQUES HYGROMETRIE 80.0
.....
$ debut de la construction
DATE 0
.....
```

Commandes liées

PHASES ; DATE

8.7 – APPUI ELASTOPLASTIQUE

APPUI ELASTOPLASTIQUE PARFAIT

$$\left. \begin{array}{l} \text{TANGENT} \\ \text{CORDE (attributs_corde)} \\ \text{SECANT} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{nom_appui} \quad \text{COMPOSANTE} \quad \text{no_comp} \\ \text{PARAMETRES} \quad \text{nb_parametres} \end{array}$$

$$\langle v \rangle_{\text{nb_parametres}}$$

$$v = f_0 \quad u_1 \quad f_1 \quad u_2 \quad f_2 \quad \dots \quad u_n \quad f_n$$

$$\text{attributs_corde} = \left. \begin{array}{l} \text{FMIN } f_{\min} \\ \text{STOCHASTIQUE } v_{\text{semence}} \\ \text{MIXTE } v_{\text{corde}} \quad v_{\text{secant}} \\ \text{MI_STOCHASTIQUE } v_{\text{mix}} \end{array} \right\} (\text{ITERATION_DECLIC } i_{\text{dec}})$$

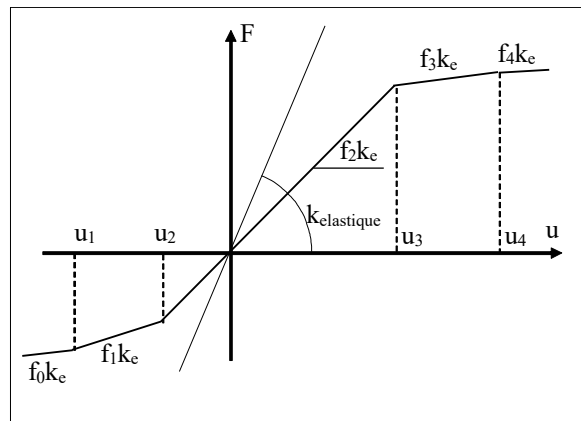


Figure 8.1 – Appui élastoplastique

Paramètres

- nom_appui : nom de l'appui déclaré élastoplastique ;
- no_comp : numéro de la composante de déplacement concernée (1 Dex, 2 Dey, 3 Dez, 4 Rox, 5 Roy, 6 Roz) ;
- nb_parametres : nombre de paramètres définissant l'appui élastoplastique ;
- f_0 : facteur de la rigidité élastique pour un déplacement local du nœud d'appui inférieur ou égal à u_1 ;
- f_1 : facteur de la rigidité élastique pour un déplacement local du nœud d'appui inférieur ou égal à u_2 et supérieur à u_1 ;
- f_n : facteur de la rigidité élastique pour un déplacement local du nœud d'appui supérieur à u_n ;

- f_{\min} : facteur de rigidité minimal compris entre 0 et 1 utilisé pour construire la rigidité corde à partir de la rigidité élastique. Si f_{\min} est égal à 0, l'opérateur de convergence est celui fixé par l'option : CORDE. S'il est supérieur à 0, PCP prendra le max de la valeur spécifiée et de la valeur obtenue en appliquant f_{\min} . Par défaut, f_{\min} est égal à 0.

$$f_{\text{effectif_rigidité}} = \max(f_{\text{corde}}, f_{\min})$$

- v_{semence} : valeur réelle positive de la semence pour le calcul stochastique du facteur de rigidité minimal f_{\min} compris entre 0 et 1 utilisé pour construire la rigidité corde à partir de la rigidité élastique ;

$$f_{\min} = f_{\text{stochastique}}(v_{\text{semence}})$$

$$f_{\text{effectif_rigidité}} = \max(f_{\text{corde}}, f_{\min})$$

- v_{corde} : valeur du coefficient appliqué à la rigidité corde compris entre 0 et 1. Par défaut, v_{corde} est égal à 1. ;
- v_{secant} : valeur du coefficient appliqué à la rigidité sécante compris entre 0 et 1. Par défaut, v_{secant} est égal à 0. ;

$$f_{\text{effectif_rigidité}} = v_{\text{corde}} f_{\text{corde}} + v_{\text{secant}} f_{\text{secant}}$$

- v_{mix} : valeur réelle positive de la semence stochastique permettant de calculer stochastiquement v_{corde} et v_{secant} ;

$$v_{\text{corde}} = f_{\text{stochastique}}(v_{\text{mix}})$$

$$v_{\text{secant}} = 1 - v_{\text{corde}}$$

$$f_{\text{effectif_rigidité}} = v_{\text{corde}} f_{\text{corde}} + v_{\text{secant}} f_{\text{secant}}$$

- i_{dec} : numéro de l'itération à partir de laquelle les options de calcul de la matrice de rigidité corde sont utilisées. Par défaut, elles sont déclenchées à partir de l'itération 0 ;

Fonctions

Cette commande permet de définir un appui élastoplastique multi-linéaire représentant un appui unilatéral, une butée, un appui avec frottement, un sol élastoplastique, un amortisseur précontraint, etc.. La raideur de l'appui est spécifiée pour une composante et sous la forme d'un facteur de la rigidité élastique de l'appui correspondant du modèle général. Pour un intervalle de déplacement donné la rigidité finale est le produit de ce facteur par la rigidité élastique. Les mots clefs TANGENT/CORDE/SECANT permettent de préciser le mode de calcul de l'opérateur de convergence. Ces termes n'influencent que la vitesse de la convergence et non le résultat final. L'option CORDE peut être affinée avec les paramètres supplémentaires. L'option MIXTE ou MI_STOCHASTIQUE permet de construire la rigidité CORDE comme une combinaison de la rigidité CORDE et SECANTE. L'option FMIN ou STOCHASTIQUE permet de borner la rigidité élastoplastique de convergence à une valeur minimale fixée ou stochastique.

L'aspect élastoplastique est pris en compte lors de la mise en place de l'appui spécifié. Le déplacement pris en compte dans le comportement est le déplacement courant du nœud déterminé après la mise en place de l'appui et projeté dans le repère local de l'appui en prenant en compte l'excentrement et l'orientation de celui-ci. Les déplacements initiaux des nœuds avant la mise en place des appuis n'interviennent pas dans le calcul de la réaction.

Conditions d'emploi

- En l'absence de cette commande, les appuis ont la rigidité définie initialement par les commandes APPUI du modèle mécanique général.
- Cette commande peut être introduite en mode CALCUL LINEAIRE ou CALCUL NON LINÉAIRE, avant toute commande de construction.
- Plusieurs composantes d'un même appui peuvent être successivement déclarées élastoplastiques.
- Une composante non déclarée ELASTOPLASTIQUE reste élastique.
- Il est interdit de redéfinir les caractéristiques élastoplastiques d'un appui pour une composante donnée.
- Les appuis ELASTOPLASTIQUES conservent ce caractère dans le module de calcul dynamique.

Conseils méthodologiques

- Initialement l'appui est généralement déclaré TANGENT qui est l'option la plus rapide dans le schéma numérique de Newton. Si l'algorithme ne converge pas l'utilisateur pourra successivement passer au mode CORDE en jouant sur les paramètres de calcul de la rigidité, puis, si nécessaire, au mode SECANT pour assurer la convergence du schéma numérique. La divergence est souvent produite par une oscillation numérique cyclique infinie. Pour briser celle-ci, on peut borner numériquement la rigidité corde par une valeur minimale f_{\min} ou en prenant une combinaison de la rigidité sécante et de la rigidité corde. Si l'oscillation persiste on peut déterminer stochastiquement f_{\min} ou les valeurs de la combinaison.

Exemples

```
$ Appui unilateral selon la composante z (bloqué selon z négatif)
f0=1 $ blocage pour les déplacements négatifs
u1=0 $ seuil de blocage
f1=0 $ déblocage pour les déplacements positifs
APPUI ELASTOPLASTIQUE PARFAIT TANGENT APPUNZ COMPOSANTE 3 PARAMETRES 3
    f0 u1 f1
.....
.....
PLACER APPUI 1 $ Mise en place de 1 appui
APPUNZ 10 6*0
```

```
$ Meme Appui unilateral avec rigidité corde
APPUI ELAS PARFAIT CORDE APPUNZ COMP 3 PARA 3
f0 u1 f1
```

```
$ Meme Appui unilateral avec rigidité corde combinée à la 25 iteration
fc=0.25 $ Facteur de rigidite corde
fs=0.75 $ Facteur de rigidite sécante
APPUI ELAS PARFAIT CORDE MIXTE fc fs ITER 25 APPUNZ COMP 3 PARA 3
f0 u1 f1
```

```
$ Meme Appui unilateral avec rigidité corde combinée stochastiquement
$à la 25 iteration
fsemence=2
fs=0.75 $ Facteur de rigidite sécante
APPUI ELAS PARFAIT CORDE MI_ST fsemence ITER 25 APPUNZ COMP 3 PARA 3
f0 u1 f1
```

```

$ Appui du type sol de pieu plastique selon les composantes x et y
f0=0      $ sol plastiques
u1=0.01   $ seuil de plastification
f1=1      $ Sol élastique
ux=1 uy=2 $ Composantes concernees
APPUI ELASTOPLASTIQUE PARFAIT TANGENT Sol COMPOSANTE ux PARAMETRES 5
      f0 (-u1) f1 u1 f0
APPUI ELASTOPLASTIQUE PARFAIT TANGENT Sol COMPOSANTE uy PARAMETRES 5
      f0 (-u1) f1 u1 f0 fmin
.....
.....
PLACER APPUI napp $ Mise en place des sols
<< Sol (i) 6*0 > i = 1 a napp>
    
```

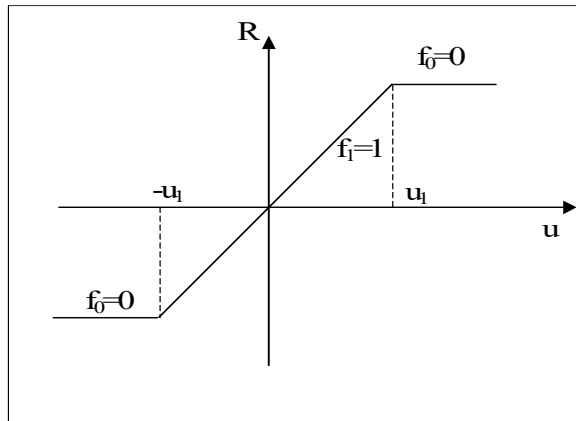


Figure 8.2 – Sol élastoplastique

```

$ Appui du type amortisseur précontraint : F = Fp +kr u + c v
kr=10      $ raideur du ressort définie dans le modele
fr=1       $ facteur raideur ressort
fb=1000    $ facteur raideur du boitier
fbr= (fr+fb) $ facteur raideur boitier + ressort
Fp= 100    $ force de precontrainte
Up= (Fp/fbr/kr) $ seuil de la précontrainte en déplacement
Ux=1       $ composante X de l'appui
APPUI ELASTOPLASTIQUE PARFAIT TANGENT AMORT COMPOSANTE ux PARAMETRES 5
      fr (-up) fbr up fr
    
```

\$Le module dynamique complete la définition de l'amortisseur par un \$AMORTISSEMENT DIRECT.

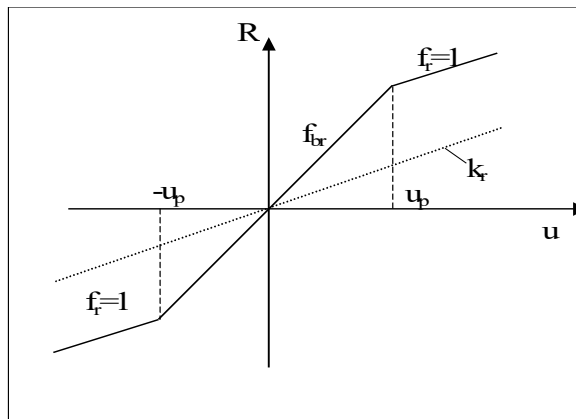


Figure 8.3 – Amortisseur précontraint

8.8 – ARTICULATION ELASTOPLASTIQUE

ARTICULATION ELASTOPLASTIQUE $\left\{ \begin{array}{l} \text{PARFAITE} \\ \text{CYCLIQUE} \\ \text{TAKEDA} \end{array} \right\}$

$\left\{ \begin{array}{l} \text{TANGENT} \\ \text{CORDE (attributs_corde)} \\ \text{SECANT} \end{array} \right\}$ nom_articulation COMPOSANTE no_comp

PARAMETRES nb_parametres

$\langle v \rangle_{nb_parametres}$ [attributs_takeda]

$v = f_0 \quad u_1 \quad f_1 \quad u_2 \quad f_2 \quad \dots \quad u_n \quad f_n$

attributs_corde = $\left\{ \begin{array}{l} \text{FMIN } f_{\min} \\ \text{STOCHASTIQUE } v_{\text{semence}} \\ \text{MIXTE } v_{\text{corde}} \quad v_{\text{secant}} \\ \text{MI_STOCHASTIQUE } v_{\text{mix}} \end{array} \right\}$ (ITERATION_DECLIC i_{dec})

attributs_takeda = ALPHA $v_{\alpha_n} \quad v_{\alpha_p}$ BETA $v_{\beta_n} \quad v_{\beta_p}$ GAMMA $v_{\gamma_n} \quad v_{\gamma_p}$
 (EPSILON eps) (NOMBRE_ITERATIONS niter)

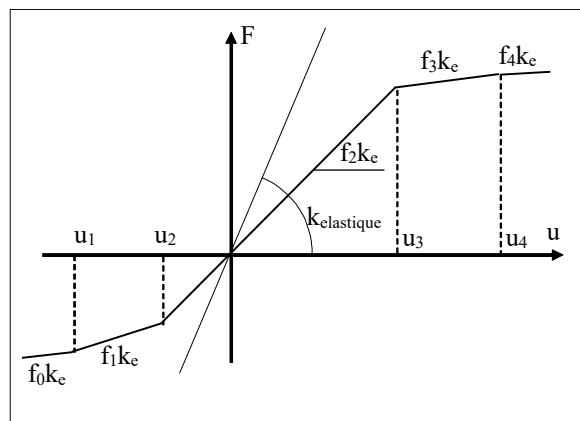


Figure 8.4 – Articulation élastoplastique

Paramètres

- $nom_articulation$: nom de l'articulation déclarée élastoplastique ;
- no_comp : numéro de la composante de déplacement concernée (1 Dex, 2 Dey, 3 Dez, 4 Rox, 5 Roy, 6 Roz) ;
- $nb_parametres$: nombre de paramètres définissant l'articulation élastoplastique ;
- f_0 : facteur de la rigidité élastique pour un déplacement local de l'articulation inférieur ou égal à u_1 ;
- f_1 : facteur de la rigidité élastique pour un déplacement local de l'articulation inférieur ou égal à u_2 et supérieur à u_1 ;
- f_n : facteur de la rigidité élastique pour un déplacement local de l'articulation supérieur à u_n ;
- f_{min} : facteur de rigidité minimal compris entre 0 et 1 utilisé pour construire la rigidité corde à partir de la rigidité élastique. Si f_{min} est égal à 0, l'opérateur de convergence est celui fixé par l'option : CORDE. S'il est supérieur à 0, PCP prendra le max de la valeur spécifiée et de la valeur obtenue en appliquant f_{min} . Par défaut, f_{min} est égal à 0.

$$f_{effectif_rigidité} = \max(f_{corde}, f_{min})$$

- $V_{semence}$: valeur réelle positive de la semence pour le calcul stochastique du facteur de rigidité minimal f_{min} compris entre 0 et 1 utilisé pour construire la rigidité corde à partir de la rigidité élastique ;

$$f_{min} = f_{stochastique}(v_{semence})$$

$$f_{effectif_rigidité} = \max(f_{corde}, f_{min})$$

- V_{corde} : valeur du coefficient appliqué à la rigidité corde compris entre 0 et 1. Par défaut, V_{corde} est égal à 1. ;
- V_{secant} : valeur du coefficient appliqué à la rigidité sécante compris entre 0 et 1. Par défaut, V_{secant} est égal à 0. ;

$$f_{effectif_rigidité} = v_{corde} f_{corde} + v_{secant} f_{secant}$$

- V_{mix} : valeur réelle positive de la semence stochastique permettant de calculer stochastiquement V_{corde} et V_{secant} ;

$$v_{corde} = f_{stochastique}(v_{mix})$$

$$v_{secant} = 1 - v_{corde}$$

$$f_{effectif_rigidité} = v_{corde} f_{corde} + v_{secant} f_{secant}$$

- i_{dec} : numéro de l'itération à partir de laquelle les options de calcul de la matrice de rigidité corde sont utilisées. Par défaut, elles sont déclenchées à partir de l'itération 0 ;
- V_{alpha_n} et V_{alpha_p} : paramètres alpha négatif et positif de la loi de TAKEDA ;
- V_{beta_n} et V_{beta_p} : paramètres bêta négatif et positif de la loi de TAKEDA ;
- V_{gamma_n} et V_{gamma_p} : paramètres gamma négatif et positif de la loi de TAKEDA ;
- eps : Précision de la loi de calcul de TAKEDA. Par défaut, elle est fixée à 1.e-12.
- $iter$: nombre d'itérations de calcul de la loi de TAKEDA. Par défaut, elle est fixée à 100.

Fonctions

Cette commande permet de définir une articulation élastoplastique multi-linéaire représentant une articulation unilatérale, une butée, une articulation avec frottement, un sol élastoplastique, un amortisseur précontraint, une rotule plastique hystérétique ou non, etc.. La raideur de l'articulation est spécifiée pour une composante et sous la forme d'un facteur de la rigidité élastique de l'articulation correspondante du modèle général. Pour un intervalle de déplacement donné la rigidité finale est le produit de ce facteur par la rigidité élastique. Les mots clefs TANGENTE/CORDE/SECANTE permettent de préciser le mode de calcul de l'opérateur de convergence. Ces termes n'influencent que la vitesse de la convergence et non le résultat final. L'option CORDE peut être affinée avec les paramètres supplémentaires. L'option MIXTE ou MI_STOCHASTIQUE permettent de construire la rigidité CORDE comme une combinaison de la rigidité CORDE et SECANTE. L'option FMIN ou STOCHASTIQUE permet de borner la rigidité élastoplastique de convergence à une valeur minimale fixée ou stochastique.

L'aspect élastoplastique est pris en compte lors de la mise en place de l'articulation spécifiée. Le déplacement pris en compte dans le comportement est la variation de déplacement courant entre les deux nœuds de l'articulation déterminés après la mise en place de l'articulation et projetés dans le repère local de l'articulation en prenant en compte l'orientation de celle-ci. Les déplacements initiaux des nœuds avant la mise en place des articulations n'interviennent donc pas dans le calcul des efforts repris par l'articulation.

Pour les modèles cycliques et TAKEDA, le diagramme des cycles est automatiquement produit par PCP avec l'extension : exp.

Elastoplasticité parfaite

Avec l'option PARFAITE, la loi élastoplastique est une loi dont les branches de déchargement sont confondues avec les branches de chargement.

Elastoplasticité cyclique

Avec l'option CYCLIQUE, la loi élastoplastique est une loi bilinéaire dont la branche de déchargement n'est plus confondue avec la branche de chargement. Le nombre de paramètres est fixé à 7 : f_0 , u_1 , f_1 , u_2 , f_2 , u_3 , f_3 . Ils définissent la loi de comportement lors de la première charge. La loi doit être monotone croissante.

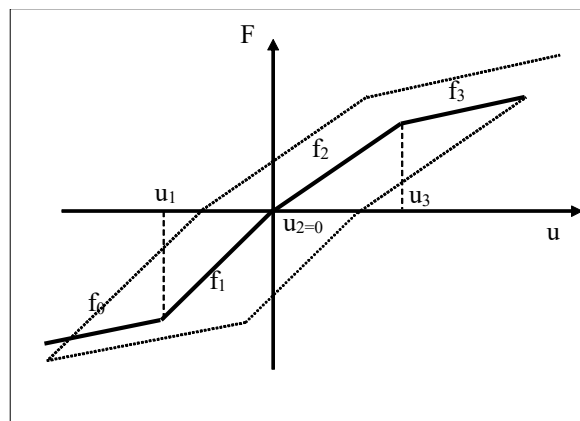


Figure 8.5 – Articulation élastoplastique cyclique

Avec :

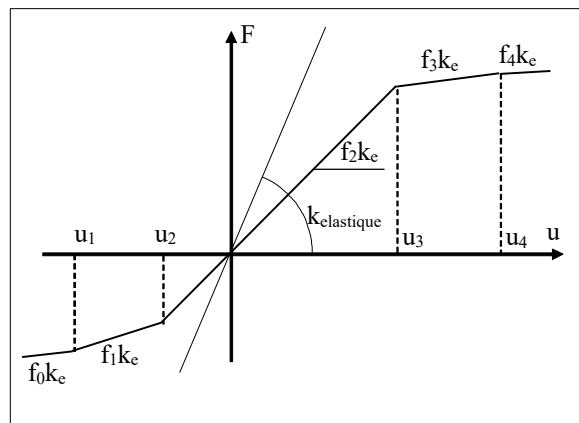
- f_0 : facteur de raideur plastique négative.
- u_1 : seuil de plasticité négative.
- f_1 : facteur de raideur élastique négative.
- u_2 : seuil d'élasticité positive (Nul en général).
- f_2 : facteur de raideur élastique positive.
- u_3 : seuil de plasticité positive.
- f_3 : facteur de raideur plastique positive.

Elastoplasticité TAKEDA

Avec l'option TAKEDA, la loi élastoplastique est une loi trilineaire du type TAKEDA généralisée dont la branche de déchargement n'est plus confondue avec la branche de chargement. Le nombre de paramètres définissant la loi de première charge est donc fixé à 9 : $f_0, u_1, f_1, u_2, f_2, u_3, f_3, u_4, f_4$. La loi doit être monotone et strictement croissante.

Avec :

- f_0 : facteur de raideur plastique négative due aux seuls aciers (toujours >0).
- u_1 : seuil de plasticité négative des aciers.
- f_1 : facteur de raideur plastique négative due au béton plastifié et aux aciers.
- u_1 : seuil de plasticité négative du béton.
- f_2 : facteur de raideur élastique (1 en général).
- u_2 : seuil de plasticité positive du béton.
- f_3 : facteur de raideur plastique positive due au béton plastifié et aux aciers.
- u_3 : seuil de plasticité positive des aciers.
- f_4 : facteur de raideur plastique positive due aux seuls aciers (toujours >0).



▪ **Figure 8.6 – Articulation élastoplastique du type TAKEDA**

Les paramètres alpha, bêta et gamma permettent de généraliser le comportement en prenant en compte le module de décharge, la dégradation de résistance et le pincement des courbes. La définition de ces paramètres est la suivante (cf. le code de calcul IDARC de Y.J. PARK and al : Technical report N CEER-87-0008) :

- α^+ et α^- : définissent le module de décharge élastique obtenu en visant un point d'ordonnée $\alpha^+ R^+$ ou $-\alpha^- R^-$ situé sur la droite passant par l'origine et ayant la pente de la rigidité initiale.

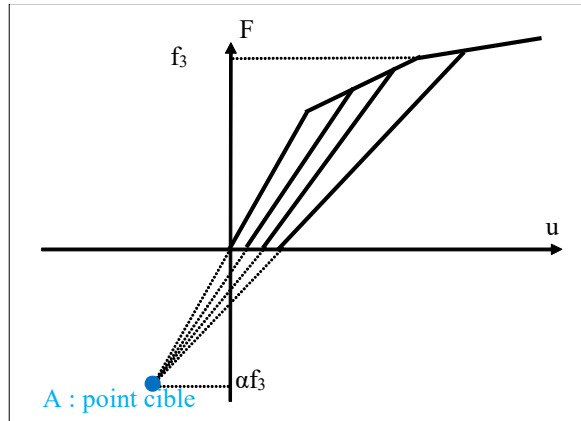


Figure 8.7 – Diagramme de décharge élastique

- β^+ et β^- : définissent la dégradation de la résistance sous chargement cyclique. Lors d'un cycle de décharge/recharge, le dernier point visé n'est pas le point atteint lors du cycle précédent sur la courbe de première charge mais celui situé à une abscisse plus élevée d'un facteur $\beta\Delta E/R$ avec ΔE : énergie dissipée durant le cycle précédent.

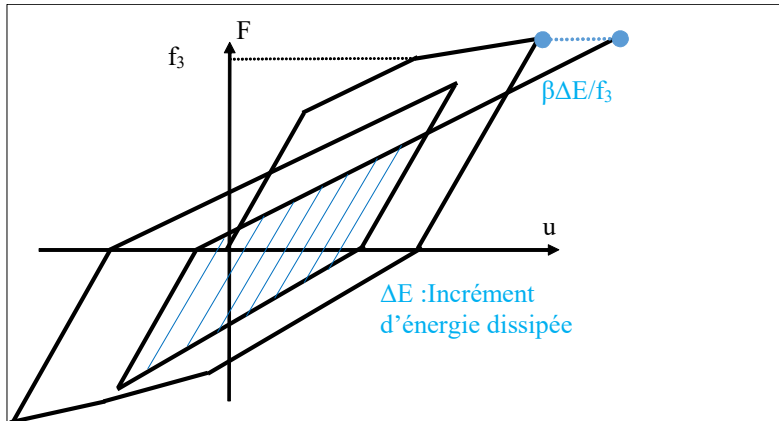


Figure 8.8 – Diagramme de dégradation de la résistance

- γ^+ et γ^- : définissent le pincement des courbes sous chargement cyclique. Lorsque l'effort change de signe, le point d'ordonnée γ^+R^+ ou γ^-R^- situé sur la courbe de décharge opposée est visé jusqu'à atteindre le déplacement limite précédent.

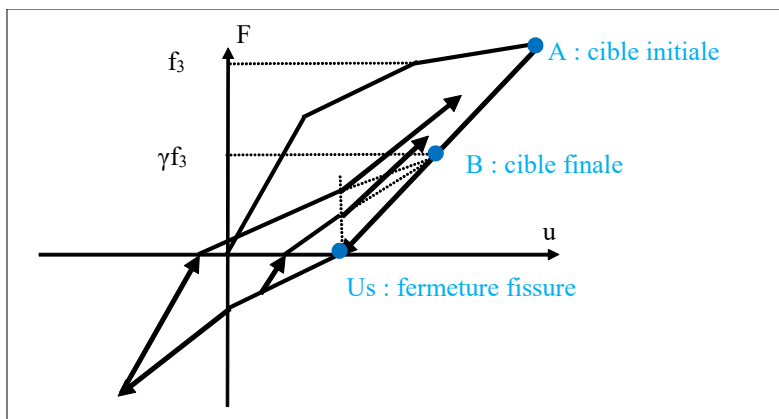
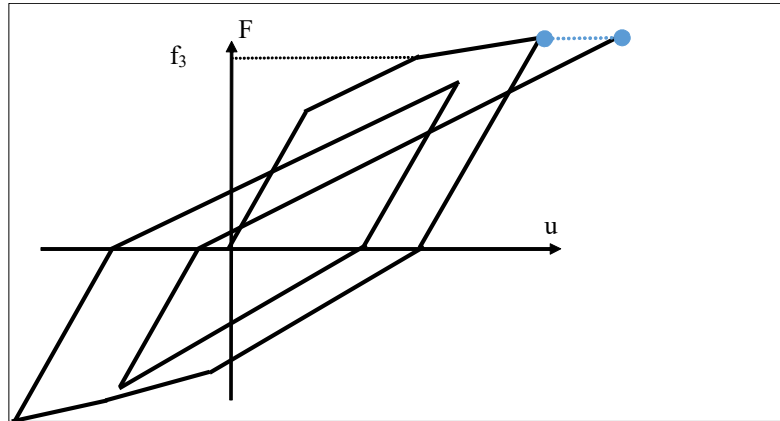
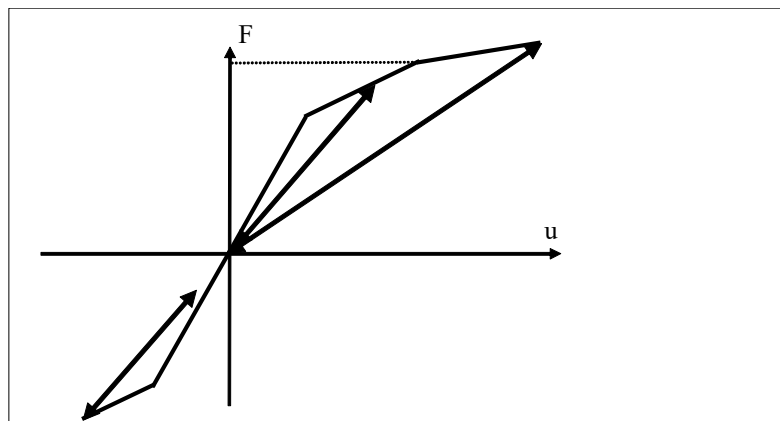


Figure 8.9 – Diagramme de pincement

Elastoplasticité TAKEDA : exemples

- Modèle de Takeda modifié : $\alpha=2, \beta=0.1, \gamma=\infty$
- Modèle de Clough modifié : $\alpha=\infty, \beta=0.1, \gamma=\infty$
- Modèle orienté vers l'origine : $\alpha=0, \beta=0.1, \gamma=\infty$
- Modèle trilineaire de poutre en té : $\alpha=2, \beta=0.1, \gamma=0.5$

**Figure 8.10 – Modèle de Takeda modifié****Figure 8.11 – Modèle orienté vers l'origine****Conditions d'emploi**

- En l'absence de cette commande, les articulations ont la rigidité définie initialement par les commandes ARTICULATION du modèle mécanique général.
- Cette commande peut être introduite en mode CALCUL LINEAIRE ou CALCUL NON LINÉAIRE, avant toute commande de construction.
- Plusieurs composantes d'une même articulation peuvent être successivement déclarées élastoplastiques.
- Une composante non déclarée ELASTOPLASTIQUE reste élastique.
- Il est interdit de redéfinir les caractéristiques élastoplastiques d'une articulation pour une composante donnée.

- Les articulations ELASTOPLASTIQUES conservent ce caractère dans le module de calcul dynamique.

Conseils méthodologiques

- Initialement l'articulation est généralement déclarée TANGENTE qui est l'option la plus rapide dans le schéma numérique de Newton. Si l'algorithme ne converge pas l'utilisateur pourra successivement passer au mode CORDE en jouant sur les paramètres de calcul de la rigidité, puis, si nécessaire, au mode SECANT pour assurer la convergence du schéma numérique. La divergence est souvent produite par une oscillation numérique cyclique infinie. Pour briser celle-ci, on peut borner numériquement la rigidité corde par une valeur minimale f_{\min} ou en prenant une combinaison de la rigidité sécante et de la rigidité corde. Si l'oscillation persiste on peut déterminer stochastiquement f_{\min} ou les valeurs de la combinaison.
- Les lois cycliques et de Takeda peuvent être utilisées indépendamment pour chacune des directions de flexion et ou de cisaillement. Elles sont donc à même de représenter le comportement sismique d'une rotule soumise à de la flexion et du cisaillement pour un effort normal donné.
- Dans le cas des modèles cycliques l'utilisateur peut vérifier le comportement en visualisant le fichier d'extension exp correspondant.

Exemples

```

$ Articulation unilaterale selon la composante z (bloqué selon z négatif)
f0=1 $ blocage pour les déplacements negatifs
u1=0 $ seuil de blocage
f1=0 $ deblocage pour les déplacements positifs
ARTICULATION ELASTOPLASTIQUE PARFAIT TANGENT ARTUNZ COMPOSANTE 3 PARA 3
  f0 u1 f1
.....
PLACER ARTICULATION 1 $ Mise en place de 1 articulation
ARTUNZ 10 3*0

$ Meme articulation unilaterale avec rigidité corde
ARTI ELAS PARFAIT CORDE ARTUNZ COMP 3 PARA 3
f0 u1 f1

$ Meme articulation unilaterale rigidité corde combinée à la 25 iteration
fc=0.25 $ Facteur de rigidite corde
fs=0.75 $ Facteur de rigidite sécante
ARTI ELAS PARFAIT CORDE MIXTE fc fs ITER 25 ARTUNZ COMP 3 PARA 3
f0 u1 f1

$ Articulation du type sol de pieu plastique selon les composantes x et y
f0=0 $ sol plastiques
u1=0.01 $ seuil de plastification
f1=1 $ Sol élastique
ux=1 uy=2$Composantes concernees
ARTI ELASTOPLASTIQUE PARFAIT TANGENT Sol COMPOSANTE ux PARAMETRES 5
  f0 (-u1) f1 u1 f0
ARTI ELASTOPLASTIQUE PARFAIT TANGENT Sol COMPOSANTE uy PARAMETRES 5
  f0 (-u1) f1 u1 f0
.....
.....
PLACER ARTI napp $ Mise en place des sols
<< Sol (i) 3*0 > i = 1 a napp>

```

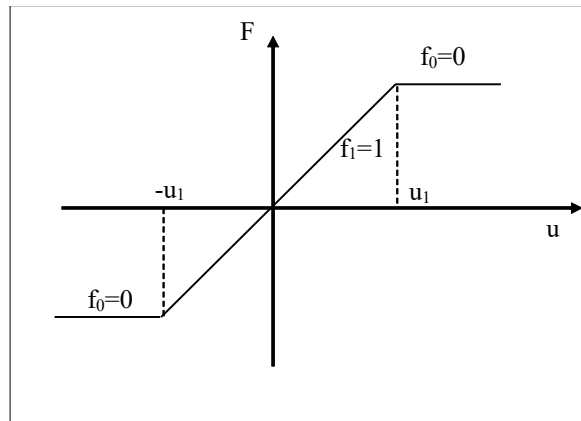


Figure 8.12 – Sol élastoplastique

\$ Articulation du type amortisseur précontraint : $F = F_p + k_r u + c v$
 $k_r=10$ \$ raideur du ressort définie dans le modele
 $f_r=1$ \$ facteur raideur ressort
 $f_b=1000$ \$ facteur raideur du boitier
 $f_{br} = (f_r + f_b)$ \$ facteur raideur boitier + ressort
 $F_p = 100$ \$ force de précontrainte
 $U_p = (F_p / f_{br} / k_r)$ \$ seuil de la précontrainte en déplacement
 $U_x = 1$ \$ composante X de l'articulation
 ARTI ELASTOPLASTIQUE PARFAIT TANGENT AMORT COMPOSANTE ux PARAMETRES 5
 fr (-up) fbr up fr

\$Le module dynamique complete la définition de l'amortisseur par un
 \$AMORTISSEMENT DIRECT.

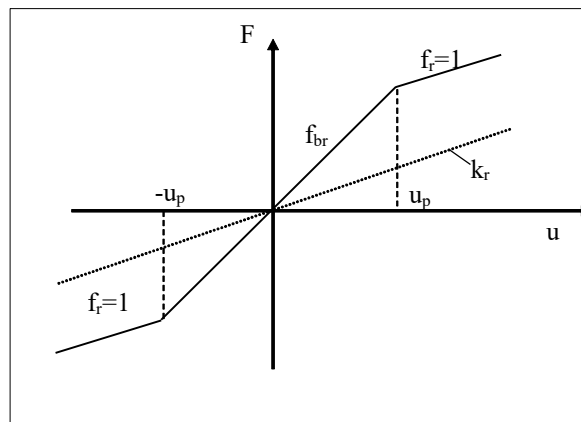


Figure 8.13 – Amortisseur précontraint

\$ Articulation représentant une rotule plastique de flexion selon la loi de
 \$ TAKEDA modifiée selon la composante de rotation y

$f_0 = 0.001$ \$ fac plastique nég due aux seuls aciers
 $u_1 = -0.000002$ \$ seuil de plasticité nég des aciers.
 $f_1 = 0.5$ \$ fac plastique nég due au béton plastifié et aux aciers.
 $u_1 = -0.000001$ \$ seuil de plasticité nég du béton.
 $f_2 = 1$ \$ fac de raideur élastique
 $u_2 = 0.000001$ \$ seuil de plasticité positive du béton.
 $f_3 = 0.5$ \$ fac plastique pos du au béton plastifié et aux aciers.
 $u_3 = 0.000002$ \$ seuil de plasticité pos des aciers.
 $f_4 = 0.001$ \$ fac plastique pos du aux seuls aciers (toujours >0).

$v_Alpha = 2$
 $v_Beta = 0.1$
 $v_Gamma = 1000$

ARTICULATION ELASTOPLASTIQUE TAKEDA TANGENT ROTY COMPOSANTE 5 PARAMETRES 9

```
f0 u1 f1 u2 f2 u3 f3 u4 f4
ALPHA v_alpha v_alpha BETA v_beta _v_beta GAMMA v_gamma v_gamma
.....
.....
PLACER ARTICULATION 1 $ Mise en place de 1 articulation
ROTY 10 3*0
```


8.9 – ELEMENT ELASTOPLASTIQUE

ELEMENT ELASTOPLASTIQUE $\left\{ \begin{array}{l} \text{PARFAITE} \\ \text{CYCLIQUE} \\ \text{TAKEDA} \end{array} \right\}$

$\left\{ \begin{array}{l} \text{TANGENT} \\ \text{CORDE (attributs_corde)} \\ \text{SECANT} \end{array} \right\}$ no_element (SECTIONS n_{sect}) COMPOSANTE no_comp

PARAMETRES nb_parametres

$\langle v \rangle_{nb_parametres}$ [attributs_takeda]

$v = f_0 \quad u_1 \quad f_1 \quad u_2 \quad f_2 \quad \dots \quad u_n \quad f_n$

attributs_corde = $\left\{ \begin{array}{l} \text{FMIN } f_{min} \\ \text{STOCHASTIQUE } v_{semence} \\ \text{MIXTE } v_{corde} \quad v_{secant} \\ \text{MI_STOCHASTIQUE } v_{mix} \end{array} \right\}$ (ITERATION_DECLIC i_{dec})

attributs_takeda = ALPHA $v_{alpha_n} \quad v_{alpha_p}$ BETA $v_{beta_n} \quad v_{beta_p}$ GAMMA $v_{gamma_n} \quad v_{gamma_p}$
(EPSILON eps) (NOMBRE_ITERATIONS niter)

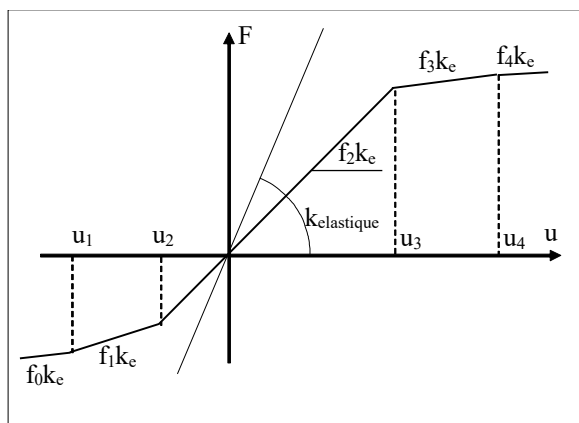


Figure 8.14 – Élément élastoplastique

Paramètres

- `no_element` : numéro de l'élément déclaré élastoplastique ;
- `no_comp` : numéro de la composante de déformation concernée (1 Dex, 2 Dey, 3 Dez, 4 Rox, 5 Roy, 6 Roz) ;
- `nb_parametres` : nombre de paramètres définissant l'élément élastoplastique ;
- `f0` : facteur de la rigidité élastique pour une déformation locale de l'élément inférieure ou égale à u_1 ;
- `f1` : facteur de la rigidité élastique pour une déformation locale de l'élément inférieure ou égale à u_2 et supérieure à u_1 ;
- `fn` : facteur de la rigidité élastique pour une déformation locale de l'élément supérieure à u_n ;
- `fmin` : facteur de rigidité minimal compris entre 0 et 1 utilisé pour construire la rigidité corde à partir de la rigidité élastique. Si `fmin` est égal à 0, l'opérateur de convergence est celui fixé par l'option : CORDE. S'il est supérieur à 0, PCP prendra le max de la valeur spécifiée et de la valeur obtenue en appliquant `fmin`. Par défaut, `fmin` est égal à 0.

$$f_{\text{effectif_rigidité}} = \max(f_{\text{corde}}, f_{\text{min}})$$

- `nsec` : nombre de points d'intégration longitudinale pour le calcul de la rigidité de l'élément. Ce paramètre est utilisé uniquement pour un CALCUL NON LINEAIRE.
- `Vsemence` : valeur réelle positive de la semence pour le calcul stochastique du facteur de rigidité minimal `fmin` compris entre 0 et 1 utilisé pour construire la rigidité corde à partir de la rigidité élastique ;

$$f_{\text{min}} = f_{\text{stochastique}}(v_{\text{semence}})$$

$$f_{\text{effectif_rigidité}} = \max(f_{\text{corde}}, f_{\text{min}})$$

- `Vcorde` : valeur du coefficient appliqué à la rigidité corde compris entre 0 et 1. Par défaut, `Vcorde` est égal à 1. ;
- `Vsecant` : valeur du coefficient appliqué à la rigidité sécante compris entre 0 et 1. Par défaut, `Vsecant` est égal à 0. ;

$$f_{\text{effectif_rigidité}} = v_{\text{corde}} f_{\text{corde}} + v_{\text{secant}} f_{\text{secant}}$$

- `Vmix` : valeur réelle positive de la semence stochastique permettant de calculer stochastiquement `Vcorde` et `Vsecant` ;

$$v_{\text{corde}} = f_{\text{stochastique}}(v_{\text{mix}})$$

$$v_{\text{secant}} = 1 - v_{\text{corde}}$$

$$f_{\text{effectif_rigidité}} = v_{\text{corde}} f_{\text{corde}} + v_{\text{secant}} f_{\text{secant}}$$

- `idec` : numéro de l'itération à partir de laquelle les options de calcul de la matrice de rigidité corde sont utilisées. Par défaut, elles sont déclenchées à partir de l'itération 0 ;
- `Valpha_n` et `Valpha_p` : paramètres alpha négatif et positif de la loi de TAKEDA ;
- `Vbeta_n` et `Vbeta_p` : paramètres bêta négatif et positif de la loi de TAKEDA ;
- `Vgamma_n` et `Vgamma_p` : paramètres gamma négatif et positif de la loi de TAKEDA ;
- `eps` : Précision de la loi de calcul de TAKEDA. Par défaut, elle est fixée à 1.e-12.
- `iter` : nombre d'itérations de calcul de la loi de TAKEDA. Par défaut, elle est fixée à 100.

Fonctions

Cette commande permet de définir un élément élastoplastique multi-linéaire. La raideur de l'élément est spécifiée pour une composante et sous la forme d'un facteur de la rigidité élastique de l'élément correspondant du modèle général. Pour un intervalle de déformation donné la rigidité finale est le produit de ce facteur par la rigidité élastique. Les mots clefs TANGENTE/CORDE/SECANTE permettent de préciser le mode de calcul de l'opérateur de convergence. Ces termes n'influencent que la vitesse de la convergence et non le résultat final. L'option CORDE peut être affinée avec les paramètres supplémentaires. L'option MIXTE ou MI_STOCHASTIQUE permet de construire la rigidité CORDE comme une combinaison de la rigidité CORDE et SECANTE. L'option FMIN ou STOCHASTIQUE permet de borner la rigidité élastoplastique de convergence à une valeur minimale fixée ou stochastique.

Les termes de rigidité influencés sont respectivement A_x , A_y , A_z , I_x , I_y et I_z pour les déformations d_{ex} , d_{ey} , d_{ez} , rox , roy , roz mesurées en mètre par mètre pour les déplacements et en radians par mètre pour les rotations.

L'aspect élastoplastique est pris en compte lors de l'activation de l'élément spécifié.

Dans le cadre d'un CALCUL LINEAIRE tout l'élément à la même loi sur toute sa longueur. La déformation moyenne est évaluée dans le repère local de l'élément.

Dans le cadre d'un CALCUL NON LINEAIRE la déformation est évaluée en chaque point d'intégration dans le repère INTRINSEQUE de l'élément. Si ce nombre est fixé égal à 1, la déformation moyenne de l'élément est utilisée pour calculer la rigidité de celui-ci.

Pour les modèles cycliques et TAKEDA, le diagramme des cycles est automatiquement produit par PCP d'extension exp.

Elastoplasticité parfaite

Avec l'option PARFAITE, la loi élastoplastique est une loi dont les branches de déchargement sont confondues avec les branches de chargement.

Elastoplasticité cyclique

Avec l'option CYCLIQUE, la loi élastoplastique est une loi bilinéaire dont la branche de déchargement n'est plus confondue avec la branche de chargement. Le nombre de paramètres est fixé à 7 : f_0 , u_1 , f_1 , u_2 , f_2 , u_3 , f_3 . Ils définissent la loi de comportement lors de la première charge. La loi doit être monotone croissante.

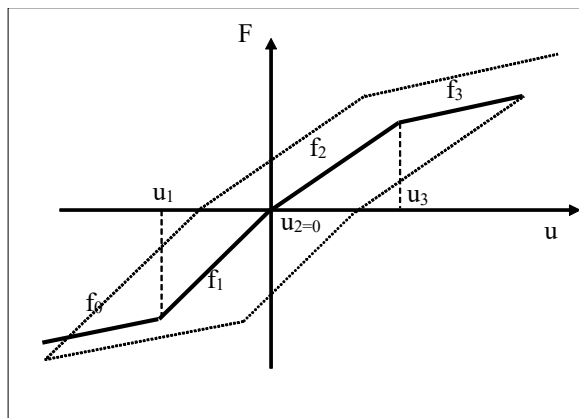


Figure 8.15 – Articulation élastoplastique cyclique

Avec :

- f_0 : facteur de raideur plastique négative.
- u_1 : seuil de plasticité négative.
- f_1 : facteur de raideur élastique négative.
- u_2 : seuil d'élasticité positive (Nul en général).
- f_2 : facteur de raideur élastique positive.
- u_3 : seuil de plasticité positive.
- f_3 : facteur de raideur plastique positive.

Elastoplasticité TAKEDA

Voir l'option équivalente de la commande ARTICULATIONS ELASTOPLASTIQUE.

Conditions d'emploi

- En l'absence de cette commande, les éléments ont la rigidité définie initialement dans le modèle mécanique général.
- Cette commande peut être introduite en mode CALCUL LINEAIRE ou CALCUL NON LINÉAIRE, avant toute commande de construction.
- Plusieurs composantes d'un même élément peuvent être successivement déclarées élastoplastiques.
- Dans le cas d'un Element BIARTICULE seule la composante de numéro 1 est autorisée.
- Une composante non déclarée ELASTOPLASTIQUE reste élastique.
- Il est interdit de redéfinir les caractéristiques élastoplastiques d'un élément pour une composante donnée.
- Il est interdit de déclarer ELASTOPLASTIQUE un élément dont le matériau est déclaré ELASTOPLASTIQUE et réciproquement.
- Il est interdit de déclarer ELASTOPLASTIQUE un élément dont le matériau est déclaré fluant ou se rétractant.
- Il est interdit de déclarer ELASTOPLASTIQUE un élément comportant des câbles ou des aciers.
- Il est interdit de déclarer ELASTOPLASTIQUE une chaînette en mode CALCUL LINEAIRE. Par contre on peut le faire en mode CALCUL NON LINEAIRE.
- Les éléments ELASTOPLASTIQUES conservent ce caractère dans le module de calcul dynamique.

Conseils méthodologiques

- Initialement la rigidité de l'élément est généralement déclarée TANGENTE qui est l'option la plus rapide dans le schéma numérique de Newton. Si l'algorithme ne converge pas l'utilisateur pourra successivement passer au mode CORDE en jouant sur les paramètres de calcul de la rigidité, puis, si nécessaire, au mode SECANT pour assurer la convergence du schéma numérique. La divergence est souvent produite par une oscillation numérique cyclique infinie. Pour briser celle-ci, on peut borner numériquement la rigidité corde par une valeur minimale f_{\min} ou en prenant une combinaison de la rigidité sécante et de la rigidité corde. Si l'oscillation persiste on peut déterminer stochastiquement f_{\min} ou les valeurs de la combinaison.
- Dans le cadre d'un CACUL NON LINEAIRE, le nombre de points d'intégration peut-être fixé à 5 pour un élément de poutre classique. Pour un élément susceptible de représenter une rotule plastique sous séisme, sa longueur doit être égale à la longueur de la rotule plastique et on prendra un nombre de points d'intégration égal à 1 pour que tout l'élément ait un comportement non linéaire de mêmes caractéristiques.
- Les options CYCLIQUE et TAKEDA peuvent être utilisés pour les études sismiques pour représenter le comportement hystérétique du béton sur toute la longueur de la rotule plastique correspondante.
- Les options CYCLIQUE et TAKEDA peuvent être utilisées indépendamment pour chacune des directions de flexion et ou de cisaillement. Elles sont donc à même de représenter le comportement sismique d'une rotule soumise à de la flexion et du cisaillement pour un effort normal donné.
- Dans le cas des modèles cycliques l'utilisateur peut vérifier le comportement en visualisant le fichier d'extension exp correspondant.

Exemple

```

$ Elément de pied de pile élastoplastique sous séisme
ROTULE=10 $ Numéro de la rotule
f0=0      $ rotule plastique
u1=0.01  $ seuil de plastification
f1=1     $ rotule élastique
ux=1 uy=2 $ composantes concernées
nbsec=5
ELEMENT ELAS PARFAIT TANGENT ROTULE SECT nbsec COMPOSANTE uy PARAMETRES 5
  f0 (-u1) f1 u1 f0
.....
.....

$ Meme element avec une rigidité corde
ELEMENT ELAS PARFAIT CORDE ROTULE SECT nbsec COMPOSANTE uy PARAMETRES 5
f0 (-u1) f1 u1 f0

$ Meme element avec une rigidité corde combinée à la 25 iteration
fc=0.25 $ Facteur de rigidite corde
fs=0.75 $ Facteur de rigidite sécante
ELEMENT ELAS PARF CORDE MIXT fc fs ITER 25 ROTU SECT nbsec COMP uy PARA 5
f0 (-u1) f1 u1 f0

```

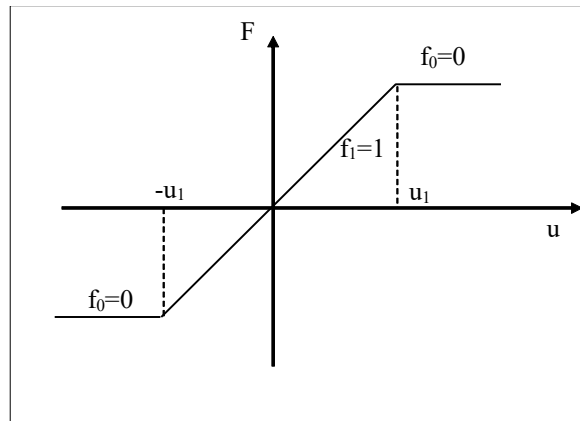


Figure 8.16 – Élément élastoplastique

\$ Articulation représentant une rotule plastique de flexion selon la loi de
\$ TAKEDA modifiée selon la composante de rotation y

```

ROTULE=10      $ Numéro de la rotule
f0 = 0.001    $ fac plastique nég due aux seuls aciers
u1 = -0.000002 $ seuil de plasticité nég des aciers.
f1 = 0.5      $ fac plastique nég due au béton plastifié et aux aciers.
u1 = -0.000001 $ seuil de plasticité nég du béton.
f2 = 1        $ fac de raideur élastique
u2 = 0.000001 $ seuil de plasticité positive du béton.
f3 = 0.5      $ fac plastique pos du au béton plastifié et aux aciers.
u3 = 0.000002 $ seuil de plasticité pos des aciers.
f4 = 0.001    $ fac plastique pos du aux seuls aciers (toujours >0).
    
```

```

v_Alpha = 2
v_Beta  = 0.1
v_Gamma = 1000
    
```

```

ELEMENT ELASTO TAKEDA TANGENT ROTULE SECT nbsec COMPOSANTE 5 PARAMETRES 9
f0 u1 f1 u2 f2 u3 f3 u4 f4
ALPHA v_alpha v_alpha BETA v_beta v_beta GAMMA v_gamma v_gamma
    
```

8.10 – MATERIAUX ELASTOPLASTIQUES

MATERIAUX ELASTOPLASTIQUES part_materiaux

TYPE	<table style="border-collapse: collapse;"> <tr><td style="padding: 2px 5px;">LINEAIRE</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">BILINEAIRE</td></tr> </table>	LINEAIRE	BILINEAIRE	SOUS_TYPE	<table style="border-collapse: collapse;"> <tr><td style="padding: 2px 5px;">PARFAIT</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">FRAGILE</td></tr> </table>	PARFAIT	FRAGILE
	LINEAIRE						
	BILINEAIRE						
	PARFAIT						
	FRAGILE						
	<table style="border-collapse: collapse;"> <tr><td style="padding: 2px 5px;">BPEL</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">BPHP</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">EC02</td></tr> </table>	BPEL	BPHP	EC02	SOUS_TYPE	<table style="border-collapse: collapse;"> <tr><td style="padding: 2px 5px;">SARGIN</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">PARABOLE</td></tr> </table>	SARGIN
BPEL							
BPHP							
EC02							
SARGIN							
PARABOLE							
EC08	SOUS_TYPE	BETON					
<table style="border-collapse: collapse;"> <tr><td style="padding: 2px 5px;">PARABOLE</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">S_BRANCHE</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">SARGIN</td></tr> </table>	PARABOLE	S_BRANCHE	SARGIN	SOUS_TYPE	SIMPLE		
PARABOLE							
S_BRANCHE							
SARGIN							
ACIER	SOUS_TYPE	<table style="border-collapse: collapse;"> <tr><td style="padding: 2px 5px;">BILINEAIRE</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">BA83</td></tr> </table>	BILINEAIRE	BA83			
BILINEAIRE							
BA83							

[EPS0 ε_0] [SIG0 σ_0] [EPSU ε_u] [SIGU σ_u]

[SIGT σ_t] [EPTU ε_{tu}] [SITU σ_{tu}]

[K1 k_1] [K2 k_2]

[ADEF af_ ε] [ACON af_ σ]

[SECTIONS nb_sections]

[PASY py] [PASZ pz] [NBPY nbpy] [NBPZ nbpz]

Paramètres

- part_materiaux : particule de sélection (assimilable à un nom) ; tous les matériaux définis par des commandes MATERIAU du module GE1 (voir chapitre 3) ou PH1 (voir chapitre 6) et dont les noms contiennent cette particule sont concernés ;
- ε_0 : déformation de début de palier plastique du diagramme représentant la loi de comportement des matériaux sélectionnés, ou de pic de contrainte (figure 8.17) ;
- σ_0 : contrainte en début de palier plastique, ou résistance à la compression ;
- ε_u : déformation ultime, ou à la rupture en compression ;
- σ_u : contrainte de rupture en compression ;
- σ_t : résistance à la traction (en valeur absolue) ;
- k_1 : coefficient de la loi de Sargin ;
- k_2 : coefficient de la loi de Sargin ;
- ε_{tu} : déformation ultime, ou à la rupture en traction (en valeur absolue) ;
- σ_{tu} : contrainte de rupture en traction (en valeur absolue) ;
- af_ ε : coefficient à appliquer , selon le cas, en facteur d'affinité au diagramme déformations-contraintes selon l'axe des déformations ou uniquement en dénominateur au module d'élasticité tangent à l'origine (cf tableau 8.9 ci-après). En général, cette valeur est supérieure à 1. Par exemple, il peut s'agir du coefficient de fluage du BPEL ou du coefficient γ_{cE} de l'Eurocode défini dans l'EC2-1-1 5.8.6 (3).

- af_{σ} : coefficient d'affinité à appliquer au diagramme déformations-contraintes, selon l'axe des contraintes. En général, cette valeur est inférieure à 1 car elle correspond au coefficient partiel de sécurité en résistance du matériau.

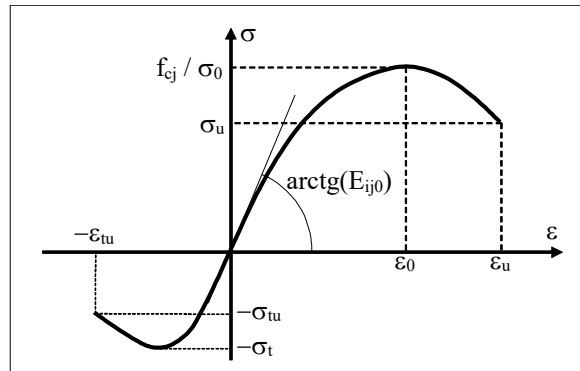


Figure 8.17 - Matériau de base, diagramme déformations-contraintes type

- $nb_sections$: nombre de sections de calcul, régulièrement espacées, à prendre en compte pour intégrer la non linéarité matérielle le long de chacun des éléments constitués des matériaux sélectionnés (origines et extrémités comprises) ; cette valeur doit être impaire et au moins égale à 3 (valeur par défaut).

Les rigidités en flexion des sections, des éléments sélectionnés implicitement via leurs matériaux constitutifs, sont calculées par découpage selon leurs axes principaux d'inertie G_y et G_z , en trapèzes « initiaux », eux-mêmes subdivisés en trapèzes « élémentaires » de même hauteur, correspondant à un pas de discrétisation.

- py , pz , nbp_y , nbp_z : pas de discrétisation effectifs (0.05 par défaut) et nombres de trapèzes élémentaires à placer dans chaque trapèze initial, selon les axes G_y et G_z des sections.

Lorsque nbp_y , ni nbp_z ne sont fournis, chaque trapèze initial de hauteur hy ou hz , selon l'axe considéré, est découpé selon un nombre de lignes intermédiaires impair, appartenant à l'intervalle $[3, 21]$, et le plus proche de hy/py ou hz/pz . Lorsqu'une seule de ces valeurs est fournie, l'autre est fixée à 1. Lorsqu'au moins une de ces valeurs est fournie, la hauteur de chaque trapèze élémentaire est choisie égale à $\min(py, hy/nbp_y)$ ou $\min(pz, hz/nbp_z)$.

Certains paramètres, tels f_{c_j} , se déduisent du module d'Young courant. Pour un module non vieillissant, celui-ci est égal au module $para_supp_1$ de la commande MATERIAU. Pour un module vieillissant, le module d'Young courant est déduit de $para_supp_1$ en fonction de la date courante et de la date de coulage.

Le tableau ci-dessous indique quels sont les paramètres à fournir, en fonction du type et du sous-type de loi de comportement choisis.

n°	Type	Sous-type	Description	Paramètres
01	LINEAIRE	PARFAIT	loi de comportement linéaire parfait sans limite de rupture	Aucun
02	LINEAIRE	FRAGILE	loi de comportement linéaire fragile avec limite de rupture	σ_0, σ_t
03	BILINEAIRE	PARFAIT	loi de comportement bilinéaire parfait avec palier plastique et sans limite de rupture	σ_0, σ_t
04	BILINEAIRE	FRAGILE	loi de comportement bilinéaire fragile avec palier plastique	$\sigma_0, \varepsilon_u, \sigma_u, \sigma_t, \varepsilon_{tu}, \sigma_{tu}$
05	BPEL	SARGIN	loi du BPEL de type Sargin	$\varepsilon_u [, af_ \varepsilon] [, af_ \sigma]$
06	BPEL	PARABOLE	loi du BPEL de type parabole-rectangle	$\varepsilon_u [, af_ \varepsilon] [, af_ \sigma]$
07	BPHP	SARGIN	loi du BPEL de type Sargin, selon l'annexe 14 consacrée aux bétons HP	$\varepsilon_u [, af_ \varepsilon] [, af_ \sigma]$
08	BPHP	PARABOLE	loi du BPEL de type parabole-rectangle, selon l'annexe 14 consacrée aux bétons HP	$\varepsilon_u [, af_ \varepsilon] [, af_ \sigma]$
09	EC02	SARGIN	loi de l'Eurocode 2 de type Sargin dans laquelle $af_ \varepsilon$ s'applique en dénominateur au module d'Young tangent à l'origine : $E_c = 1.05E_{cm}/af_ \varepsilon$. E_{cm} est le module d'Young courant.	$\varepsilon_0, \varepsilon_u, \sigma_t [, af_ \varepsilon] [, af_ \sigma]$
10	EC02	PARABOLE	loi de la version ENV de l'Eurocode 2 de type parabole-rectangle. Cette loi est donc obsolète.	$\varepsilon_u, \sigma_t [, af_ \sigma]$
11	EC08	BETON	Loi de béton confiné définie dans l'annexe E de l'EC8 : EN 1998-2:2006.	$\sigma_0, \varepsilon_0, \varepsilon_u$
12	PARABOLE	SIMPLE	Loi parabolique simple. Le module à l'origine est le module d'Young courant.	$\sigma_0, \varepsilon_u, \sigma_t$
13	S_BRANCHE	SIMPLE	Loi de Sargin avec une branche pendante linéaire bornée par ε_u, σ_u .	$\varepsilon_0, \varepsilon_u, \sigma_u, \sigma_t, k_1, k_2$
14	SARGIN	SIMPLE	Loi de Sargin générale avec une branche pendante non linéaire.	$\varepsilon_0, \varepsilon_u, \sigma_t, k_1, k_2$
15	ACIER	BILINEAIRE	loi de comportement d'un acier bilinéaire	$\sigma_0, \varepsilon_u, \sigma_u$
16	ACIER	BA83	loi de comportement d'un acier conforme au BAEL 83	σ_0, σ_u

Tableau 8.1 - Matériau de base, lois de comportement élastoplastique

ATTENTION : Toutes ces lois utilisent le module d'Young para_supp_1 défini dans les commandes MATERIAU sélectionnés par part_matériaux .

Fonctions

Cette commande permet d'adjoindre, à la définition d'un groupe de matériaux de base, les paramètres décrivant leur comportement élastoplastique.

Conditions d'emploi

- En l'absence de commande de ce type, tous les matériaux de base sont supposés avoir un comportement linéaire parfait.
- Cette commande optionnelle doit être introduite en mode CALCUL NON LINÉAIRE, avant toute commande de construction, et à raison d'un exemplaire par groupe de matériaux de base dont on désire prendre en compte le comportement élastoplastique.
- Il est interdit de redéfinir les caractéristiques élastoplastiques d'un matériau.

Conseils méthodologiques

- Lorsque la « hauteur » d'une section est « faible » dans une direction donnée, la valeur du pas de discrétisation fixée par défaut étant excessive, il faut la redéfinir en prenant comme ordre de grandeur 1/20 de la hauteur considérée.
- Dans une poutre dont les matériaux sont déclarés non-linéaires, on veillera à définir pour les éléments de transition entre deux sections de type différent ou de topologie différente un matériau élastique. Il faut donc ajouter dans le fichier de géométrie un matériau identique à celui des éléments adjacents, mais dont le nom ne possède pas la même particule que le matériau qui sera déclaré non-linéaire. Ce matériau linéaire doit être affecté aux éléments de transition dans le fichier de géométrie.

Exemples

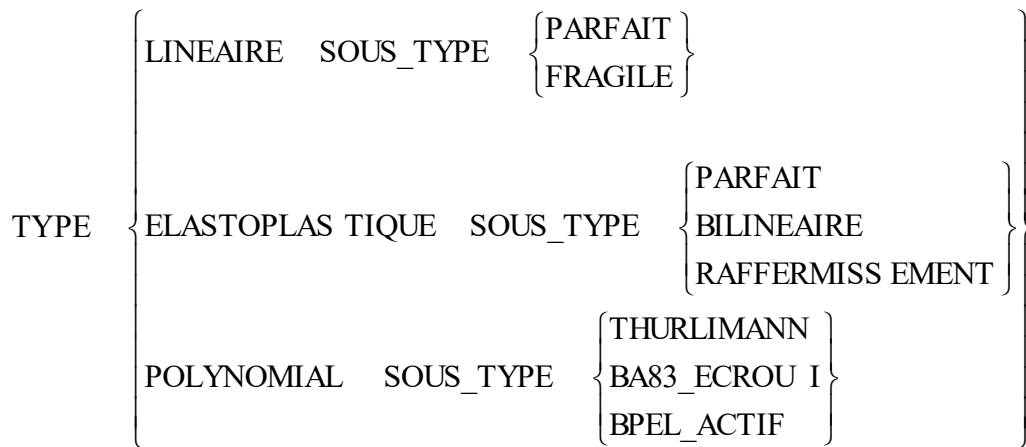
```
CALCUL  NONLINEAIRE
.....
$ pour les éléments constitués des matériaux dont les noms contiennent
$ la particule P1 et ont une loi de comportement élastoplastique conforme
$ au BPEL et de type parabole-rectangle, le nombre de sections de calcul
$ est fixé à 3 par défaut, les pas de discrétisation des sections sont
$ fixes à 0.05 par défaut dans les directions Gy et Gz et les coefficients
$ d'affinité sont fixes à 1.0 par défaut pour les axes epsilon et sigma
$ des diagrammes déformations-contraintes
MATERIAUX  ELASTOPLASTIQUES  P1
  TYPE  BPEL  SOUS_TYPE  PARABOLE
  EPSU  0.0035
$ pour ce groupe d'éléments analogues, le nombre de sections de calcul et
$ les pas de discrétisation sont définis explicitement
MATERIAUX  ELASTOPLASTIQUES  P2
  TYPE  BPEL  SOUS_TYPE  PARABOLE
  EPSU  0.0035
  SECTIONS  7
  PASY  0.01    PASZ  0.01
.....
```

Commandes liées

```
UNITES ; CALCUL NONLINEAIRE
```

8.11 – ACIERS ELASTOPLASTIQUES

ACIERS ELASTOPLASTIQUES part_aciers



[SIGL σ_1] [SIGE σ_e] [EPSU ϵ_u] [SIGU σ_u]
 [EPS1 ϵ_1] [EPS2 ϵ_2] [AMOD af_module]

Paramètres

- part_aciers : particule de sélection (assimilable à un nom) ; tous les aciers-types définis par des commandes CARACTERISTIQUES CABLES du module GE1 (voir chapitre 3), représentatifs d'un groupe d'aciers passifs ou actifs et dont les noms contiennent cette particule sont concernés ;
- σ_1 : contrainte en fin de partie linéaire du diagramme représentant leur loi de comportement $\sigma(\epsilon)$ (figures 8.18 et 8.19) ;
- σ_e : limite élastique conventionnelle ;
- ϵ_u, σ_u : déformation ultime, ou à la rupture et contrainte de rupture ;
- ϵ_1, ϵ_2 : déformation ultime de premier palier et déformation initiale de deuxième palier, du diagramme considéré avec raffermissement ;
- af_module : coefficient d'affinité à appliquer au diagramme déformations-contraintes, selon l'axe tangent à son origine ; il doit être positif et au plus égal à 1.0 (valeur par défaut).

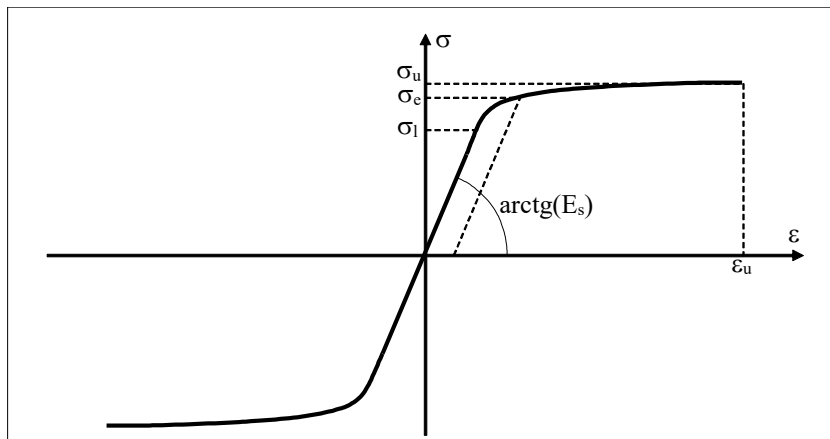


Figure 8.18 - Aciers, diagramme déformations-contraintes type

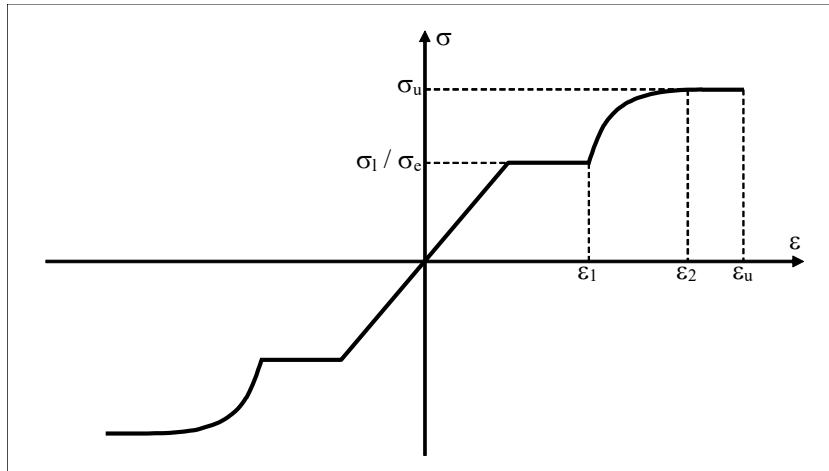


Figure 8.19 - Aciers, diagramme déformations-contraintes avec raffermissement

Le tableau ci-dessous indique quels sont les paramètres à fournir, en fonction du type et du sous-type de loi de comportement choisis.

n°	Type	Sous-type	Description	Paramètres
01	LINEAIRE	PARFAIT	loi de comportement linéaire parfait sans limite de rupture	aucun
02	LINEAIRE	FRAGILE	loi de comportement linéaire fragile avec limite de rupture	σ_1 [, af_module]
03	ELASTOPLASTIQUE	PARFAIT	loi de comportement parfait avec palier plastique	σ_1, ϵ_u [, af_module]
04	ELASTOPLASTIQUE	BILINEAIRE	loi de comportement bilinéaire avec zone plastique linéaire quelconque	$\sigma_1, \epsilon_u, \sigma_u$ [, af_module]
05	ELASTOPLASTIQUE	RAFFERMISSEMENT	loi de comportement des aciers naturels	$\sigma_1, \epsilon_u, \sigma_u, \epsilon_1, \epsilon_2$ [, af_module]
06	POLYNOMIAL	THURLIMANN	loi de Thürlimann (forme simplifiée de la loi 7)	$\sigma_1, \epsilon_u, \sigma_u$ [, af_module]
07	POLYNOMIAL	BA83_ECROUI	loi de comportement d'un acier écroui conforme au BAEL 83	$\sigma_1, \sigma_e, \sigma_u$ [, af_module]
08	POLYNOMIAL	BPEL_ACTIF	loi de comportement d'un acier actif conforme au BPEL	$\sigma_1, \sigma_e, \sigma_u$ [, af_module]

Tableau 8.2 - Aciers, lois de comportement élastoplastique

Fonctions

Cette commande permet d'ajouter, à la définition d'un groupe d'aciers-types, les paramètres décrivant leur comportement élastoplastique.

Conditions d'emploi

- En l'absence de commande de ce type, tous les aciers-types sont supposés avoir un comportement linéaire parfait.
- Cette commande optionnelle doit être introduite en mode CALCUL NON LINÉAIRE, avant toute commande de construction, et à raison d'un exemplaire par groupe d'aciers-types dont on désire prendre en compte le comportement élastoplastique.
- Il est interdit de redéfinir les caractéristiques élastoplastiques d'un acier-type.

Exemples

```

CALCUL  NONLINEAIRE
.....
$ caracteristiques elastoplastiques des aciers passifs de la poutre 1
$ (identifiée par la particule P1), conformes au BAEL 83 (aciers ecrouis)
$ le coefficient d'affinite parallele a la tangente a l'origine vaut 1.0
$ par default
ACIERS  ELASTOPLASTIQUES  P1
TYPE  POLYNOMIAL  SOUS_TYPE  BA83_ECROUI
SIGL  (0.7*48930.0)
SIGE  48930.0
SIGU  57230.0
$ memes caracteristiques pour la poutre 2 (particule P2)
ACIERS  ELASTOPLASTIQUES  P2
TYPE  POLYNOMIAL  SOUS_TYPE  BA83_ECROUI
SIGL  (0.7*48930.0)
SIGE  48930.0
SIGU  57230.0
.....

```

Commandes liées

```

UNITES ; CALCUL NONLINEAIRE

```

8.12 - TITRE

TITRE titre_page

Paramètres

- titre_page : titre qui sera reproduit en tête de chaque page des résultats du module PH3, en dehors de l'écho des commandes (chaîne de caractères).

Fonctions

Tant qu'il n'a pas rencontré de commande TITRE, le module PH3 choisit l'intitulé principal du modèle comme titre de page (première commande TITRE du module PH1). Cette commande redéfinit le titre de page courant, qui restera en vigueur tant qu'une autre commande TITRE ne l'aura pas remplacé.

Conditions d'emploi

- Cette commande optionnelle peut être introduite plusieurs fois, pour identifier des étapes principales de construction ou des groupes de commandes.
- Le titre de page courant est également utilisé pour identifier une structure sauvegardée par la commande SAUVER, ou un état enregistré par la commande ETAT.

Exemples

```
PHASES DE CONSTRUCTION
$ etape preliminaire de la simulation, pour le groupe de commandes 1
$ le titre de page est le titre principal du modele (option par default)
$ groupe de commandes 1
$ mise a jour du titre de page pour le groupe de commandes 2
TITRE '*** VIADUC D'ACCES B, CONSTRUCTION DU FLEAU 1 ***'
$ groupe de commandes 2
.....
$ mise a jour du titre de page avant enregistrement d'un ETAT
TITRE 'ETAT PROBABLE EN FIN DE CONSTRUCTION DU FLEAU 1'
ETAT 101
$ mise a jour du titre de page pour le groupe de commandes 3
TITRE '*** VIADUC D'ACCES B, CONSTRUCTION DU FLEAU 2 ***'
$ groupe de commandes 3
.....
$ mise a jour du titre de page avant enregistrement d'un ETAT
TITRE 'ETAT PROBABLE EN FIN DE CONSTRUCTION DU FLEAU 2'
ETAT 102
$ mise a jour du titre de page pour le groupe de commandes 4
TITRE '*** VIADUC D'ACCES B, COULAGE DES PARTIES SUR CINTRE, CLAVAGE ***'
$ groupe de commandes 4
.....
$ mise a jour du titre de page avant sauvegarde d'une structure
TITRE 'ETAT PROBABLE EN FIN DE CONSTRUCTION'
SAUVER FINCONST
FIN
```

Commandes liées

EDITER / NONEDITER ; SAUVER ; ETAT ; IMPRIMER EXTREMAS;
IMPRIMER TENSIONS

8.13 - CHAINETTES

CHAINETTES [SIMPLIFIEES] [ITERATION nb_max_iter] nb_chainettes

$\langle \text{no_element } W \rangle_{\text{nb_chainettes}}$

Paramètres

- nb_max_iter : nombre maximum d'itération du processus d'équilibre
- nb_chainettes : nombre total d'éléments bi-articulés, déclarés de type « chaîne » ou « hauban », positif ;
- no_element, W : numéro d'un élément et poids au mètre linéaire correspondant, qui comprend celui de la partie résistante, et celui d'une enveloppe protectrice éventuelle.

Fonctions

Cette commande complète la définition des éléments bi-articulés, qui doivent être pris en compte comme des chaînes ; deux possibilités s'offrent pour les modéliser :

- en mode « calcul chaînes », il est tenu compte de leur comportement en chaîne et de leur module d'Young réel ; c'est le mode choisi par défaut ;
- en mode « chaînes simplifiées », ils se comportent comme des éléments bi-articulés dont le poids propre est déduit des valeurs attribuées au paramètre W.

Mode calcul chaînes

Sous ce mode, le comportement exact d'un hauban est simulé par un processus itératif qui converge lorsque l'ensemble de la structure est en équilibre ; les efforts à ses extrémités sont calculés d'après :

- sa section, son module d'Young réel et son poids au mètre linéaire ;
- la position exacte de ses extrémités ;
- sa longueur à vide ou la tension à l'une de ses extrémités.

La dilatation thermique d'un élément relevant de ce mode de calcul (chargement explicite) est appliquée en corrigeant sa longueur à vide.

Mode chaînes simplifiées

Sous ce mode le poids propre de l'élément bi-articulé qui modélise un hauban est appliqué pour moitié en chacune de ses extrémités, lors de sa mise en tension.

Conditions d'emploi

- Avant l'utilisation de cette commande, il faut définir des éléments bi-articulés via la commande SECTION TYPE du module PH1 (Chapitre 6), en fixant tous les paramètres nuls sauf la surface de la section type et le rapport surface/périmètre (critère de reconnaissance d'un élément bi-articulé).
- Une seule commande de ce type, placée avant toute commande de construction, doit être utilisée pour décrire tous les éléments de type chaîne ; elle peut s'appliquer à un sous-ensemble des éléments bi-articulés.

- Les éléments bi-articulés non déclarés de type chaînette conservent leur rigidité (en traction ou compression).
- L'option SIMPLIFIEES est interdite en mode CALCUL NON LINÉAIRE.

Conseils méthodologiques

- Un hauban très court et non susceptible de se détendre peut être omis dans la liste des chaînettes.
- Un hauban de grande longueur doit normalement être considéré comme ayant un comportement de chaînette ; toutefois, en première approximation, il peut être supposé avoir un comportement simplifié.

Exemples

```
CHAINETTES      8
205 0.060      210 0.060      215 0.060      220 0.060
305 0.060      310 0.060      315 0.060      320 0.060
```

```
CHAINETTES      SIMPLIFIEES      8
205 0.060      210 0.060      215 0.060      220 0.060
305 0.060      310 0.060      315 0.060      320 0.060
```

Commandes liées

UNITES ; EDITER / NONEDITER ; ACTIVER ELEMENTS ; TENDRE ELEMENTS
CAS DE CHARGE ; CHARGEMENT [IDENTIQUE] NOEUDS / EXTREMITES

8.14 – DEFINIR STRUCTURE POUSSEE

DEFINIR STRUCTURE POUSSEE nom_strpou nb_pou_ele

$$\left[\begin{array}{l} \text{TRANSLATION } \left[\begin{array}{l} + \\ - \end{array} \right] \text{element}_1 \quad \left[\begin{array}{l} + \\ - \end{array} \right] \text{element}_2 \\ \text{ROTATION } x_axe \quad y_axe \quad z_axe \quad \theta_1 \quad \theta_2 \quad \theta_3 \quad \delta_0 \\ \text{EMBOITEMEN T} \end{array} \right]$$

$$* \left[\begin{array}{l} \text{[POUTRES } \quad \text{nb_poutres} \\ \langle \text{no_poutre} \rangle_{\text{nb_poutres}}] \\ \text{[ELEMENTS } \quad \text{nb_elements} \\ \langle \text{no_element} \rangle_{\text{nb_elements}}] \end{array} \right]$$

Paramètres

Les sauts de lignes reproduits ci-dessus, dans la liste de poutres et éléments, sont obligatoires.

- nom_strpou : nom attribué à la structure poussée ;
- nb_pou_ele : nombre total de poutres et d'éléments constituant la structure poussée, positif ;
- element_1, element_2 : numéro de deux éléments appartenant à la structure poussée, dont les extrémités désignées portent la droite indiquant la direction de la translation, si la structure est poussée par TRANSLATION ; le signe *moins* désigne les origines des éléments, l'absence de signe ou le signe *plus* désigne leurs extrémités ; les deux termes doivent être de même signe ; la translation s'effectue dans le sens element_1 => element_2 ;
- x_ave, y_ave, z_ave : coordonnées en repère global d'un point quelconque de l'axe de rotation, si la structure est poussée par ROTATION ;
- $\theta_1, \theta_2, \theta_3$: triple rotation normalisée (voir figure 1.2) orientant un repère local dont l'axe z est parallèle à l'axe de rotation, par rapport au repère global (angles nuls lorsque ces repères sont confondus) ;
- δ_0 : angle de rotation de la structure poussée, lorsqu'elle se déplace d'un élément dans le sens positif de poussage (voir commande POUSSER [AUTOMATIQUEMENT] STRUCTURES) ;
- nb_poutres : nombre de poutres appartenant à la structure poussée, positif, si l'option POUTRES est utilisée ;
- no_poutre : numéro d'une poutre ;
- nb_elements : nombre d'éléments appartenant à la structure poussée, positif, si l'option ELEMENTS est utilisée ;
- no_element : numéro d'un élément ; les incidences sont désignées par les numéros des éléments qui les occupent lors de la constitution du modèle (incidences initiales).

La structure poussée peut être constituée exclusivement de poutres ou d'éléments.

Fonctions

Un « chemin de poussage » est défini comme une série d'éléments se remplaçant les uns par les autres lors de leur poussage.

Cette commande définit une structure poussée, relative à un chemin de poussage, qui pourra être invoquée ultérieurement par la commande `POUSSER [AUTOMATIQUEMENT] STRUCTURES`.

Une structure poussée est une liste ordonnée de numéros d'éléments constituant, lors d'un poussage, l'ensemble enveloppe des incidences de cheminement et/ou initiales d'une suite d'éléments, associée à un type de poussage.

Le type de poussage est défini par les options `TRANSLATION`, `ROTATION` ou `EMBOÏTEMENT` :

- le poussage `DROIT` (option par défaut) s'applique aux structures dont les fibres moyennes rectilignes constituent les chemins de poussage ;
- le poussage par `TRANSLATION` s'applique aux structures à fibres moyennes non rectilignes poussées sur des chemins rectilignes ;
- le poussage par `ROTATION` s'applique aux structures à fibres moyennes circulaires, et/ou poussées sur des chemins circulaires ;
- le poussage par `EMBOÏTEMENT` s'applique aux structures à fibres moyennes hélicoïdales, et/ou poussées sur des chemins hélicoïdaux.

La liste des poutres et/ou éléments doit être construite selon les règles suivantes :

- toutes les incidences parcourues lors du poussage doivent y figurer, notamment celles de la zone de préfabrication ;
- les incidences initiales des éléments poussés doivent être introduites, même si elles ne sont pas parcourues ; c'est le cas des incidences d'un avant-bec ;
- l'ordre d'introduction des numéros d'éléments dans la liste doit être tel que lors d'un poussage de un élément dans le sens positif, l'élément situé sur l'incidence de rang i viendra occuper l'incidence de rang $i+1$, quel que soit i ;
- si le sens de parcours interne de certaines poutres n'est pas conforme à l'ordre d'introduction de leurs éléments dans la liste, les incidences correspondantes doivent être décrites comme des éléments.

Conditions d'emploi

- Le modèle mécanique général doit respecter les contraintes imposées pour la modélisation des structures poussées (voir annexe D).
- Cette commande optionnelle doit être introduite avant la première commande `POUSSER [AUTOMATIQUEMENT] STRUCTURES` qui l'utilise.
- Cette commande ne peut être introduite en mode `CALCUL NON LINÉAIRE`, ni en mode `CONCORDANCE SUSPENDUE`.
- Le nombre total de structures poussées est limité à 10.
- Un nom de structure poussée déjà utilisé ne peut être réutilisé.
- Un élément ne peut appartenir à des structures poussées différentes.
- Les contrôles d'ordre géométrique s'effectuent avec une tolérance fixée à 0.01 m.

Conseils méthodologiques

- Voir annexe D, modélisation des structures poussées et simulation du poussage.

Exemples

```
$ structure poussee a fibre moyenne rectiligne formee d'une poutre
$ comprenant sa zone de prefabrication, et d'un avant-bec de neuf elements
$ type de poussage (non specifie) droit par default
DEFINIR STRUCTURE POUSSEE TABPOU 10
POUTRE 1
101
ELEMENTS 9
251 A 259
```

```
$ structure poussee analogue a la precedente, a fibre moyenne helicoidale
$ type de poussage specifie par emboitement
DEFINIR STRUCTURE POUSSEE TABPOU 10
EMBOITEMENT
POUTRE 1
101
ELEMENTS 9
251 A 259
```

```
$ poutre a fibre moyenne non rectiligne, reliee a une ligne de poussage
$ rectiligne par des elements transversaux rigides (figure D.x)
$ deux structures poussees a definir car il y a deux chemins de poussage
$ type de poussage specifie par translation ; direction et sens
$ indiquees par les noeuds de fin de deux elements homologues
$ -----
```

```
$ structure superieure comportant les elements longitudinaux :
$ tablier (zone de prefabrication incluse) et avant-bec
DEFINIR STRUCTURE POUSSEE TABPOU 10
TRANSLATION 1 201
POUTRE 1
101
ELEMENTS 9
251 A 259
```

```
$ structure inferieure comportant les elements transversaux de liaison
DEFINIR STRUCTURE POUSSEE LIAISONS 260
TRANSLATION 210 410
ELEMENTS 260
210 A 469
```

```
$ structure analogue a la precedente, ligne d'appuis sur un cercle
$ d'axe vertical passant par le point [100.0, -100.0, 0.0], angles de
$ positionnement du repere local dont z est l'axe de rotation nuls
$ rotation elementaire de un degre dans le sens negatif
$ remplacer dans l'exemple ci-dessus (deux occurrences) :
$ TRANSLATION ...
$ par ROTATION 100.0 -100.0 0.0 0.0 0.0 0.0 -1.0
```

Commandes liées

CALCUL NONLINEAIRE ; SUSPENDRE / CONTINUER CONCORDANCE

PLACER ELEMENTS ; POUSSER [AUTOMATIQUEMENT] STRUCTURES

8.15 – EMPATTEMENT EQUIPAGES

EMPATTEMENT EQUIPAGES nb_max_elements

Paramètres

- nb_max_elements : nombre d'éléments déterminant l'empatement maximum des équipages mobiles à placer ou déplacer, supérieur ou égal à 1.

Fonctions

Cette commande définit l'empatement maximum de tous les équipages mobiles utilisés à sa suite ; il restera en vigueur tant qu'une nouvelle commande de ce type ne l'aura pas redéfini.

L'empatement d'un équipage mobile est le nombre d'éléments délimitant l'emprise longitudinale de sa zone d'action en arrière et en avant de son élément courant de positionnement (figures 6.2, 8.20 et 8.23). L'équipage mobile ne peut prendre appui en dehors de cette zone ni soutenir des éléments extérieurs à cette zone.

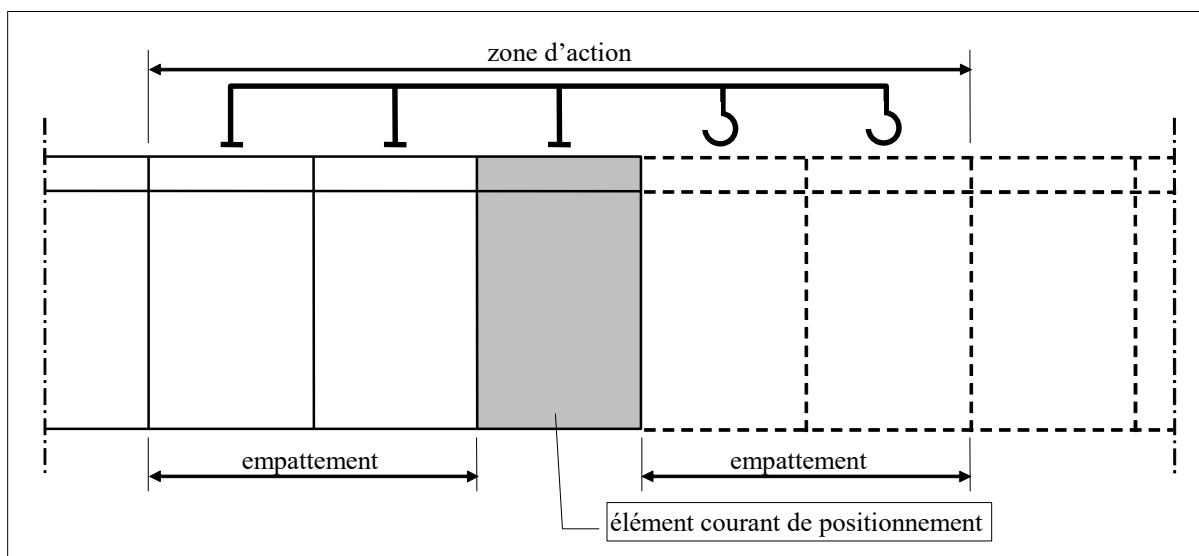


Figure 8.20 - Équipage mobile ayant un empatement de deux éléments

Le fait de fixer l'empatement maximum permet de :

- délimiter les zones de recherche, attachées aux éléments supportant les équipages mobiles, durant leur mise en place ou leur déplacement, et vérifier que tous leurs appuis se situent à l'intérieur de ces zones ;
- vérifier que tous les éléments suspendus à des équipages mobiles sont situés dans leurs zones d'action.

Conditions d'emploi

- Tant que l'empatement maximum n'a pas été défini, il est fixé par défaut à 1.
- Si l'empatement maximum est supérieur à 1, cette commande doit être introduite avant la première commande PLACER EQUIPAGES qui l'utilise.

Exemples

```
$ premier groupe de commandes utilisant un empattement maximum
$ fixe par défaut a un element
PLACER EQUIPAGES ...
.....
PLACER ELEMENTS COULES SUSPENDUS ...
.....
$ empattement maximum redefini a deux elements
EMPATTEMENT EQUIPAGES 2
$ suite de la construction
.....
```

Commandes liées

PLACER EQUIPAGES ; DEPLACER EQUIPAGES ; PLACER ELEMENTS

8.16 – PERTES PRECONTRAINTE

PERTES PRECONTRAINTE $\left\{ \begin{array}{l} \text{IP2} \\ \text{BPEL} \\ \text{EC2} \end{array} \right\}$

Fonctions

Cette commande désigne définitivement le règlement de référence (IP2, option IP2, BPEL, option BPEL ou EC2, option EC2), pour :

- le calcul des pertes de tension dans les câbles dues au fluage et au retrait du béton et à la relaxation des aciers, en mode CALCUL FORFAITAIRE selon l'IP2 et le BPEL seulement (La loi forfaitaire de l'EC2 n'est pas codée) ;
- la loi de relaxation pure des aciers de précontrainte, en mode CALCUL RHÉOLOGIQUE FIN selon les trois options.

Conditions d'emploi

- Cette commande est obligatoire s'il est tenu compte des comportements visco-élastiques du béton et des aciers ; elle doit être placée, en un seul exemplaire, avant :
 - la commande AFFECTER CONTRAINTES (si le module PH3 travaille en mode CALCUL FORFAITAIRE) ;
 - la première commande DATE (si le module PH3 travaille en mode CALCUL RHÉOLOGIQUE FIN).

Exemples

```
PHASES $ travail en mode CALCUL FORFAITAIRE
$ pertes de tension dans les cables dues au fluage et au retrait du beton
$ et a la relaxation des aciers calculees selon le BPEL
PERTES PRECONTRAINTE BPEL
$ autres commandes de prises d'options
$ debut de la construction
AFFECTER CONTRAINTES UNIQUES 600.0
.....
FIN
```

```
PHASES $ travail en mode calcul RHEOLOGIQUE FIN
$ loi de relaxation pure des aciers de precontrainte
$ fixee par le BPEL
PERTES PRECONTRAINTE BPEL
$ autres commandes de prises d'options
$ debut de la construction
DATE 0
.....
FIN
```

Commandes liées

AFFECTER CONTRAINTES ; DATE

8.17 – OPTIMISER NUMEROTATION

OPTIMISER NUMEROTATION $\left\{ \begin{array}{l} \left\{ \begin{array}{l} \text{MAFF} \\ \text{MAFC} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \text{DEGRE_MINIMUM} \\ \text{PSEUDO_PERIPHERIQUE} \\ \text{IMPOSE} \quad \text{no_noeud} \end{array} \right\} \\ \text{IDENTIQUEMENT} \\ \text{REPRISE_PRECEDENTE} \end{array} \right\}$

Paramètres

- no_noeud : numéro du nœud de départ de la renumérotation, s'il est imposé.

Fonctions

Cette commande détermine définitivement le mode de renumérotation *interne* des nœuds du modèle ; cette renumérotation est importante car elle conditionne la taille de la matrice de rigidité générale et, par conséquent, la vitesse d'exécution de la plupart des calculs.

Le *voisinage* d'un nœud est défini comme l'ensemble des nœuds qui lui sont reliés par des éléments (nœuds adjacents). Le *front* est l'union des voisinages des nœuds renumérotés, déduction faite de l'ensemble des nœuds renumérotés ; la largeur du front est son nombre de nœuds.

Les différentes options de renumérotation sont les suivantes :

- MAFF : indique qu'on utilise la méthode de minimisation de l'accroissement de la largeur du front, avec recherche des nœuds dans le front ; cette méthode donne en général très rapidement une « bonne » renumérotation ;
- MAFC : indique qu'on utilise la méthode de minimisation de l'accroissement de la largeur du front, avec recherche des nœuds parmi ceux qui ne sont pas renumérotés ; cette méthode donne une « très bonne » renumérotation mais doit être réservée aux structures complexes et critiques en termes de temps de calcul ;
- IDENTIQUEMENT : indique que la numérotation imposée par le module PH1 lors de la constitution du modèle reste inchangée ; il s'agit d'un ordre de rangement non maîtrisable par des données.
- REPRISE_PRECEDENTE : la numérotation issue du phasage précédent est conservée même après passage du module PH1 sous réserve que le nombre de nœuds du modèle soit conservé.

Avec les options MAFF et MAFC, il faut désigner un nœud de départ, servant à enclencher le processus d'optimisation, à l'aide d'une des options complémentaires suivantes :

- DEGRE_MINIMUM : indique que le nœud de départ est le premier nœud rencontré ayant le minimum de nœuds adjacents ;
- PSEUDO_PERIPHERIQUE : indique que le nœud de départ est un nœud « pseudo-périphérique », c'est-à-dire un nœud extrême topologiquement ;
- IMPOSE : indique le nœud de départ est désigné explicitement par son numéro.

Conditions d'emploi

- En l'absence de cette commande optionnelle, le module PH3 optimise la renumérotation interne des nœuds en utilisant les options par défaut : MAFF DEGRE_MINIMUM.
- Si cette commande est fournie, elle doit figurer, en un seul exemplaire, avant toute commande de construction.
- Lorsque le modèle n'est pas connexe, les algorithmes de renumérotation ne fonctionnent plus et l'utilisation d'une commande OPTIMISER NUMEROTATION IDENTIQUEMENT est obligatoire.
- Les résultats de la renumérotation ne seront visibles que si l'option CARTOUCHES de la commande EDITER est préalablement activée.
- L'option REPRISE_PRECEDENTE est utile lorsque l'utilisateur ne modifie dans le module PH1 que les caractéristiques des sections et garde la même forme de structure. Cela permet alors de supprimer la renumérotation à l'identique des nœuds lorsqu'elle est coûteuse en temps de calcul.

Conseils méthodologiques

- L'utilisation de cette commande doit être réservée à des structures et des phasages de construction complexes, car l'option par défaut est optimale dans la plupart des cas.
- Les options MAFF PSEUDO_PERIPHERIQUE donnent un meilleur résultat que les options par défaut, mais au prix d'un temps de calcul plus élevé.
- L'imposition du nœud de départ ne doit être utilisée que très rarement.
- L'option REPRISE_PRECEDENTE doit être utilisée exclusivement pour les cas prévus ci-dessus.

Exemples

```
PHASES
.....
$ optimiser la renumerotation interne des noeuds selon la methode de
$ minimisation de l'accroissement de la largeur du front
$ recherche des noeuds parmi ceux qui ne sont pas renumerotes
$ noeud de depart pseudo-peripherique
OPTIMISER NUMEROTATION MAFC PSEUDO_PERIPHERIQUE
.....
$ debut de la construction
DATE 0
.....
```

```
PHASES
.....
$ ne pas renumeroter les noeuds et conserver leur ordre de rangement lors
$ de la definition du modele par le module PH1, comme numerotation interne
OPTIMISER NUMEROTATION IDENTIQUEMENT
.....
$ debut de la construction
DATE 0
.....
```

Commandes liées

VERIFIER ; EDITER / NONEDITER

8.18 – CALCULER CONTRAINTES

CALCULER CONTRAINTES

Fonctions

Par défaut, le module PH3 ne calcule pas les contraintes normales et tangentés dans les sections des poutres, aux points spécifiés lors de leur définition.

Cette commande provoque le basculement irréversible en mode CALCUL CONTRAINTES, pour lequel le module PH3 calcule, lorsqu'un chargement est appliqué, les variations de contraintes et le nouvel état de contraintes, dans les éléments de poutres activés.

Conditions d'emploi

- Si cette commande optionnelle est fournie, elle doit figurer, en un seul exemplaire, avant toute commande de construction.
- Cette commande doit figurer avant les éventuelles commandes CALCULER EXTREMAS CONTRAINTES et EDITER ... CONTRAINTES.

Exemples

```
PHASES
.....
CALCULER CONTRAINTES
CALCULER EXTREMAS CONTRAINTES ...
.....
EDITER ... CONTRAINTES ...
.....
$ debut de la construction
DATE 0
.....
.....
FIN
```

Commandes liées

CALCULER EXTREMAS ; ENREGISTRER ; EDITER / NONEDITER

8.19 – CALCULER EXTREMAS

CALCULER EXTREMAS *etudes*

COMPOSANTE no_cpp [CONCOMITANTE ⟨no_cpc⟩_{nb_cpc}]

Dans ce libellé, remplacer *etudes* par :

}	REACTIONS	}
	DEPLACEMENTS	
	EFFORTS {ELEMENTS}	
	{SECTIONS}	
}	CONTRAINTES {NORMALES}	}
	{TANGENTES}	

Paramètres

- no_cpp, no_cpc : numéro d'une composante d'étude principale, et d'une composante concomitante associée ;

Les différents types de résultats utilisables pour les calculs de valeurs extrêmes, leurs composantes numérotées et les abréviations qui leur correspondent, sont décrits dans le tableau 1.1.

Fonctions

Cette commande indique au module PH3 de conserver, pour la suite de la construction, les valeurs extrêmes des ÉTATS de RÉACTIONS, EFFORTS ou CONTRAINTES de la structure activée, réduites à une composante d'étude principale et à une composante concomitante éventuelle.

Elle désigne également les effets et composantes d'étude (principale et concomitante éventuelle) à prendre en compte pour le calcul des états pondérés ou extrêmes (voir options EXTREMAL et PONDERE de la commande ETAT).

Conditions d'emploi

- Cette commande optionnelle dont l'effet est irréversible peut être introduite plusieurs fois, à diverses étapes de la construction.
- Tous les effets peuvent être étudiés simultanément, avec toutes leurs composantes d'étude.
- Une requête relative à un effet et une composante d'étude ne peut être répétée.
- Les extrêmes d'EFFORTS en repères SECTIONS ou de CONTRAINTES ne peuvent être demandés que si le modèle comporte au moins une poutre.
- Les extrêmes de CONTRAINTES ne peuvent être demandés que si la commande CALCULER CONTRAINTES a été introduite préalablement.

Conseils méthodologiques

- Pour un calcul de valeurs extrémales, placer les commandes CALCULER EXTREMAS avant le début de la construction.
- Pour un calcul d'états extrémaux ou pondérés, placer les commandes CALCULER EXTREMAS juste avant la première commande ETAT (EXTREMAL ou PONDERE).

Exemples

```
PHASES
.....
CALCULER CONTRAINTEs
CALCULER EXTREMAS REACTIONS COMPOSANTE 3
CALCULER EXTREMAS EFFORTS ELEMENTS COMPOSANTE 3 CONCOMITANTE 5
CALCULER EXTREMAS EFFORTS ELEMENTS COMPOSANTE 5 CONCOMITANTE 3
CALCULER EXTREMAS CONTRAINTEs NORMALEs COMPOSANTE 1
CALCULER EXTREMAS CONTRAINTEs TANGENTEs COMPOSANTE 1 CONCOMITANTE 2
.....
$ debut de la construction
DATE 0
.....
$ les etats enregistres ci-dessous prennent en compte tous les choix
$ d'effets et composantes des commandes CALCULER EXTREMAS precedentes
ETAT EXTREMAL ...
ETAT PONDERE ...
.....
```

Commandes liées

```
CALCULER CONTRAINTEs ; SUSPENDRE / CONTINUER ANALYSE
POUSSER [AUTOMATIQUEMENT] STRUCTUREs ; ETAT
IMPRIMER EXTREMAS
```

8.20 - ENREGISTRER

$$\text{ENREGISTRER} \left[\left\{ \begin{array}{l} \text{EFFACER} \\ * \left\{ \begin{array}{l} \text{DEPLACEMENTS} \\ \text{REACTIONS} \end{array} \right\} \\ \text{EFFORTS} * \left\{ \begin{array}{l} \text{ELEMENTS} \\ \text{SECTIONS} \end{array} \right\} \\ \text{CONSTRAINTES} * \left\{ \begin{array}{l} \text{NORMALES} \\ \text{TANGENTES} \end{array} \right\} \end{array} \right\} \right]$$

Fonctions

Cette commande ordonne au module PH3 d'enregistrer en base de données, pour la suite de la construction, les ÉTATS de DÉPLACEMENTS, RÉACTIONS, EFFORTS et/ou CONTRAINTES de la structure activée. Chaque commande de chargement implicite ou explicite (cumulable) déclenchera un enregistrement. Ces résultats sont destinés à être visualisés par le module RES.

Les différents types de résultats enregistrables et les abréviations qui leur correspondent, sont décrits dans le tableau 1.1.

En l'absence d'option, tous les états possibles sont enregistrés.

L'option EFFACER provoque l'effacement de tous les enregistrements demandés durant les sessions antérieures ; cet effacement est automatique lorsque les commandes ENREGISTRER sont placées avant le début de la construction.

L'enregistrement des états pourra être suspendu par la commande SUSPENDRE ENREGISTREMENT, ou rétabli par la commande CONTINUER ENREGISTREMENT, à tout moment, durant la construction.

Conditions d'emploi

- ❑ Cette commande optionnelle dont l'effet est irréversible peut être introduite plusieurs fois, à diverses étapes de la construction.
- ❑ Elle s'applique à toutes les commandes de chargement implicites ou explicites (cumulables) qui la suivent.
- ❑ Une requête relative à un effet ne peut être répétée.
- ❑ Si elle figure, la commande ENREGISTRER EFFACER doit être placée en tête du groupe de commandes ENREGISTRER.
- ❑ L'enregistrement des états d'EFFORTS en repères SECTIONS ne peut être demandé que si le modèle comporte au moins une poutre.
- ❑ L'enregistrement des états de CONTRAINTES ne peut être demandé que si la commande CALCULER CONTRAINTES a été introduite préalablement.

Exemples

Les trois groupes de commandes ci-dessous, sont équivalents, s'ils sont placés avant le début de la construction.

```
ENREGISTRER EFFACER
ENREGISTRER DEPLACEMENTS
ENREGISTRER REACTIONS
ENREGISTRER EFFORTS ELEMENTS
ENREGISTRER EFFORTS SECTIONS
ENREGISTRER CONTRAINTES NORMALES
ENREGISTRER CONTRAINTES TANGENTES
```

```
ENREGISTRER DEPLACEMENTS REACTIONS EFFORTS ELEMENTS SECTIONS
ENREGISTRER CONTRAINTES NORMALES TANGENTES
```

```
ENREGISTRER
```

Commandes liées

CALCULER CONTRAINTES ; SUSPENDRE / CONTINUER ENREGISTREMENT

8.21 - SUSPENDRE / CONTINUER CONCORDANCE

$\left. \begin{array}{l} \text{SUSPENDRE} \\ \text{CONTINUER} \end{array} \right\} \text{CONCORDANCE}$

Fonctions

Cette commande permet de suspendre, puis de rétablir, l'hypothèse de concordance entre les numéros des éléments, et leurs incidences affectées lors de la constitution du modèle.

Initialement, le module PH3 fonctionne selon l'hypothèse de la concordance. Il est nécessaire de la suspendre avant de placer des éléments en les déplaçant, lors d'un poussage (voir option DEPLACES de la commande PLACER ELEMENTS).

Conditions d'emploi

- Cette commande optionnelle peut être introduite plusieurs fois, à diverses étapes de la construction, mais elle est interdite en mode CALCUL NON LINÉAIRE.
- Puisqu'une option ne peut être répétée, les suspensions et rétablissements de concordance doivent se suivre en alternance, la première commande autorisée de ce type étant SUSPENDRE CONCORDANCE.
- En mode CONCORDANCE SUSPENDUE, l'utilisation des commandes DEFINIR STRUCTURE POUSSEE, PLACER EQUIPAGES, DEPLACER EQUIPAGES et SUPPRIMER EQUIPAGES est interdite ; l'utilisation de la commande SAUVER est permise, mais la structure sauvegardée correspondante ne pourra servir à un calcul d'enveloppes par le module ENV.

Conseils méthodologiques

- Dès que la concordance est supposée vérifiée, Il est souhaitable de la rétablir ; le module PH3 s'assure qu'elle est effectivement rétablie et que la structure a recouvré sa géométrie initiale.

Exemples

```
$ poussage d'une structure, operations preliminaires (concordance verifiee)
$ operations de poussage (concordance non verifiee)
SUSPENDRE CONCORDANCE
$ operations de fin de construction (concordance verifiee)
CONTINUER CONCORDANCE
```

Commandes liées

CALCUL NONLINEAIRE ; DEFINIR STRUCTURE POUSSEE ; SAUVER
PLACER EQUIPAGES ; DEPLACER EQUIPAGES ; SUPPRIMER EQUIPAGES
PLACER ELEMENTS ; POUSSER [AUTOMATIQUEMENT] STRUCTURES

8.22 - REPERCUTER / NONREPERCUTER DEPLACEMENTS / TRANSLATIONS

$$\left. \begin{array}{l} \text{REPERCUTER} \\ \text{NONREPERCUTER} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \text{DEPLACEMENTS} \\ \text{TRANSLATIONS} \end{array} \right\}$$

Fonctions

Cette commande fixe le mode de calcul des déplacements pour toutes les commandes de construction utilisées à sa suite ; il restera en vigueur tant qu'une nouvelle commande de ce type ne l'aura pas redéfini.

En mode DÉPLACEMENTS RÉPERCUTÉS, avec la commande ACTIVER ELEMENTS, le module PH3 répercute, sous certaines conditions, sur les extrémités libres des éléments activés, les déplacements (et rotations) des extrémités de leurs éléments adjacents. En mode TRANSLATIONS RÉPERCUTÉES, les rotations ne sont pas concernées.

En mode DÉPLACEMENTS NON RÉPERCUTÉS (option par défaut), aucune répercution n'a lieu et les déplacements (et rotations) initiaux des extrémités libres des éléments activés sont supposés nuls.

Conditions d'emploi

- Cette commande optionnelle peut être introduite plusieurs fois, à diverses étapes de la construction.
- Puisqu'une option ne peut être répétée, les changements du mode de calcul des déplacements doivent se suivre en correspondance et en alternance, la première commande autorisée de ce type étant REPERCUTER DEPLACEMENTS / TRANSLATIONS.

Conseils méthodologiques

- Le mode DÉPLACEMENTS NON RÉPERCUTÉS convient, par exemple, aux parties de structures coulées sur cintre, ou construites par encorbellements successifs, avec voussoirs coulés en place.
- Le mode DÉPLACEMENTS RÉPERCUTÉS convient, par exemple, aux parties de structures construites par encorbellements successifs, avec voussoirs préfabriqués.
- Les contre-flèches à donner s'accordent avec les déplacements, lorsque leur mode de calcul est judicieusement choisi.

Exemples

```

$ construction des fleaux a l'aide de voussoirs prefabriques
REPERCUTER  DEPLACEMENTS
.....
$ pour la mise en oeuvre a suivre des parties coulees sur cintre
NONREPERCUTER  DEPLACEMENTS

```

Commandes liées

PLACER ARTICULATIONS ; ACTIVER ELEMENTS

8.23 - SUSPENDRE / CONTINUER CUMUL

{ SUSPENDRE }
 { CONTINUER } CUMUL

Fonctions

Cette commande fixe le mode de prise en compte des effets de tous les chargements explicites appliqués à sa suite (commandes CAS DE CHARGE) ; il restera en vigueur tant qu'une nouvelle commande de ce type ne l'aura pas redéfini.

En mode CUMUL (option par défaut) les effets d'un cas de charge modifient l'état de déformation et de sollicitation de la structure active, alors qu'en mode CUMUL SUSPENDU, il reste inchangé.

Les effets des chargements induits par d'autres opérations de construction sont toujours traités en mode CUMUL.

Conditions d'emploi

- Cette commande optionnelle peut être introduite plusieurs fois, à diverses étapes de la construction.
- Puisqu'une option ne peut être répétée, les suspensions et rétablissements du cumul doivent se suivre en alternance, la première commande autorisée de ce type étant SUSPENDRE CUMUL.

Exemples

```
$ aucune commande SUSPENDRE/CONTINUER CUMUL introduite ; effets des
$ chargements implicites et explicites cumules par défaut a l'etat courant
PLACER APPUIS 1
APPL 36 6*0.0
ACTIVER ELEMENTS POIDS 4
534 A 537
CAS DE CHARGE
'POIDS PROPRE DES BOSSAGES'
CHARGEMENT IDENTIQUE NOEUDS 2
134 138
0.0 0.0 -1.0 0.0 0.0 0.0
SUSPENDRE CUMUL
$ chargement explicite dont les effets ne sont pas cumules a l'etat courant
CAS DE CHARGE
'CHARGEMENT TEMPORAIRE'
CHARGEMENT IDENTIQUE NOEUDS 2
134 138
0.0 0.0 -15.0 0.0 0.0 0.0
$ chargement implicite, toujours traite en mode CUMUL
TENDRE CABLES 2
C110G C110D
CONTINUER CUMUL
$ chargement explicite dont les effets sont cumules a l'etat courant
CAS DE CHARGE
.....
```

Commandes liées

CAS DE CHARGE

8.24 - SUSPENDRE / CONTINUER ANALYSE

{ SUSPENDRE }
{ CONTINUER } ANALYSE

Fonctions

En mode CALCUL LINÉAIRE ou CALCUL NON LINÉAIRE, cette commande suspend ou rétablit l'analyse des extrémas demandés par les commandes CALCULER EXTREMAS qui la précèdent.

En mode CALCUL NON LINÉAIRE, elle suspend ou rétablit également la recherche d'équilibre.

Par défaut, le module PH3 effectue cette analyse sous l'effet de tous les chargements implicites, et des chargements explicites introduits en mode CUMUL.

Conditions d'emploi

- Cette commande optionnelle peut être introduite plusieurs fois, à diverses étapes de la construction.
- Puisqu'une option ne peut être répétée, les suspensions et rétablissements de l'analyse doivent se suivre en alternance, la première commande autorisée de ce type étant SUSPENDRE ANALYSE.
- Le dernier chargement implicite ou explicite précédant éventuellement une commande DATE doit être analysé.
- S'il y a lieu, il faut rétablir l'analyse avant de sauvegarder une structure.

Conseils méthodologiques

- La suspension de l'analyse est nécessaire lorsqu'une phase de construction est découpée en plusieurs opérations dont les seuls effets cumulés sont représentatifs de la réalité.
- Il faut alors suspendre l'analyse, avant d'exécuter la première opération, et la rétablir avant d'exécuter la dernière.
- Ceci se produit, par exemple, lorsque le décintrement d'une travée d'ouvrage construit à l'avancement est concomitant à la mise en tension de ses câbles, alors que le cintre n'est pas introduit comme lit d'appuis.
- Ceci se produit également lorsque les voussoirs d'un ouvrage construit par encorbellements successifs sont activés avec leur poids, avant la mise en tension des câbles qui les rendent solidaires des parties de fléaux déjà construites.

Exemples

```
CALCULER EXTREMAS ...
.....
$ construction d'une paire de voussoirs ; sans cette commande, leur poids
$ propre y développerait des contraintes de traction fictives, l'activation
$ des elements et la mise en tension des cables etant concomitantes
SUSPENDRE ANALYSE
ACTIVER ELEMENTS POIDS 2
119 119
$ retablissement de l'analyse des extremas
CONTINUER ANALYSE
TENDRE CABLES 2
FL2D20 FL2G20
.....
```

Commandes liées

CALCUL NONLINEAIRE ; CALCULER EXTREMAS ; DATE ; SAUVER

8.25 - SUSPENDRE / CONTINUER ENREGISTREMENT

{ SUSPENDRE }
{ CONTINUER } ENREGISTREMENT

Fonctions

Cette commande suspend ou rétablit l'enregistrement des états désignés par les commandes ENREGISTRER qui la précèdent.

Conditions d'emploi

- Cette commande optionnelle peut être introduite plusieurs fois, à diverses étapes de la construction.
- Elle s'applique à toutes les commandes de chargement implicites et explicites (cumulables) qui la suivent.
- Elle doit être précédée d'au moins une commande ENREGISTRER.
- Puisqu'une option ne peut être répétée, les suspensions et rétablissements de l'enregistrement doivent se suivre en alternance, la première commande autorisée de ce type étant SUSPENDRE ENREGISTREMENT.

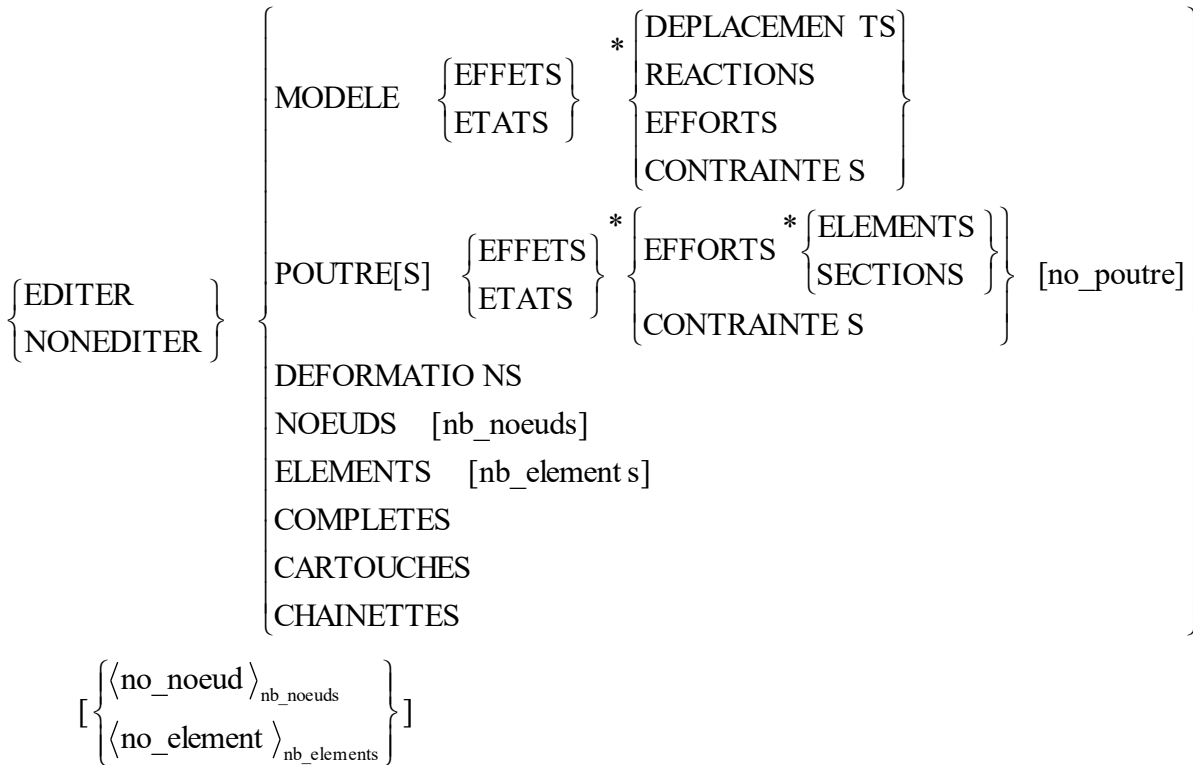
Exemples

```
PHASES
.....
$ enregistrement des contraintes normales et tangentes durant une
$ partie de la construction comprise entre les dates 256 et 402
ENREGISTRER  CONTRAINTES  NORMALES  TANGENTES
.....
DATE  0
SUSPENDRE  ENREGISTREMENT
.....
DATE  CONSTRUCTION  256
CONTINUER  ENREGISTREMENT
.....
DATE  CONSTRUCTION  402
SUSPENDRE  ENREGISTREMENT
.....
FIN
```

Commandes liées

ENREGISTRER

8.26 - EDITER / NONEDITER



Paramètres

Les paramètres ci-dessous désignent les entités pour lesquelles certains résultats doivent être édités ou non.

- no_poutre : numéro d'une poutre ;
- nb_noeuds, nb_elements : nombre de nœuds ou éléments sélectionnés, positifs (par défaut, tous les nœuds ou tous les éléments actifs sont sélectionnés) ;
- no_noeud, no_element : numéro d'un nœud ou élément.

Fonctions

Cette commande permet de construire la liste des résultats à éditer implicitement, après exécution des commandes de chargements implicites ou explicites, dite « liste des éditions ».

Par défaut, aucun résultat de ce type n'est édité et la liste des éditions est vide.

Il est possible de l'établir à l'aide d'une ou plusieurs commandes EDITER aux effets cumulatifs, puis de la restreindre à l'aide de commandes NONEDITER ciblées sur certaines parties de structure ou certains résultats ; son contenu est rémanent.

Les différents types de résultats éditables et les abréviations qui leur correspondent sont décrits dans le tableau 1.1.

Les résultats relatifs aux éléments rigides non numérotés ne sont pas éditables.

La signification des options est la suivante :

- MODELE indique que la liste des éditions s'applique à toute la structure active ;
- POUTRE[S] indique que la liste des éditions s'applique aux parties actives de toutes les poutres, si no_poutre n'est pas fourni, ou de la poutre no_poutre, sinon ;
- NOEUDES indique que la liste des déplacements et/ou réactions à éditer s'applique à une sélection de nœuds ; par défaut, tous les nœuds reliés à des éléments actifs sont concernés ;
- ELEMENTS indique que la liste des efforts et/ou contraintes et/ou déformations à éditer s'applique à une sélection d'éléments ; par défaut, tous les éléments actifs sont concernés ;
- EFFETS désigne les effets structuraux des chargements cumulables ou non ;
- ETATS désigne les états de la structure active après chaque application de chargement cumulable ;
- DEPLACEMENTS désigne les déplacements des nœuds reliés à des éléments actifs et des éventuels noeuds leur étant rattachés via des éléments rigides d'excentremets ;
- REACTIONS désigne les réactions d'appuis ;
- EFFORTS ou EFFORTS ELEMENTS désignent respectivement les efforts aux origines et extrémités des éléments actifs du modèle, des poutres, ou de la poutre no_poutre, exprimés en repères éléments ;
- EFFORTS SECTIONS désignent les efforts aux origines et extrémités des éléments actifs des poutres ou de la poutre no_poutre, exprimés en repères sections ;
- CONTRAINTES désigne les contraintes normales et tangentes aux origines et extrémités des éléments actifs du modèle, des poutres, ou de la poutre no_poutre ;
- DEFORMATIONS désigne les déformations des éléments actifs du modèle, des poutres, ou de la poutre no_poutre, en leurs sections origines et extrémités ;
- COMPLETES désigne les résultats intermédiaires des commandes de construction à effets multiples (DATE, TENDRE CABLES, DETENDRE CABLES, POUSSER [AUTOMATIQUEMENT] STRUCTURES) ; par défaut, seuls leurs résultats finaux sont édités ;
- CARTOUCHES désigne les cartouches rappelant le contenu des commandes de construction ; par défaut, ils ne sont pas édités ;
- CHAINETTES désigne les paramètres des éléments de type chaînette actifs, à éditer après chaque application de chargement cumulable.

Les requêtes relatives aux nœuds et éléments sont croisées avec celles relatives aux poutres ou à la poutre sélectionnée, s'il y a lieu.

Conditions d'emploi

- Cette commande optionnelle peut être introduite plusieurs fois, à diverses étapes de la construction.
- Une requête d'extension ou de restriction de la liste des éditions ne peut être répétée.
- Les efforts en repères sections et les contraintes ne peuvent être édités que si le modèle comporte au moins une poutre.
- Les contraintes ne peuvent être éditées que si la commande CALCULER CONTRAINTES a été introduite préalablement.
- L'option DEFORMATIONS n'est autorisée qu'en mode CALCUL NON LINÉAIRE.

- Les options DEPLACEMENTS ou REACTIONS permettent d'éditer les déplacements sur les NŒUDS et non sur les ELEMENTS. L'option REACTIONS s'applique sur les nœuds liés à un appui.
- Les options EFFORTS, CONTRAINTES ou DEFORMATIONS permettent d'éditer les déplacements sur les ELEMENTS et non sur les NŒUDS.

Conseils méthodologiques

- Il faut utiliser les commandes EDITER avec prudence car le volume des éditions, qui peut devenir « très important », croît avec le nombre de nœuds ou éléments concernés et avec le nombre de phases de construction durant lesquelles les éditions restent actives.
- La commande EDITER est cumulative, c'est-à-dire que les informations entrées lors de son appel s'ajoutent à celles déjà enregistrées par les appels précédents de cette commande. Le premier exemple suivant permet d'abord de supprimer l'édition des effets relatifs aux éléments, puis de renseigner les éléments auxquels une future commande EDITER s'appliquera, et enfin de renseigner les effets à éditer. Ceux-ci concernent alors les trois éléments cités précédemment.

Exemples

```

$$ Illustration de l'effet cumulatif de la commande
$ suppression des éditions des effets relatifs aux éléments
NONEDITER ELEMENTS
$ renseignement du numéro des éléments auxquels une future commande edit
$ s'appliquera
EDITER ELEMENTS 3
569 579 589
$ renseignement des effets à éditer
EDITER MODELE ETATS EFFORTS

```

```

$$ exemple d'utilisation de la commande
PHASES
TITRE 'MODELE A 101 NOEUDS ET 100 ELEMENTS, CONTROLE DES EDITIONS'
CALCULER CONTRAINTES
.....
$ vide au départ, la liste des éditions est établie et activée une première
$ fois ; demande d'édition des effets de déplacements des nœuds, réactions
$ d'appuis et efforts en repères éléments, pour toute la structure active
EDITER MODELE EFFETS DEPLACEMENTS REACTIONS EFFORTS
$ demande analogue complémentaire d'édition des états cumulés
EDITER MODELE ETATS DEPLACEMENTS REACTIONS EFFORTS
$ cette commande suspend temporairement les éditions
SUSPENDRE EDITIONS
DATE 0
.....
$ cette commande rétablit les éditions
CONTINUER EDITIONS
.....
$ retrait des efforts de la liste des éditions
NONEDITER MODELE EFFETS EFFORTS
NONEDITER MODELE ETATS EFFORTS
$ ajout à la liste des éditions des états cumulés de contraintes normales
$ et tangentes et d'efforts en repères éléments et sections dans une poutre
EDITER POUTRE ETAT CONTRAINTES EFFORTS ELEMENTS SECTIONS 1
$ retrait des résultats relatifs à tous les éléments
NONEDITER ELEMENTS
$ rétablissement des résultats relatifs à certains éléments
EDITER ELEMENTS 4
3 4 7 9
$ retrait des résultats relatifs à tous les nœuds

```

NONEDITER NOEUDS
\$ retablisement des resultats relatifs a certains noeuds
EDITER NOEUDS 4
13 14 17 19
SUSPENDRE EDITIONS
.....
CONTINUER EDITIONS

Commandes liées

VERIFIER ; CALCUL NONLINEAIRE ; TITRE ; CHAINETTES
OPTIMISER NUMEROTATION ; CALCULER CONTRAINTES
SUSPENDRE / CONTINUER EDITIONS ; DATE ; PLACER APPUIS
REEMPLACER APPUIS ; SUPPRIMER APPUIS ; PLACER EQUIPAGES
PLACER ARTICULATIONS ; REMPLACER ARTICULATIONS
ACTIVER ELEMENTS ; TENDRE ELEMENTS ; SUPPRIMER ELEMENTS
TENDRE CABLES ; DETENDRE CABLES ; PERTES CABLES ; CAS DE CHARGE
POUSSER [AUTOMATIQUEMENT] STRUCTURES ; REDISTRIBUER ; SAUVER

8.27 - SUSPENDRE / CONTINUER EDITIONS

{ SUSPENDRE }
{ CONTINUER } EDITIONS

Fonctions

Cette commande suspend ou rétablit l'édition des résultats désignés par les commandes EDITER / NONEDITER qui la précèdent.

Conditions d'emploi

- Cette commande optionnelle peut être introduite plusieurs fois, à diverses étapes de la construction.
- Puisqu'une option ne peut être répétée, les suspensions et rétablissements de l'édition des résultats doivent se suivre en alternance, la première commande autorisée de ce type étant SUSPENDRE EDITIONS.

Exemples

```
EDITER  MODELE  EFFETS  DEPLACEMENTS
.....
$ suspension temporaire des éditions
SUSPENDRE  EDITIONS
.....
$ rétablissement des éditions
CONTINUER  EDITIONS
.....
FIN
```

Commandes liées

VERIFIER ; EDITER

8.28 – AFFECTER CONTRAINTES

AFFECTER CONTRAINTES $\left\{ \begin{array}{l} \text{UNIQUES} \quad \text{sigma_u} \\ \text{VARIABLES} \quad \text{nb_points_s} \end{array} \right\}$

$\left[\left\langle \left\langle \left\langle \text{sigma_ori} \right\rangle_{\text{nb_sigma_p}} \quad \left\langle \text{sigma_ext} \right\rangle_{\text{nb_sigma_p}} \right\rangle_{\text{nb_elements_p}} \right\rangle_{\text{nb_poutres}} \right]$

Paramètres

Les paramètres nb_poutres, nb_elements_p et nb_sigma_p qui représentent respectivement le nombre de poutres du modèle, le nombre d'éléments d'une poutre et son nombre de fibres de calcul des contraintes normales sont définis implicitement par les nombres de valeurs fournies.

- sigma_u : contrainte normale finale moyenne, si sa répartition est supposée uniforme, dans toutes les sections de poutres ;
- nb_points_s : nombre total de points de calcul des contraintes normales dans toutes les sections de poutres (intermédiaires dédoublées), si leur répartition est supposée non uniforme ;
- sigma_ori, sigma_ext : contrainte normale finale en un point de calcul de la section origine et extrémité d'un élément de poutre ; ces valeurs sont entrées dans l'ordre de définition des points de calcul des contraintes normales de chaque section, si leur répartition est supposée non uniforme.

Fonctions

Cette commande débute un processus de construction en mode CALCUL FORFAITAIRE des pertes de précontrainte différées, et fournit les contraintes normales finales nécessaires, pour tous les points de calcul des poutres du modèle.

Ces valeurs n'influencent pas les calculs de contraintes normales effectués éventuellement par ailleurs.

Lorsqu'elles sont fournies individuellement, les contraintes normales sont supposées se répartir dans une section de poutre, selon leur nombre de points de calcul, de la manière suivante :

- s'il vaut 1, selon un plan passant par le point représentatif de la valeur de contrainte introduite et parallèle à celui de la section ;
- s'il vaut 2, selon un plan passant par les points représentatifs des valeurs de contraintes introduites et tel que la contrainte soit constante le long de toute droite orthogonale à la droite joignant ces points ;
- s'il est supérieur à 2, selon un plan passant par les points représentatifs des trois premières valeurs de contraintes introduites.

Les points représentatifs des valeurs de contraintes introduites dans une section sont reportés sur des droites orthogonales à son plan et passant par les points de calculs imposés (avec une convention de signe adéquate).

Conditions d'emploi

- Cette commande optionnelle doit être introduite, en un seul exemplaire, avant le démarrage du processus de construction.
- Le mode CALCUL FORFAITAIRE est incompatible avec le mode CALCUL NON LINÉAIRE.
- Le modèle doit comporter au moins une poutre précontrainte.
- La commande PERTES PRECONTRAINTES doit être introduite préalablement.

Conseils méthodologiques

- Voir annexe D, calcul forfaitaire.

Exemples

Soit un modèle comportant deux poutres (1 et 2) ayant respectivement 6 et 7 sections génériques et 3 et 4 fibres de calcul des contraintes normales, construit en mode CALCUL FORFAITAIRE.

PHASES

.....

PERTES PRECONTRAINTES BPEL

\$ cas 1 la repartition des contraintes normales finales necessaires au

\$ calcul des pertes differees de precontrainte est supposee uniforme

AFFECTER CONTRAINTES UNIQUES 500.0

.....

PHASES

.....

PERTES PRECONTRAINTES BPEL

\$ cas 2 la repartition des contraintes normales finales necessaires au

\$ calcul des pertes differees de precontrainte est supposee non uniforme

\$ poutre 1, points de calcul : 5(elements)*2(origine/extremite)*3(points)

\$ poutre 2, points de calcul : 6(elements)*2(origine/extremite)*4(points)

\$ (les valeurs entrees ne sont pas realistes)

AFFECTER CONTRAINTES VARIABLES 78

\$ poutre 1

600.0 600.0 600.0 \$ 3 points de calcul, element 1, section origine

600.0 600.0 600.0 \$ 3 points de calcul, element 1, section extremite

24*600.0 \$ autres elements

\$ poutre 2

500.0 500.0 500.0 500.0 \$ 4 points de calcul, element 1, section origine

500.0 500.0 500.0 500.0 \$ 4 points de calcul, element 1, section extremite

40*500.0 \$ autres elements

Commandes liées

UNITES ; CALCUL NONLINEAIRE ; PERTES PRECONTRAINTES ; DATE

PLACER ELEMENTS ; ACTIVER ELEMENTS ; TENDRE CABLES

PERTES CABLES ; REDISTRIBUER ; ETAT

8.29 - DATE

$$\text{DATE} \left[\left\{ \begin{array}{l} \text{ACTUALISER} \\ \text{CONSTRUCTION} \\ \text{VIEILLISSEMENT} \quad [\text{INFINI}] \end{array} \right\} \right] [\text{ETAT}] [\text{date}]$$

Paramètres

- date : date à laquelle sont supposées effectuées toutes les opérations de construction qui suivent, jusqu'à la prochaine commande DATE ou la commande FIN (nombre entier ou réel de jours).

La croissance (non forcément stricte) des dates doit être vérifiée lorsque la construction se déroule dans l'ordre d'introduction des commandes. Ce n'est pas toujours le cas lorsqu'on utilise la possibilité de remise en ordre automatique des commandes de construction relativement aux dates fournies dans un « désordre partiel » (option « TRI DES PHASES » à activer au niveau du menu de contrôle des exécutions de modules PCP). L'utilisateur peut cliquer sur « Options », « Tri des phases » puis sur « Actif » pour que le logiciel gère lui-même la mise en ordre chronologique des différents chargements. L'état de tri des phases (actif ou non actif) est indiqué en bas de la fenêtre principale de PCP. Lorsque cet état est activé, PCP génère, lors de l'exécution du module de phasage, un fichier *.PHASES_TRIEES.dec (où * est le nom du fichier de données de phasage choisi par l'utilisateur) comportant les étapes de chargement classées par ordre chronologique. L'utilisateur peut alors vérifier ses étapes de chargement.

Fonctions

Cette commande permet d'introduire la variable temps sous la forme d'un historique des opérations de construction, lorsque le calcul des effets structuraux des phénomènes différés doivent être simulés rigoureusement. La première commande DATE marque le début et fixe la date de démarrage du processus de construction ; elle indique le choix du mode de fonctionnement : CALCUL RHÉOLOGIQUE FIN.

L'option ACTUALISER indique qu'il faut recalculer les modules d'Young des éléments actifs s'ils dépendent de l'âge de leurs matériaux constitutifs ; en l'absence d'option ACTUALISER, CONSTRUCTION ou VIEILLISSEMENT, ils restent inchangés.

Avec la commande DATE [ACTUALISER] [ETAT] date_n et n > 1, l'intervalle [date_{n-1}, date_n] est considéré comme un incrément de temps imposé, et ne doit pas excéder 8 jours environ.

Durant la période de construction, l'ouvrage étant soumis à des chargements successifs, la durée des incréments de temps utilisés pour intégrer les phénomènes différés ne doit pas excéder 8 jours environ ; cette limite franchie, des instabilités numériques peuvent apparaître.

Avec l'option CONSTRUCTION, le paramètre date_n, et n > 1, l'intervalle [date_{n-1}, date_n] est considéré comme un incrément de temps imposé si sa durée est inférieure ou égale à 4 jours ; sinon, il est automatiquement découpé en incréments de même durée comprise entre 4 et 8 jours.

La période de vieillissement débute lorsque l'ouvrage n'est plus soumis à d'autres chargements que ceux dus aux phénomènes différés. Les incréments de temps utilisés pour les intégrer peuvent augmenter « très rapidement », sans qu'apparaisse d'instabilité numérique.

Avec l'option VIEILLISSEMENT, le paramètre $date_n$, et $n > 1$, l'intervalle $[date_{n-1}, date_n]$ est découpé automatiquement en incréments de temps dont la durée croît en progression géométrique (doublement tous les quatre incréments).

La première commande DATE VIEILLISSEMENT $date_n$ introduit ce mode de fonctionnement et fixe le début du vieillissement à la date $date_n$.

Avec l'option INFINI, la date « limite », qui ne doit pas être fournie, est obtenue en ajoutant à la date courante un nombre de jours dépendant du règlement utilisé pour le calcul des pertes de précontraintes différées (commande PERTES PRECONTRAINTTE).

Les dates générées pour la construction ou le vieillissement s'ajoutent aux dates fournies pour constituer les dates d'« intégration ».

Les options CONSTRUCTION et VIEILLISSEMENT contiennent l'option ACTUALISER, car les modules d'Young des matériaux qui dépendent de leur âge sont recalculés après écoulement de chaque incrément de temps.

Avec l'option ETAT les pertes de précontrainte élastiques sont calculées, jusqu'à la date spécifiée comprise, et intégrées à l'état probable de la structure ainsi obtenu, à cette date.

Voici les principaux traitements réalisés pour chaque date d'intégration t_i , postérieure à celle du début de la construction.

Etape 1

Si des câbles sont tendus :

- calcul des pertes de tension élastiques induites dans ces câbles par les chargements appliqués à la date t_{i-1} ;
- calcul des effets structuraux de ces pertes et du nouvel état de déformation et de sollicitation de la structure active ;
- calcul des nouvelles tensions dans les câbles (pertes visco-élastiques comprises) ;
- édition des résultats demandés si la date t_i est une date fournie.

Par ce processus, le module PH3 détermine l'état de la structure active à la date t_{i-1} , chargements et interactions béton-câblage intégrés.

Etape 2

Changement de date ; la nouvelle date est fixée à t_i jours.

Etape 3

Avec l'option ACTUALISER, CONSTRUCTION ou VIEILLISSEMENT, mise à jour des modules d'Young instantanés des éléments actifs dont les matériaux constitutifs sont vieillissants de ce point de vue ; il s'ensuit une modification de rigidité de la structure active.

Etape 4

Si des éléments actifs sont constitués de matériaux fluants ou se rétractant, ou si des câbles sont tendus :

- calcul des prédéformations dues au fluage et au retrait de ces matériaux et à la relaxation des aciers de précontrainte, entre les dates t_{i-1} et t_i ;
- calcul de leurs effets structuraux et du nouvel état de déformation et sollicitation de la structure active ;

- édition des résultats demandés si la date t_i est une date fournie et si l'étape 1 n'a pas été exécutée.

Les étapes 2, 3 et 4 sont sautées si les dates t_{i-1} et t_i sont égales.

Conditions d'emploi

- L'utilisation de cette commande n'est autorisée que si le modèle comporte au moins un câble ou un matériau vieillissant.
- Si le modèle comporte au moins un câble, la commande PERTES PRECONTRAINTES fixant le règlement de référence pour simuler la relaxation pure des aciers doit figurer avant toute commande DATE.
- La première commande DATE doit précéder toute opération de construction.
- Lorsque plusieurs commandes DATE se suivent, sans être séparées par des opérations de construction, l'état de déformation et sollicitation de la structure active évolue du seul fait des comportements rhéologiques de ses matériaux vieillissants.
- S'il y a lieu, l'analyse des extrêmes doit être rétablie avant introduction du dernier chargement implicite ou explicite précédant une commande DATE (voir commande SUSPENDRE / CONTINUER ANALYSE).
- L'option ACTUALISER ne peut être utilisée que si au moins un élément actif est constitué d'un matériau dont le module d'Young varie dans le temps.
- Il est interdit de revenir à l'option CONSTRUCTION après choix de l'option VIEILLISSEMENT.
- Il est possible de mélanger des dates de CONSTRUCTION ou des dates de VIEILLISSEMENT, avec des dates non munies de ces options.

Conseils méthodologiques

- La commande DATE [ACTUALISER] [ETAT] t_i s'utilise lorsqu'on désire imposer des dates d'intégration, sans que le module PH3 ajoute de dates intermédiaires ; il faut alors vérifier que les intervalles de temps sont correctement calibrés.
- L'option ACTUALISER *dont l'intérêt est limité* peut s'utiliser lorsque certains éléments actifs n'ont pas atteint l'âge au delà duquel les modules d'Young de leurs matériaux constitutifs ne varient plus.
- Les options CONSTRUCTION et VIEILLISSEMENT évitent la gestion du pas d'intégration dans le choix des dates et provoquent l'actualisation des modules d'Young des matériaux, lorsque c'est nécessaire.
- Habituellement, l'option CONSTRUCTION est prise en début de phasage et maintenue jusqu'à la mise en service, puis remplacée définitivement par l'option VIEILLISSEMENT.
- Outre la séparation des opérations de construction « classiques » (gestion d'appuis, activation ou suppression d'éléments, chargement de nœuds ou éléments, mise en tension ou détension de câbles, etc.), la commande DATE permet :
 - d'éditer ou enregistrer un état de la structure à une date donnée ;
 - de fournir une date de coulage à certains éléments en béton (voir option COULES de la commande PLACER ELEMENTS).

- Lors de leur remise en ordre automatique, toutes les phases de construction suivant chaque commande DATE sont déplacées avec elle, y compris les éventuelles commandes de contrôle, dont la cohérence du nouvel ordonnancement doit être vérifiée.
- Voir également : annexe D, calcul rhéologique fin.

Exemples

```
PHASES
$ simulation rigoureuse de la construction d'un ouvrage precontraint
.....
$ choix du reglement de reference pour calculer les pertes de tension
$ differees dans les cables dues a la relaxation de leurs aciers
PERTES PRECONTRAINTE BPEL
.....
$ la premiere commande DATE debute la construction ; elle est sans option
$ et fixe a 0 la date de demarrage (non obligatoire mais souvent pratique)
DATE 0
PLACER APPUIS ...
.....
$ l'utilisation systematique de l'option CONSTRUCTION protege contre les
$ instabilites numeriques ; ici l'intervalle est inferieur a 4 jours
$ et aucune date d'integration intermediaire ne sera generee
DATE CONSTRUCTION 3
ACTIVER ELEMENTS ...
.....
$ intervalle de temps superieur a 4 jours, le module PH3 generera,
$ entre 3 et 15 jours, des dates intermediaires regulierement espacees
DATE CONSTRUCTION 15
TENDRE CABLES ...
.....
$ fin de la construction, enregistrement de l'etat probable correspondant
$ qui integre les pertes de precontrainte elastiques calculees a 396 jours
DATE CONSTRUCTION ETAT 396
TITRE 'ETAT PROBABLE DE L'OUVRAGE A SA MISE EN SERVICE'
SAUVER STRUSERV
$ debut de la periode de vieillissement, enregistrement de l'etat probable
$ a 1000 jours ; idem ci-dessus pour les pertes elastiques ; sont generes,
$ entre 396 et 1000 jours, des intervalles de temps de duree croissante
DATE VIEILLISSEMENT ETAT 1000
ETAT 1
$ a partir de maintenant, l'option CONSTRUCTION n'est plus autorisee
$ poursuite du processus de vieillissement ; les intervalles de temps
$ generes continuent d'augmenter, en progression geometrique
DATE VIEILLISSEMENT 2000
.....
$ suite et fin du vieillissement ; les increments de temps continuent
$ d'augmenter ; enregistrement de l'etat probable au temps « infini »
DATE VIEILLISSEMENT INFINI ETAT
TITRE 'ETAT PROBABLE DE L'OUVRAGE AU TEMPS INFINI'
ETAT 2
FIN
```

Commandes liées

VERIFIER ; PARAMETRES RHEOLOGIQUES ; PERTES PRECONTRAINTE
SUSPENDRE / CONTINUER ANALYSE ; EDITER / NONEDITER
AFFECTER CONTRAINTES ; PLACER APPUIS ; REMPLACER APPUIS
SUPPRIMER APPUIS ; PLACER EQUIPAGES ; DEPLACER EQUIPAGES
SUPPRIMER EQUIPAGES ; PLACER ELEMENTS ; PLACER ARTICULATIONS
REEMPLACER ARTICULATIONS ; ACTIVER ELEMENTS ; TENDRE ELEMENTS
SUPPRIMER ELEMENTS ; TENDRE CABLES ; INJECTER CABLES
DETENDRE CABLES ; PERTES CABLES ; CAS DE CHARGE ; SAUVER
POUSSER [AUTOMATIQUEMENT] STRUCTURES ; REDISTRIBUER ; ETAT

8.30 – PLACER APPUIS

PLACER APPUIS [VERINAGE [$\left\{ \begin{array}{l} \text{ABSOLU} \\ \text{RELATIF} \end{array} \right\}$] [FOIS nb_etapes]] nb_appuis
 ⟨ nom_appui no_noeud exc_x exc_y exc_z θ_1 θ_2 θ_3
 [du_x du_y du_z dθ_x dθ_y dθ_z] $\rangle_{\text{nb_appuis}}$

Paramètres

- nb_etapes : nombre d'étapes de réalisation du vérinage, positif (1 par défaut) ;
- nb_appuis : nombre d'appuis à placer, positif ;
- nom_appui : nom d'un appui-type, défini sur une commande APPUI du module PH1 (voir chapitre 6) ;
- no_noeud : numéro du nœud où il sera placé ;
- exc_x, exc_y, exc_z : composantes du vecteur translation nœud-appui en repère global (nulles lorsque l'appui est confondu avec le nœud) ; son origine est le nœud éventuellement déplacé par déformation antérieure de la structure, en cas de non vérinage, ou le nœud ayant subi d'éventuels déplacements imposés, en cas de vérinage (voir option VERINAGE) ;
- $\theta_1, \theta_2, \theta_3$: triple rotation normalisée (voir figure 1.2) orientant le repère de définition de l'appui-type par rapport au repère global (angles nuls lorsque ces repères sont confondus) ;
- du_x, du_y, du_z, dθ_x, dθ_y, dθ_z : vecteur déplacements en repère global, à imposer au nœud en cas de vérinage, représentant sa position finale (option ABSOLU), ou des variations de déplacements à partir de sa position courante (option RELATIF) ; par défaut, ces valeurs sont nulles et appliquées en mode ABSOLU ; elles doivent être fournies lorsque l'option ABSOLU ou RELATIF est choisie.

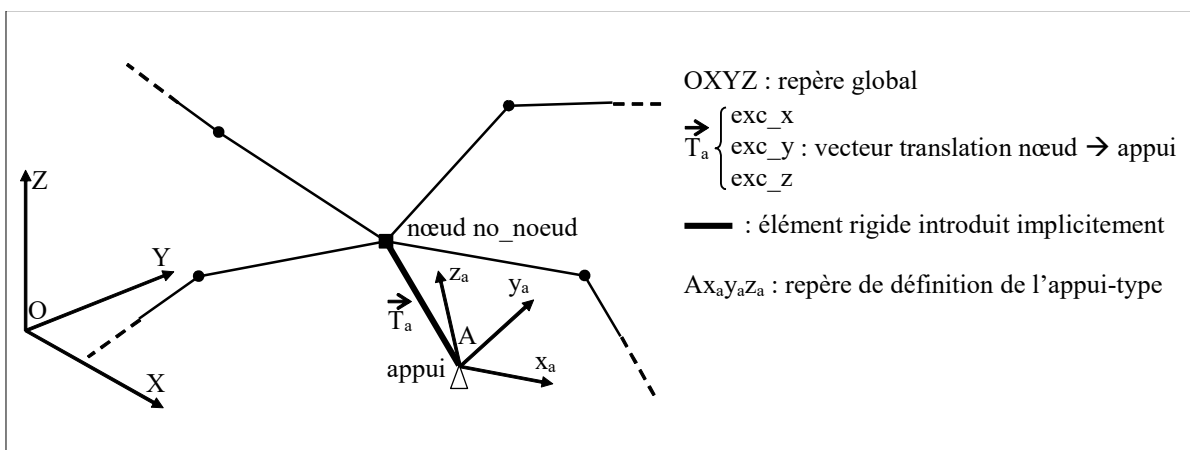


Figure - 8.21 Placement d'appui

Fonctions

Cette commande permet de créer des conditions d'appuis, par affectation d'appuis-types à certains nœuds qui en sont dépourvus ; un nœud d'appui non encore relié à des éléments actifs est supposé appartenir à la structure active.

Chaque appui-type peut être excentré par rapport à son nœud de destination (ce qui revient à disposer un élément rigide entre nœud et appui), ou réorienté par rapport au repère global.

Sans l'option VERINAGE, les futurs nœuds d'appuis conservent leurs positions, la rigidité du modèle est modifiée et aucun chargement n'est appliqué.

Avec l'option VERINAGE, les futurs nœuds d'appuis sont déplacés préalablement en fixant leurs nouvelles positions ou des variations de déplacements, et les opérations suivantes sont réalisées :

- génération du chargement induit par les déplacements imposés aux futurs nœuds d'appuis ;
- application de ce chargement à la structure active dans sa configuration antérieure à la mise en place des appuis ;
- modification de la rigidité du modèle par introduction des nouveaux appuis ;
- suppression du chargement de vérinage par application de son inverse à la structure dans sa nouvelle configuration, et calcul de son état de déformation et sollicitation.

Conditions d'emploi

- Un nœud ne peut recevoir simultanément plus d'un appui.
- Un même appui-type peut être affecté simultanément à plusieurs nœuds.

Conseils méthodologiques

- L'option FOIS permet, dans le cas d'un calcul itératif divergent, d'effectuer un vérinage progressif ou incrémental, en réduisant l'amplitude des déplacements appliqués.
- Le vérinage par étapes est utile en mode CALCUL NON LINÉAIRE, pour assurer la convergence des processus de calcul.

Exemples

Le tablier de pont ci-dessous, construit sur cintre et à l'avancement, est modélisé à l'aide d'une poutre de section constante, courbe dans un plan horizontal.

Ses appuis (dédoublés transversalement mais modélisés de façon ponctuelle) sont décalés verticalement par rapport à sa fibre moyenne, en dessous et de la même quantité.

Les axes x_a de leurs repères de définition sont tangents à la fibre moyenne.

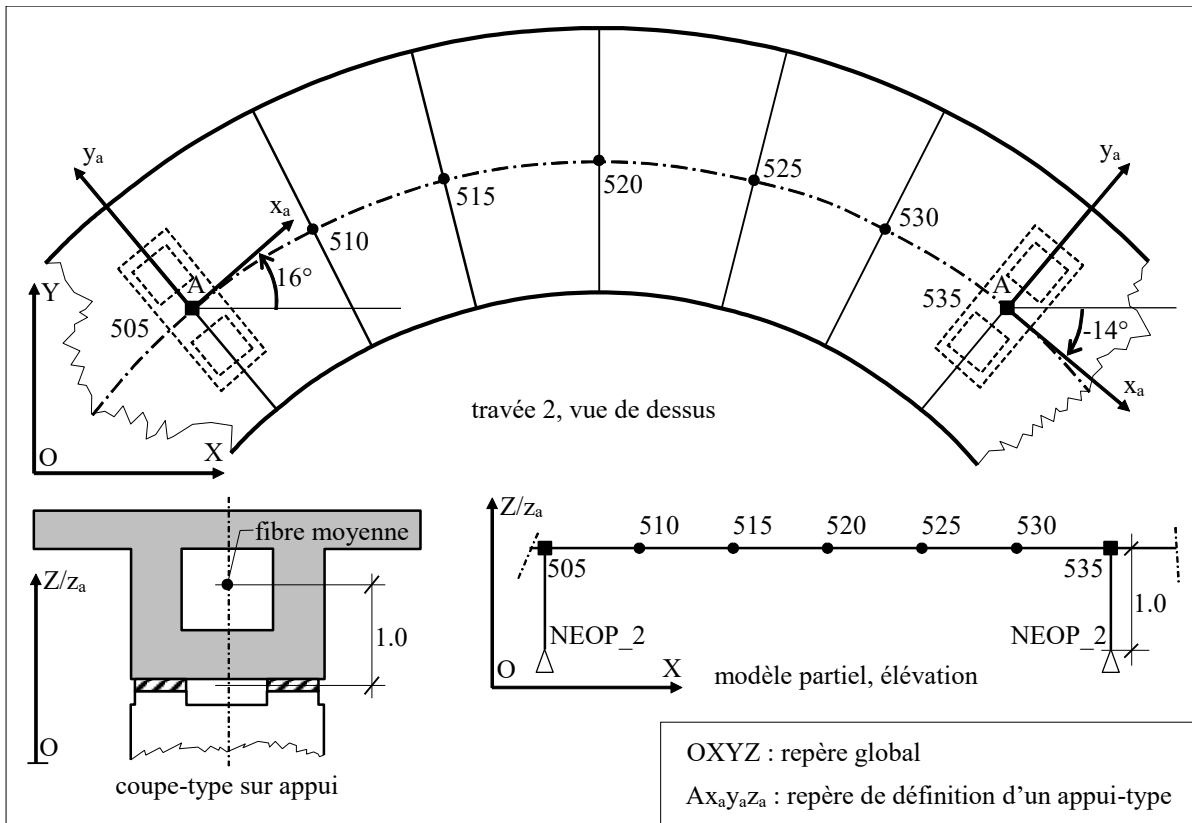


Figure 8.22 - Appuis pour travée de tablier de pont courbe

\$ mise en place des appuis definitifs de la travée 2, decales verticalement
 \$ selon OZ de -1.0 et orientes tangentiellement a la fibre moyenne de la
 \$ poutre ; seul l'angle teta1 est non nul ; l'option verinage n'est pas
 \$ utile pour simuler une construction sur cintre a l'avancement

PLACER APPUIS 2

\$ nom appui	no_noeud	exc_x	exc_y	exc_z	teta1	teta2	teta3
NEOP_2	505	0.0	0.0	-1.0	16.0	0.0	0.0
NEOP_2	535	0.0	0.0	-1.0	-14.0	0.0	0.0

Commandes liées

VERIFIER ; CALCUL NONLINEAIRE ; EDITER / NONEDITER ; DATE

REPLACER APPUIS ; SUPPRIMER APPUIS ; SUPPRIMER ELEMENTS

DEFORMATION APPUIS ; POUSSER [AUTOMATIQUEMENT] STRUCTURES

ETAT

8.31 – REMPLACER APPUIS

REEMPLACER APPUIS [VERINAGE [$\left\{ \begin{array}{l} \text{ABSOLU} \\ \text{RELATIF} \end{array} \right\}$] [FOIS nb_etapes]] nb_appuis
 ⟨ nom_appui no_noeud exc_x exc_y exc_z θ_1 θ_2 θ_3
 [du_x du_y du_z d θ_x d θ_y d θ_z] \rangle_{nb_appuis}

Paramètres

- nb_etapes : nombre d'étapes de réalisation du vérinage, positif (1 par défaut) ;
- nb_appuis : nombre d'appuis à remplacer, positif ;
- nom_appui : nom d'un nouvel appui-type, défini sur une commande APPUI du module PH1 (voir chapitre 6) ;
- no_noeud : numéro du nœud où il remplacera l'ancien appui-type ;
- exc_x, exc_y, exc_z : composantes du vecteur translation nœud-nouvel appui en repère global ;
- $\theta_1, \theta_2, \theta_3$: triple rotation normalisée (voir figure 1.2) orientant le repère de définition du nouvel appui-type par rapport au repère global ;
- du_x, du_y, du_z, d θ_x , d θ_y , d θ_z : vecteur déplacements en repère global, à imposer au nœud en cas de vérinage.

Les douze derniers paramètres suivent les mêmes conventions que leurs homologues de la commande PLACER APPUIS.

Fonctions

Cette commande permet de modifier les conditions d'appuis, en certains nœuds qui en sont pourvus, par remplacement d'appuis-types et redéfinition de leurs excentremets et orientations.

Sans l'option VERINAGE, les opérations suivantes sont réalisées :

- modification de la rigidité du modèle par suppression des anciens appuis aux nœuds sélectionnés et introduction des nouveaux appuis ;
- génération du chargement du à la suppression des anciens appuis (obtenu en changeant les signes des réactions préexistantes) ;
- application de ce chargement à la structure active dans sa nouvelle configuration, et calcul de son état de déformation et sollicitation.

Avec l'option VERINAGE, préalablement à ces opérations, le module PH3 pondère les coefficients de rigidité diagonaux « trop faibles » des anciens appuis-types et applique le chargement induit par les déplacements imposés aux nœuds d'appuis, selon les degrés de liberté associés à des coefficients de rigidité non nuls.

Conditions d'emploi

- Tous les nœuds sélectionnés doivent être munis d'appuis au moment de leur remplacement.
- La stabilité de la structure doit être maintenue après le remplacement d'appuis.

Conseils méthodologiques

- Outre le remplacement d'un appui avec vérinage, l'option VERINAGE permet de simuler un changement de rigidité d'appui du au fluage, par exemple ; l'appui-type défini avec sa nouvelle rigidité remplace l'ancien, après que certains déplacements du nœud correspondant aient été annulés.
- Voir également les conseils méthodologiques de la commande PLACER APPUIS.

Exemples

```
$ passage de l'appui provisoire a l'appui definitif sur pile 1
$ l'option VERINAGE annule le tassement vertical antérieur de l'appui
$ provisoire, prealablement a la mise en place du nouvel appui-type
$ puisque les déplacements imposes au noeud correspondant sont nuls
$ et appliques en mode ABSOLU en une seule etape, par default
REPLACER APPUIS VERINAGE 1
$ nom_appui no_noeud exc_x exc_y exc_z teta1 teta2 teta3
  NEOP_1      130    0.0    0.0   -1.25  0.0    0.0    0.0
```

Commandes liées

VERIFIER ; CALCUL NONLINEAIRE ; EDITER / NONEDITER ; DATE
PLACER APPUIS ; SUPPRIMER APPUIS ; SUPPRIMER ELEMENTS
DEFORMATION APPUIS ; ETAT

8.32 – SUPPRIMER APPUIS

SUPPRIMER APPUIS nb_appuis

$\langle \text{no_noeud} \rangle_{\text{nb_appuis}}$

Paramètres

- nb_appuis : nombre d'appuis à supprimer, positif ;
- no_noeud : numéro d'un nœud dont l'appui sera supprimé.

Fonctions

Cette commande permet de supprimer les conditions d'appuis, en certains des nœuds qui en sont pourvus, par réalisation des opérations suivantes :

- modification de la rigidité du modèle par suppression des appuis aux nœuds sélectionnés ;
- génération du chargement du à cette suppression (obtenu en changeant les signes des réactions préexistantes) ;
- application de ce chargement à la structure active dans sa nouvelle configuration, et calcul de son état de déformation et sollicitation.

Conditions d'emploi

- Tous les nœuds sélectionnés doivent être munis d'appuis au moment de leur suppression.
- La stabilité de la structure doit être maintenue après la suppression d'appuis.

Exemples

```
$ enlèvement des appuis provisoires dedoubles sur piles 1 et 2
SUPPRIMER APPUIS 4
125 135 215 225
```

Commandes liées

VERIFIER ; EDITER / NONEDITER ; DATE ; PLACER APPUIS

REPLACER APPUIS ; SUPPRIMER ELEMENTS ; DEFORMATION APPUIS

POUSSER [AUTOMATIQUEMENT] STRUCTURES ; ETAT

8.33 – PLACER EQUIPAGES

PLACER EQUIPAGES nb_equipages

$$\left\langle \text{nom_equipage} \left[\begin{matrix} + \\ - \end{matrix} \right] e \text{ no_poutre} \right\rangle_{\text{nb_equipages}}$$

Paramètres

- nb_equipages : nombre d'équipages mobiles à placer, positif ;
- nom_equipage : nom d'un équipement mobile, défini sur une commande EQUIPAGE MOBILE du module PH1 (voir chapitre 6) ;
- e : numéro d'ordre de l'élément de poutre servant, par convention, à le positionner ;
- no_poutre : numéro de la poutre correspondante.

Le $e^{\text{ième}}$ élément de la poutre no_poutre est compris entre ses sections génériques e et e+1, selon son sens de parcours (voir chapitre 3, commande FIBRE REPERE).

Si e est précédé du signe *moins*, le repère de définition de l'équipage mobile à placer est le repère générique de la section e (origine du $e^{\text{ième}}$ élément), tourné de 180 degrés autour de son axe z.

Si e est précédé du signe *plus* ou n'est précédé d'aucun signe, le repère de définition de l'équipage mobile à placer est le repère générique de la section e+1 (extrémité du $e^{\text{ième}}$ élément).

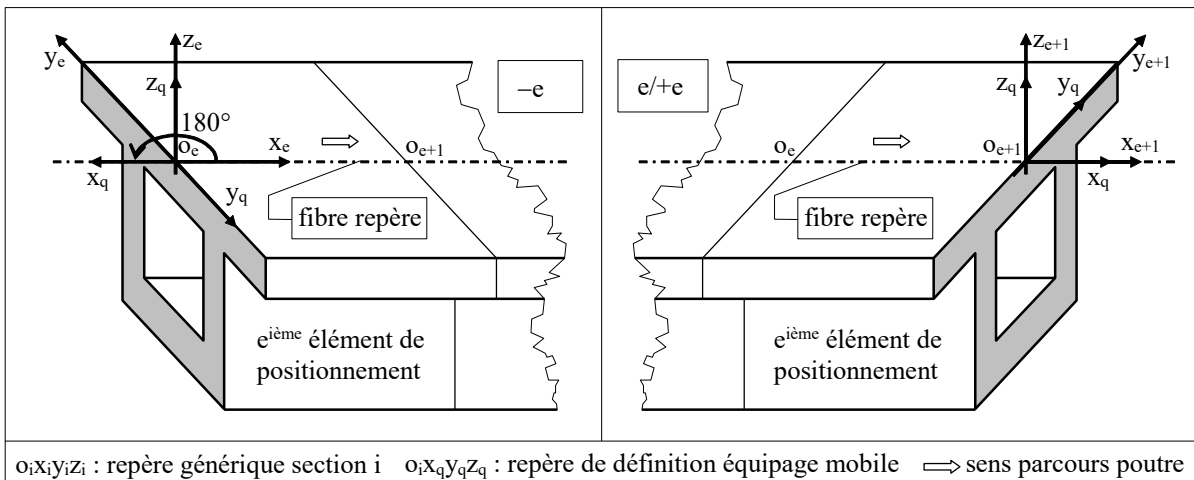


Figure 8.23 - Placement d'équipage mobile

Fonctions

Cette commande permet de disposer un groupe d'équipages mobiles sur une ou plusieurs poutres en construction.

Le poids de chaque équipage mobile transite par son système d'appuis et se répartit sur les éléments qui le supportent ; le chargement ainsi généré et appliqué à la structure active permet de calculer son nouvel état de déformation et sollicitation.

La position de chaque équipage mobile est mémorisée, afin qu'il puisse servir à la mise en place d'éléments.

Conditions d'emploi

- Cette commande ne peut être introduite en mode CONCORDANCE SUSPENDUE.
- Un équipage mobile ne peut occuper qu'une seule position à un instant donné.
- Tout élément supportant un équipage mobile doit être actif.
- L'élément de positionnement d'un équipage mobile peut être inactif, s'il ne le supporte pas.
- Si un équipage mobile s'appuie sur plus d'un élément ou soutient plus d'un élément placé, en avant ou en arrière de son élément de positionnement, il est nécessaire de redéfinir son empattement maximal par une commande EMPATTEMENT EQUIPAGES.

Exemples

```
$ construction du fleau 1 de la poutre 101 (pile P1)
.....
$ les equipages EQUI_1 et EQUI_2, bien qu'identiques sont necessaires
$ a definir car ils sont utilises simultanement
$ EQUI_1 est place sur la section origine du 36eme element et retourne
$ EQUI_2 est place sur la section extremite du 38eme element et non
$ retourne ; cette disposition permet de symetriser la construction par
$ rapport a la pile
PLACER EQUIPAGES 2
$ nom equipage      e      no_poutre
   EQUI_1           -36      101
   EQUI_2            38      101
```

Commandes liées

VERIFIER ; EMPATTEMENT EQUIPAGES

SUSPENDRE / CONTINUER CONCORDANCE ; EDITER / NONEDITER ; DATE

DEPLACER EQUIPAGES ; SUPPRIMER EQUIPAGES ; PLACER ELEMENTS

8.34 – DEPLACER EQUIPAGES

DEPLACER EQUIPAGES nb equipages

$$\left\langle \text{nom_equipage} \left[\begin{array}{c} + \\ - \end{array} \right] e \text{ no_poutre} \right\rangle_{\text{nb_equipages}}$$

Paramètres

- nb equipages : nombre d'équipages mobiles à déplacer, positif ;
- nom equipage : nom d'un équipage mobile en place ;
- e : numéro d'ordre de l'élément de poutre servant, par convention, à le repositionner (voir paramètre e de la commande PLACER EQUIPAGES) ;
- no_poutre : numéro de la poutre correspondante.

Fonctions

Cette commande permet de déplacer un groupe d'équipages mobiles sur une ou plusieurs poutres en construction, par réalisation des opérations suivantes :

- génération du chargement du à l'enlèvement des forces de poids propre de chaque équipage mobile dans son ancienne position (obtenu en changeant leurs signes), et à l'ajout des dites forces dans sa nouvelle position ;
- application de ce chargement à la structure active et calcul de son nouvel état de déformation et sollicitation.

La nouvelle position de chaque équipage mobile est mémorisée, afin qu'il puisse resservir à la mise en place d'éléments.

Conditions d'emploi

- Cette commande ne peut être introduite en mode CONCORDANCE SUSPENDUE.
- Seul un équipage mobile en place et non porteur d'éléments peut être déplacé.
- Les conditions d'emploi de la commande PLACER EQUIPAGES s'appliquent au choix de la nouvelle position de chaque équipage mobile déplacé.

Exemples

```
$ cet exemple peut faire suite a celui de la commande PLACER EQUIPAGES
$ decalage des equipages de un voussoir, symetriquement par rapport a
$ la pile
DEPLACER EQUIPAGES 2
$ nom equipage e no_poutre nom equipage e no_poutre
EQUI_1 -37 101 EQUI_2 39 101
```


Commandes liées

VERIFIER ; EMPATTEMENT EQUIPAGES

SUSPENDRE / CONTINUER CONCORDANCE ; EDITER / NONEDITER ; DATE

PLACER EQUIPAGES ; SUPPRIMER EQUIPAGES ; PLACER ELEMENTS

8.35 – SUPPRIMER EQUIPAGES

SUPPRIMER EQUIPAGES nb equipages

$\langle \text{nom_equipage} \rangle_{\text{nb_equipages}}$

Paramètres

- nb equipages : nombre d'équipages mobiles à supprimer, positif ;
- nom equipage : nom d'un équipage mobile en place, à supprimer.

Fonctions

Cette commande permet de supprimer un groupe d'équipages mobiles, par réalisation des opérations suivantes :

- génération du chargement du à l'enlèvement des forces de poids propre de chaque équipage mobile (obtenu en changeant leurs signes) ;
- application de ce chargement à la structure active et calcul de son nouvel état de déformation et sollicitation.

Conditions d'emploi

- Cette commande ne peut être introduite en mode CONCORDANCE SUSPENDUE.
- Un équipage mobile supprimé peut être replacé.
- Seul un équipage mobile en place et non porteur d'éléments peut être supprimé.

Exemples

```
$ fin de construction du fleau 1, suppression des equipages mobiles qui  
$ pourront etre reutilises pour construire le fleau 2  
SUPPRIMER EQUIPAGES 2  
EQUI_1 EQUI_2
```

Commandes liées

VERIFIER ; SUSPENDRE / CONTINUER CONCORDANCE ; EDITER / NONEDITER
DATE ; PLACER EQUIPAGES ; DEPLACER EQUIPAGES ; PLACER ELEMENTS

8.36 – PLACER ELEMENTS

PLACER ELEMENTS [{ COULES
 PREFABRIQUES }] *type_p* nb_elements
 < [nom_equip age] no_element [{ +
 - }] na_element [date_prefa] >
 nb_elements

Dans ce libellé, remplacer *type_p* par : [{ SUSPENDUS
 DEPLACES [{ TRANSLATION
 ROTATION nom_strpou }]
 EMBOITEMEN T }]

Paramètres

- nb_elements : nombre d'éléments à placer, positif ;
- nom_strpou : nom de la structure poussée à laquelle ils appartiennent, défini sur une commande DEFINIR STRUCTURE POUSSEE ; son axe de rotation est utilisé pour les déplacer par ROTATION ;
- nom_equip age : nom de l'équipage mobile en place devant soutenir l'élément no_element, en cas d'utilisation de l'option SUSPENDUS ;
- no_element : numéro d'un élément à placer ;
- na_element : numéro de l'élément vers lequel il sera déplacé, en cas d'utilisation de l'option DEPLACES ; son signe désigne le point demeurant fixe, en cas de déplacement par TRANSLATION ou ROTATION (le signe *moins* désigne son origine et le signe *plus* ou l'absence de signe, son extrémité) ;
- date_prefa : date de préfabrication de l'élément no_element, en cas d'utilisation de l'option PREFABRIQUES ; ne peut être postérieure à la date courante (fixée par la dernière commande DATE).

Fonctions

Cette commande permet de mettre en place un groupe d'éléments, préalablement à leur activation, en précisant :

- leur mode de mise en œuvre (coulage en place, préfabrication), et les dates associées ;
- leur type de placement (direct ou déplacement pour poussage ultérieur) ;
- quels sont les équipages mobiles utilisés éventuellement pour les suspendre.

L'option COULES indique qu'ils sont tous coulés en place à la date courante.

L'option PREFABRIQUES indique que chacun d'eux a été préfabriqué à une date donnée.

L'option SUSPENDUS indique qu'il s'agit d'éléments de poutres suspendus à divers équipages mobiles ; les opérations suivantes sont réalisées :

- génération du chargement du au poids propre des éléments, transmis à la structure par l'intermédiaire des équipages mobiles ;
- application de ce chargement à la structure active et calcul de son nouvel état de déformation et sollicitation.

- Le déplacement des éléments suspendus est actualisé en MODE DEFORMATIONS NONREPERCUTES pour prendre en compte le poids de l'équipage et le poids propre des éléments suspendus.

Avec l'option DEPLACES, chaque élément `no_element` est déplacé vers un élément `na_element` dont il acquiert l'incidence, différente de celle qu'il occupait au moment de la définition du modèle ; les conditions suivantes sont respectées :

- si l'option DEPLACES est sans attributs, le module PH3 vérifie que les éléments `no_element` et `na_element` ont même longueur et même orientation ;
- s'il y a déplacement par TRANSLATION, l'élément `no_element` est translaté vers l'élément `na_element` de telle sorte que leurs origines coïncident si `na_element` est précédé du signe *moins*, ou leurs extrémités, sinon ; lorsque ces éléments n'ont pas la même longueur ou orientation, le nœud incidence de l'élément `na_element` non fixé est déplacé en conséquence ; le module PH3 vérifie que ce nœud est libre (non lié à un appui, ou à des éléments actifs) avant de recalculer ses coordonnées ;

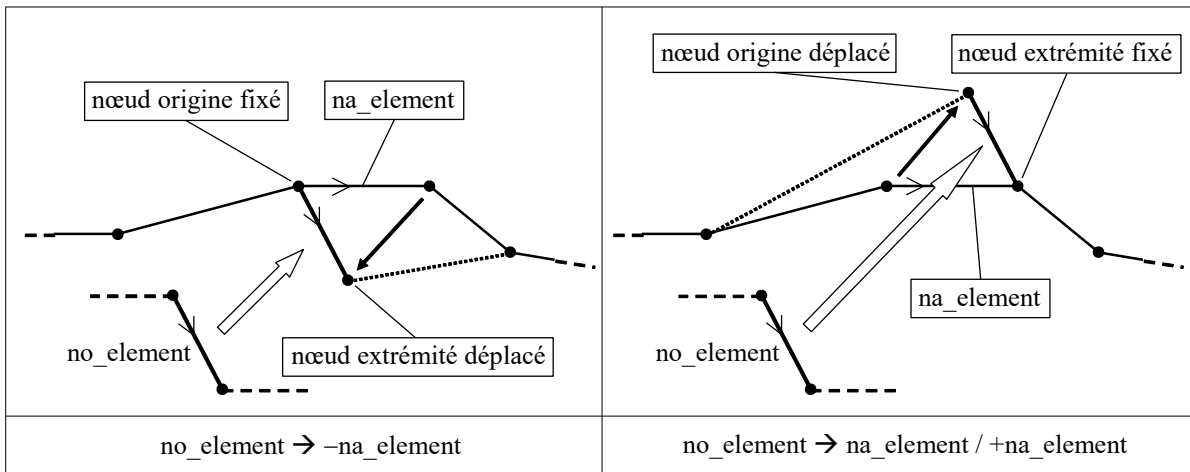


Figure 8.24 - Déplacement d'un élément par translation

- S'il y a déplacement par ROTATION, ses paramètres sont définis par une commande DEFINIR STRUCTURE POUSSEE strpou ROTATION ... ; les éléments à placer sont tournés selon les mêmes règles que s'ils étaient translatés, concernant leurs nœuds de fixation ; le module PH3 vérifie que les coordonnées des nœuds origines ou extrémités mis en correspondance sont compatibles avec les paramètres de la rotation à appliquer ;

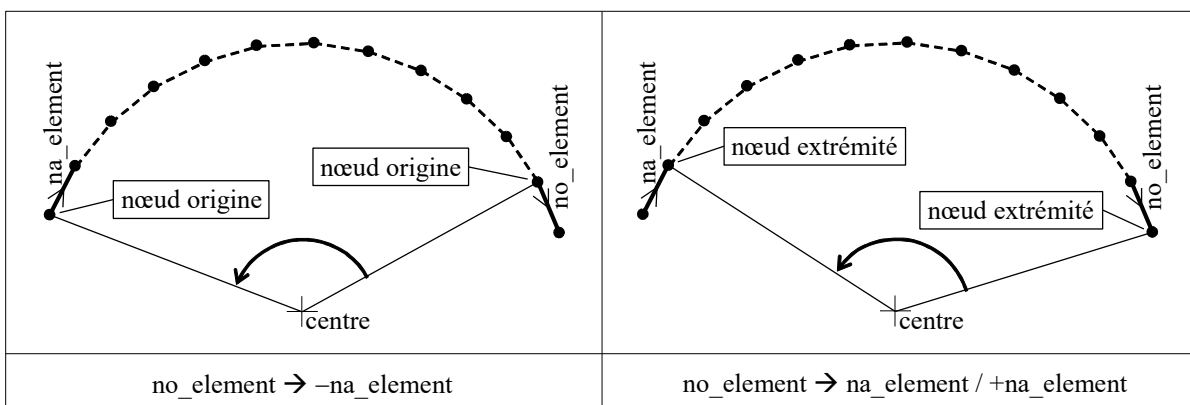


Figure 8.25 - Déplacement d'un élément par rotation

- s'il y a déplacement par EMBOÎTEMENT, seules les longueurs des éléments doivent être identiques ; l'élément no_element prendra l'orientation de l'élément na_element.

Conditions d'emploi

- Cette commande ne s'applique qu'aux éléments inactifs non articulations et non placés.
- Si le module PH3 ne fonctionne pas en mode CALCUL RHÉOLOGIQUE FIN, aucun élément ne peut être placé avec les options COULES ou PREFABRIQUES.
- En mode CALCUL RHÉOLOGIQUE FIN, seuls les éléments constitués d'un matériau vieillissant doivent être placés avec les options COULES ou PREFABRIQUES ; en effet, leurs dates de mise en œuvre servent à déterminer leur comportement visco-élastique.
- L'option SUSPENDUS ne s'applique qu'aux éléments de poutres.
- Un équipage mobile doit être placé sur la poutre dont il sert à suspendre les éléments.
- Un élément suspendu à un équipage mobile doit faire partie de sa zone d'action, éventuellement redéfinie par une commande EMPATTEMENT EQUIPAGES.
- L'option SUSPENDUS ne peut être utilisée que pour les éléments n'appartenant pas à une STRUCTURE POUSSEE.
- L'option DEPLACES ne peut être utilisée qu'en mode CONCORDANCE SUSPENDUE.
- Les options SUSPENDUS et DEPLACES sont incompatibles pour un élément donné.

Exemples

```

DATE 120
$ suspension de deux elements de poutre coules en place a la date courante
PLACER ELEMENTS COULES SUSPENDUS 2
$ nom_equipage no_element nom_equipage no_element
   EQUI_1      403          EQUI_2      404

DATE -5
$ mise en place de deux elements dont on fixe les dates de prefabrication
PLACER ELEMENTS PREFABRIQUES 2
$ no_element date_prefa no_element date_prefa
   405      -12          406      -14

SUSPENDRE CONCORDANCE $ necessaire pour autoriser l'option DEPLACES
DATE 100
$ deplacement de deux elements coules en place a la date courante ; leurs
$ noeuds extremités sont fixes (na_element positif) ; l'absence d'attributs
$ a l'option DEPLACES impose qu'ils aient meme longueur et orientation
PLACER ELEMENTS DEPLACES 2
$ no_element na_element no_element na_element
   150      101          151      102

DEFINIR STRUCTURE POUSSEE TAB_POU ... $ definit aussi une rotation
ROTATION ...
$ deplacement de deux elements par rotation, origines fixees ; mode CALCUL
$ RHEOLOGIQUE FIN non requis, puisqu'ils ne sont ni coules ni prefabriques
PLACER ELEMENTS DEPLACES ROTATION TAB_POU 2
$ no_element na_element no_element na_element
   60      -10          61      -11

```

Commandes liées

VERIFIER ; EDITER / NONEDITER ; DEFINIR STRUCTURE POUSSEE

EMPATTEMENT EQUIPAGES ; SUSPENDRE / CONTINUER CONCORDANCE
AFFECTER CONTRAINTES ; DATE ; PLACER EQUIPAGES
DEPLACER EQUIPAGES ; SUPPRIMER EQUIPAGES ; ACTIVER ELEMENTS
POUSSER [AUTOMATIQUEMENT] STRUCTURES

8.37 – PLACER ARTICULATIONS

PLACER ARTICULATIONS [CONTINUEITE [$\left\{ \begin{array}{l} \text{ABSOLU} \\ \text{RELATIF} \end{array} \right\}]]$ nb_artis

$\langle \text{nom_arti} \text{ no_element} \theta_1 \theta_2 \theta_3 [\text{du}_x \text{ du}_y \text{ du}_z \text{ d}\theta_x \text{ d}\theta_y \text{ d}\theta_z] \rangle_{\text{nb_artis}}$

Paramètres

- nb_artis : nombre d'articulations à placer, positif ;
- nom_arti : nom d'une articulation-type, défini sur une commande ARTICULATION du module PH1 (voir chapitre 6) ;
- no_element : numéro de l'élément où elle sera placée ;
- $\theta_1, \theta_2, \theta_3$: triple rotation normalisée (voir figure 1.2) orientant le repère de définition de l'articulation-type par rapport au repère global (angles nuls lorsque ces repères sont confondus) ;
- $\text{du}_x, \text{du}_y, \text{du}_z, \text{d}\theta_x, \text{d}\theta_y, \text{d}\theta_z$: vecteur déplacements $\{dU_p\}$ en repère global, à utiliser comme complément du vecteur différentiel des déplacements préexistants, pour établir la continuité (à ne fournir que si l'option CONTINUEITE est choisie) ; une valeur de déplacement du_i positive provoque un raccourcissement, tandis qu'une valeur négative provoque un allongement de l'articulation-type ; un vecteur ayant toutes ses composantes nulles établit une continuité totale.

Fonctions

Cette commande permet d'activer un groupe d'éléments articulations en leur affectant des articulations-types que l'on peut réorienter par rapport au repère global, et éventuellement prédéformer.

Sans l'option CONTINUEITE, la rigidité du modèle est modifiée et aucun chargement n'est généré.

Avec l'option CONTINUEITE, le module PH3 établit totalement (avec l'option ABSOLU et un vecteur déplacements $\{dU_p\}$ nul) ou partiellement (dans les autres cas) la continuité des déplacements cumulés, entre les nœuds incidents des articulations à placer.

Si on nomme $\{U_o\}$ et $\{U_e\}$ les vecteurs déplacements aux nœuds origine et extrémité de l'articulation, le vecteur différentiel des déplacements est :

$$\{dU\} = \{U_e\} - \{U_o\} \quad (8.1)$$

Avec l'option ABSOLU (option par défaut), on ne prend pas en compte l'état initial $\{dU_r\}$ (vecteur déplacements relatifs) et l'utilisateur fixe directement le vecteur déplacements $\{dU_a\}$ (vecteur déplacements absolus) effectivement utilisé pour établir la continuité.

$$\{dU_a\} = \{dU_p\}$$

Avec l'option RELATIF, l'état initial est pris en compte et l'utilisateur modifie cette état en rajoutant $\{dU_p\}$ à $\{dU_r\}$

$$\{dU_a\} = \{dU_r\} + \{dU_p\} \quad (8.2)$$

Et les opérations suivantes sont effectuées :

- application à chaque articulation-type, correctement orientée, d'un chargement symétrique destiné à la prédéformer selon $\{dU_a\}$;
- modification de la rigidité du modèle par introduction des articulations additives ;
- génération du chargement de prédéformation inverse ;
- application de ce chargement à la structure active dans sa nouvelle configuration, et calcul de son état de déformation et sollicitation.

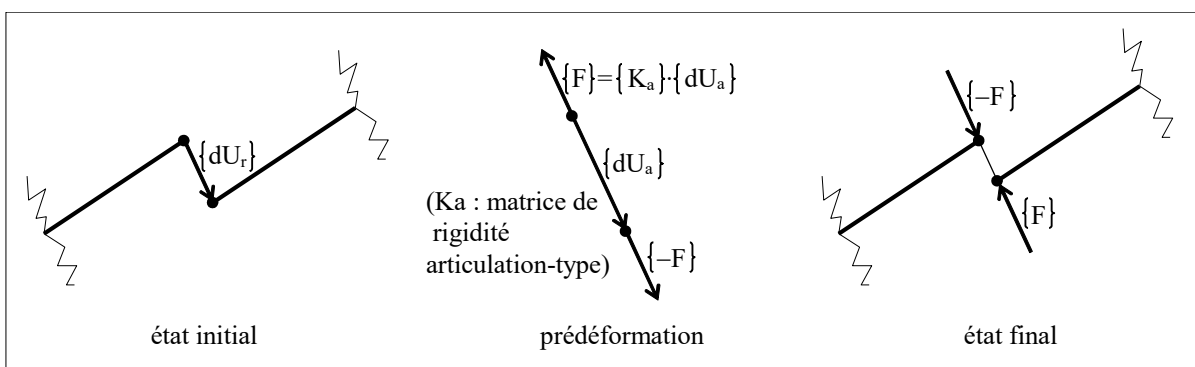


Figure 8.26 - Placement d'une articulation avec option CONTINUE

En mode DÉPLACEMENTS NON RÉPERCUTÉS, lorsqu'un élément articulation possède un nœud libre (de toute liaison à un appui ou à un élément actif) et un nœud lié à au moins un élément actif déformé, sa mise en place ne provoque pas de déplacement du nœud libre non encore déplacé vers celui qui l'est. En mode DÉPLACEMENTS RÉPERCUTÉS, le nœud libre est déplacé.

Ainsi, lorsque l'appui d'un tablier de pont sur une pile « souple » est modélisé par une articulation excentrée de la fibre moyenne du tablier à l'aide d'un élément rigide, il faut répercuter les déplacements pour obtenir la « bonne » déformée.

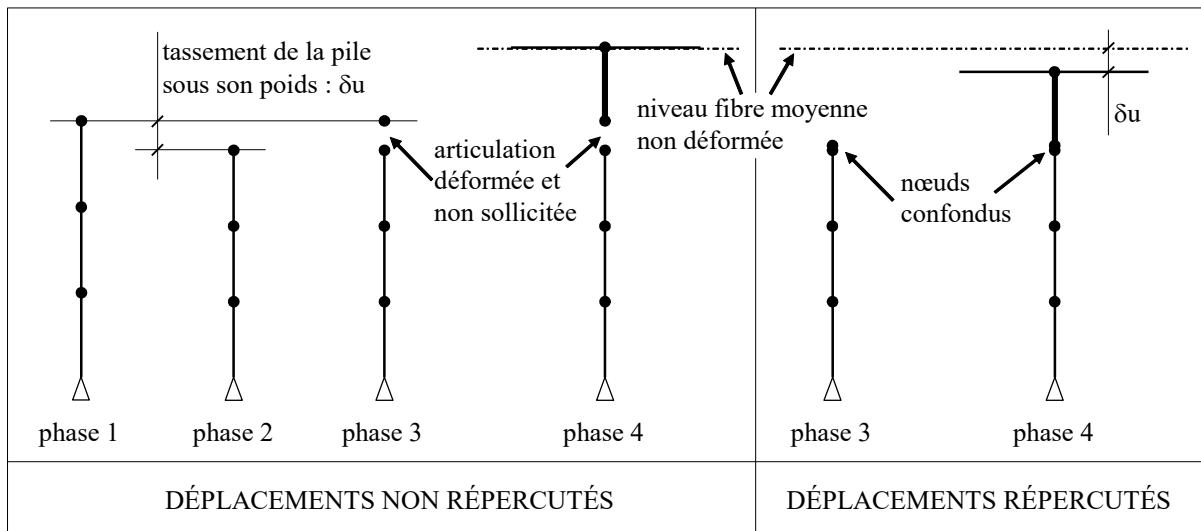


Figure 8.27 - Placement d'une articulation, répercussion des déformations

Chaque élément rigide non numéroté (défini ou d'excentrement) est activé automatiquement dès qu'un de ses nœuds incidents est relié à une articulation-type placée.

Conditions d'emploi

- Un couple de nœuds ne peut recevoir simultanément plus d'une articulation.
- Une même articulation-type peut être affectée à plusieurs éléments articulations.

Conseils méthodologiques

- L'option CONTINUITÉ s'utilise couramment pour aider à la simulation des opérations de poussage.
- Pour simuler le vérinage d'une articulation entre deux nœuds qui ont un déplacement différentiel courant différent, utiliser l'option CONTINUITÉ avec l'option ABSOLU ou RELATIF :
 - Avec l'option ABSOLU, le vérinage ne prend pas en compte le déplacement différentiel existant et le remplace par le nouveau différentiel de déplacement renseigné par l'utilisateur. Si celui-ci est nul, les deux nœuds de l'articulation ont le même déplacement.
 - Avec l'option RELATIF, le différentiel introduit par l'utilisateur vient s'ajouter algébriquement au différentiel de déplacement préexistant du fait du phasage de construction.

Exemples

```

$ pont cantilever a trois travees ; les liaisons au niveau des coupures
$ du tablier sont modelisees par deux articulations-types nommees ARTI_1
REPERCUTER DEPLACEMENTS
.....
$ activation des travees de rive et des consoles de la travee centrale
.....
PLACER ARTICULATIONS 2
nom_arti no_element teta1 teta2 teta3
ARTI_1 125 0.0 0.0 0.0
ARTI_1 175 0.0 0.0 0.0
.....
$ activation du reste de la travee centrale

```

.....

```
$ placement d'une articulation avec retablisement total de la continuite
PLACER ARTICULATIONS CONTINUITE ABSOLU 1
nom_arti no_element teta1 teta2 teta3 dux duy duz dtetax dtetay dtetaz
$ (degres) (radians)
ARTI_C 12345 0.0 0.0 12.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
```

Commandes liées

VERIFIER ; EDITER / NONEDITER

REPERCUTER / NONREPERCUTER DEPLACEMENTS / TRANSLATIONS ; DATE

REPLACER ARTICULATIONS ; ACTIVER ELEMENTS

SUPPRIMER ELEMENTS ; CAS DE CHARGE

POUSSER [AUTOMATIQUEMENT] STRUCTURES ; ETAT

8.38 – REMPLACER ARTICULATIONS

REEMPLACER ARTICULATIONS [CONTINUEITE [{ ABSOLU }]] nb_artis
 $\langle \text{nom_arti} \text{ no_element} \theta_1 \theta_2 \theta_3 [\text{du}_x \text{ du}_y \text{ du}_z \text{ d}\theta_x \text{ d}\theta_y \text{ d}\theta_z] \rangle_{\text{nb_artis}}$

Paramètres

- nb_artis : nombre d'articulations à remplacer, positif ;
- nom_arti : nom d'une nouvelle articulation-type, défini sur une commande ARTICULATION du module PH1 (voir chapitre 6) ;
- no_element : numéro de l'élément où elle remplacera l'ancienne articulation-type ;
- $\theta_1, \theta_2, \theta_3$: triple rotation normalisée (voir figure 1.2) orientant le repère de définition de la nouvelle articulation-type par rapport au repère global (angles nuls lorsque ces repères sont confondus).
- $\text{du}_x, \text{du}_y, \text{du}_z, \text{d}\theta_x, \text{d}\theta_y, \text{d}\theta_z$: voir commande PLACER ARTICULATIONS ;

Fonctions

Cette commande permet de remplacer les articulations-types affectées à un groupe d'éléments articulations, et de redéfinir leur orientation.

Sans l'option CONTINUEITE, les opérations suivantes sont réalisées :

- modification de la rigidité du modèle par suppression des anciennes articulations et introduction des nouvelles ;
- génération du chargement du à la suppression des anciennes articulations, obtenu par inversion des efforts qu'elles exerçaient sur la structure ;
- application de ce chargement à la structure active dans sa nouvelle configuration, et calcul de son état de déformation et sollicitation.

Avec l'option CONTINUEITE, il faut prédéformer les nouvelles articulations avant de les introduire, et superposer au chargement du à la suppression des anciennes articulations, celui de prédéformation inverse (analogie avec la commande PLACER ARTICULATIONS).

Avec l'option ABSOLU (option par défaut), on ne prend pas en compte l'état initial, tandis qu'avec l'option RELATIF, on le prend en compte (voir la commande précédente PLACER ARTICULATIONS).

Conseils méthodologiques

- L'option CONTINUEITE s'utilise couramment pour aider à la simulation des opérations de poussage.
- Pour simuler le vérinage d'une articulation entre deux nœuds qui ont un déplacement différentiel courant différent, utiliser l'option CONTINUEITE avec l'option ABSOLU ou RELATIF :
 - Avec l'option ABSOLU, le vérinage ne prend pas en compte le déplacement différentiel existant et le remplace par le nouveau différentiel de déplacement renseigné par l'utilisateur. Si celui-ci est nul, les deux nœuds de l'articulation ont le même déplacement.

- Avec l'option RELATIF, le différentiel introduit par l'utilisateur vient s'ajouter algébriquement au différentiel de déplacement préexistant du fait du phasage de construction.

Exemples

Considérons le cas d'une articulation bloquée, puis libérée ; deux articulations-types ont été définies : ARTI_B et ARTI_L représentant respectivement l'articulation bloquée et libérée.

```
$ mise en place de l'articulation bloquee, le blocage temporaire assure
$ notamment la stabilite de la partie de structure en cours de construction
PLACER ARTICULATIONS 1
ARTI_B 256 3*0.0
.....
$ l'etat d'avancement de la construction autorise le deblocage de l'element
$ 256 sans compromettre la stabilite ; ARTI_L remplace ARTI_B ; les efforts
$ anciennement supportes par ARTI_B sont appliques a la nouvelle structure
REPLACER ARTICULATIONS 1
nom_arti no_element teta1 teta2 teta3
ARTI_L 256 0.0 0.0 0.0
```

Commandes liées

VERIFIER ; EDITER / NONEDITER ; DATE ; PLACER ARTICULATIONS ; ETAT

8.39 – ACTIVER ELEMENTS

ACTIVER ELEMENTS [* { POIDS
EINSTANTAN E }] [nb_elements]
[<no_element >]_{nb_elements}]

Paramètres

- nb_elements : nombre d'éléments à activer, positif ;
- no_element : numéro d'un élément à activer.

Les numéros d'éléments ne sont fournis (dans l'ordre réel de leur activation, s'il est significatif) que si nb_elements l'est ; sinon, tous les éléments non articulations et non encore activés du modèle seront activés simultanément, par défaut.

Fonctions

Pour les paramètres module_reference, para_supp₁ et loi_module, se reporter à la commande MATERIAU du module GE1 (voir chapitre 3) ou PH1 (voir chapitre 6).

Cette commande provoque l'activation d'un groupe d'éléments non articulations, avec prise en compte optionnelle de leur poids propre.

Chaque élément rigide non numéroté ou d'excentrement est activé automatiquement dès qu'un de ses nœuds incidents au moins se trouve relié à un élément activé directement ou indirectement via un élément rigide. Les appuis ne provoquent pas l'activation des éléments rigides.

Sans l'option POIDS, la rigidité du modèle est modifiée et aucun chargement n'est généré.

Avec l'option POIDS, les opérations supplémentaires suivantes sont effectuées :

- génération du chargement du à la suppression du poids propre des éléments à activer suspendus à des équipages mobiles ;
- génération du chargement du au poids propre de tous les éléments à activer ;
- application de ces chargements à la structure active dans sa nouvelle configuration, et calcul de son état de déformation et sollicitation.

Le poids propre de chaque élément bi-articulé s'applique pour moitié en son nœud origine et en son nœud extrémité.

La rigidité calculée des éléments activés tient compte des propriétés de leurs matériaux constitutifs, et de l'option de calcul retenue pour les phénomènes rhéologiques.

En mode CALCUL FORFAITAIRE, le module d'Young des matériaux constitutifs des éléments à activer, utilisé pour calculer leur rigidité est :

- le module de référence (paramètre module_reference) par défaut ;
- le paramètre para_supp₁, avec l'option EINSTANTANE.

En mode CALCUL RHÉOLOGIQUE FIN, le module d'Young utilisé est :

- le module de référence (paramètre `module_reference`) pour les matériaux dont le paramètre `loi_module` est nul ;
- le paramètre `para_supp1` (module instantané) pour les matériaux dont le module instantané est constant dans le temps ;
- calculé d'après les paramètres `loi_module` et `para_supp1` et la date de coulage pour les éléments ayant un module instantané variable dans le temps.

Les déplacements ou translations provoquées par l'introduction des nouveaux éléments sont gérées selon leur mode de répercussion.

Lorsqu'on fournit une liste d'éléments à activer, le mode de répercussion des déformations influence la déformée produite.

En mode DÉPLACEMENTS RÉPERCUTÉS, lorsqu'un élément possède un nœud libre (de toute liaison à un appui ou à un élément actif) et un nœud lié à au moins un élément actif déformé, son activation provoque la répercussion des déplacements (et rotations) du nœud lié vers le nœud libre.

Ce processus se répète, pour tous les éléments à activer, dans l'ordre prescrit.

Par exemple, considérons une console à quatre éléments dont le premier est activé et chargé, et dont on active les trois autres éléments dans les six ordres différents possibles.

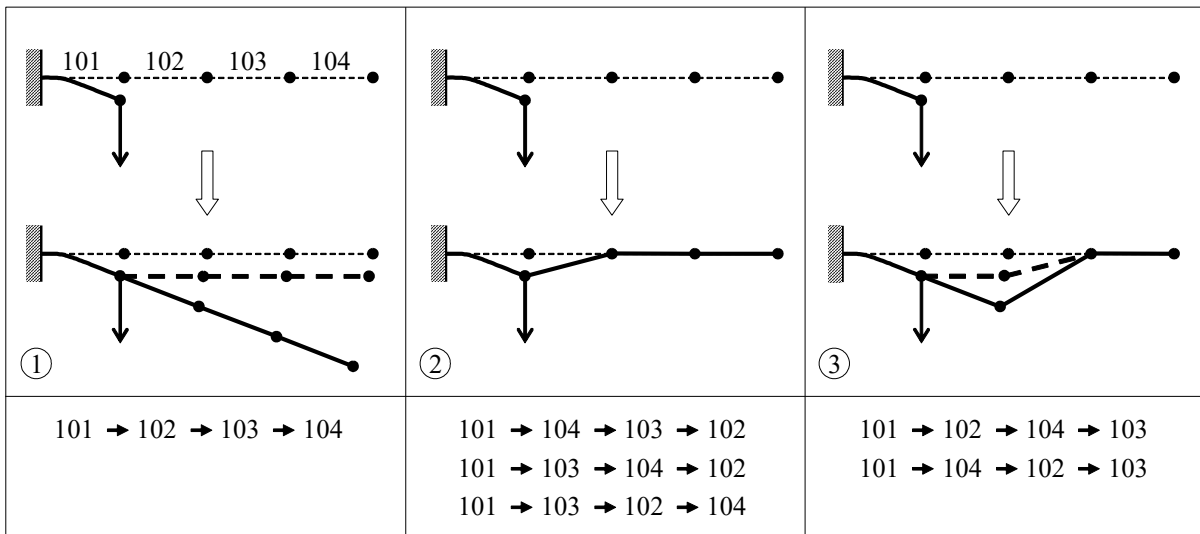


Figure 8.28 - Éléments activés avec DÉPLACEMENTS / TRANSLATIONS RÉPERCUTÉS

En mode TRANSLATIONS RÉPERCUTÉES, seuls les déplacements purs sont concernés, et non les rotations (voir lignes en traits forts tiretés de la figure 8.28).

En mode DÉPLACEMENTS NON RÉPERCUTÉS, tous les nœuds antérieurement libres des éléments activés restent sur leur « ligne zéro » (structure initiale non déformée) et l'ordre d'activation est indifférent.

Dans l'exemple ci-dessus, on obtient toujours la déformée du cas numéro ②.

Conditions d'emploi

- L'activation par défaut de tous les éléments ne fonctionne que lorsqu'aucun élément non articulation n'est actif.
- Les éléments articulations ne peuvent être activés que par la commande PLACER ARTICULATIONS.
- En mode CALCUL RHÉOLOGIQUE FIN, tout élément constitué d'un matériau vieillissant doit être placé avec l'option COULES ou PREFABRIQUES de la commande PLACER ELEMENTS, avant d'être activé.
- La date de mise en œuvre d'un élément coulé ou préfabriqué doit être antérieure à sa date d'activation.
- Un élément suspendu à un équipement mobile doit être activé avec l'option POIDS.
- Les éléments bi-articulés activés avec l'option POIDS ne pourront être tendus.

Exemples

```
$ activation simultanee de tous les elements non articulations  
ACTIVER ELEMENTS
```

```
$ activation de deux elements avec leur poids propre  
$ et leur module d'Young instantane  
ACTIVER ELEMENTS POIDS EINSTANTANE 2  
101 102
```

Commandes liées

VERIFIER ; CHAINETTES

REPERCUTER / NONREPERCUTER DEPLACEMENTS / TRANSLATIONS

EDITER / NONEDITER ; AFFECTER CONTRAINTES ; DATE

PLACER ARTICULATIONS ; PLACER ELEMENTS ; TENDRE ELEMENTS

SUPPRIMER ELEMENTS ; CAS DE CHARGE

POUSSER [AUTOMATIQUEMENT] STRUCTURES

8.40 – TENDRE ELEMENTS

TENDRE ELEMENTS [{ $\frac{\text{RELATIF}}{\text{ABSOLU}}$ }] [{ $\begin{matrix} \text{FX1} \\ \text{FY1} \\ \text{FZ1} \\ \text{FX2} \\ \text{FY2} \\ \text{FZ2} \\ \text{FC1} \\ \text{FC2} \\ \text{FT1} \\ \text{FT2} \\ \text{LGV} \end{matrix}$ }] nb_elements

$\langle \text{no_element} \quad \text{tension_1} \rangle_{\text{nb_elements}}$

Paramètres

- nb_elements : nombre d'éléments bi-articulés à tendre, positif ;
- no_element : numéro d'un élément ;
- tension_1 : variation de longueur à vide (mode RELATIF) ou longueur à vide (mode ABSOLU) imposée si l'option LGV est utilisée ; sinon, variation de tension (mode RELATIF) ou tension (mode ABSOLU) à appliquer en un point et selon un axe définis par les options FX1 à FT2 (positive pour une traction selon corde ou tangente).

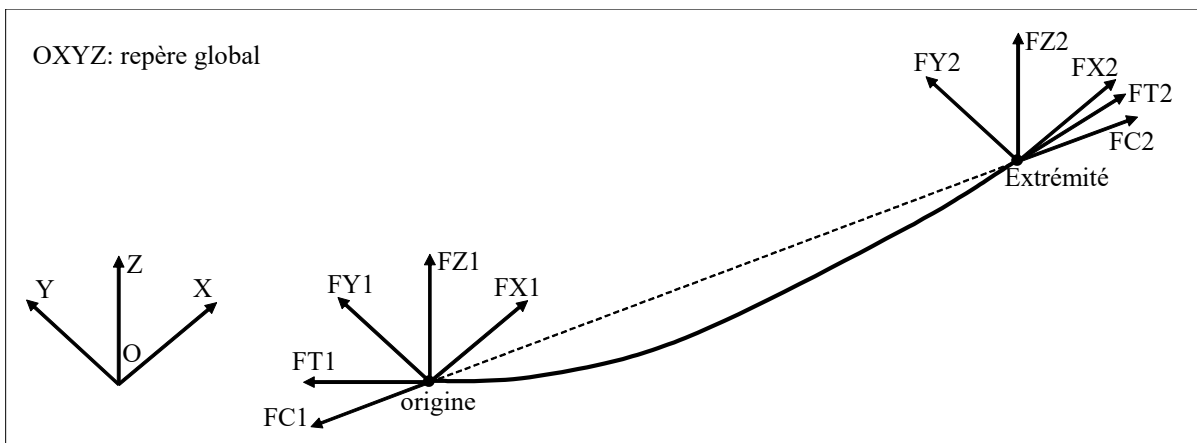


Figure 8.29 - Options d'application des tensions sur éléments bi-articulés

Fonctions

Cette commande permet de fixer ou modifier les longueurs à vide d'un groupe d'éléments bi-articulés, ou d'appliquer, en leurs origines ou extrémités, certaines variations de tension ou tensions, selon un axe du repère global, des axes tangents à leurs tracés, ou selon leurs cordes.

Avec l'option RELATIF (retenue par défaut), tension_1 est ajoutée à la longueur à vide ou tension correspondante, dans l'élément no_element.

Avec l'option ABSOLU, tension_1 est la longueur à vide ou tension qui lui est imposée.

Avec les options FX1, FY1, FZ1, FX2, FY2 ou FZ2, tension_1 est une tension appliquée selon l'axe OX, OY ou OZ du repère global, à l'origine ou extrémité de l'élément no_element.

Avec les options FC1 ou FC2, tension_1 est une tension appliquée selon sa corde, à son origine (option par défaut) ou à son extrémité. Avec les options FT1 ou FT2, tension_1 est une tension appliquée selon la tangente, à son origine ou à son extrémité.

L'élément étant coupé de manière fictive à proximité du noeud concerné, la tension appliquée est toujours l'action de sa partie extrémité sur sa partie origine.

Avec l'option LGV, tension_1 est une longueur à vide.

Entre leur activation et leur mise en tension, les éléments déclarés de type chaînette (voir commande CHAINETTES) sont supposés infiniment souples.

La tension des éléments non déclarés de type chaînette est appliquée sans prendre en compte leur poids propre alors que le poids propre des éléments déclarés de type chaînette est toujours appliqué, par le module PH3, lors de leur première mise en tension.

La tension fixée en mode ABSOLU dans les éléments relevant du mode chaînettes simplifiées est une tension moyenne, quel que soit son point d'application, puisque leur poids propre est appliqué, par le module PH3, pour moitié à leurs origines et extrémités.

Conditions d'emploi

- Seuls les éléments bi-articulés actifs peuvent être tendus.
- Les éléments bi-articulés activés avec l'option POIDS de la commande ACTIVER ELEMENTS ne peuvent être tendus.
- Les éléments relevant du mode calcul chaînettes doivent toujours être tendus, la première fois, en mode ABSOLU.

Exemples

```
$ declaration des elements de type chainette (mode calcul chainette)
CHAINETTES 2
100 0.50 101 0.50
.....
ACTIVER ELEMENTS 2
101 102
$ premiere mise en tension selon leur cordes, toujours en mode ABSOLU,
$ l'option FC1 est prise par default ; les elements participeront a la
$ rigidite du modele ; leur poids propre est applique conjointement
TENDRE ELEMENTS ABSOLU 2
100 160.0 101 150.0
.....
$ retension selon leurs cordes ; les options RELATIF et FC1 sont prises
$ par default ; les valeurs introduites s'ajoutent aux tensions courantes
TENDRE ELEMENTS 2
100 0.10 101 0.10
```

Cette écriture serait la même pour tendre des éléments non déclarés de type chaînette.

Commandes liées

VERIFIER ; UNITES ; CHAINETTES ; EDITER / NONEDITER ; DATE

ACTIVER ELEMENTS ; CAS DE CHARGE ; REDISTRIBUER ; ETAT

8.41 – SUPPRIMER ELEMENTS

SUPPRIMER ELEMENTS nb_elements

⟨no_element⟩_{nb_elements}

Paramètres

- nb_elements : nombre d'éléments à supprimer, positif ;
- no_element : numéro d'un élément à supprimer.

Fonctions

Cette commande permet de désactiver un groupe d'éléments actifs de tous types, par réalisation des opérations suivantes :

- modification de la rigidité du modèle par suppression des éléments sélectionnés ;
- génération du chargement du à cette suppression, obtenu par inversion des efforts qu'ils exerçaient sur la structure ;
- application de ce chargement à la structure active dans sa nouvelle configuration et calcul de son état de déformation et sollicitation.

S'il y a lieu, l'historique de chargement des éléments supprimés est neutralisé.

Conditions d'emploi

- Cette commande ne peut être introduite que si la structure comporte au moins un appui placé et un élément actif.
- La stabilité de la structure doit être maintenue après la suppression d'éléments.
- Tous les éléments actifs peuvent être supprimés, y compris les articulations.
- Un élément supprimé peut être à nouveau placé ou activé.

Exemples

```
ACTIVER ELEMENTS 6
105 110 505 510 705 710
PLACER ARTICULATIONS 3
ARTI_1 1001 3*0.0
ARTI_1 1005 3*0.0
ARTI_1 1007 3*0.0
.....
SUPPRIMER ELEMENTS 3
505 510 1005          $ les elements supprimees comprennent une articulation
```

Commandes liées

VERIFIER ; EDITER / NONEDITER ; DATE ; PLACER APPUIS

REPLACER APPUIS ; SUPPRIMER APPUIS ; PLACER ARTICULATIONS

ACTIVER ELEMENTS ; CAS DE CHARGE

POUSSER [AUTOMATIQUEMENT] STRUCTURES ; ETAT

8.42 – TENDRE CABLES

TENDRE CABLES [NONINJECTES] [nb_cables]

[⟨nom_cable⟩_{nb_cables}]

Paramètres

- nb_cables : nombre de câbles à tendre, positif ;
- nom_cable : nom d'un câble à tendre, défini sur une commande TRACE CABLE du module GE1 (voir chapitre 3), ou généré par le module MC1 (voir chapitre 4), ou PH1 (voir chapitre 6).

Les noms de câbles ne sont fournis que si nb_cables l'est ; sinon, tous les câbles du modèle seront tendus simultanément, par défaut.

Fonctions

Cette commande provoque la mise en tension d'un groupe de câbles, avec ou sans injection de leurs gaines, par réalisation des opérations suivantes :

- génération du chargement du à leurs tensions initiales ;
- application de ce chargement à la structure active et calcul de son nouvel état de déformation et sollicitation ;
- génération du chargement du à leurs pertes de tension instantanées (qui intègrent les pertes élastiques, en mode CALCUL FORFAITAIRE) et actualisation de leurs tensions ;
- application de ce chargement à la structure active et calcul de son nouvel état de déformation et sollicitation.

Sans l'option NONINJECTES, les câbles sont supposés liés à la structure sur toute leur longueur (gaines injectées en totalité par défaut).

Avec l'option NONINJECTES, les câbles sont supposés liés à la structure par leurs ancrages uniquement ; cette option est utilisée :

- par le module PH3, en mode CALCUL RHÉOLOGIQUE FIN, pour prendre en compte les interactions bétons-aciers ;
- par le module ENV, dans tous les cas, pour calculer les contraintes à partir des efforts dus aux charges d'exploitation.

Conditions d'emploi

- La mise en tension par défaut de tous les câbles ne fonctionne que lorsqu'aucun câble n'est tendu.
- Seuls le câbles non encore tendus peuvent être mis en tension.
- Tous les éléments (de poutres) traversés partiellement ou totalement par des câbles tendus doivent être actifs.

Conseils méthodologiques

- L'option NONINJECTES doit être utilisée pour les câbles ou parties de câbles intérieurs au béton mais non liés à leurs gaines par un coulis d'injection, ou pour les câbles extérieurs au béton (modélisés normalement avec un diamètre de gaine nul dans les commandes CARACTERISTIQUES CABLES du module GE1 qui leur correspondent, voir chapitre 3).
- Pour obtenir des câbles injectés par tronçons, il faut les tendre avec l'option NONINJECTES, puis les injecter, câble par câble, à l'aide de l'option PARTIELLEMENT de la commande INJECTER CABLE[S].

Exemples

```
$ mise en tension de tous les cables du modele  
$ avec injection de leurs gaines  
TENDRE CABLES
```

```
$ mise en tension d'un couple de cables, sans injection de leurs gaines  
TENDRE CABLES NONINJECTES 2  
P1F119G P1F119D
```

Commandes liées

VERIFIER ; EDITER / NONEDITER ; AFFECTER CONTRAINTES

DATE ; INJECTER CABLE[S] ; DETENDRE CABLES ; PERTES CABLES

IMPRIMER TENSIONS

8.43 – INJECTER CABLE[S]

$$\text{INJECTER} \left\{ \begin{array}{l} \text{CABLES} \quad [\text{nb_cables}] \\ \text{CABLE} \quad \text{PARTIELLEMENT} \quad \text{nom_cable_p} \quad \text{nb_elements} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} [\langle \text{nom_cable_t} \rangle_{\text{nb_cables}}] \\ \langle \text{no_element} \rangle_{\text{nb_elements}} \end{array} \right\}$$

Paramètres

- `nb_cables` : nombre de câbles à injecter, en cas d'injection totale d'un groupe de câbles, positif ; s'il n'est pas fourni, tous les câbles tendus seront injectés ;
- `nom_cable_t` : nom d'un câble à injecter totalement ; la liste de noms n'est fournie que si `nb_cables` l'est ;
- `nom_cable_p` : nom du câble à injecter partiellement ;
- `nb_elements` : nombre d'éléments dans la traversée desquels il sera injecté, positif ;
- `no_element` : numéro d'un élément traversé ; la liste de numéros n'est fournie que si l'option `PARTIELLEMENT` est utilisée.

Fonctions

Cette commande provoque l'injection d'un groupe de câbles sur la totalité de leur longueur, ou d'un câble sur une longueur réduite à un sous-ensemble des éléments qu'il traverse.

Conditions d'emploi

- Les câbles désignés doivent être tendus et non injectés dans les éléments concernés par l'injection.
- L'injection est une opération irréversible.

Conseils méthodologiques

Voir les conseils méthodologiques de la commande `TENDRE CABLES`.

Exemples

```
$ injection de tous les cables tendus sur la totalite de leur longueur
INJECTER CABLES
```

```
$ injection de deux cables dans la traversee de trois elements
INJECTER CABLE PARTIELLEMENT C2P10G 3
101 110 120
INJECTER CABLE PARTIELLEMENT C2P10D 3
101 110 120
```

Commandes liées

`DATE` ; `TENDRE CABLES` ; `DETENDRE CABLES`

8.44 – DETENDRE CABLES

DETENDRE CABLES [nb_cables]

[⟨nom_cable⟩_{nb_cables}]

Paramètres

- nb_cables : nombre de câbles à détendre, positif ;
- nom_cable : nom d'un câble à détendre.

Les noms de câbles ne sont fournis que si nb_cables l'est ; sinon, tous les câbles tendus seront détendus simultanément, par défaut.

Fonctions

Cette commande provoque la détension d'un groupe de câbles, par réalisation des opérations suivantes :

- génération du chargement du à leurs pertes de tension courantes (cumulées depuis leur mise en tension) ;
- application de ce chargement à la structure active et calcul de son nouvel état de déformation et sollicitation ;
- génération du chargement du à la suppression de leurs tensions initiales ;
- application de ce chargement à la structure active et calcul de son nouvel état de déformation et sollicitation.

Conditions d'emploi

- Les câbles désignés doivent être tendus.
- Un câble détendu pourra être retendu.

Exemples

```
$ detension simultanee de tous les cables tendus
DETENDRE CABLES
```

```
$ detension d'un couple de cables
DETENDRE CABLES 2
P1F119G P1F119D
```

Commandes liées

VERIFIER ; EDITER / NONEDITER ; DATE ; TENDRE CABLES

INJECTER CABLES ; PERTES CABLES ; IMPRIMER TENSIONS

8.45 – PERTES CABLES

PERTES CABLES [RATIO pourcent] [nb_cables]

[⟨nom_cable⟩_{nb_cables}]

Paramètres

- pourcent : pourcentage des pertes de précontrainte différées totales à introduire ; doit être supérieur à 1.0 et inférieur ou égal à 100.0 ; sa valeur par défaut est 100.0 ;
- nb_cables : nombre de câbles sélectionnés, positif ; s'il n'est pas fourni, tous les câbles tendus seront pris en compte par défaut ;
- nom_cable : nom d'un câble ; la liste de noms n'est fournie que si nb_cables l'est.

Fonctions

Cette commande permet d'introduire une fraction des pertes de tension différées totales, d'un groupe de câbles tendus, par réalisation des opérations suivantes :

- génération du chargement du au pourcentage de pertes spécifié et actualisation des tensions dans les câbles concernés ;
- application de ce chargement à la structure active et calcul de son nouvel état de déformation et sollicitation.

Conditions d'emploi

- Cette commande n'est utilisable qu'en mode CALCUL FORFAITAIRE.
- Les pertes relatives à un groupe de câbles peuvent être introduites en plusieurs étapes, à l'aide de ratios portant toujours leurs valeurs totales.
- Il n'est pas vérifié que la somme des pourcentages appliqués à un groupe de câbles ne dépasse pas 100.0.

Exemples

```
$ choix du mode de calcul FORFAITAIRE
AFFECTER CONTRAINTES UNIQUES 500.0
.....
$ application des pertes de tension differees totales des cables tendus
PERTES CABLES
.....
$ application de la moitie des pertes de tension differees de deux cables
PERTES CABLES RATIO 50.0 2
F1_C1G F1_C1D
.....
$ application du quart de leurs pertes de tension differees
PERTES CABLES RATIO 25.0 2
F1_C1G F1_C1D
$ à ce stade, un quart de leurs pertes totales restent a appliquer ...
```

Commandes liées

VERIFIER ; EDITER / NONEDITER ; AFFECTER CONTRAINTES ; DATE
TENDRE CABLES ; DETENDRE CABLES ; IMPRIMER TENSIONS

8.46 – CAS DE CHARGE

CAS DE CHARGE [no_charge]

titre_charge

.....
commandes de chargement
.....

Paramètres

- no_charge : numéro d'identification du cas de charge à créer, positif et inférieur à 90_000 ; n'est fourni que si les effets du cas de charge doivent être enregistrés en base de données ;
- titre_charge : intitulé indiquant sa consistance et destiné à faciliter sa gestion ultérieure (chaîne de caractères).

Les commandes de chargement qui suivent immédiatement donnent la composition du cas de charge ; ce peut être une commande DEFORMATION APPUIS, qui doit être traitée individuellement, ou toute combinaison en nombres quelconques de commandes :

- CHARGEMENT [IDENTIQUE] NOEUDS ;
- CHARGEMENT POUTRE / [IDENTIQUE] ELEMENTS ;
- DISTORSION ELEMENTS ;
- CHARGEMENT [IDENTIQUE] THERMIQUE.

Fonctions

Cette commande débute un cas de charge, l'identifie et gère l'enregistrement de ses effets en base de données.

Après analyse des commandes de chargement qui s'y rapportent, les opérations suivantes sont effectuées :

- combinaison de toutes les charges ;
- application à la structure active et calcul de leurs effets produits sur les déformations et sollicitations ;
- en mode CUMUL seulement, calcul du nouvel état de déformation et sollicitation de la structure active ;
- si un numéro d'identification est fourni, enregistrement en base de données de l'ensemble des effets produits dans la structure active sur les déplacements, réactions d'appuis, efforts et contraintes éventuelles (la liste des appuis placés et des éléments actifs s'y ajoute).

Un cas de charge enregistré est identifié par son numéro et éventuellement le nom de la dernière structure sauvegardée, à l'aide d'une commande SAUVER, ou restaurée à l'aide de l'option SUITE de la commande PHASES.

Il peut être rappelé (avec son intitulé) par le module ETU, en vue de pondérer ses effets, les intégrer à une combinaison ou une enveloppe, les éditer, ou par le module RES, en vue de visualiser ses effets.

Conditions d'emploi

- Le numéro d'identification d'un EFFET déjà enregistré par les modules PH3, ENV, DYN ou ETU (selon la terminologie employée par le module ETU, voir tableau 12.1) ne peut être utilisé pour désigner un CAS DE CHARGE enregistré.
- Un cas de charge enregistré peut être remplacé en base de données, par un autre portant le même numéro ; cette possibilité doit être réservée à la mise à jour des effets d'un cas de charge erroné.
- Le rattachement de plusieurs cas de charge à une structure sauvegardée est purement formel et peut correspondre à des schémas statiques différents.
- Seuls les éléments actifs et les nœuds qui les délimitent pourront être chargés.
- Les éléments bi-articulés non déclarés de type chaînette (voir commande CHAINETTES) ne pourront être chargés que axialement, par exemple pour introduire leurs tensions (concurrentement avec la commande TENDRE ELEMENTS) ; il est rappelé que leur poids propre doit être introduit sous forme de charges aux nœuds.
- Les éléments bi-articulés déclarés de type chaînette ne pourront subir que des chargements thermiques axiaux ; la commande TENDRE ELEMENTS doit gérer leur mise en tension.

Exemples

```

PHASES $ session 1
.....
CAS DE CHARGE 100
'TASSEMENT D''APPUIS'
$ cette commande de chargement ne peut etre associee a d'autres
DEFORMATION APPUIS ...
.....
SAUVER STRUCT1
CAS DE CHARGE 101
'ANCIENNE DEFINITION'
$ ces commandes peuvent etre associees sans restriction
CHARGEMENT NOEUDS ...
.....
CHARGEMENT ELEMENTS ...
.....
DISTORSION ELEMENTS ...
.....
CHARGEMENT THERMIQUE ...
.....
FIN

PHASES SUITE STRUCT1 $ session 2
.....
CAS DE CHARGE 101
'NOUVELLE DEFINITION'
.....
FIN
    
```

À l'issue de l'analyse de ces deux exemples, la base de données contient :

- le CAS DE CHARGE 100 (non rattaché à une structure sauvegardée) ;
- la nouvelle définition du CAS DE CHARGE 101, rattaché à la structure sauvegardée STRUCT1 (invocable par le module ETU sous l'appellation : « CHARGE 101 STRUCTURE STRUCT1 »).

Commandes liées

PHASES ; VERIFIER ; CHAINETTES ; SUSPENDRE / CONTINUER CUMUL
EDITER / NONEDITER ; DATE ; PLACER ARTICULATIONS
ACTIVER ELEMENTS ; TENDRE ELEMENTS ; SUPPRIMER ELEMENTS
CHARGEMENT [IDENTIQUE] NOEUDS / EXTREMITES
DEFORMATION APPUIS ; CHARGEMENT [POUTRE] / [IDENTIQUE] ELEMENTS
DISTORSION ELEMENTS ; CHARGEMENT [IDENTIQUE] THERMIQUE
SAUVER ; ETAT

8.47 – CHARGEMENT [IDENTIQUE] NOEUDS / EXTREMITES

$$\text{CHARGEMENT [IDENTIQUE] } \left\{ \begin{array}{l} \text{NOEUDS} \\ \text{EXTREMITES} \end{array} \right\} \text{ nb_noel}$$

$$\left\{ \left\langle \left\{ \begin{array}{l} \text{no_noeud} \\ \left[\begin{array}{l} + \\ - \end{array} \right] \text{no_element} \end{array} \right\} \right. \right. \left. \left. \begin{array}{l} \text{Fx} \quad \text{Fy} \quad \text{Fz} \quad \text{Mx} \quad \text{My} \quad \text{Mz} \end{array} \right. \right. \right\rangle_{\text{nb_noel}}$$

$$\left\{ \left\langle \left\{ \begin{array}{l} \text{no_noeud} \\ \left[\begin{array}{l} + \\ - \end{array} \right] \text{no_element} \end{array} \right\} \right. \right. \left. \left. \begin{array}{l} \text{Fx} \quad \text{Fy} \quad \text{Fz} \quad \text{Mx} \quad \text{My} \quad \text{Mz} \end{array} \right. \right. \right\rangle_{\text{nb_noel}}$$

Paramètres

- nb_noel : nombre de nœuds ou « extrémités » d'éléments à charger, positif ;
- no_noeud : numéro d'un nœud à charger, à fournir si l'option NOEUDS est utilisée ;
- no_element : numéro d'un élément, précédé du signe *moins* si on désigne son origine, ou du signe *plus* ou d'aucun signe si on désigne son extrémité, à fournir si l'option EXTREMITES est utilisée ;
- Fx, Fy, Fz, Mx, My, Mz : forces et moments appliqués selon les axes OX, OY et OZ du repère global, au nœud no_noeud si l'option IDENTIQUE n'est pas utilisée, ou au groupe de nœuds dont les numéros précèdent si l'option IDENTIQUE est utilisée.

Fonctions

Cette commande permet de charger en repère global, individuellement ou collectivement, un groupe de nœuds numérotés ou un groupe de nœuds invisibles, reliés à d'autres nœuds par des éléments rigides d'excentremets et désignés implicitement par leurs éléments adjacents.

Exemples

```
CAS DE CHARGE
'2 NOEUDS CHARGES INDIVIDUELLEMENT, 10 NOEUDS ET EXTREMITES COLLECTIVEMENT'
CHARGEMENT NOEUDS 2
$ no_noeud   Fx   Fy   Fz   Mx   My   Mz
  105        0.0  0.0 -25.0  0.0  0.0  0.0
  205        0.0  0.0 -12.5  0.0  0.0  0.0
CHARGEMENT IDENTIQUE NOEUDS 10
105 A 150 INC 5 $ numeros de noeuds
$ Fx   Fy   Fz   Mx   My   Mz
 10.0  0.0  25.0  0.0 300.0  0.0
CHARGEMENT IDENTIQUE EXTREMITES 10
-5 A -25 INC -5 $ numeros d'elements dont l'origine est chargee
105 A 125 INC 5 $ numeros d'elements dont l'extremite est chargee
$ Fx   Fy   Fz   Mx   My   Mz
 10.0  0.0  25.0  0.0 300.0  0.0
```

Commandes liées

UNITES ; CHAINETTES ; CAS DE CHARGE

8.48 – DEFORMATION APPUIS

DEFORMATION APPUIS nb_appuis

$$\left\langle \text{no_noeud} \quad \text{du}_x \quad \text{du}_y \quad \text{du}_z \quad \text{d}\theta_x \quad \text{d}\theta_y \quad \text{d}\theta_z \right\rangle_{\text{nb_appuis}}$$

Paramètres

- nb_appuis : nombre d'appuis à déformer, positif ;
- no_noeud : numéro d'un nœud d'appui ;
- du_x, du_y, du_z, dθ_x, dθ_y, dθ_z : déplacements et rotations (en radians) imposés à son appui-type affecté (par rapport à son état de déformation), selon les axes Ax_a, Ay_a et Az_a de son repère local (voir figure 8.21) ; une valeur nulle désigne une déformation non imposée (et non une déformation imposée nulle).

Fonctions

Cette commande permet d'imposer, à certains appuis-types en place, des variations de déformations selon des composantes choisies de leurs repères propres.

Il n'est pas vérifié que chaque appui-type concerné est doué de raideur selon les directions de tous les déplacements et rotations imposés ; lorsque ce n'est pas le cas (coefficient de rigidité nul), la composante de réaction d'appui qui apparaît est l'action à appliquer au nœud adjacent pour le déplacer ou le faire tourner de la quantité voulue.

Conditions d'emploi

- Un appui parfait ou excentré peut être déformé.

Exemples

```
PLACER APPUIS 2
APP1 1050 0.0 0.0 0.0 -1.0 30.0 0.0
APP1 2050 0.0 0.0 0.0 -1.0 25.0 0.0
.....
$ ce cas de charge ne peut comporter qu'une commande de ce type
CAS DE CHARGE
'TASSEMENT DIFFERENTIEL DE DEUX APPUIS'
$ les appuis sont déformés en repère global, selon Uz seulement
$ puisque les axes Az de leurs reperes propres sont confondus
$ avec OZ global, les autres deformations restent libres
DEFORMATION APPUIS 2
$ no noeud dux duy duz dtetax dtetay dtetaz
  1050 0.0 0.0 -0.05 0.0 0.0 0.0
  2050 0.0 0.0 -0.05 0.0 0.0 0.0
```

Commandes liées

PLACER APPUIS ; REMPLACER APPUIS ; SUPPRIMER APPUIS

CAS DE CHARGE

8.49 – CHARGEMENT POUTRE / [IDENTIQUE] ELEMENTS

$$\text{CHARGEMENT} \left\{ \begin{array}{l} \text{POUTRE} \\ \text{[IDENTIQUE] ELEMENTS} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \text{CONCENTRE} \\ \text{REPARTI} \end{array} \right\} \left(\begin{array}{l} \text{GLOBAL} \\ \text{LOCAL} \\ \text{ARBITRAIRE} \end{array} \right)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{nop} \\ \text{nbe} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{xr}_1 \text{ [xr}_2\text{] no_comp q}_1 \text{ [q}_2\text{] } [\theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3] \\ \langle \text{no_element} \ \text{xr}_1 \text{ [xr}_2\text{] no_comp q}_1 \text{ [q}_2\text{] } [\theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3] \rangle_{\text{nbe}} \\ \langle \text{no_element} \rangle_{\text{nbe}} \ \text{xr}_1 \text{ [xr}_2\text{] no_comp q}_1 \text{ [q}_2\text{] } [\theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3] \end{array} \right\}$$

Paramètres

- nop : numéro de la poutre à charger, à fournir si l'option POUTRE est utilisée ;
- nbe, no_element : nombre d'éléments à charger, positif, et numéro d'un élément à charger, à fournir si l'option ELEMENTS est utilisée.

La charge décrite ci-dessous s'applique à tous les éléments actifs de la poutre nop, à l'élément no_element si l'option IDENTIQUE n'est pas utilisée, ou au groupe d'éléments dont les numéros précèdent si l'option IDENTIQUE est utilisée.

- xr₁ : abscisse relative du point d'application de la charge concentrée (option CONCENTRE) ou du début de la charge répartie (linéairement, option REPARTI) ;
- xr₂ : abscisse relative du point d'application de la fin de la charge répartie, à fournir si l'option REPARTI est utilisée.

xr₁ et xr₂ sont des valeurs comprises entre 0.0 et 1.0 (bornes comprises) exprimées selon l'axe ox du repère local de chaque élément chargé, et xr₂ doit être supérieure à xr₁.

- no_comp : numéro de la composante de force ou de moment à appliquer (1 F_x, 2 F_y, 3 F_z, 4 M_x, 5 M_y, 6 M_z) selon un axe du repère GLOBAL, du repère LOCAL de chaque élément chargé (valeur par défaut), ou d'un repère ARBITRAIRE (selon l'option choisie) ;
- q₁ : intensité de la charge concentrée, ou au début de la charge répartie ;
- q₂ : intensité à la fin de la charge répartie, à fournir si l'option REPARTI est utilisée ;
- θ₁, θ₂, θ₃ : triple rotation normalisée (voir figure 1.2) orientant le repère de chargement arbitraire par rapport au repère global (angles nuls lorsque ces repères sont confondus), à fournir si l'option ARBITRAIRE est utilisée.

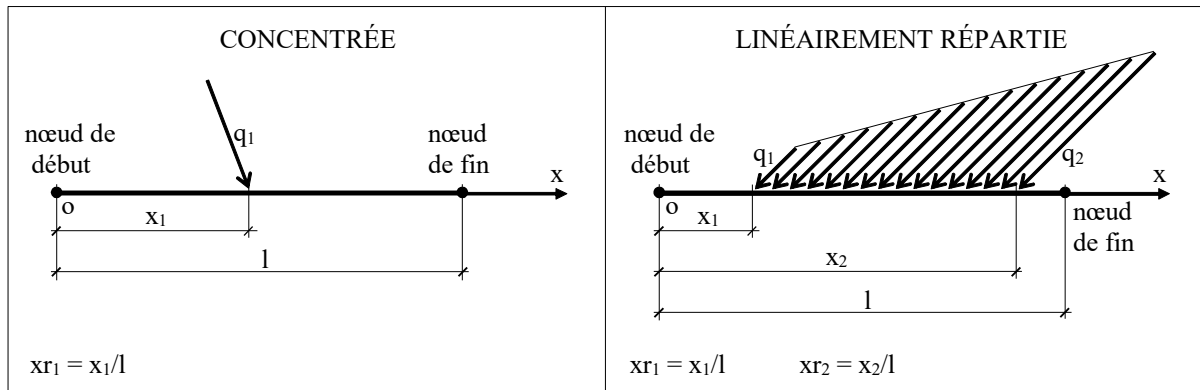


Figure 8.30 - Charges applicables sur un élément

Fonctions

Cette commande permet de charger un groupe d'éléments appartenant éventuellement à une poutre, de manière concentrée ou linéairement répartie.

La charge est appliquée de manière individuelle ou collective, selon un axe du repère global, du repère local de chaque élément chargé, ou d'un repère arbitraire unique.

Exemples

```
CAS DE CHARGE
'CHARGEMENT SUR ELEMENTS'
$ moment lineairement reparti applique totalement selon l'axe Y d'un repere
$ arbitraire, sur tous les elements actifs d'une poutre
CHARGEMENT POUTRE REPARTI ARBITRAIRE 51
$ xr1 xr2 no_comp q1 q2 teta1 teta2 teta3
  0.0  1.0      5    -50.0 -50.0   0.0  25.0  30.0
$ force lineairement répartie appliquee partiellement selon l'axe OZ
$ du repere global, sur un groupe d'elements
CHARGEMENT IDENTIQUE ELEMENTS REPARTI GLOBAL 8
101 A 108
$ xr1 xr2 no_comp q1 q2
  0.0  0.6      3    -100.0 -150.0
$ forces concentrees appliquees selon les axes ox et oy des reperes locaux,
$ au milieu de deux elements
CHARGEMENT ELEMENTS CONCENTRE LOCAL 2
$ no_element xr1 no_comp q1
   101      0.5      1    100.0
   102      0.5      2    200.0
```

Commandes liées

UNITES ; CAS DE CHARGE

8.50 – CHARGEMENT POUTRE / ELEMENTS FIBRE_REPERE

$$\text{CHARGEMENT} \left\{ \begin{array}{l} \text{POUTRE} \\ \text{ELEMENTS} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \text{CONCENTRE} \\ \text{REPARTI} \end{array} \right\} \text{FIBRE_REPERE} \left\{ \begin{array}{l} \text{nop} \\ \text{nbe} \end{array} \right\} \\ \left\{ \begin{array}{l} \text{xc}_1 \text{ [xc}_2\text{] no_comp q}_1 \text{ [q}_2\text{]} \\ \left\langle \text{no_element xc}_1 \text{ [xc}_2\text{] no_comp q}_1 \text{ [q}_2\text{]} \right\rangle_{\text{nbe}} \end{array} \right\}$$

Paramètres

- nop : numéro de la poutre à charger, à fournir si l'option POUTRE est utilisée ;
- nbe, no_element : nombre d'éléments à charger, positif, et numéro d'un élément à charger, à fournir si l'option ELEMENTS est utilisée.

La charge décrite ci-dessous s'applique relativement à la poutre nop ou à l'élément de poutre no_element.

- xc₁ : abscisse curviligne absolue du point d'application de la charge concentrée (option CONCENTRE) ou du début de la charge répartie (linéairement, option REPARTI) mesurée à partir de l'origine de la POUTRE nop ou de l'origine de l'élément no_element sinon ;
- xc₂ : abscisse curviligne du point d'application de la fin de la charge répartie, à fournir si l'option REPARTI est utilisée.

xc₁ et xc₂ sont des valeurs d'abscisse curviligne exprimées selon l'axe ox de la fibre repère de la POUTRE chargée ou de la POUTRE de l'élément chargé. Elles doivent être telles que toutes les éléments chargés soient ACTIFS. Dans le cas d'un chargement explicite de POUTRE, l'origine des abscisses est le premier point de la poutre. Dans le cas d'un chargement explicite d'élément de poutre, l'origine des abscisses est le point de la fibre repère de la poutre qui précède l'élément concerné.

- no_comp : numéro de la composante de force ou de moment à appliquer (1 Fx, 2 Fy, 3 Fz, 4 Mx, 5 My, 6 Mz) selon un des axes de la fibre repère du point origine de chaque élément chargé ;

Attention : Le point d'application de la charge est supposé se déplacer le long de l'axe X de la fibre repère. Les moments de torsion doivent donc être calculés et appliqués par rapport à cet axe.

- q₁ : intensité de la charge concentrée ou au début de la charge répartie ;
- q₂ : intensité à la fin de la charge répartie, à fournir si l'option REPARTI est utilisée ;

Fonctions

Cette commande permet de charger un groupe d'éléments appartenant à une poutre, de manière concentrée ou linéairement répartie en fournissant comme point d'application l'abscisse curviligne le long de la fibre repère de la poutre concernée.

Exemples

```

CAS DE CHARGE
'CHARGE DE TROTTOIR SUR PONT COURBE'
$ Trottoir de 50 MN excentre de 3m sur une longueur de 25m
CHARGEMENT POUTRE REPARTI FIBRE_REPERE 51
$ xc1 xc2 no_comp q1 q2
  0.0 25.0 3 -50.0 -50.0
CHARGEMENT POUTRE REPARTI FIBRE_REPERE 51
$ xc1 xc2 no_comp q1 q2
  0.0 25.0 4 -150.0 -150.0

$ forces concentrees appliquees selon l'axe oZ de la Fibre,
$ à 0.50 de part et d'autre du point origine de l element 101
CHARGEMENT ELEMENTS CONCENTRE FIBRE_REPERE 2
$ no_element xc1 no_comp q1
  101 -0.5 3 100.0
  101 +0.5 3 200.0

```

Commandes liées

UNITES ; CAS DE CHARGE,FIBRE REPERE

8.51 – DISTORSION ELEMENTS

DISTORSION ELEMENTS $\left\{ \begin{array}{l} \text{CONCENTREE} \\ \text{REPARTIE} \end{array} \right\}$ nb_elements

$\langle \text{no_element } xr_1 \text{ } [xr_2] \text{ no_comp } q_1 \text{ } [q_2] \rangle_{\text{nb_elements}}$

Paramètres

- nb_elements : nombre d'éléments à charger, positif ;
- no_element : numéro d'un élément à charger ;
- xr1 : abscisse relative du point d'application de la distorsion concentrée (option CONCENTREE) ou du début de la distorsion répartie (linéairement, option REPARTIE) ;
- xr2 : abscisse relative du point d'application de la fin de la distorsion répartie, à fournir si l'option REPARTIE est utilisée.

xr1 et xr2 sont des valeurs comprises entre 0.0 et 1.0 (bornes comprises) exprimées selon l'axe x du repère local de chaque élément chargé, et xr2 doit être supérieure à xr1.

- no_comp : numéro de la composante de déplacement ou rotation à appliquer (1 u_x , 2 u_y , 3 u_z , 4 θ_x , 5 θ_y , 6 θ_z) selon un axe du repère local de chaque élément chargé ;
- q1 : intensité de la distorsion concentrée, ou au début de la distorsion répartie ;
- q2 : intensité à la fin de la distorsion répartie, à fournir si l'option REPARTIE est utilisée.

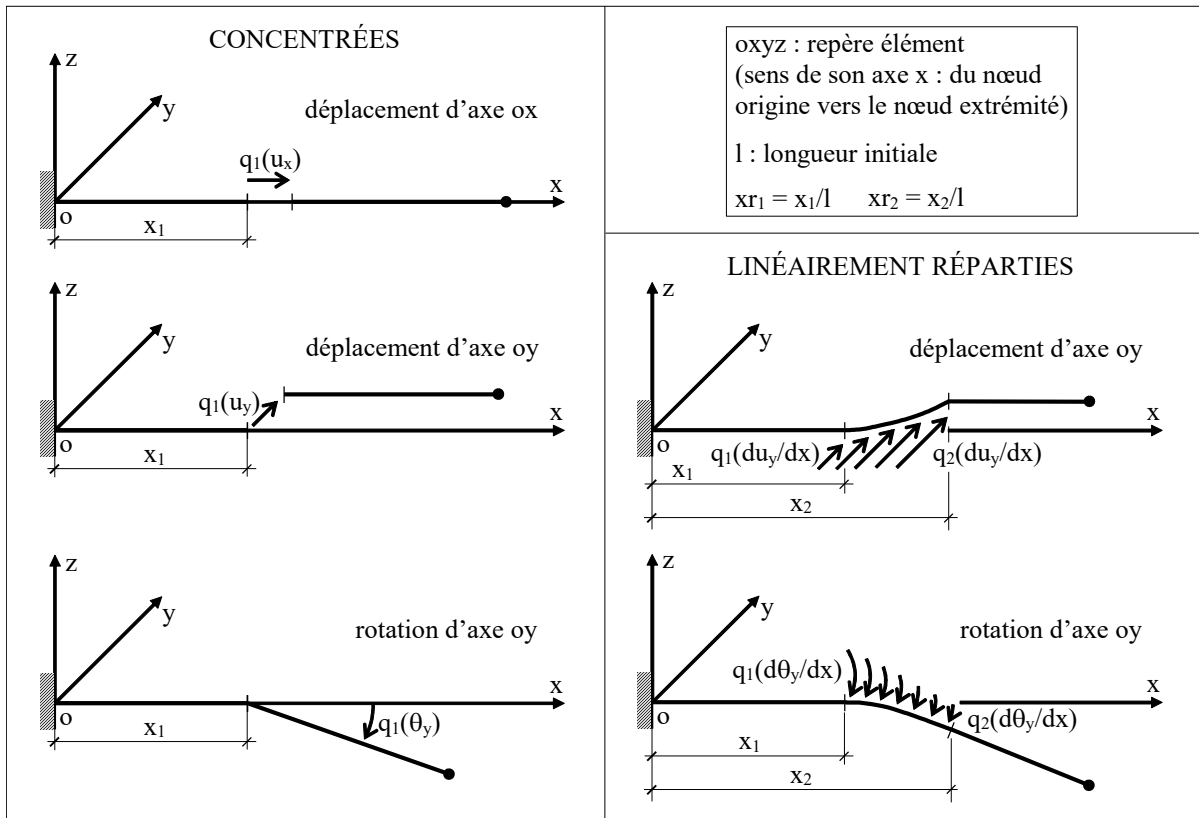


Figure 8.31 - Distorsions d'éléments, exemples

Une distorsion d'élément équivaut au chargement à lui appliquer pour le déformer de la même manière, lorsqu'il est supposé libre.

Les déplacements concentrés sont exprimés en mètres et les rotations concentrées, en radians ; les déplacements répartis n'ont pas d'unité et les rotations réparties sont exprimées en radians/mètre.

Fonctions

Cette commande permet de distordre un groupe d'éléments, de manière concentrée ou linéairement répartie.

La charge équivalente à la distorsion est appliquée individuellement à chaque élément chargé, selon un axe de son repère local.

Conditions d'emploi

- Une distorsion ne peut s'appliquer à un élément articulation.

Exemples

```
CAS DE CHARGE
'DISTORSION ux UNIFORMEMENT REPARTIE SUR DEUX ELEMENTS ENTIERS'
DISTORSION ELEMENTS REPARTIE 2
$ no_element   xr1   xr2       no_comp      q1       q2
$              (m/m) (m/m)
      101      0.0   1.0         1         0.10    0.10
      102      0.0   1.0         1         0.10    0.10
```

Commandes liées

CAS DE CHARGE ; REDISTRIBUER

8.52 – CHARGEMENT [IDENTIQUE] THERMIQUE

CHARGEMENT [IDENTIQUE] THERMIQUE *type_c* [{ POUTRE no_poutre }
 { ELEMENTS nb_element s }]

$$\left\{ \begin{array}{cccc} xr_1 & xr_2 & V_1 & V_2 \\ \langle \text{no_element} & xr_1 & xr_2 & V_1 & V_2 \rangle_{nb_elements} \\ \langle \text{no_element} \rangle_{nb_elements} & xr_1 & xr_2 & V_1 & V_2 \end{array} \right\}$$

Dans ce libellé, remplacer *type_c* par : $\left\{ \begin{array}{l} \text{DILATATION} \\ \text{GRADIENT} \left\{ \begin{array}{l} \text{LOCAL} \left\{ \begin{array}{l} Y \\ Z \end{array} \right\} \\ \text{GLOBAL} \quad \theta_1 \quad \theta_2 \quad \theta_3 \end{array} \right\} \end{array} \right\}$

Paramètres

- $\theta_1, \theta_2, \theta_3$: triple rotation normalisée (voir figure 1.2) positionnant un repère « rayonnement » $Ox_r Y_r Z_r$ dont l'axe $O_r Y_r$ indique la direction et le sens du rayonnement, par rapport au repère global (figure 8.23) ;
- no_poutre : numéro de la poutre à charger ;
- nb_element : nombre d'éléments à charger, positif ;
- no_element : numéro d'un élément à charger, à fournir si l'option ELEMENTS est utilisée.

La charge thermique décrite ci-dessous s'applique à tous les éléments actifs de la poutre no_poutre, à l'élément no_element si l'option IDENTIQUE n'est pas utilisée, ou au groupe d'éléments dont les numéros précèdent si l'option IDENTIQUE est utilisée (cette option ne s'accorde qu'avec l'option ELEMENTS).

Par défaut, tous les éléments actifs non articulations sont concernés pour une dilatation, et pour un gradient, tous les éléments actifs non bi-articulés et non articulations.

- xr_1, xr_2 : abscisses relatives des points d'application des début et fin de la charge thermique sur un élément, toujours supposée linéairement répartie ; ce sont des valeurs comprises entre 0.0 et 1.0 (bornes comprises) exprimées selon l'axe x de son repère local, et xr_2 doit être supérieure à xr_1 ;
- V_1, V_2 : valeurs du chargement thermique au début et à la fin de la zone chargée ; il s'agit d'une différence de température si l'option DILATATION est utilisée, ou d'une différence de température par unité de longueur (fournie directement ou à faire évaluer, voir plus loin la définition du paramètre V_i) si l'option GRADIENT est utilisée.

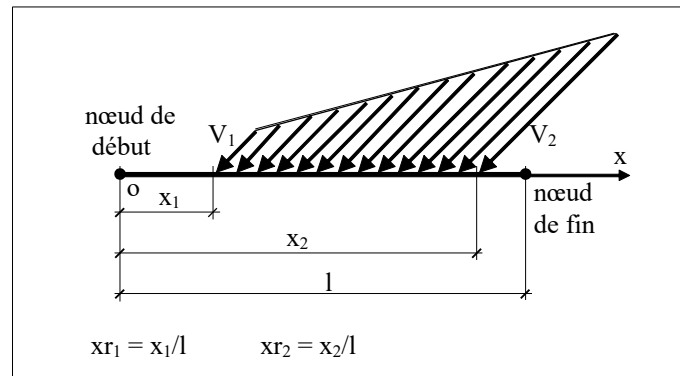


Figure 8.32 - Chargement thermique linéairement réparti sur un élément

Fonctions

Cette commande permet d'appliquer un chargement thermique linéairement réparti de dilatation ou gradient à tous les éléments actifs du modèle, à tous les éléments actifs d'une poutre, ou à un groupe d'éléments, de manière individuelle ou collective.

Le gradient de température peut s'appliquer à chaque élément selon les axes oy ou oz de son repère local, ou selon l'axe OY_r d'un repère arbitraire unique.

Pour une dilatation appliquée à un élément, le paramètre V_i est la variation de température qu'il subit, positive pour une augmentation de longueur.

ATTENTION : Pour un gradient de température appliqué à un élément, le paramètre V_i dépend du repère choisi pour le définir, et éventuellement du type de l'élément. En particulier, L'option GRADIENT LOCAL POUTRE demande une différence de température.

Le module d'Young du béton utilisé pour un chargement thermique est le module instantané calculé par PCP si l'utilisateur a utilisé la commande DATE, et le module de référence rentré par l'utilisateur dans la commande MATERIAU sinon.

Gradient LOCAL Y (avec option POUTRE ou ELEMENTS)

$$V_i = \frac{dT}{dy} \quad (8.3)$$

avec :

- y : ordonnée en repère local de l'élément ;
- T : température correspondante.

V_i est positif lorsque la température croît avec y .

Gradient LOCAL Z (avec option POUTRE)

$$V_i = Tz_e - Tz_i \quad (8.4)$$

avec :

- Tz_e : température au niveau de l'extrados ;
- Tz_i : température au niveau de l'intrados.

x_{r1} et x_{r2} valent normalement 0.0 et 1.0, et les différences de cotes à l'origine et à l'extrémité de l'élément sont calculées par le module GE1, selon les axes $o_i z_i$ des repères génériques des

sections correspondantes (figure 3.4), d'après la valeur attribuée au paramètre type_gth de la commande GENERALITES du module GE1 (voir chapitre 3).

V_i est positif lorsque la température croît avec z .

Gradient LOCAL Z (avec option ELEMENTS ou sans option)

$$V_i = \frac{dT}{dz} \tag{8.5}$$

avec :

- z : cote en repère local de l'élément ;
- T : température correspondante.

V_i est positif lorsque la température croît avec z .

Gradient GLOBAL (avec option POUTRE ou ELEMENTS, ou sans option)

Le rayonnement agit effectivement selon l'axe OY_r du repère $OX_rY_rZ_r$.

L'axe de référence pour le calcul du gradient thermique est la droite intersection du plan contenant l'axe ox de l'élément et un axe parallèle à OY_r , avec sa section droite (plan oyz) ; son sens est « inversé » par rapport à celui de OY_r .

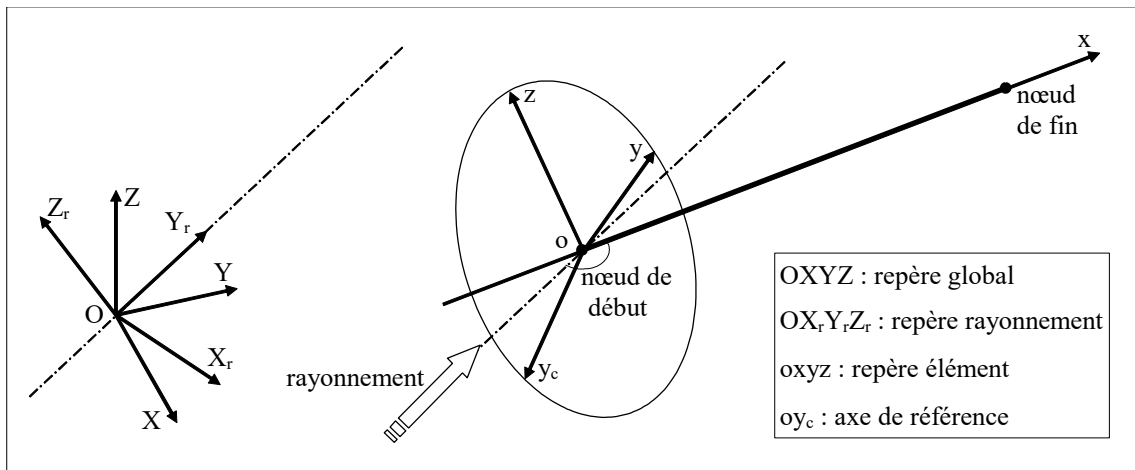


Figure 8.33 - Gradient thermique global appliqué à un élément

$$V_i = \frac{dT}{dy} \tag{8.6}$$

avec :

- y : ordonnée mesurée selon oy_c ;
- T : température au point d'ordonnée y , calculée comme si le rayonnement agissait selon l'axe oy_c inversé ; la correction par projection de OY_r sur oy_c s'effectue automatiquement.

Ce type de chargement permet d'éliminer les effets des rotations des repères locaux des éléments, quelle que soit la direction du rayonnement.

Conditions d'emploi

- Un chargement de type gradient ne peut être appliqué à un élément bi-articulé.
- Un élément articulation ne peut recevoir aucun chargement thermique.

Conseils méthodologiques

- L'emploi du chargement de type gradient global est simple lorsque le rayonnement agit selon un axe vertical ou horizontal ; des précautions sont à prendre dans les autres cas, pour calculer les valeurs du paramètre V_i .

Exemples

CAS DE CHARGE

'AUGMENTATION DE TEMPERATURE UNIFORME DE 10 DEGRES'

\$ s'applique par défaut sur tous les elements actifs non articulations, car
\$ aucune option complémentaire n'est prise, selon leurs axes longitudinaux

CHARGEMENT THERMIQUE DILATATION

```
$ xr1   xr2   V1   V2
      0.0   1.0  10.0 10.0
```

CAS DE CHARGE

'AUGMENTATION DE TEMPERATURE LINEAIREMENT VARIABLE DE 0 A 10 DEGRES'

\$ s'applique a une serie d'elements entiers

CHARGEMENT THERMIQUE DILATATION ELEMENTS 5

```
$ no element   xr1   xr2   V1   V2
      1001       0.0   1.0   0.0   2.0
      1002       0.0   1.0   2.0   4.0
      1003       0.0   1.0   4.0   6.0
      1004       0.0   1.0   6.0   8.0
      1005       0.0   1.0   8.0  10.0
```

CAS DE CHARGE

'GRADIENT THERMIQUE UNIFORME DE 15 DEGRES SUR TABLIER 2'

\$ s'applique sur tous les elements actifs d'une poutre, selon les axes oizi
\$ des reperes generiques de ses sections ; la temperature de l'extrados

\$ depasse celle de l'intrados de 15 degres

CHARGEMENT THERMIQUE GRADIENT LOCAL Z POUTRE 102

```
$ xr1   xr2   V1   V2
      0.0   1.0  15.0 15.0
```

CAS DE CHARGE

'GRADIENT THERMIQUE GLOBAL APPLIQUE SELECTIVEMENT'

\$ s'applique sur deux series d'elements, selon un axe vertical descendant,
\$ avec deux intensites : 5.0/2.0 et 5.0/4.0 (exprimees en degres par metre)

CHARGEMENT IDENTIQUE THERMIQUE GRADIENT GLOBAL 0.0 0.0 -90.0 ELEMENTS 5

\$ (teta1 teta2 teta3)

1001 A 1005

```
$ xr1   xr2   V1   V2
      0.0   1.0  2.5  2.5
```

CHARGEMENT IDENTIQUE THERMIQUE GRADIENT GLOBAL 0.0 0.0 -90.0 ELEMENTS 5

1006 A 1010

```
      0.0   1.0  1.25 1.25
```

Commandes liées

CAS DE CHARGE

8.53 – POUSSER [AUTOMATIQUEMENT] STRUCTURES

POUSSER [AUTOMATIQUEMENT] STRUCTURES *param_p*

Dans ce libellé, remplacer *param_p* par :

$$\text{nb_strpou} \langle \text{nom_strpou} \rangle_{\text{nb_strpou}} \left[\begin{array}{c} + \\ - \end{array} \right] \text{nb_elements} \left[\begin{array}{c} * \left\{ \begin{array}{cc} \text{FOIS} & \text{nb_fois} \\ \text{APPUIS} & \text{nb_appui} \end{array} \right\} \end{array} \right]$$

Paramètres

- *nb_strpou* : nombre de structures à pousser simultanément, positif ;
- *nom_strpou* : nom d'une structure à pousser, défini sur une commande DEFINIR STRUCTURE PUSSEE ;
- *nb_elements* : nombre d'éléments indiquant l'amplitude du déplacement, précédé du signe *moins* si le poussage doit s'effectuer dans le sens négatif, ou du signe *plus* ou d'aucun signe si le poussage doit s'effectuer dans le sens positif (voir commande DEFINIR STRUCTURE PUSSEE) ;
- *nb_fois* : valeur positive indiquant que l'opération de poussage élémentaire d'amplitude *nb_elements* éléments doit être répétée *nb_fois* fois, à fournir si l'option AUTOMATIQUEMENT est utilisée ;
- *nb_appuis* : nombre d'appuis provisoires utilisés avec l'option AUTOMATIQUEMENT, positif, sa valeur par défaut est 2.

Fonctions

Cette commande permet de déplacer une seule fois un groupe de structures poussées (mode NON AUTOMATIQUE), ou de répéter cette opération plusieurs fois, en gérant la mise en place des appuis et des liaisons, les éditions, et les calculs d'extrémas (mode AUTOMATIQUE).

Mode NON AUTOMATIQUE (sans l'option AUTOMATIQUEMENT)

Tous les éléments actifs des structures poussées choisies sont déplacés simultanément, selon leurs chemins de poussage respectifs.

Attention, ce déplacement ne suffit pas à simuler une opération de poussage, puisque les conditions aux limites restent inchangées.

Il faut préalablement supprimer les liaisons actives entre les structures poussées et le reste du modèle, et les rétablir ultérieurement (voir annexe D, simulation du poussage).

La structure déformée et les appuis liés aux éléments poussés accompagnent le déplacement, ainsi :

- l'élément de rang *i* de chaque structure poussée viendra occuper l'incidence de son élément de rang *i-nb_elements* ou *i+nb_elements* (selon le sens de poussage) ;
- l'appui éventuellement placé à son nœud origine ou à son nœud extrémité sera décalé de la même manière, en conservant sa position relative ;
- les déplacements de ses nœuds incidents seront appliqués aux nœuds incidents de son élément d'accueil.

Les positions des nœuds actifs des structures poussées par TRANSLATION ou ROTATION (voir commande DEFINIR STRUCTURE PUSSEE) peuvent être altérées ; c'est le cas des

caissons de hauteur constante ayant des âmes ou des hourdis d'épaisseur variable (voir annexe D, simulation du poussage).

Pour les structures poussées par ROTATION ou EMBOÎTEMENT, le déplacement provoque une modification de la rigidité des éléments (calculée en repère global).

Une rotation s'applique aussi aux appuis déplacés. Lorsqu'une rotation (d'axe non vertical par exemple) ne conserve pas les déformations d'éléments sous charges gravitaires, le module PH3 supprime, avant poussage, le poids propre des éléments déclarés pesants, et le rétablit après poussage.

Mode AUTOMATIQUE (avec l'option AUTOMATIQUEMENT)

La simulation complète de plusieurs phases de poussage, à l'aide d'une seule commande, est rendue possible.

Après recherche des liaisons actives entre les structures poussées et le reste du modèle, les opérations suivantes sont réalisées nb_fois fois :

- mise en place de nb_appuis appuis provisoires sur les structures poussées ;
- inhibition éventuelle des éditions et du calcul des extrêmes ;
- suppression de toutes les liaisons ;
- déplacement des structures poussées de nb_elements éléments (opération équivalente à un poussage en mode NON AUTOMATIQUE) ;
- mise en place des liaisons connectées aux structures déplacées, avec rétablissement total de la continuité ;
- réactivation éventuelle des éditions et du calcul des extrêmes ;
- suppression des appuis provisoires ;
- mise en place des liaisons non connectées aux structures poussées.

À l'issue de ces traitements, les structures poussées ont subi un déplacement de nb_fois*nb_elements éléments, et toutes les articulations qui étaient actives avant le poussage restent actives.

Lorsqu'un élément atteint un appui sans s'y reposer puis en s'y reposant, la liaison correspondante doit être activée après poussage, et le poussage qui suit doit être effectué en mode AUTOMATIQUE, avec une amplitude nulle.

Conditions d'emploi

- Cette commande n'est utilisable qu'en mode CONCORDANCE SUSPENDUE et CUMUL.
- Les structures poussées simultanément doivent être définies du même type (poussage DROIT, par TRANSLATION, ROTATION ou EMBOÎTEMENT), avec des paramètres compatibles.
- Aucun appui isolé ne doit se trouver sur les chemins de poussage, pendant le poussage.
- Les structures poussées ne peuvent se croiser en un nœud donné.
- Les éléments actifs des structures poussées ne doivent jamais être liés à des éléments actifs n'appartenant pas à la partie de modèle poussée.
- Tous les éléments actifs des structures poussées doivent avoir été déplacés avant poussage par des commandes PLACER ELEMENTS utilisant l'option DEPLACES.

- nb-elements et éventuellement nb_fois doivent être compatibles avec les positions courantes des éléments actifs sur leurs chemins de poussage, dont ils ne doivent déborder, ni au début, ni à la fin.
- L'emploi du mode AUTOMATIQUE impose la présence, dans le modèle, d'au moins un appui-type parfait bloqué selon les six degrés de liberté (voir option PARFAIT de la commande APPUI du module PH1, chapitre 6).
- Le mode AUTOMATIQUE ne peut être utilisé si la continuité ne doit être rétablie que partiellement (lors de la mise en place des liaisons connectées aux structures déplacées).

Conseils méthodologiques

- Voir annexe D, simulation du poussage.

Exemples

La structure ci-dessous comprend deux poutres à fibres moyennes rectilignes reliées par des éléments transversaux, et trois structures poussées.

À la phase de construction considérée, les liaisons, modélisées par des éléments articulations et des appuis sont en place dans la zone de préfabrication (qui comprend une culée) et sur la première pile, et un groupe d'éléments correspondant à deux « tronçons » d'ouvrage vient d'être déplacé vers la zone de préfabrication, et activé.

Il s'agit de pousser cet ensemble, en mode NON AUTOMATIQUE, de deux éléments, dans le sens positif.

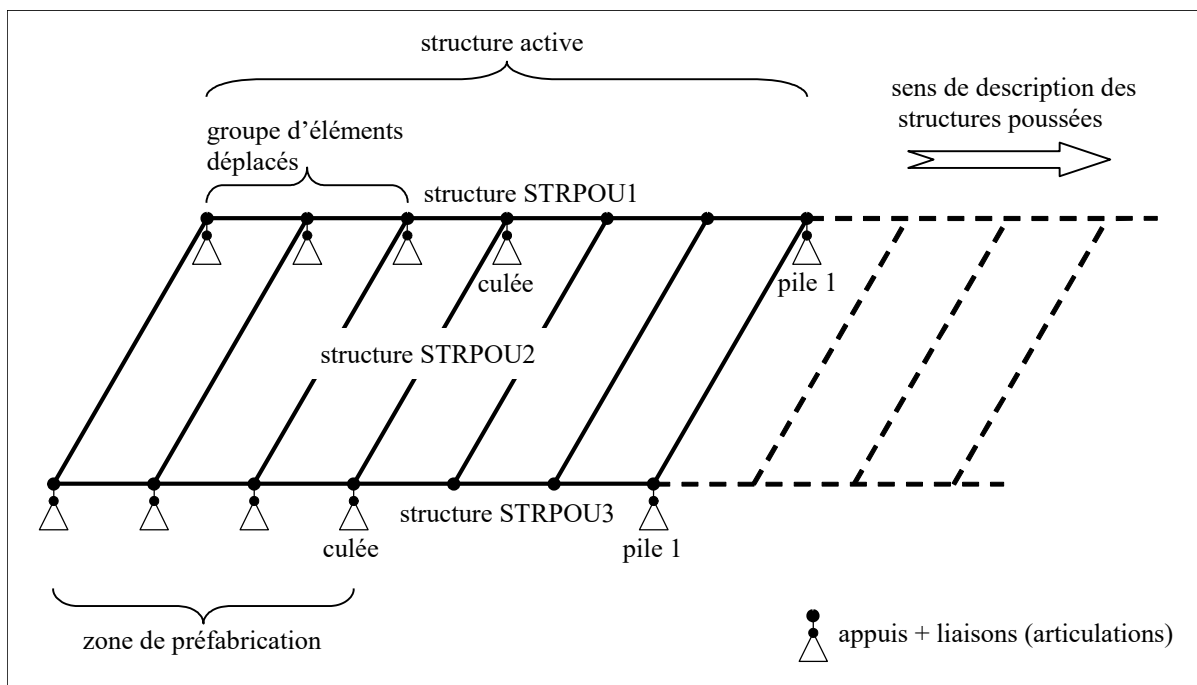


Figure 8.34 - Structure à pousser, état initial

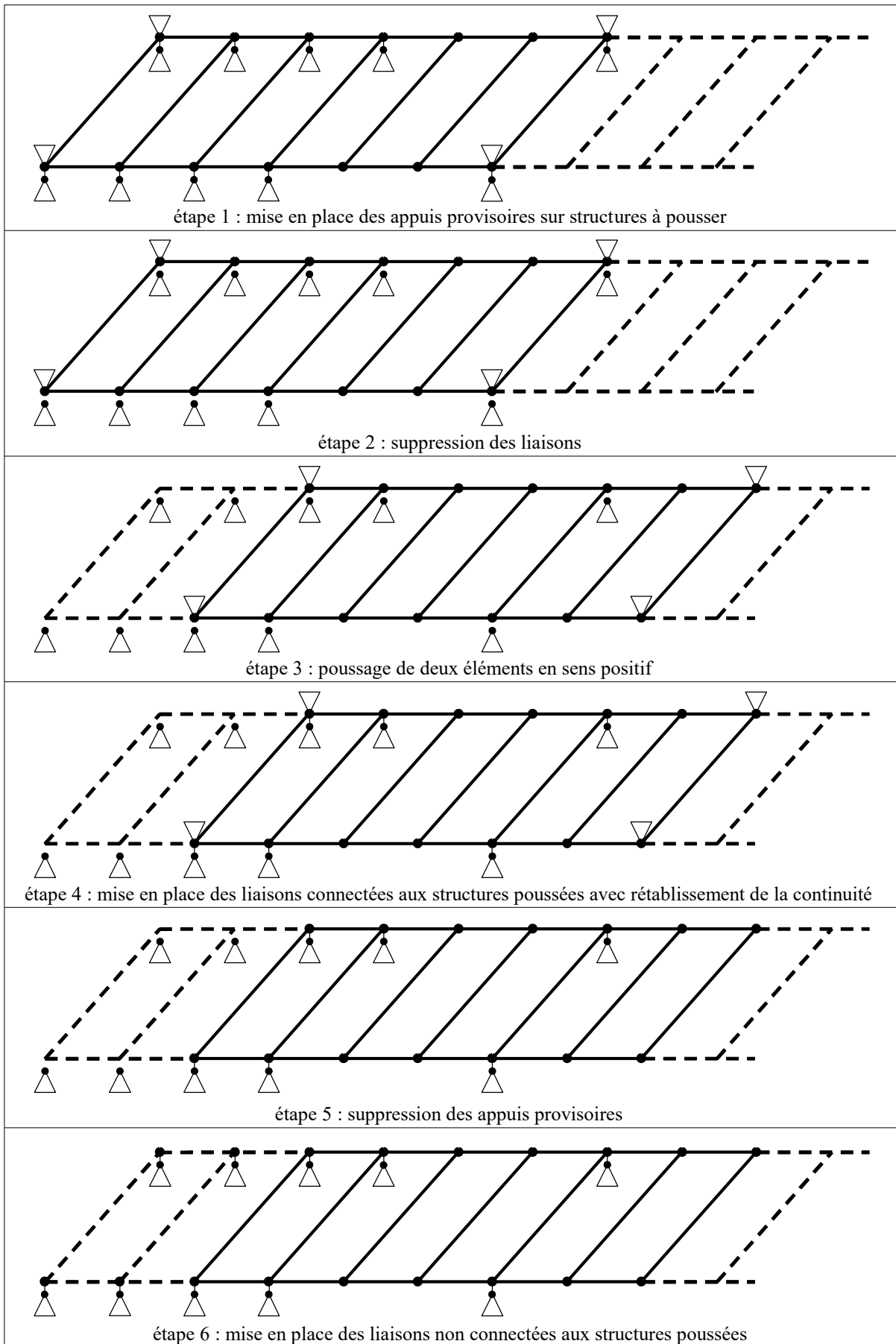


Figure 8.35 - Poussage de deux éléments

```
PHASES
.....
CALCULER  EXTREMAS
EDITER   ...
.....
DEFINIR  STRUCTURE  POUSSEE  STRPOU1  ...
.....
DEFINIR  STRUCTURE  POUSSEE  STRPOU2  ...
.....
DEFINIR  STRUCTURE  POUSSEE  STRPOU3  ...
.....
SUSPENDRE  CONCORDANCE
$ phase courante de poussage
PLACER  ELEMENTS  DEPLACES  6
.....
ACTIVER  ELEMENTS  6
.....
$ etape 1
$ -----
PLACER  APPUIS  4
.....
SUSPENDRE  EDITIONS
SUSPENDRE  ANALYSE
$ etape 2
$ -----
SUPPRIMER  ELEMENTS  10
.....
$ etape 3
$ -----
POUSSER  STRUCTURES  3  STRPOU1  STRPOU2  STRPOU3  2
$ etape 4
$ -----
PLACER  ARTICULATIONS  CONTINUITE  6
.....
CONTINUER  EDITIONS
CONTINUER  ANALYSE
$ etape 5
$ -----
SUPPRIMER  APPUIS  4
.....
$ etape 6
$ -----
PLACER  ARTICULATIONS  4
.....
.....
```

Commandes liées

VERIFIER ; DEFINIR STRUCTURE POUSSEE ; CALCULER EXTREMAS
SUSPENDRE / CONTINUER CONCORDANCE ; EDITER / NONEDITER
DATE ; PLACER APPUIS ; SUPPRIMER APPUIS ; PLACER ELEMENTS
PLACER ARTICULATIONS ; ACTIVER ELEMENTS ; SUPPRIMER ELEMENTS
ETAT

8.54 - REDISTRIBUER

REDISTRIBUER v_2

Paramètres

- v_2 : coefficient de redistribution applicable à la structure chargée, dans son schéma statique courant ; doit être positif et inférieur à 1.0.

Fonctions

Cette commande permet de simuler une redistribution des sollicitations par changements de schémas statiques ou déplacements imposés d'appuis, en mode CALCUL FORFAITAIRE, et sous certaines conditions (voir annexe D) ; les opérations suivantes sont réalisées :

- pondération de l'état courant par $1.0 - v_2$;
- pondération des charges appliquées aux nœuds, cumulées depuis le début de la construction, par v_2 ;
- application de ce chargement à la structure active, et calcul de son nouvel état de déformation et sollicitation.

Attention, l'effet obtenu ne contient que la part relative à ce chargement, correspondant à la structure sollicitée dans son schéma statique courant, alors que l'état obtenu contient les deux composantes de la redistribution.

L'opération de redistribution est linéaire par rapport à v_2 , donc, pour un coefficient k donné et un opérateur $S(o)$, représentant l'état obtenu après réalisation de l'opération o , nous avons :

$$S(\text{redistribution}(k \cdot v_2)) = S(k \cdot \text{redistribution}(v_2)) \quad (8.7)$$

Conditions d'emploi

- Cette commande ne peut être utilisée en mode CALCUL NON LINÉAIRE, ni en mode CALCUL RHÉOLOGIQUE FIN.
- Il n'est pas possible de simuler une redistribution après une mise en tension ou une distorsion d'éléments.

Conseils méthodologiques

- Voir annexe D, calcul forfaitaire.

Exemples

```
AFFECTER CONTRAINTES UNIQUES 680.0
.....
TITRE 'OUVRAGE APRES REDISTRIBUTION'
REDISTRIBUER 0.5
```

Commandes liées

VERIFIER ; EDITER / NONEDITER ; AFFECTER CONTRAINTES

DATE ; TENDRE ELEMENTS ; DISTORSION ELEMENTS ; ETAT

8.55 - SAUVER

SAUVER nom_structure

Paramètres

- nom_structure : nom sous lequel la structure courante sera sauvegardée et pourra être rappelée.

Fonctions

Cette commande provoque l'enregistrement en base de données de la structure courante, comprenant :

- la description complète de son schéma statique (appuis et articulations placés, éléments actifs) et sa matrice de rigidité ;
- l'état d'avancement de certaines opérations (câbles tendus, câbles injectés, équipages mobiles placés) ;
- certaines données complémentaires introduites (titre, matériaux élastoplastiques, chaînettes, structures poussées, empattement d'équipages mobiles) ;
- les options de calcul et de fonctionnement retenues (calcul non linéaire, pertes de précontrainte, optimisation, calcul de contraintes, calcul d'extrémas, enregistrement, concordance, répercussion des déformations, mode de cumul, calculs rhéologiques), en dehors de celles d'édition ;
- son état probable de déformation et sollicitation.

Toutes ces dispositions permettent notamment :

- d'interrompre un processus de construction et de le poursuivre dans une session ultérieure (à l'aide de l'option SUITE de la commande PHASES) ;
- de conserver une structure « intermédiaire » pour la reprendre ultérieurement, et y appliquer certains chargements ;
- de rappeler la structure sauvegardée et la rigidité tangente associée pour effectuer des calculs de surfaces d'influence et d'effets enveloppes sous charges d'exploitation, par le module ENV ;
- de rappeler la structure sauvegardée pour effectuer des calculs d'effets dynamiques dus au vent ou au séismes, par le module DYN ;
- la reprise par le module ETU de son état probable, et sa pondération, son édition, ou son intégration dans des combinaisons ou enveloppes ; celui-ci est enregistré conventionnellement sous le numéro 0 et invocable sous l'appellation : « ETAT 0 STRUCTURE nom_structure » ;
- l'extraction par le module ETU de certaines sections de poutres, avec leur précontrainte éventuelle, pour préparer leur vérification aux états limites à l'aide du logiciel CDS (à partir des tensions courantes dans les câbles).

Le titre de référence d'une structure sauvegardée est celui qui figure sur la dernière commande TITRE précédant la commande SAUVER correspondante.

Conditions d'emploi

- Cette commande optionnelle peut être introduite plusieurs fois, seulement après démarrage du processus de construction.
- Une structure sauvegardée en mode CONCORDANCE SUSPENDUE ne peut servir à un calcul d'enveloppes par le module ENV.
- Il n'est pas permis de sauvegarder une structure lorsque l'analyse des extrêmes est suspendue.
- Une structure sauvegardée est remplacée en base de données, lorsque son enregistrement est redemandé, et les éventuelles surfaces d'influence qui s'y rattachent sont effacées.
- Le nombre total de structures sauvegardées est limité à 100.
- Le titre courant doit être actualisé avant sauvegarde d'une structure, pour en indiquer la nature et le contenu.

Exemples

```

PHASES
EDITER ...
DATE CONSTRUCTION 100
TITRE 'OUVRAGE EN SERVICE'
SAUVER STRUSERV
DATE CONSTRUCTION 200
$ simulation du vieillissement, sans changement de schema statique
.....
DATE CONSTRUCTION 10000
ETAT 1
FIN

```

À l'issue de cette session, la base de données contient :

- la structure sauvegardée STRUSERV intitulée 'OUVRAGE EN SERVICE' ;
- ses états probables aux dates 100 et 10000, invocables par le module ETU sous les appellations suivantes :
 - ETAT 0 STRUCTURE STRUSERV ;
 - ETAT 1 STRUCTURE STRUSERV.

Reprise de la structure sauvegardée pour y appliquer certains cas de charge isolés :

```

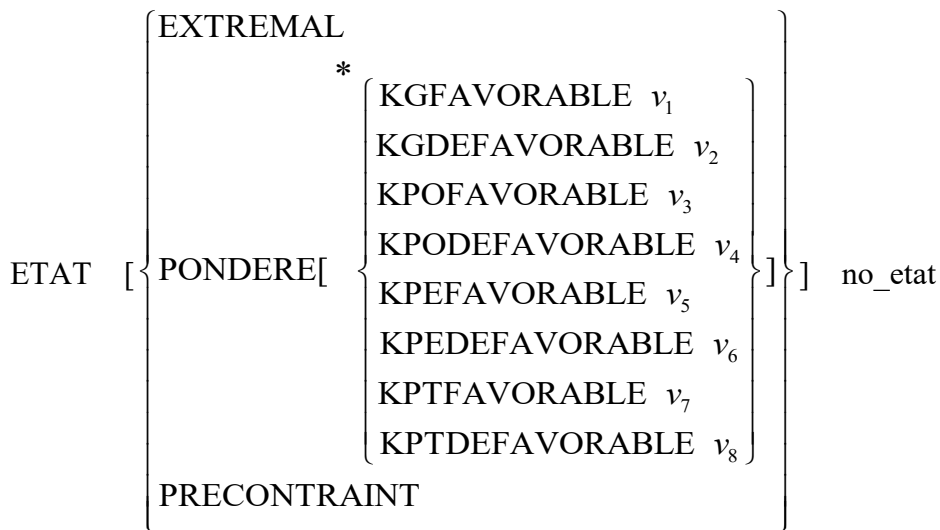
PHASES SUITE STRUSERV
$ les options d'edition qui n'ont pas ete sauvegardees sont a rappeler
EDITER ...
.....
CAS DE CHARGE
.....
CAS DE CHARGE
.....
FIN

```

Commandes liées

PHASES ; VERIFIER ; TITRE ; SUSPENDRE / CONTINUER CONCORDANCE
 SUSPENDRE / CONTINUER ANALYSE ; EDITER / NONEDITER ; DATE
 CAS DE CHARGE ; ETAT

8.56 - ETAT



Paramètres

- $v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7, v_8$: coefficients de pondération des effets favorables et défavorables des charges permanentes (hors précontrainte), des tensions initiales des câbles, des pertes de précontrainte et des effets de la précontrainte, pour le calcul d'un état pondéré. Ces derniers englobent les tensions initiales des câbles et les pertes de précontrainte. Les valeurs non fournies sont fixées à 1.0 par défaut pour v_1, v_2, v_3, v_4, v_5 et v_6 , et à 0.0 par défaut pour v_7 et v_8 . Les coefficients v_3, v_4, v_5 et v_6 ne doivent pas apparaître lorsque v_7 et v_8 sont renseignés, dans ce cas, les valeurs de v_3, v_4, v_5 et v_6 sont en effet automatiquement fixées à 0.0. Inversement, les coefficients v_7 et v_8 ne doivent pas apparaître lorsque v_3, v_4, v_5 et v_6 sont renseignés.
- no_etat : numéro d'identification de l'état à enregistrer en base de données, positif et inférieur à 90_000.

Fonctions

Cette commande permet d'enregistrer en base de données :

- l'état de déformation et de sollicitation de la structure active (état PROBABLE, option par défaut) ;
- son état EXTRÊMAL de sollicitation (option EXTREMAL) ;
- un état enveloppe PONDÉRÉ de sollicitation (option PONDERE) ;
- ou son état PRÉCONTRAIT, état de sollicitation réduit aux effets isostatiques de la précontrainte (option PRECONTRAIT).

L'état PONDÉRÉ et l'état PRÉCONTRAIT sont édités.

L'état enregistré pourra être extrait par le module ETU, pour être pondéré, édité, ou intégré à une combinaison ou une enveloppe ; il pourra également être visualisé par le module RES.

Il se rattache à la dernière structure restaurée (option SUITE de la commande PHASES) ou sauvegardée (commande SAUVER) antérieurement dans la même session, si elle existe, sinon, seul son numéro l'identifie.

Le titre de référence d'un état enregistré est celui qui figure sur la dernière commande TITRE précédant la commande ETAT correspondante.

État PROBABLE

Il est obtenu lorsqu'aucune option de type (EXTREMAL, PONDERE ou PRECONTRAINTE) n'est choisie, et recouvre les effets suivants, cumulés depuis le début de la construction :

- les déplacements des nœuds de la structure active ;
- les réactions d'appuis dans leurs repères locaux ;
- les efforts en repères locaux des éléments actifs de tous types ;
- les efforts en repères sections des éléments de poutres actifs ;
- les contraintes normales et tangentielles dans les éléments de poutres actifs (uniquement en mode CALCUL CONTRAINTE).

La liste des éléments actifs et la liste des appuis placés sont enregistrées conjointement.

État EXTRÊMAL

C'est un état enveloppe qui contient les valeurs extrêmes (valeurs minimales et maximales, en général distinctes, survenues durant la construction) des effets (et composantes) choisis dans les diverses commandes CALCULER EXTREMAS qui précèdent.

État PONDÉRÉ

C'est un état enveloppe qui contient des valeurs minimales et maximales calculées pour les effets (et composantes) choisis dans les diverses commandes CALCULER EXTREMAS qui précèdent. Cette commande ne s'applique pas au calcul des déplacements.

Il permet d'aborder divers calculs en valeurs *caractéristiques* des forces de précontrainte, comme certains règlements le préconisent, et peut être établi en mode CALCUL FORFAITAIRE ou en mode CALCUL RHÉOLOGIQUE FIN, sous certaines conditions (voir conditions d'emploi et annexe D, précontrainte caractéristique).

Il est obtenu par combinaison des effets suivants (cumulés depuis le début de la construction) :

- l'effet des chargements implicites et explicites (introduits en mode CUMUL), autre que celui de la précontrainte, pondéré par le coefficient v_1 s'il est favorable (option KGFAVORABLE), ou par le coefficient v_2 s'il est défavorable (option KGDEFAVORABLE) ;
- l'effet des tensions initiales des câbles, pondéré par le coefficient v_3 s'il est favorable (option KPOFAVORABLE), ou par le coefficient v_4 s'il est défavorable (option KPODEFAVORABLE) ;
- l'effet des pertes de précontrainte, pondéré par le coefficient v_5 s'il est favorable (option KPEFAVORABLE), ou par le coefficient v_6 s'il est défavorable (option KPEDEFAVORABLE).
- l'effet de la précontrainte globale, c'est-à-dire les tensions initiales et les pertes de précontrainte, pondéré par le coefficient v_7 s'il est favorable (option KPTFAVORABLE), ou par le coefficient v_8 s'il est défavorable (option KPTDEFAVORABLE), conformément à l'Eurocode 2-1-1, paragraphe 5.10.9.

État PRÉCONTRAIN

C'est l'état d'efforts (en repères éléments et sections) et de contraintes (normales et tangentes), dans les éléments de poutres actifs, correspondant aux effets *isostatiques* de la précontrainte, cumulés depuis le début de la construction.

Conditions d'emploi

- Cette commande optionnelle peut être introduite plusieurs fois, seulement après démarrage du processus de construction.
- Le numéro d'identification d'un EFFET déjà enregistré par les modules PH3, ENV, DYN ou ETU (selon la terminologie employée par le module ETU, voir tableau 12.1) ne peut être utilisé pour désigner un ÉTAT enregistré.
- Un état enregistré est remplacé en base de données (quel que soit son type), lorsqu'il est réenregistré avec le même numéro.
- Le nombre d'états enregistrables n'est pas limité, en dehors de leurs numéros d'identification.
- Le titre courant doit être actualisé avant enregistrement d'un état, pour en indiquer la nature et le contenu.
- Le rattachement de plusieurs états à une structure sauvegardée est purement formel et peut correspondre à des schémas statiques différents.
- Un état EXTRÉMAL ou PONDÉRÉ ne peut être demandé que si au moins une commande CALCULER EXTREMAS a été introduite auparavant.
- Un état PONDÉRÉ ou PRÉCONTRAIN ne peut être demandé que si le modèle comporte au moins un câble.
- Un état PONDÉRÉ ne peut être demandé si le processus de construction antérieur comporte au moins :
 - une mise en place d'appui avec vérinage ou une suppression d'appui ;
 - un remplacement d'appui, avec ou sans vérinage ;
 - un placement d'articulation avec rétablissement de la continuité ;
 - un remplacement d'articulation ;
 - une suppression ou une mise en tension d'élément ;
 - une opération de poussage en mode CALCUL RHÉOLOGIQUE fin.
- En cas de poussage en mode CALCUL FORFAITAIRE, la commande ETAT PONDERE doit être précédée d'une commande REDISTRIBUER.

Conseils méthodologiques

- Si on ne s'intéresse qu'aux résultats (à traiter par le module ETU ou à visualiser par le module RES), la commande ETAT doit être utilisée préférentiellement à la commande SAUVER qui enregistre aussi bon nombre de données de construction à une phase donnée.
- D'après les combinaisons décrites dans les Eurocodes, l'utilisation de l'état PONDERE avec une même valeur pour v3 et v5 n'est pas équivalente à l'utilisation de cet état avec cette même valeur pour v7. De même, l'utilisation de l'état PONDERE avec une même valeur pour v4 et v6 n'est pas équivalente à l'utilisation de cet état avec cette même valeur pour v8.

Exemples

Mise à jour d'un état PROBABLE.

```

PHASES
$ session 1 premiere variante du processus de construction
.....
$ titre courant actualise avant enregistrement de l'etat courant
$ (pour l'identifier)
TITRE 'ETAT PROBABLE DE L''OUVRAGE A SA MISE EN SERVICE'
$ la commande ETAT sans option de type designe un etat PROBABLE
$ aucune structure n'ayant ete restauree ou sauvegardee anterieurement,
$ seul son numero l'identifie
ETAT 1
FIN

```

```

PHASES
$ session 2 deuxieme variante du processus de construction
.....
TITRE 'ETAT PROBABLE DE L''OUVRAGE A SA MISE EN SERVICE'
$ le nouvel etat PROBABLE remplace l'ancien en base de donnees
ETAT 1
FIN

```

Enregistrement d'une série d'états PROBABLES, dont certains se rattachent à une structure sauvegardée.

```

PHASES
$ session 1 processus de construction simplifie de l'ouvrage
$ suppose coule d'emblee sur cintre
.....
TITRE 'ETAT PROBABLE DE L''OUVRAGE COULE SUR CINTRE'
ETAT 1
FIN

```

```

PHASES
$ session 2 processus de construction detaille
.....
TITRE 'ETAT PROBABLE DE L''OUVRAGE A SA MISE EN SERVICE'
$ cette commande sauvegarde les donnees de construction
$ et l'etat PROBABLE numero 0 correspondant
SAUVER STRUSERV
.....
TITRE 'ETAT PROBABLE DE L''OUVRAGE A 1000 JOURS'
DATE VIEILLISSEMENT ETAT 1000
ETAT 1
TITRE 'ETAT PROBABLE DE L''OUVRAGE AU TEMPS INFINI'
DATE VIEILLISSEMENT INFINI ETAT
ETAT 2
FIN

```

À l'issue de ces deux sessions, la base de données contient quatre états PROBABLES, invocables par le module ETU sous les appellations suivantes :

- ETAT 1 ;
- ETAT 0 STRUCTURE STRUSERV ;
- ETAT 1 STRUCTURE STRUSERV ;
- ETAT 2 STRUCTURE STRUSERV.

Enregistrement d'états de divers types : PROBABLES, PONDÉRÉS, PRÉCONTRAINS et EXTRÊMAL, rattachés à une structure sauvegardée.

```

PHASES
$ calcul des contraintes dans les elements de poutres
CALCULER CONTRAINTES
$ au moins une commande de ce type est necessaire pour calculer
$ les etats PONDERES et EXTREMAUX
CALCULER EXTREMAS CONTRAINTES NORMALES COMPOSANTE 1
.....
TITRE 'ETAT PROBABLE DE L''OUVRAGE A SA MISE EN SERVICE'
SAUVER STRUSERV
TITRE 'ETAT CARACTERISTIQUE DE L''OUVRAGE A SA MISE EN SERVICE'
$ cet etat contient les valeurs minimales et maximales des contraintes
$ normales (SIGMA) dans les sections des elements de poutres actifs
$ l'effet des charges permanentes cumulees (hors precontrainte) n'est
$ pas pondere (nul = 1.0 et nu2 = 1.0, par defaut)
$ l'effet favorable des tensions initiales des cables est pondere
$ par 0.98, et leur effet defavorable, par 1.02
$ l'effet favorable des pertes de precontrainte est pondere
$ par 0.80, et leur effet defavorable, par 1.20
ETAT PONDERE KPOFAV 0.98 KPODEF 1.02 KPEFAV 0.80 KPEDEF 1.20 1
TITRE 'ETAT PRECONTRAIT DE L''OUVRAGE A SA MISE EN SERVICE'
$ cet etat contient les efforts et contraintes dans les elements de poutres
$ actifs, dus au cumul des sollicitations isostatiques de precontrainte
ETAT PRECONTRAIT 2
.....
TITRE 'ETAT PROBABLE DE L''OUVRAGE AU TEMPS INFINI'
DATE VIEILLISSEMENT INFINI ETAT
ETAT 10
TITRE 'ETAT CARACTERISTIQUE DE L''OUVRAGE AU TEMPS INFINI'
ETAT PONDERE KPOFAV 0.98 KPODEF 1.02 KPEFAV 0.80 KPEDEF 1.20 11
TITRE 'ETAT PRECONTRAIT ISOSTATIQUE DE L''OUVRAGE AU TEMPS INFINI'
ETAT PRECONTRAIT 12
TITRE 'ETAT EXTRÊMAL DE L''OUVRAGE AU TEMPS INFINI'
$ cet etat contient les valeurs enveloppes des contraintes normales
$ dans les sections des elements de poutres actifs
ETAT EXTRÊMAL 20
FIN

```

À l'issue de cette session, la base de données contient sept états de divers types, invocables par le module ETU sous les appellations suivantes :

- ETAT 0 STRUCTURE STRUSERV (PROBABLE) ;
- ETAT 1 STRUCTURE STRUSERV (PONDÉRÉ) ;
- ETAT 2 STRUCTURE STRUSERV (PRÉCONTRAIT) ;
- ETAT 10 STRUCTURE STRUSERV (PROBABLE) ;
- ETAT 11 STRUCTURE STRUSERV (PONDÉRÉ) ;
- ETAT 12 STRUCTURE STRUSERV (PRÉCONTRAIT) ;
- ETAT 20 STRUCTURE STRUSERV (EXTRÊMAL) .

Commandes liées

VERIFIER ; TITRE ; CALCULER EXTREMAS ; AFFECTER CONTRAINTES ; DATE ;
 PLACER APPUIS ; REMPLACER APPUIS ; SUPPRIMER APPUIS PLACER
 ARTICULATIONS ; REMPLACER ARTICULATIONS ; TENDRE ELEMENTS ;
 SUPPRIMER ELEMENTS ; CAS DE CHARGE ; POUSSER [AUTOMATIQUÉMENT]
 STRUCTURES ; REDISTRIBUER ; SAUVER

8.57 – IMPRIMER EXTREMAS

IMPRIMER EXTREMAS

Fonctions

Cette commande provoque l'édition de l'état extrémal courant, pour les effets (et composantes) choisis dans toutes les commandes CALCULER EXTREMAS qui précèdent.

Conditions d'emploi

- Cette commande optionnelle peut être introduite plusieurs fois, seulement après démarrage du processus de construction.
- Elle doit être précédée d'au moins une commande CALCULER EXTREMAS.

Exemples

```
PHASES
CALCULER EXTREMAS CONTRAINTES NORMALES COMPOSANTE 1
.....
$ edition des valeurs minimales et maximales des contraintes normales
$ survenues dans les elements de poutres actifs, depuis le debut de la
$ construction, sous l'effet de toutes les charges implicites,
$ ou explicites appliquees en mode CUMUL
IMPRIMER EXTREMAS
.....
```

Commandes liées

VERIFIER ; TITRE ; CALCULER EXTREMAS

8.58 – IMPRIMER TENSIONS

IMPRIMER TENSIONS [nb_cables]

⟨nom_cable⟩_{nb_cables}

Paramètres

- nb_cables : nombre de câbles tendus, dont on désire éditer les tensions, positif ;
- nom_cable : nom d'un câble sélectionné.

Les noms de câbles ne sont fournis que si nb_cables l'est ; sinon, toutes les tensions des câbles tendus seront éditées par défaut.

Fonctions

Cette commande provoque l'édition des tensions courantes, dans un groupe de câbles, au droit de toutes les sections de poutres qu'ils traversent.

Conditions d'emploi

- Cette commande optionnelle peut être introduite plusieurs fois, à diverses étapes de la construction.
- Elle ne peut être utilisée que si le modèle comporte au moins un câble tendu.
- Elle peut être utilisée en mode CALCUL NON LINÉAIRE, CALCUL FORFAITAIRE ou CALCUL RHÉOLOGIQUE FIN.

Exemples

```
TENDRE CABLES 2
FL101G FL101D
.....
TENDRE CABLES 2
FL102G FL102D
.....
TENDRE CABLES 2
FL103G FL103D
.....
$ edition des tensions dans tous les cables tendus
IMPRIMER TENSIONS
$ edition des tensions dans deux cables choisis
IMPRIMER TENSIONS 2
FL101G FL102G
.....
```

Commandes liées

VERIFIER ; TITRE ; TENDRE CABLES ; DETENDRE CABLES

8.59 – ANALYSE CRITIQUE

ANALYSE CRITIQUE MODES nb_pre_modes [* { TOLERANCE toler
ITERATIONS nb_iter
ENREGISTRE R no_pre_mode }]

Paramètres

- nb_pre_modes : nombre de modes de flambement demandés, positif ;
- toler, nb_iter : seuil de tolérance et nombre maximal d'itérations à utiliser dans l'évaluation et la recherche des modes de flambement (1.0E-6 et 100 par défaut) ;
- no_pre_mode : numéro d'enregistrement du premier mode ; les modes sont enregistrés en base de données, si nécessaire, sous les numéros : no_pre_mode à no_pre_mode + nb_pre_modes – 1, qui doivent rester positifs et inférieurs à 90_000.

Fonctions

L'analyse critique consiste à étudier le flambement linéaire d'une structure chargée en une ou plusieurs étapes.

Cette commande déclenche le calcul d'un nombre imposé de modes de flambement de la structure étudiée ; ces « premiers modes » sont numérotés consécutivement à partir de un (numéros d'ordre).

Ce calcul d'instabilité consiste à établir le facteur de charge critique (relatif à la totalité des charges appliquées) associé à chacun des modes recherchés, qui sont de norme unité, au sens de la norme infinie et qui sont éditables comme des EFFETS par le module PH3.

Avec l'option ENREGISTRER, ils seront enregistrés en base de données (de telle sorte que le déplacement maximum soit égal à 1.0) sous une suite de numéros consécutifs (en général différents de leurs numéros d'ordre) dont on fournit la valeur de départ ; ce sont des EFFETS de type MODES invocables par les modules ETU ou RES ; par défaut, aucun mode n'est enregistré.

À l'issue d'une analyse critique, la déformée correspondant à un mode flambement peut être introduite comme défaut géométrique initial, à l'aide de l'option MODE de la commande CALCUL NONLINEAIRE.

Conditions d'emploi

- Cette commande optionnelle peut être introduite plusieurs fois, à diverses étapes de la construction.
- La recherche des modes de flambement doit s'effectuer en mode CALCUL NON LINÉAIRE.
- La sous-structure étudiée doit être mise en charge préalablement.
- Le numéro d'identification d'un EFFET déjà enregistré par les modules PH3, ENV, DYN ou ETU (selon la terminologie employée par le module ETU, voir tableau 12.1) ne peut être utilisé pour désigner un MODE de flambement enregistré.

Conseils méthodologiques

- Une analyse critique au flambement linéaire n'est qu'une étude approximative de la stabilité de forme.
- Une analyse incrémentale peut approcher le phénomène de manière plus précise en appliquant un chargement dépassant le seuil critique et en recherchant la charge minimale nécessaire à l'obtention de la ruine.

Exemples

```
PHASES
CALCUL NONLINEAIRE
.....
$ le seuil de tolerance fixe par défaut (1.0E-6) convient
$ les trois premiers modes de flambement seront enregistrés
$ en base de données sous les numéros 150, 151 et 152
ANALYSE CRITIQUE MODES 3 ITERATIONS 50 ENREGISTRER 150
```

Commandes liées

VERIFIER ; CALCUL NONLINEAIRE

8.60 - FIN

FIN

Fonctions

Cette commande provoque la fin d'une session et l'arrêt de l'exécution du module PH3 ; toutes les commandes suivantes éventuelles sont ignorées.

Exemples

```
PHASES  
.....  
.....  
FIN
```

Commandes liées

PHASES

Chapitre 9

Charges d'exploitation

INTRODUCTION

SOMMAIRE

9.1 - SURCHARGES

9.2 - ETUDE

9.3 - SUPPORT

9.4 - CIRCULATION

9.5 - ACTION

9.6 - STRUCTURE

9.7 - ENVELOPPES

9.8 - RAPPEL

9.9 - EFFACER

9.10 - FIN

Introduction

L'annexe A fournit les libellés complets des documents référencés dans ce chapitre, sous les appellations condensées : « Fascicule 61 », « Circulaire 83 » et « Eurocode 1 ».

Dans ce chapitre, le terme « poutre » désigne une poutre spatiale.

Fonctions du module ENV

Ce module permet de calculer les valeurs enveloppes des réactions d'appuis, efforts et contraintes, produites par des charges fixes ou mobiles, relativement à certaines surfaces données.

Ces charges d'exploitation peuvent s'appliquer à n'importe quel schéma d'activation de structure sauvegardée par le module PH3 durant la construction. Si la structure est sauvegardée lors d'un calcul non linéaire, c'est sa matrice de rigidité tangente qui est utilisée.

Les principales opérations réalisables par le module ENV sont les suivantes :

- définition et enregistrement d'un nombre quelconque de domaines d'ÉTUDE, caractérisés par leur type (déplacements, réactions d'appuis, efforts ou contraintes à calculer), et leur localisation (sélection de nœuds ou d'extrémités d'éléments) ;
- définition et enregistrement d'un nombre quelconque de surfaces de chargement, appelées SUPPORTS, liés à des ensembles de nœuds ou éléments récepteurs de charges (structures porteuses), et dotés éventuellement de zones de CIRCULATION ;
- application, sur ces supports, de systèmes de chargements fixes ou mobiles, appelés ACTIONS, à sélectionner simplement, si elles sont prédéfinies (partie gravitaire des principales charges du Fascicule 61, de la Circulaire 83, ou de l'Eurocode 1), ou à définir à l'aide de commandes spécifiques ;
- calcul et enregistrement des effets ENVELOPPES produits, pour divers domaines d'étude, par certaines actions appliquées sur certains supports.

Les courbes enveloppes peuvent être éditées ou combinées par le module ETU, entre-elles, ou avec des résultats compatibles produits par les modules PH3 ou DYN, ou fournis. Les surfaces d'influence, enregistrées comme résultats intermédiaires, et les courbes enveloppes, peuvent être visualisées à l'aide du module RES.

Le calcul des enveloppes est réalisé par un sous-module appelé TRAFIC, qui fournit un langage de description des charges d'exploitation très général. Toutes les charges d'exploitation qui ne sont pas prédéfinies (charges ferroviaires ...) peuvent être simulées à l'aide de ce langage, et doivent être stockées dans le fichier au nom réservé : *trafic.don*.

Terminologie

Domaine d'étude

Un domaine d'étude est défini par son type et sa localisation sur la structure.

Type	Localisation sur la structure
Déplacements (*)	Sélection de nœuds
Réactions d'appuis	Sélection de nœuds ayant reçu un appui
Efforts en repères éléments	Sélection d'extrémités d'éléments de poutres ou hors-poutres
Efforts en repères sections	Sélection d'extrémités d'éléments de poutres
Contraintes normales (**)	Sélection d'extrémités d'éléments de poutres
Contraintes tangentes et normales	Sélection d'extrémités d'éléments de poutres

Tableau 9.1 - Domaines d'étude

(*) Un domaine d'étude de type « déplacements » ne peut donner lieu à des calculs d'enveloppes sous charges d'exploitation mais peut être utilisé par les modules ETU ou RES.

(**) Les contraintes normales sont calculées en sections homogénéisées.

Support

La structure porteuse d'un support est une liste ordonnée de nœuds, en lesquels sont ramenées les charges qui lui sont appliquées.

Sa surface de chargement comprend un AXE de référence, dont chaque point de définition A_i est muni d'un repère local $A_i x_i y_i z_i$ (qu'on nommera « repère axe »), et des FILES, définies uniquement par leurs points d'intersections avec tous les plans $A_i y_i z_i$, dans ces repères (points d'application de charges) ; une file confondue avec l'axe peut être définie.

La discrétisation longitudinale de la surface de chargement est obligatoirement liée à la répartition des nœuds de la structure porteuse.

Par exemple, la structure porteuse peut être confondue avec la fibre moyenne d'une poutre, son axe de référence étant confondu avec sa fibre repère (cas courant).

Les coordonnées y locales des points d'une file sont supposées constantes, alors que leurs coordonnées z locales peuvent varier.

Chaque repère lié à un point de l'axe de référence est un repère de chargement du support, selon les axes duquel on peut appliquer les composantes suivantes, le sens des axes étant respecté :

- 1 : force F_x appliquée selon $A_i x_i$,
- 2 : force F_y appliquée selon $A_i y_i$,
- 4 : force F_z appliquée selon $A_i z_i$, mais en sens contraire.

Le numéro de composante 3 est réservé à l'application des charges gravitaires dirigées selon l'axe OZ du repère global, mais en sens contraire (figure 9.1).

Les points de définition des files composent un « maillage » qui constitue la modélisation de la surface de chargement ; toute charge s'exerçant sur un point de ce maillage est transmise en totalité au(x) nœud(s) de la structure porteuse qui lui correspond(ent).

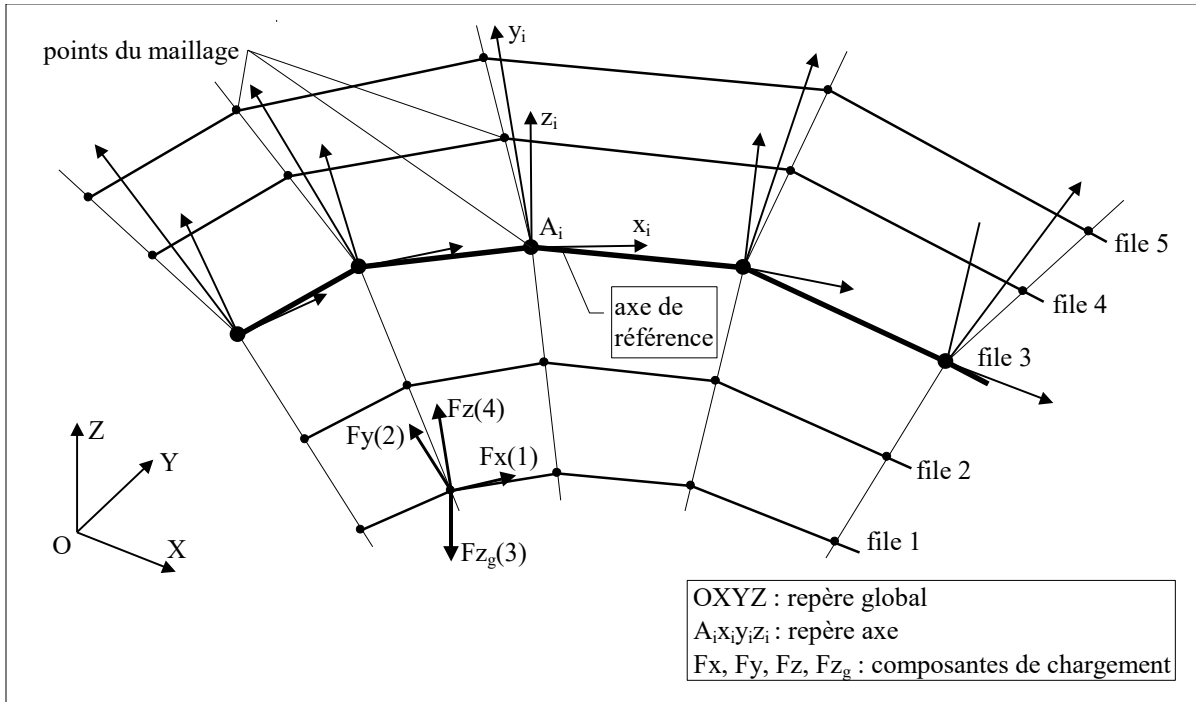


Figure 9.1 - Support dont une file est confondue avec l'axe, modèle réel

Le calcul, en un point d'étude donné, de la valeur de l'influence d'une charge appliquée en chaque point du maillage, permet la génération des surfaces d'influence correspondantes ; ce calcul tient compte des positions exactes des points du maillage, par rapport aux nœuds de la structure porteuse.

La recherche des enveloppes nécessite de transformer le modèle réel, qui n'est en général ni plan ni orthogonal, en un modèle qui ait ces deux propriétés ; pour ce faire, le module ENV développe l'axe longitudinalement, et redresse le profil transversal de la surface de chargement, par projection de ses files suivant la direction z locale (figures 9.2 et 9.3).

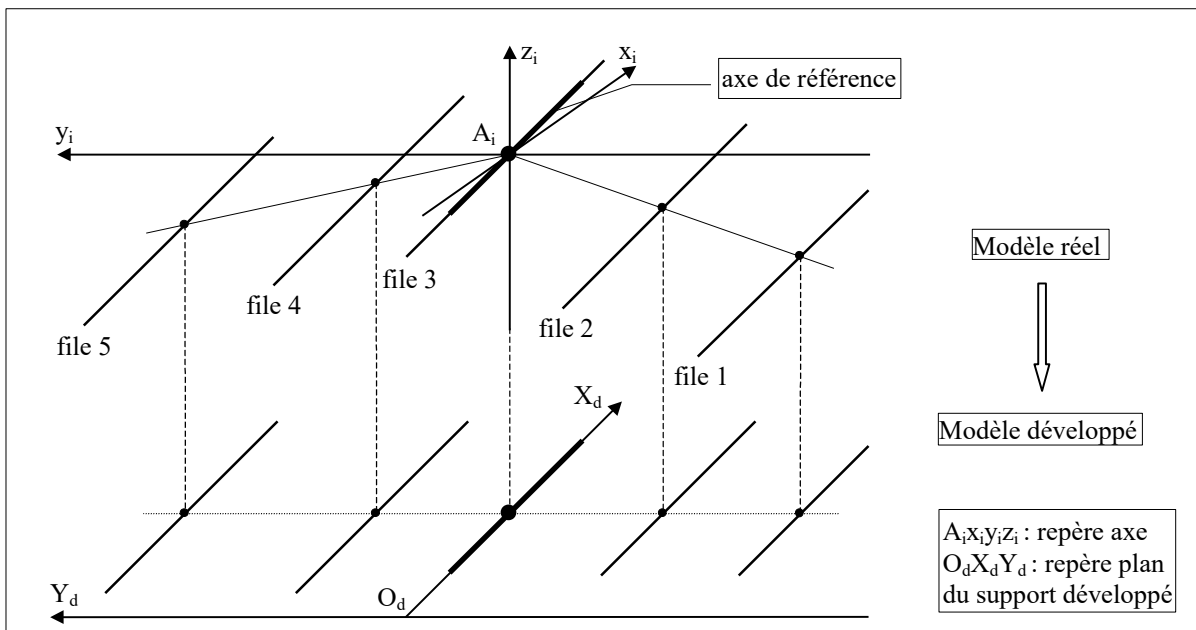


Figure 9.2 - Redressement transversal d'une surface de chargement

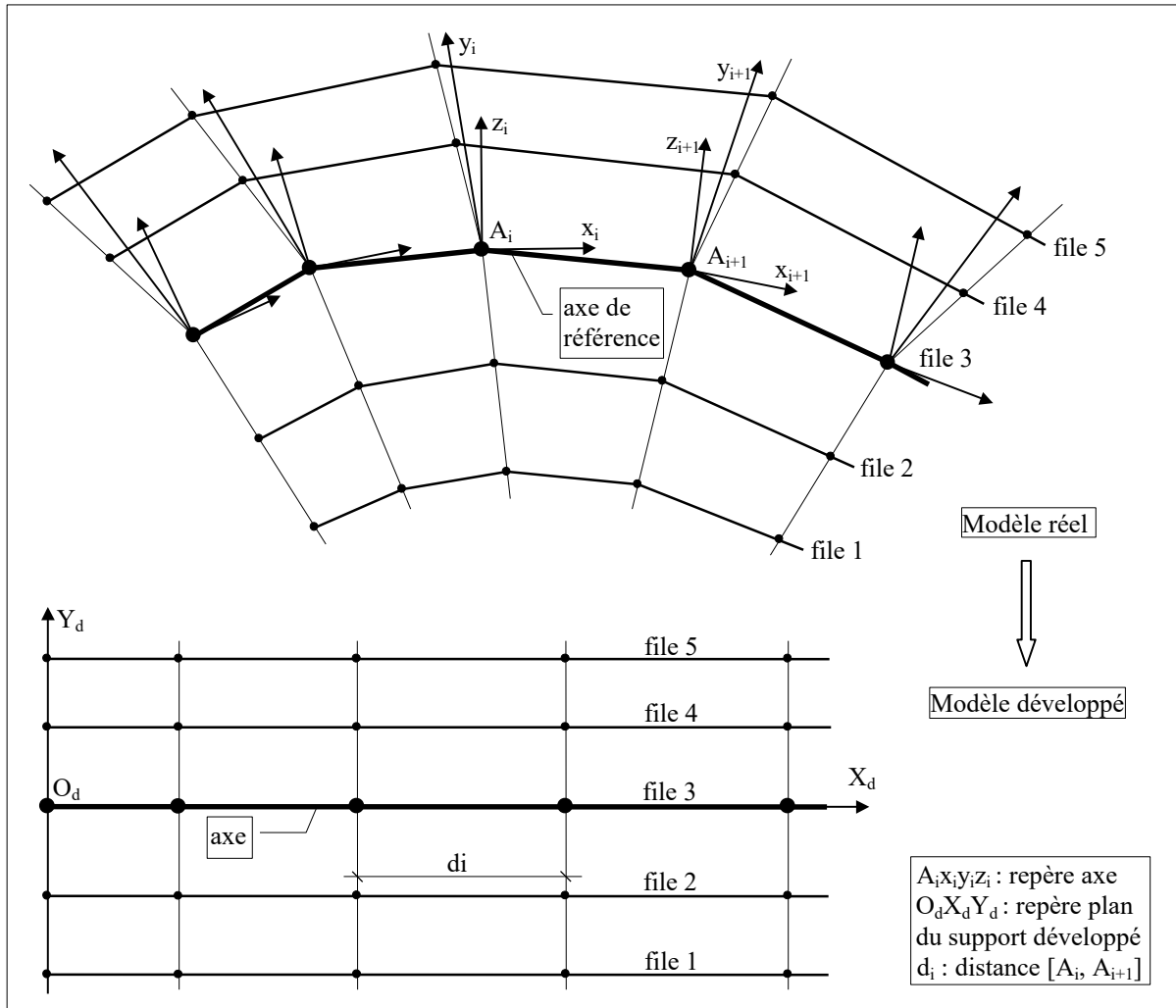


Figure 9.3 - Développement longitudinal d'une surface de chargement

L'application des charges mobiles sur ce modèle développé conserve les valeurs des surfaces d'influence ; cependant, les limites d'intégration des zones d'influence sont altérées, lorsqu'on passe d'une surface de chargement non plane à sa surface développée et redressée équivalente, ce qui constitue une légère approximation.

Circulation

Une circulation est un ensemble de paramètres définissant, sur un support, des zones de chargement spécifiques (CHAUSSÉES, TROTTOIRS), disposées transversalement par rapport à son axe.

L'emprise transversale d'une circulation peut se situer à l'intérieur de son support, ou en déborder, car les deux descriptions sont indépendantes ; en cas de débordement, les influences correspondantes sont extrapolées.

Action

Une action est un système de chargement fixe ou mobile agissant sur un support selon une seule composante ; on distingue :

- les actions réglementaires *prédéfinies*, identifiées par des noms réservés ; les circulations qui doivent leur être associées en complètent la définition ;
- les actions *quelconques*, définies entièrement (nature, intensité et espacement des charges, zones de répartition, coefficients de pondération, etc.), et identifiées par des noms à créer.

Effet enveloppe

Un effet enveloppe, ou une enveloppe, est l'ensemble des valeurs maximales et minimales prises par l'effet considéré en chaque point d'un domaine d'étude, et pour une composante donnée, lorsqu'une action est appliquée sur un support. Les effets concomitants peuvent être demandés pour d'autres composantes que celles étudiées.

Conditions générales

L'utilisation du module ENV est subordonnée à la constitution préalable du modèle mécanique général, par le module PH1.

On peut définir des domaines d'étude, des supports, des circulations et des actions, qui seront enregistrés implicitement, même si la base de données ne contient pas de structure sauvegardée par le module PH3 ; les entités correspondantes peuvent être invoquées dans le fichier de commandes en cours, ou ultérieurement, dans d'autres fichiers de commandes.

Les domaines d'étude sont utilisés dans la plupart des calculs conduits par le module ETU.

Par contre, le calcul d'une série d'enveloppes ne peut débuter que si une structure de chargement sauvegardée est désignée et rappelée ; cette structure définit un système d'activation, de conditions aux limites et de rigidités, à partir duquel le module ENV déterminera des surfaces d'influence.

Mode d'analyse des données

Les commandes à délimiteur de fin du module ENV peuvent être rédigées de manière totalement libre (du point de vue de leur découpage en lignes), les libellés-types intégrés à leur présentation étant purement indicatifs.

Elles sont analysées en totalité, dans l'ordre de leur introduction (interprétation) ; il peut être demandé au module ENV de vérifier simplement les commandes, sans les exécuter.

Éditions

L'écho des commandes est produit au fur et à mesure de leur interprétation ; toute commande erronée est suivie de message(s) d'erreur(s).

Le fichier de résultats contient toujours un rappel des entités introduites, le produit de leur prétraitement, et les effets enveloppes calculés ; les positions des véhicules et certains résultats intermédiaires sont édités en complément, sur option.

Sommaire

Commande	Page
9.1 - SURCHARGES	9-8
9.2 - ETUDE.....	9-9
9.3 - SUPPORT	9-11
9.4 - CIRCULATION.....	9-18
9.5 - ACTION.....	9-21
9.6 - STRUCTURE	9-26
9.7 - ENVELOPPES.....	9-27
9.8 - RAPPEL.....	9-31
9.9 - EFFACER	9-32
9.10 - FIN	9-33

9.1 - SURCHARGES

SURCHARGES [* { VERIFIER
TITRE titre_session }] ;

Paramètres

- titre_session : intitulé attribué au fichier de commandes, qui sera reproduit en tête des résultats du module ENV, s'il est fourni (chaîne de caractères).

Fonctions

Cette commande identifie un fichier de charges d'exploitation et débute une « session » d'utilisation du module ENV.

En mode VÉRIFICATION, le module ENV contrôle la syntaxe et la logique des commandes, sans enregistrer les entités introduites, et sans effectuer les calculs demandés ; le nombre d'erreurs détectables est illimité.

En mode EXÉCUTION (option VERIFIER non utilisée), les entités introduites déclarées correctes sont enregistrées ; les commandes de calcul validées sont exécutées et leurs résultats sont enregistrés.

Conditions d'emploi

- Doit figurer au début du fichier de commandes.

Conseils méthodologiques

- Vérifier systématiquement les commandes avant de lancer un calcul important.

Exemples

```
SURCHARGES ;  
.....  
FIN ;
```

Ce libellé de la commande SURCHARGES sur deux lignes permet d'activer, ou de désactiver le mode VÉRIFICATION, en supprimant ou rétablissant le caractère "\$" de la première ligne.

```
SURCHARGES $ VERIFIER  
TITRE 'VIADUC D''ACCES B, CHARGES D''EXPLOITATION, SESSION 1' ;  
.....  
FIN ;
```

Commandes liées

ETUDE ; SUPPORT ; CIRCULATION ; ACTION ; STRUCTURE ; ENVELOPPES
RAPPEL ; EFFACER ; FIN

9.2 - ETUDE

ETUDE no_domaine titre_domaine

$$\left. \begin{array}{l}
 \left. \begin{array}{l}
 \text{DEPLACEMENTS} \left\{ \begin{array}{l}
 \text{NOEUDS} \langle \text{no_noeud} \rangle_{\text{nb_noeuds}} \\
 \text{EXTREMITES} \left\langle \left[\begin{array}{c} + \\ - \end{array} \right] \text{no_element} \right\rangle_{\text{nb_extre}}
 \end{array} \right\} \\
 \text{REACTIONS} \quad \text{NOEUDS} \langle \text{no_noeud} \rangle_{\text{nb_noeuds}}
 \end{array} \right\} ; \\
 \left. \begin{array}{l}
 \left. \begin{array}{l}
 \text{EFFORTS} \left\{ \begin{array}{l}
 \text{ELEMENTS} \\
 \text{SECTIONS}
 \end{array} \right\} \\
 \text{CONTRAINTES} \left\{ \begin{array}{l}
 \text{NORMALES} \\
 \text{TANGENTES}
 \end{array} \right\}
 \end{array} \right\} \text{EXTREMITES} \left\langle \left[\begin{array}{c} + \\ - \end{array} \right] \text{no_element} \right\rangle_{\text{nb_extre}}
 \end{array} \right\}
 \end{array}$$

Paramètres

Les nombres de nœuds, et d'extrémités d'éléments (respectivement nb_nœuds et nb_extre) sont définis implicitement par les nombres de valeurs fournies correspondantes.

- no_domaine : numéro d'identification du domaine d'étude à créer, positif et inférieur à 9999 ;
- titre_domaine : intitulé qui sera rappelé à chaque utilisation du domaine d'étude, dans les résultats des modules ENV et ETU, les menus et dessins du module RES (chaîne de caractères) ;
- no_noeud : numéro d'un nœud de calcul des RÉACTIONS d'appuis, ou des DÉPLACEMENTS ;
- no_element : numéro d'un élément pour calcul des DÉPLACEMENTS, EFFORTS ou CONTRAINTES, précédé du signe *moins*, si on désigne son origine, ou du signe *plus* ou d'aucun signe, si on désigne son extrémité ; avec l'option DEPLACEMENTS, cette valeur désigne implicitement le nœud non numéroté relié à l'origine ou à l'extrémité de cet élément, par un élément rigide d'excentrement.

Fonctions

Cette commande permet de définir un domaine d'étude numéroté ou explicite, qui pourra être enregistré en base de données, s'il est validé.

Les différents types de résultats utilisables pour former des domaines d'étude, leurs composantes numérotées et les abréviations qui leur correspondent, sont décrits dans le tableau 1.1.

Conditions d'emploi

- La base de données peut accueillir un nombre quelconque de domaines d'étude.
- Un domaine d'étude enregistré durant une session peut être utilisé au cours de sessions ultérieures.
- Un domaine d'étude est remplacé en base de données lorsqu'il est redéfini, mais les enveloppes calculées avec son ancienne définition ne sont mises à jour qu'après réexécution des commandes ENVELOPPES l'utilisant.

Conseils méthodologiques

- Il est souvent nécessaire d'étudier les résultats (efforts et contraintes) de part et d'autre des sections de poutres ou figurent des arrêts de câbles, des haubans, ou des appuis.
- Le temps de calcul d'un effet enveloppe est proportionnel au nombre de points du domaine d'étude qui lui correspond ; ce critère important doit être pris en compte dans le choix des nombres de points des domaines d'étude.
- Il est d'usage fréquent de partager un ouvrage à étudier en plusieurs domaines d'étude, afin de réduire leurs tailles (tablier de pont comprenant plusieurs travées, prises séparément, ou par groupes de deux ou trois, par exemple).
- Les DEPLACEMENTS sont toujours donnés dans le repère global, que la sortie soit demandée avec la commande NOEUDS ou la commande EXTREMITES. Les déplacements sont d'ailleurs toujours donnés aux nœuds. Pour les autres grandeurs (REACTIONS, EFFORTS et CONTRAINTES), l'option EXTREMITES permet d'avoir des résultats dans le repère de l'élément, tandis que l'option NOEUDS permet d'avoir les résultats dans le repère global.

Exemples

```
ETUDE 10 'TABLIER NORD, DEPLACEMENTS POINTS D'ACCROCHAGE DES HAUBANS'
DEPLACEMENTS EXTREMITES
-707 -716 -725 -734 -743 -763 -772 -781 -790 -799
-807 -816 -825 -834 -843 -863 -872 -881 -890 -899;
```

```
ETUDE 11 'TABLIER NORD, REACTIONS D'APPUIS'
REACTIONS NOEUDS 1 36 86 121;
```

```
ETUDE 21 'TABLIER NORD, CONTRAINTES NORMALES TRAVEE 1'
CONTRAINTES NORMALES EXTREMITES
<< (-I, I) > I = 1 A 35>;
```

```
ETUDE 32 'TABLIER NORD, CONTRAINTES TANGENTES TRAVEE 2'
CONTRAINTES TANGENTES EXTREMITES
<< (-I, I) > I = 36 A 85>;
```

Commandes liées

SURCHARGES ; ENVELOPPES ; RAPPEL

9.3 - SUPPORT

SUPPORT no_support titre_support

$$\left. \begin{array}{l} \text{SUPPORTS } \langle \text{no_support_base} \rangle_{\text{nb_supports}} \\ \text{POUTRES } \langle \text{no_poutre} \rangle_{\text{nb_poutres}} \quad [\text{SECTIONS } \text{s_debut} \quad \text{s_fin}] \\ \text{ELEMENTS } \langle \text{no_element} \rangle_{\text{nb_elements}} \\ \text{NOEUDS } \langle \text{no_noeud} \rangle_{\text{nb_noeuds}} \end{array} \right\}$$

$$[\text{AXE } \left. \begin{array}{l} \text{REFERENCE } \text{ordre_ref} \\ \left\{ \begin{array}{l} \text{RELATIF} \\ \text{ABSOLU} \end{array} \right\} \langle \text{x_point} \quad \text{y_point} \quad \text{z_point} \quad \theta_x \quad \theta_y \quad \theta_z \rangle_{\text{nb_points}} \end{array} \right\}]$$

$$[\text{FILES } \text{YFILES } \langle \text{y_file} \rangle_{\text{nb_files}} \quad \left[\begin{array}{l} \text{ZFILES } \langle \text{z_files} \rangle_{\text{nb_files}} \\ \text{ZPOINTS } \langle \langle \text{z_point} \rangle_{\text{nb_files}} \rangle_{\text{nb_points}} \end{array} \right]] ;$$

Paramètres

Les nombres de supports de base, de poutres, d'éléments, de nœuds, de files, et de points d'une file (respectivement nb_supports, nb_poutres, nb_elements, nb_noeuds, nb_files et nb_points) sont définis implicitement par les nombres de valeurs fournies correspondantes.

- no_support : numéro d'identification du support à créer, positif et inférieur à 90_000 ;
- titre_support : intitulé qui sera rappelé à chaque utilisation du support, dans les résultats du module ENV (chaîne de caractères) ;
- no_support_base : numéro d'un support de base prédéfini, si le support à créer est formé de SUPPORTS ; ceux-ci doivent être accolés *transversalement* dans un ordre tel que les ordonnées de leurs files « fusionnées », ramenées dans les repères locaux de leur axe de référence, soient strictement croissantes ; leurs axes doivent avoir des nombres de points égaux mais les abscisses des points peuvent être différentes d'un support à un autre ; un support de base ne peut être lui-même formé de supports ;
- no_poutre, s_debut, s_fin : numéro d'une poutre, numéro de section de la poutre no_poutre₁ marquant le début du support, numéro de section de la poutre no_poutre_{nb_poutres} marquant la fin du support, si la structure porteuse est formée de POUTRES, mises bout à bout selon leur sens de parcours commun ;

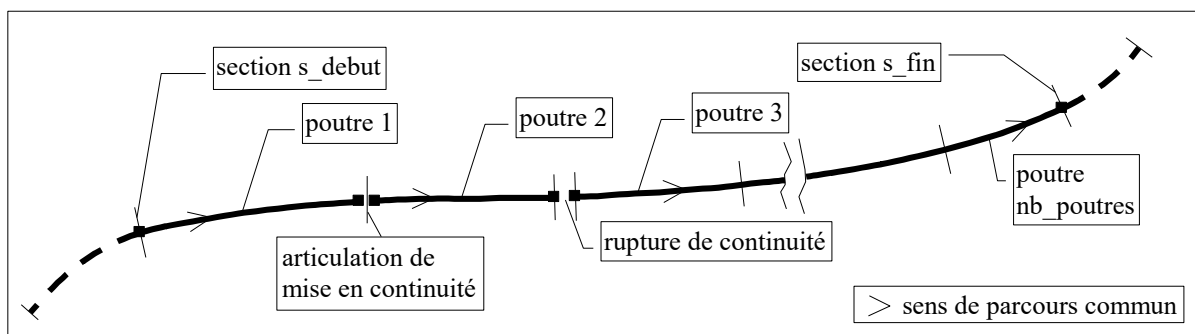


Figure 9.4 - Structure porteuse formée de poutres

- `no_element` : numéro d'élément de poutre ou courant, si la structure porteuse est formée d'ÉLÉMENTS ;
- `no_noeud` : numéro de nœud, si la structure porteuse est formée de NOEUDS ;
- `ordre_ref` : numéro d'ordre d'introduction du support de base, dont l'AXE est choisi comme RÉFÉRENCE, lorsque le support à créer est formé de SUPPORTS ; l'axe de référence sera donc celui du support `no_support_base`_{ordre_ref} ;
- `x_point`, `y_point`, `z_point`, θ_x , θ_y , θ_z : coordonnées d'un point A_i de l'AXE du support à créer, et angles positionnant son repère local $A_i x_i y_i z_i$, relativement à un repère dépendant de son mode de définition (AXE ABSOLU ou RELATIF), et/ou de la nature de la structure porteuse (voir conventions générales, et l'analogie avec la fibre repère d'une poutre dans le chapitre 3) ;
- `y_file` : ordonnée d'une file ; les valeurs entrées doivent être strictement croissantes ;
- `z_file` : cote d'une file, dans le cas où tous les points de chaque file ont la même cote (option ZFILES) ;
- `z_point` : cote d'un point d'une file, dans le cas où les points d'au moins une file ont des cote différentes (option ZPOINTS).

Les valeurs `y_file`, `z_file` et `z_point` sont fournies dans les repères *locaux* de l'axe de référence du support.

Fonctions

Cette commande permet de définir un support de charges, qui pourra être enregistré en base de données, s'il est validé.

Le support est constitué de trois éléments essentiels, pour sa description :

- la structure porteuse des ACTIONS ;
- l'AXE de référence (qui servira également pour la définition éventuelle de la CIRCULATION) ;
- le mode de discrétisation en FILES de la surface de chargement.

Structure porteuse

Elle est introduite par les options SUPPORTS, POUTRES, ELEMENTS ou NOEUDS et leurs attributs, dont la signification est la suivante :

- SUPPORTS : la structure porteuse est formée par accollement *transversal* de celles des `nb_supports` supports de base ; les lignes de nœuds correspondantes peuvent être reliées ou non par des éléments transversaux ;
- POUTRES : la structure porteuse est formée *longitudinalement* des nœuds de fibres moyennes des `nb_poutres` poutres, connectées mécaniquement entre-elles, ou non ; la première et/ou la dernière poutre peuvent être prises en compte partiellement ;
- ELEMENTS : la structure porteuse est formée *longitudinalement* des nœuds extrémités (mis en commun en cas de contiguïté) des `nb_elements` éléments, ordonnés selon leur sens de parcours commun ;
- NOEUDS : la structure porteuse est formée *longitudinalement* des `nb_nœuds` nœuds ordonnés selon un sens de parcours donné.

Lors du traitement de la commande ENVELOPPES, le module ENV vérifie que tous les éléments des structures porteuses formées de poutres ou d'éléments, sont actifs.

Deux nœuds distants de moins de 0,02 m ne donnent naissance qu'à un point de discrétisation de l'axe de référence (articulation interne à une poutre, extrémités d'éléments ou nœuds rapprochés et non reliés ...).

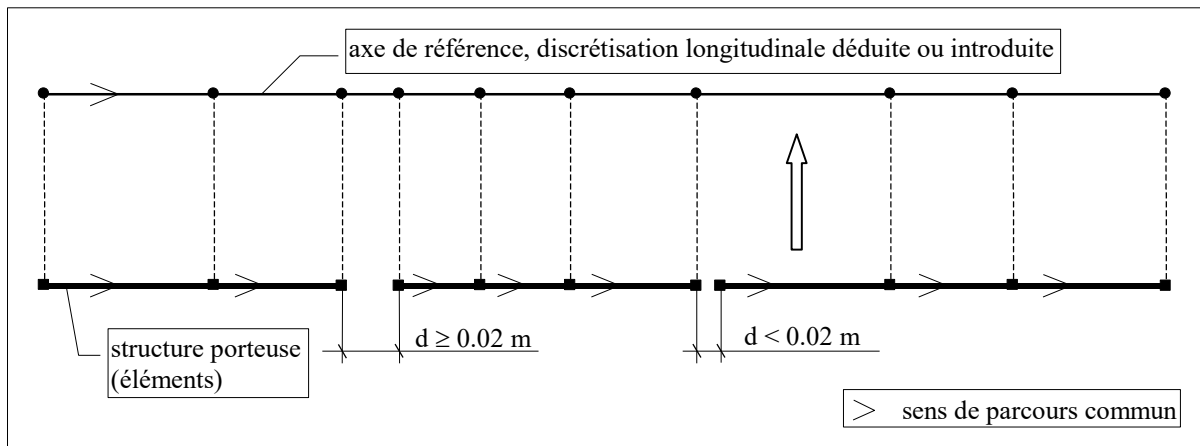


Figure 9.5 - Élimination des points « confondus » de l'axe de référence

Lors du traitement de la commande ENVELOPPES, le module ENV vérifie que les éléments déclarés porteurs ou connectés à des nœuds déclarés porteurs sont actifs dans la structure étudiée.

Axe de référence

Si le support est formé de supports, la désignation d'un axe de référence est obligatoire (paramètre ordre_ref).

Sinon, et si aucun axe n'est défini, il est confondu avec :

- les fibres repères mises bout à bout des *poutres* déclarées porteuses (éventuellement partielles) ;
- les *nœuds extrémités* d'éléments, ou les *nœuds* déclarés porteurs ; le repère local d'un point de l'axe est alors le translaté du repère global en ce point.

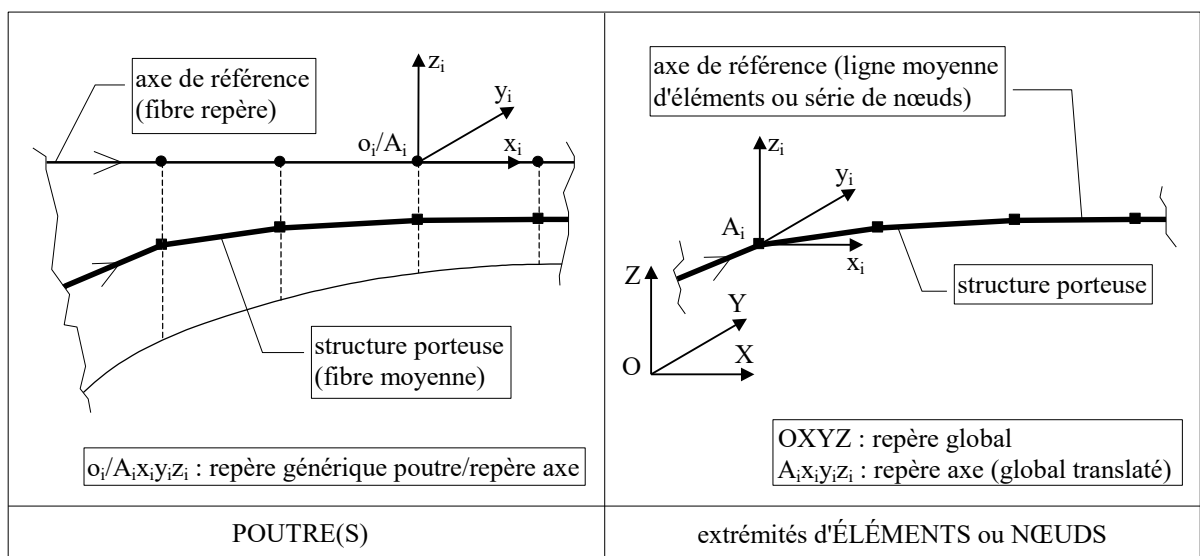


Figure 9.6 - Axe de référence défini implicitement

Si un axe est défini, les trois coordonnées de ses points (correspondant à la discrétisation longitudinale de la structure porteuse du support), et les trois angles positionnant ses repères locaux sont définis :

- en repère global, si l'axe est déclaré ABSOLU ;
- si l'axe est déclaré RELATIF :
 - par rapport aux points des fibres repères des poutres déclarées porteuses, et dans les repères locaux correspondants ;
 - ou par rapport à des translatsés du repère global aux nœuds extrémités des éléments, ou aux nœuds déclarés porteurs.

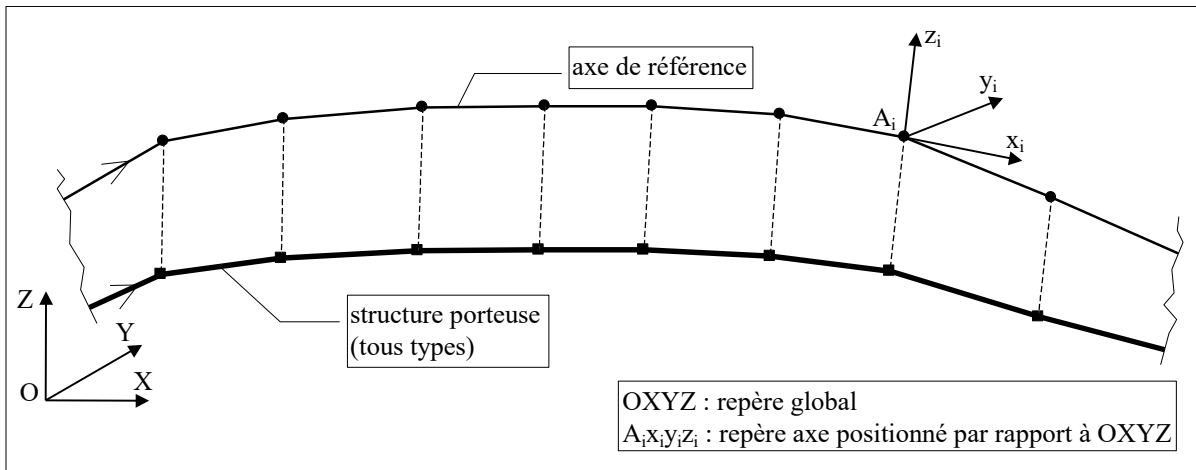


Figure 9.7 - Axe de référence défini en repère absolu

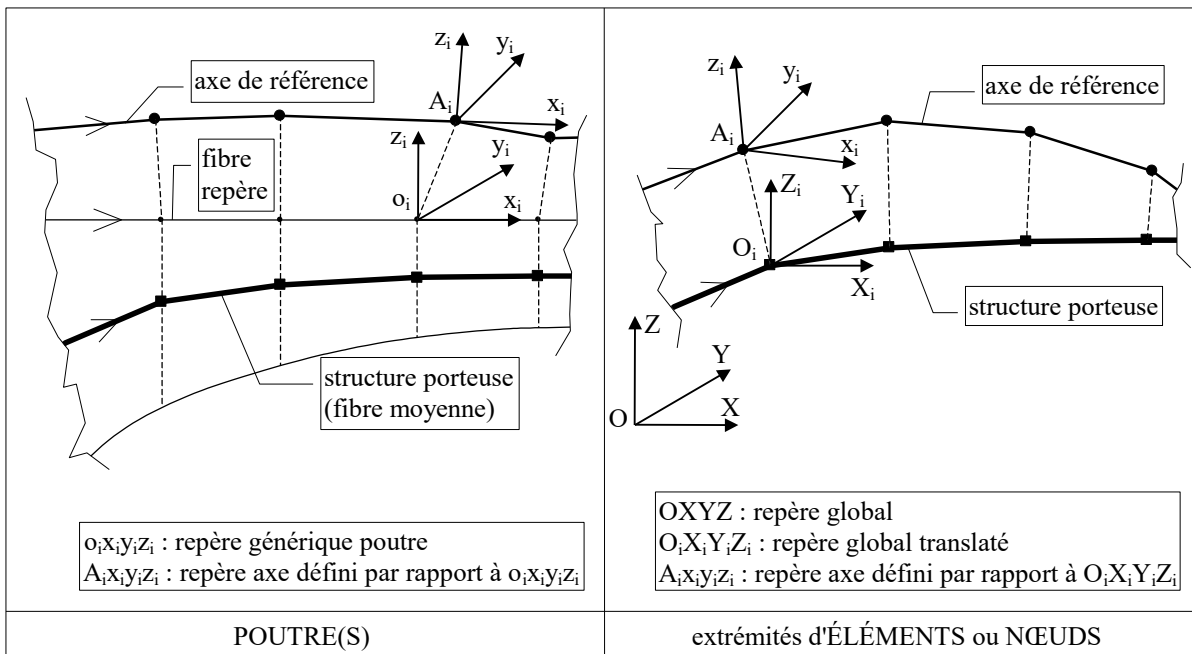


Figure 9.8 - Axe de référence défini en repères relatifs

Files

Elles déterminent la topologie transversale du support c'est-à-dire les lignes de discrétisation des surfaces d'influence.

Si le support est formé de supports, aucune file ne doit être définie, les files utilisées sont celles des supports constitutifs, fusionnées dans leur ordre d'introduction.

Sinon, et si aucune file n'est définie, il comprend une seule file confondue avec son axe.

Si des files sont définies, leurs cotes peuvent être nulles (option par défaut), constantes (option ZFILES) ou variables (option ZPOINTS).

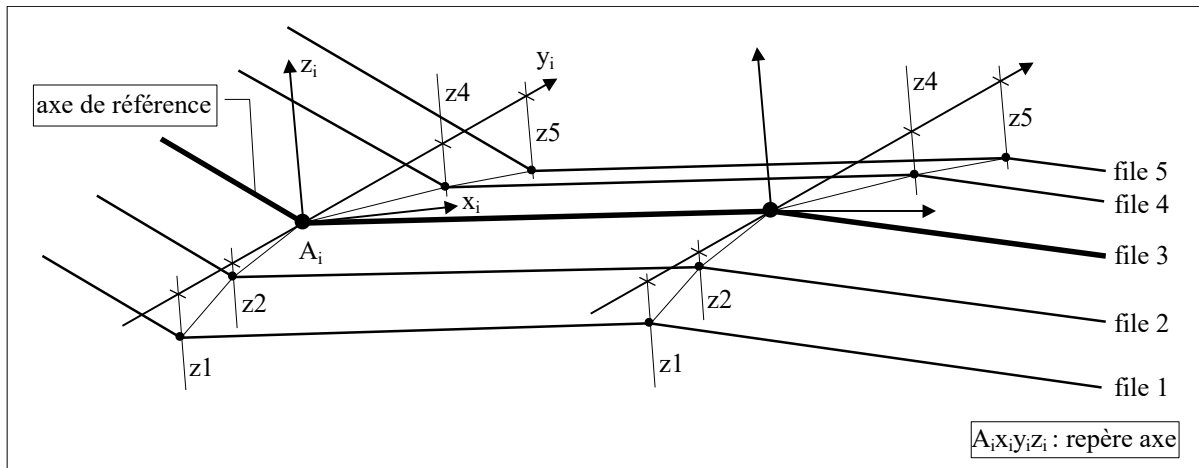


Figure 9.9 - Files de cotes constantes longitudinalement

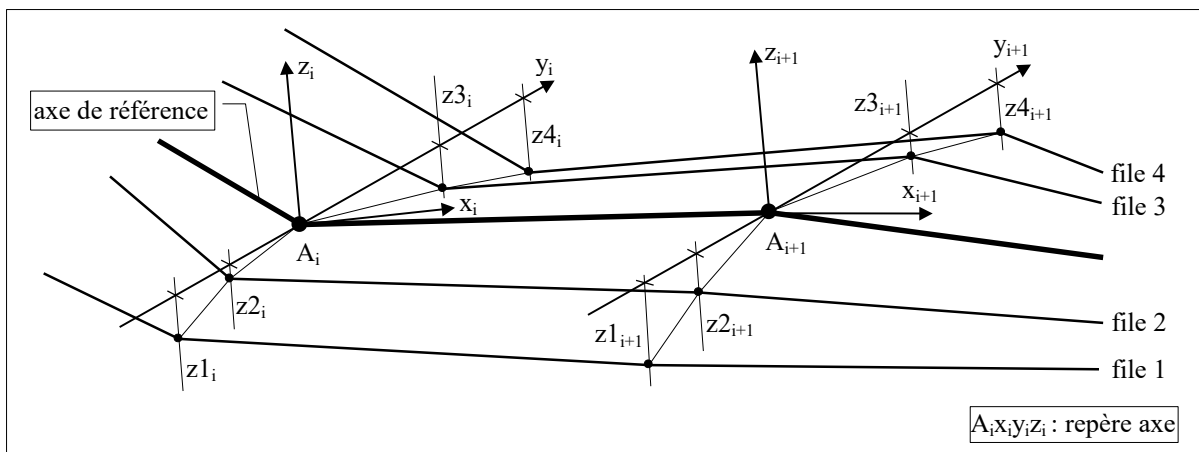


Figure 9.10 - Files de cotes variables longitudinalement

Conditions d'emploi

- La base de données peut accueillir un nombre quelconque de supports.
- Un support enregistré durant une session peut être utilisé au cours de sessions ultérieures.

Conseils méthodologiques

- Les supports constitués de supports doivent systématiquement être utilisés lorsqu'une sous-structure réceptrice de charges mobiles est modélisée à l'aide de poutres parallèles.
- Les supports constitués de nœuds doivent être utilisés pour charger des nœuds non reliés par des éléments longitudinaux qui pourraient constituer la ligne porteuse (prise en compte des discontinuités longitudinales des surfaces d'influence).

- Lors d'une modélisation de hourdis reliant deux nervures par des éléments transversaux, les nœuds intermédiaires peuvent être désignés comme nœuds de supports.
- Faire correspondre une file à l'axe de référence s'il est un axe de voie de circulation ou de trottoir.
- À chaque support élémentaire correspondent en général deux files au maximum, qui marquent les limites de la surface d'influence associée à la partie de structure correspondante. La surface d'influence d'un support constitué de supports est interpolée entre les files extrêmes adjacentes des supports élémentaires.
- Les ouvrages biais multi-poutres peuvent être constitués de plusieurs supports concaténés transversalement avec une origine différente pour chaque support de manière à prendre en compte le biais. La seule condition sur la répartition longitudinale des points est que le nombre de points de chaque support soit le même d'un support à un autre. Les abscisses de chaque point peuvent donc se répartir de façon différente d'un support à un autre.

Exemples

```

$ structure porteuse constituee d'extremites d'elements
$ axe de reference (non defini) confondu avec leur fibre moyenne
$ et ayant comme reperes locaux des translates du repere global
$ une seule file (non definie) confondue avec l'axe
SUPPORT 101 'TABLIER NORD'
  ELEMENTS 1 A 100;

$ structure porteuse constituee de deux poutres completes
$ mises bout a bout selon leur sens de parcours commun
$ axe de reference (non defini) confondu avec leurs fibres reperes
$ une seule file (non definie) confondue avec l'axe
SUPPORT 102 'TABLIER NORD'
  POUTRES 1 2;

$ structure porteuse constituee d'une partie de poutre
$ delimitée par deux de ses sections
$ axe de reference (non defini) confondu avec la portion de fibre repere
$ six files dont les cotes sont constantes longitudinalement
SUPPORT 103 'TABLIER NORD'
  POUTRE 1 SECTIONS 10 80
  FILES YFILES -9.00 -5.50 -2.00 2.00 5.50 9.00
  ZFILES -0.2250 -0.1375 -0.0500 -0.0500 -0.1375 -0.2250;

$ structure porteuse constituee d'extremites d'elements
$ axe de reference defini en repere global
$ deux files dont les cotes sont variables longitudinalement
SUPPORT 104 'TABLIER NORD'
  ELEMENTS 1 A 100
  AXE ABSOLU
  << (X) 5*0.0 > X = 0.0 A 200.0 DIV 100 >
  FILES YFILES -2.0 2.0
  ZPOINTS << (Z,Z) > Z = 0.0 A 2.5 DIV 100 >;

```

L'exemple suivant s'applique à un tablier de pont bi-nervures dont chacune des nervures est modélisée par une poutre et reçoit un support ; un troisième support est construit sur la file de nœuds centraux intermédiaires (non reliés par des éléments longitudinaux).

Le support résultant est formé par l'assemblage transversal de ces trois supports de base, son axe de référence étant choisi au niveau du hourdis central ; les ordonnées des sept files résultantes, recalculées dans les repères des points de cet axe, sont strictement croissantes.

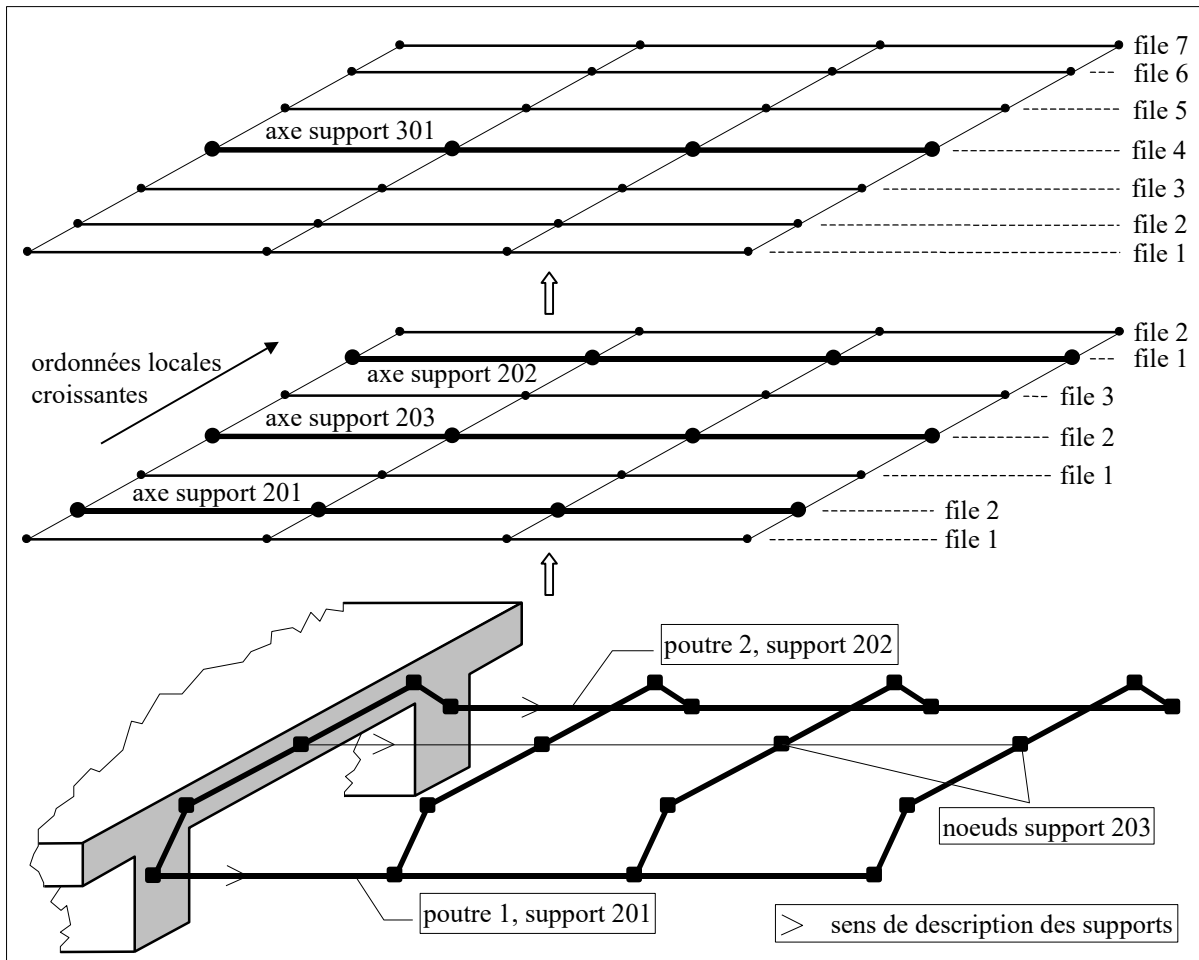


Figure 9.11 - Support relatif à un tablier de pont bi-nervures

```
$ une poutre complete, axe de reference : fibre repere, deux files
SUPPORT 201 'NERVURE DROITE' $ vue de dessus, dans le sens du support
POUTRE 1 FILES YFILES -1.0 0.0;
```

```
SUPPORT 202 'NERVURE GAUCHE'
POUTRE 2 FILES YFILES 0.0 1.0;
```

```
$ structure porteuse constituee de noeuds, axe de reference (non defini)
$ confondu avec la ligne de noeuds et ayant comme reperes locaux des
$ translates du repere global, trois files
```

```
SUPPORT 203 'HOURDIS CENTRAL'
NOEUDS 1 A 100 FILES YFILES -2.0 0.0 2.0;
```

```
$ support resultant, son axe de reference est celui du support 203
$ possedant le numero d'ordre 2, dans la liste de juxtaposition
SUPPORT 301 'TABLIER COMPLET'
SUPPORTS 201 203 202 AXE REFERENCE 2;
```

Commandes liées

SURCHARGES ; CIRCULATION ; ACTION ; STRUCTURE ; ENVELOPPES

RAPPEL

9.4 - CIRCULATION

```

CIRCULATION  SUPPORT  no_support

CLASSE  classe_pont  [TYPE  { RF61
                             EC1 } ]

CHAUSSEES  nb_chaussees  <y_debut  y_fin>_nb_chaussees

[VOIES  nb_voies  largeur_voies  <y_axe_voies>_nb_voies ]

[TROTTOIRS  nb_trottoirs  <largeur_trottoir  y_axe_trottoir>_nb_trottoirs ] ;

```

Paramètres

On doit utiliser les options TYPE RF61 (retenues par défaut) avec les systèmes de charges réglementaires prédéfinies du Fascicule 61 ou de la Circulaire 83, ou les options TYPE EC1 avec ceux de l'Eurocode 1 (voir commande ACTION).

- no_support : numéro du support sur lequel est définie la circulation ;
- classe_pont : classe du pont, au sens du Fascicule 61 (1, 2 ou 3) , ou de la circulation, au sens de l'Eurocode 1 (1, 2) ;
- nb_chaussees : nombre de chaussées, positif et limité à 2 ;
- y_debut, y_fin : ordonnées strictement croissantes des limites de la zone *chargeable* d'une chaussée, définies par le Fascicule 61 si on utilise les options TYPE RF61, ou délimitant sa largeur *effective* si on utilise les options TYPE EC1 ;
- nb_voies : nombre de voies;
- largeur_voies : largeur des voies de circulation;
- y_axe_voies : ordonnées des axes des voies; les ordonnées doivent être strictement croissantes.
- nb_trottoirs : nombre de trottoirs, positif et limité à 2, s'il est fourni, nul par défaut ;
- largeur_trottoir, y_axe_trottoir : largeur d'un trottoir et ordonnée de son axe ; les ordonnées doivent être strictement croissantes.

Toutes les ordonnées sont fournies dans les repères *locaux* de l'axe de référence du support no_support.

Fonctions

Cette commande permet de définir la circulation relative à un support, qui pourra être enregistrée en base de données, si elle est validée. La circulation d'un support indique sa CLASSE, et la géométrie de ses zones de chargement spécifiques (CHAUSSEES, TROTTOIRS).

Par défaut, les nombres de voies et les largeurs de voies des chaussées sont déterminées automatiquement, selon le TRAFIC défini dans la commande ACTION, aussi bien pour l'Eurocode que pour le fascicule 61.

Pour l'étude de charges ferroviaires et de fatigue FLM234, l'utilisateur veillera à utiliser la commande VOIES afin de préciser les positions et la largeur des voies de circulation.

Le type de règlement n'est pas utilisé par le logiciel ; il est demandé ici uniquement pour que le rappel des données le fasse apparaître. La CLASSE quant-à-elle est uniquement utilisée

pour déterminer, le cas échéant, les coefficients de dégressivité à appliquer au TRAFIC et pour vérifier la concordance avec la CLASSE du TRAFIC le cas échéant.

Conditions d'emploi

- Une circulation doit être obligatoirement attribuée à un support qui reçoit des charges réglementaires prédéfinies (voir commande ACTION).
- Un support doit être défini avant la circulation qui s'y rattache, dans la même session, ou dans une session antérieure.
- Une circulation enregistrée durant une session peut être utilisée au cours de sessions ultérieures.
- Une circulation est remplacée en base de données lorsqu'elle est redéfinie, mais les enveloppes calculées avec son ancienne définition ne sont mises à jour qu'après réexécution des commandes ENVELOPPES l'utilisant (par le biais des actions appliquées sur un support).
- Aucune règle formelle ne lie la définition d'une circulation à celle de son support.
- Aucune zone de recouvrement n'est tolérée entre trottoirs et chaussées.
- Dans le cas de deux chaussées définies dans la circulation, la charge LM1 éventuelle comportera trois voies au maximum dont une dite lourde.

Conseils méthodologiques

- Lorsque le type de circulation change, il faut vérifier que la largeur chargeable reste en accord avec lui.
- Le calcul selon le modèle de charge de fatigue 3 (Fml3) est un modèle à véhicule unique, il faut donc dans ce cas définir une seule voie, la voie lente, avec le mot clé VOIES.
- Dans le cas particulier de deux tabliers indépendants supportés ou non par les mêmes piles, pour lesquels l'utilisateur souhaite qu'une seule voie lourde et trois voies au maximum soient appliquées sur chaque tablier (cf EC1-2 4.2.3(4)), il faut que deux SUPPORTS soient définis avec chacun une CIRCULATION propre.
- Dans le cas particulier de deux tabliers indépendants supportés par les mêmes piles, pour lesquels l'utilisateur souhaite qu'une seule voie lourde et trois voies au maximum soient appliquées sur l'ensemble des deux tabliers pour l'étude des piles par exemple (cf EC1-2 4.2.3(4)), il faut qu'un seul SUPPORT soit défini avec une CIRCULATION comportant deux chaussées.

Exemples

La circulation représentée ci-dessous s'applique à un pont de première classe comportant des dispositifs de retenue au niveau des trottoirs seulement ; le terre-plein central est non amovible ; elle peut se rattacher à un analogue du support 103, fourni en exemple de la commande SUPPORT ; on l'étudie successivement selon le Fascicule 61, puis l'Eurocode 1.

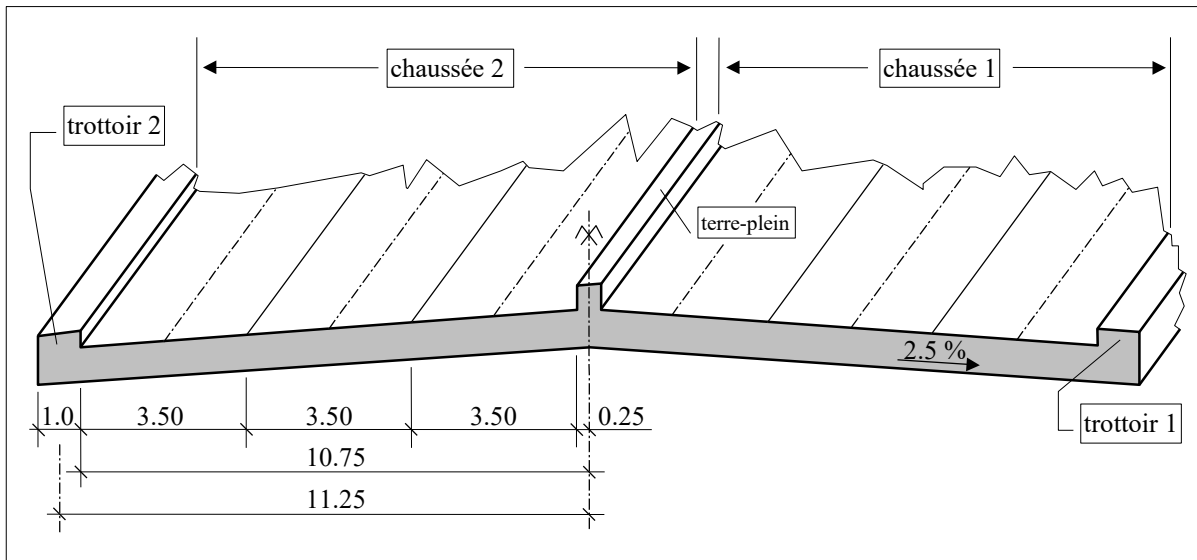


Figure 9.12 - Exemple de circulation

\$ etude selon le Fascicule 61, largeur des chaussees reduite de 0.50

CIRCULATION SUPPORT 103

CLASSE 1 TYPE RF61

CHAUSSEES 2 -10.25 -0.25 0.25 10.25

TROTTOIRS 2 1.00 -11.25 1.00 11.25;

\$ etude selon l'Eurocode 1, largeur des chaussees non reduite

CIRCULATION SUPPORT 103

CLASSE 1 TYPE EC1

CHAUSSEES 2 -10.75 -0.25 0.25 10.75

TROTTOIRS 2 1.00 -11.25 1.00 11.25;

Commandes liées

SURCHARGES ; SUPPORT ; ACTION

9.5 - ACTION

ACTION no_action titre_action

SUPPORT no_support [COMPOSANTE no_comp]

TRAFIC $\left\{ \begin{array}{l} \text{nom_trafic_predefini} \\ \text{nom_trafic_quelconque} \end{array} \right\} * \left(\begin{array}{l} \text{REMANENT} \\ \text{PONDERATION pond} \\ \text{BORNES } y_1 \quad y_2 \end{array} \right) ;$

Paramètres

- no_action : numéro d'identification de l'action à créer, positif et inférieur à 90_000 ;
- titre_action : intitulé qui sera rappelé à chaque utilisation de l'action, dans les résultats des modules ENV et ETU, les menus et dessins du module RES (chaîne de caractères) ;
- no_support : numéro du support sur lequel s'applique l'action ;
- no_comp : numéro de la composante agissante, en cas d'application de charges quelconques (par défaut 3) ; voir Introduction - Terminologie - Support, et figure 9.1 ;
- nom_trafic_predefini : nom désignant un système de charges réglementaires prédéfinies, à choisir dans la première colonne des tableaux 9.2, 9.3 ou 9.4 ; le sens positif de circulation des véhicules ou convois est celui des abscisses croissantes, le long de l'axe $O_d X_d$ de la surface de chargement développée du support (figure 9.3) ;
- nom_trafic_quelconque : nom désignant un système de charges quelconques, entièrement défini.
- pond : coefficient de pondération à appliquer à l'effet de l'ACTION. Ce coefficient est utile pour pondérer séparément les effets des actions rémanentes avant leur cumul avec les autres actions. Ce coefficient correspond, par exemple, au coefficient de pondération global d'un véhicule spécial du type LM3 - déclaré rémanent vis à vis du LM1 - qui combine la majoration pour effet dynamique, le coefficient d'incertitude et le coefficient ψ .
- y1, y2: bornes de déplacement transversal du Trafic. Ces bornes viennent surcharger la LARGEUR_CHARGEABLE du TRAFIC indépendamment des paramètres de la commande CIRCULATION et la largeur de la voie pour un TRAFIC de type_voie_5 (voir les commandes VOIES ET LARGEUR_CHARGEABLE de TRAFIC). Dans le cas d'un véhicule spécial du type LM3, ces bornes permettent de limiter son déplacement transversal dans la CHAUSSEE de la CIRCULATION. C'est le seul usage pertinent de ces bornes.

Fonctions

Cette commande permet de définir une action relative à un support, qui pourra être enregistrée en base de données, si elle est validée. Les systèmes de charges réglementaires prédéfinies (réduites à leur composante gravitaire), applicables sur les chaussées et les trottoirs, sont invocables directement, à l'aide des noms réservés qui leur sont affectés ; pour leur description complète, on se reportera aux documents mentionnés dans l'Introduction.

Pour le Fascicule 61, les coefficients réducteurs applicables aux systèmes de charges A et B sont pris en compte, mais pas les coefficients de majoration dynamique applicables au système de charges B.

Certains paramètres de la circulation, introduite antérieurement, peuvent compléter la définition des charges réglementaires prédéfinies et préciser leurs lieux de déplacement ; les contrôles de compatibilité entre action et circulation ne sont cependant effectués, qu'au moment des calculs des effets enveloppes les concernant.

Avec l'option REMAMENT, le trafic est supposé rester en place et **produire ses effets** lors du traitement du TRAFIC qui suit dans la commande ENVELOPPE. Cette option vient surcharger (modifier) le paramètre définissant le type de MODALITE du TRAFIC prédéfini. Elle ne peut être appliquée qu'à un TRAFIC comportant exclusivement une CHARGE CONCENTREE. Cette option permet de traiter le cas des convois exceptionnels circulant au milieu du trafic. L'option est appliquée au TRAFIC définissant le convoi exceptionnel. Dans la commande ENVELOPPE, l'action REMANENTE doit être suivie du TRAFIC LM1 correspondant.

nom_trafic_predefini	Description sommaire
AL	Charge A (l) <i>non bornée par la valeur plancher</i>
ALPL	Valeur plancher de A (l)
TR	Charge uniforme de trottoir de 0.15 t/m ²
BCN, BCP	Camion B _c circulant dans le sens négatif (BCN), ou positif (BCP)
BT	Tandem B _t
C80_R, C80_C	Convoi militaire M 80, système M _c 80 simulé par trois essieux de deux roues à impacts surfaciques (MC80_R), ou ponctuels (MC80_C)
C120R, C120C	Convoi militaire M 120, système M _c 120 simulé par trois essieux de deux roues à impacts surfaciques (MC120_R), ou ponctuels (MC120_C)
CETD, CETE	Convoi exceptionnel type D (CETD), ou E (CETE) ⁽¹⁾

Tableau 9.2 - Charges prédéfinies du Fascicule 61

nom_trafic_predefini	Description sommaire ⁽¹⁾
C1N, C1P	Convoi exceptionnel de type C1 circulant dans le sens négatif (C1N), ou positif (C1P)
C2N, C2P	Convoi exceptionnel de type C2 circulant dans le sens négatif (C2N), ou positif (C2P)
D2F1, D2F2, D3F1, D3F2	Convoi exceptionnel de type D.2F.1 (D2F1), D.2F.2 (D2F2), D.3F.1 (D3F1), ou D.3F.2 (D3F2)
E2F1, E2F2, E3F1, E3F2	Convoi exceptionnel de type E.2F.1 (E2F1), E.2F.2 (E2F2), E.3F.1 (E3F1), ou E.3F.2 (E3F2)

Tableau 9.3 - Charges prédéfinies de la Circulaire 83

nom_trafic_predefini	Description sommaire
E_M1C1_C, E_M1C2_C	Modèle 1, classe 1 (E_M1C1_C), classe 2 (E_M1C2_C), caractéristique. Le tandem occupe une largeur de 3m
E_M1C1_F, E_M1C2_F	Idem ci-dessus pour charge fréquente
E_L1C1_C, E_L1C2_C	Modèle 1, classe 1 (E_L1C1_C), classe 2 (E_L1C2_C), caractéristique pour étude locale ou voie inférieure à 3 m. Le tandem occupe une largeur de 2.40 m.
E_L1C1_F, E_L1C2_F	Idem ci-dessus pour charge fréquente pour étude locale ou voie inférieure à 3m.
E_M2_C	Modèle 2, caractéristique
E_B1C1_C, E_B1C2_C	Modèle 1, classe 1 (E_B1C1_C), classe 2 (E_B1C2_C), caractéristique de freinage
E_FLM1	Modèle de charge de fatigue 1
E_FLM2C1, E_FLM2C2, E_FLM2C3, E_FLM2C4, E_FLM2C5	Modèle de charge de fatigue 2 Camion 1 (E_FLM2C1), Camion 2 (E_FLM2C2), Camion 3 (E_FLM2C3) ...
E_FLM3	Modèle de charge de fatigue 3
E_FLM4C1, E_FLM4C2, E_FLM4C3, E_FLM4C4, E_FLM4C5	Modèle de charge de fatigue 4 Camion 1 (E_FLM4C1), Camion 2 (E_FLM4C2), Camion 3 (E_FLM4C3) ...

Tableau 9.4 - Charges routières prédéfinies de l'Eurocode 1

nom_trafic_predefini	Description sommaire
LM4	Charge de foule
TRR_EC	Charge uniforme de trottoir
PASSR_EC	Charge uniforme de passerelle
TRC_EC	Charge concentrée de trottoir
VSERV_EC	Véhicule de service pour passerelle/trottoir

Tableau 9.5 - Charges piétonnes prédéfinies de l'Eurocode 1

(¹) Les charges exceptionnelles ou militaires sont définies en valeurs nominales sans être affectées par les coefficients de pondération relatifs à la non-planéité, à la période de retour ou aux effets dynamiques. Ces coefficients sont donc à définir par l'utilisateur dans les combinaisons du module ETU ou avec l'option PONDERATION de la présente commande s'il s'agit d'une ACTION REMANENTE.

S'agissant des convois mêlés à la circulation (Option TRAFIC REMANENT), le cumul entre les effets du convoi exceptionnel et des effets du trafic normal (LM1 fréquent) est réalisé par le module ENV pour les effets du trafic normal.

Les systèmes de charges quelconques, à définir à l'aide des commandes complémentaires du sous-module TRAFIC (voir chapitre 10), reçoivent des noms à créer, permettant de les rappeler.

Conditions d'emploi

- Une action prédéfinie ne peut être appliquée que sur un support préalablement muni d'une circulation.
- Un support doit être défini avant les actions qui s'y appliquent, dans la même session, ou dans une session antérieure.
- La base de données peut accueillir un nombre quelconque d'actions.
- Une action enregistrée durant une session peut être utilisée au cours de sessions ultérieures.
- Une action est remplacée en base de données lorsqu'elle est redéfinie, mais les enveloppes calculées avec son ancienne définition ne sont mises à jour qu'après réexécution des commandes ENVELOPPES l'utilisant.
- Le numéro d'identification d'un EFFET déjà enregistré par les modules PH3, DYN ou ETU (selon la terminologie employée par le module ETU, voir tableau 12.1) ne peut être utilisé pour désigner une ACTION.

Conseils méthodologiques

- Vérifier systématiquement que les résultats relatifs aux actions, produits durant l'exécution des commandes ENVELOPPES, sont conformes aux caractéristiques des systèmes de charges à produire.
- Dans le cas des chars ou des convois exceptionnels, l'amplitude du déplacement transversal des charges peut être réduite, en modifiant la largeur de chaussée de la commande CIRCULATION.

Exemples

```
$ systeme de charges routieres reglementaires predefinies
ACTION 100 'CHARGE A(1) SUR TABLIER NORD'
      SUPPORT 103 TRAFIC AL;

$ systeme de charges quelconques
ACTION 200 'CONVOI EXCEPTIONNEL NON REGLEMENTAIRE SUR TABLIER NORD'
      SUPPORT 103 TRAFIC T_CONVU1;

$ extrait des commandes du sous-module TRAFIC
$ introduisant le convoi exceptionnel utilise ci-dessus
DEBUT T_CONVU1;
.....
FIN;
```

Commandes liées

SURCHARGES ; SUPPORT ; CIRCULATION ; ENVELOPPES ; RAPPEL

9.6 - STRUCTURE

STRUCTURE nom_structure ;

Paramètres

- nom_structure : nom d'une structure sauvegardée.

Fonctions

Cette commande provoque le rappel d'une structure sauvegardée, sur laquelle seront effectués les calculs de surfaces d'influence et d'effets enveloppes.

Conditions d'emploi

- La structure rappelée doit être préalablement enregistrée en base de données, à l'aide de la commande SAUVER du module PH3 (voir chapitre 8).
- La structure sauvegardée ne doit pas provoquer d'instabilités (dus par exemple à la non activation d'articulations reliant des parties d'ouvrage) ; ses éléments actifs doivent être en conformité avec les règles imposées pour la définition des supports récepteurs des actions invoquées par les commandes ENVELOPPES concernées.
- Le rappel d'une structure sauvegardée est obligatoire, avant tout calcul d'effets enveloppes (voir commande ENVELOPPES), et son effet est rémanent.
- Le remplacement d'une structure rappelée est permis durant une même session.

Conseils méthodologiques

- Pour le module ENV, Il n'y a pas de différence entre une structure sauvegardée en fin de construction ou au temps « infini », si les schémas statiques sont les mêmes et si les modules d'Young des matériaux n'ont pas varié.

Exemples

Ces commandes s'appliquent au module PH3, qui produit deux structures sauvegardées.

```
SAUVER STRUCT_1  
.....  
SAUVER STRUCT_2
```

Elles sont rappelées successivement par le module ENV, pour produire deux « vagues » d'effets enveloppes.

```
STRUCTURE STRUCT_1;  
ENVELOPPES .....  
ENVELOPPES .....  
.....  
STRUCTURE STRUCT_2;  
ENVELOPPES .....  
.....
```

Commandes liées

SURCHARGES ; SUPPORT ; ENVELOPPES ; EFFACER

9.7 - ENVELOPPES

ENVELOPPES [{ SIMPLIFIEES }] [{ EDITER }]
 [{ DEFAVORABLES }] [{ INFLUENCES }]

[PRECISION nb_double_x nb_double_y]

{ ETUDE no_domaine
 REACTIONS
 EFFORTS SECTIONS [POUTRE no_poutre]
 DEPLACEMENTS
 { EFFORTS ELEMENTS } [{ POUTRE no_poutre }]
 { CONTRAINTES { NORMALES } } [{ SECTION nom_section }]
 { TANGENTES } [STANDARD]
 EFFORTS ELEMENTS [{ BIARTICULATIONS }]
 { ARTICULATIONS }]

[{ COMPOSANTE no_cpp [CONCOMITANTES { no_cpc }_{nb_cpc}] }_{nb_cpp}]_{nb_domaines}

ACTIONS { no_action }_{nb_actions} ;

Paramètres

Le nombre de domaines d'étude numérotés (explicites) ou non numérotés (implicites), $nb_domaines$, est défini implicitement par le nombre d'appels à l'option ETUDE ou à ses options concurrentes de même niveau.

Les nombres de composantes principales, de composantes concomitantes à une composante principale, et d'actions (respectivement nb_cpp , nb_cpc et $nb_actions$) sont définis implicitement par les nombres de valeurs fournies correspondantes.

- nb_double_x , nb_double_y : nombres (positifs) de doublages des points de calcul des surfaces d'influence, le long des axes O_dX_d et O_dY_d de la surface de chargement développée du support couplé aux actions (figure 9.3), en cas d'augmentation de précision ; par défaut, ces valeurs sont nulles, et les surfaces initiales sont conservées ;
- $no_domaine$: numéro d'un domaine d'étude, non de type DÉPLACEMENTS, pour lequel on calcule les effets enveloppes ; si l'option ETUDE n'est pas utilisée, l'étude s'applique à un domaine non numéroté ;
- no_poutre : numéro de la poutre pour laquelle sont étudiés les EFFORTS en repères SECTIONS ou ÉLÉMENTS, ou les CONTRAINTES ;
- $nom_section$: nom d'une section-type, défini sur une commande SECTION TYPE du module PH1 (voir chapitre 6) ; tous les éléments ayant reçu cette section-type en affectation sont désignés implicitement pour l'étude des EFFORTS en repères ÉLÉMENTS ou des CONTRAINTES ;
- no_cpp , no_cpc : numéro d'une composante d'étude principale, et d'une composante concomitante associée, à choisir selon les conventions du tableau 1.1 ;
- no_action : numéro d'une action à appliquer.

Fonctions

Cette commande provoque le calcul des effets enveloppes, pour certains domaines d'étude explicites ou implicites, et certaines composantes principales et concomitantes éventuelles, produits par une série d'actions, appliquées via leur support de référence, sur une structure sauvegardée.

Pour mener à bien ces calculs, le module ENV détermine les surfaces d'influence qui correspondent aux domaines d'étude et aux composantes désignés, et les enregistre en base de données ; elles sont réutilisables pour d'autres actions concernant les mêmes composantes des mêmes domaines d'étude.

Les effets enveloppes enregistrés en base des données peuvent être relus par le module ETU, édités, et combinés avec d'autres effets enveloppes, ou des effets produits par les modules PH3, DYN ou ETU.

Si aucune composante d'étude n'est précisée pour un domaine, toutes ses composantes sont étudiées dans l'ordre, sans valeurs concomitantes ; l'étude des composantes concomitantes doit toujours être demandée explicitement.

Avec l'option SIMPLIFIEES, toutes les roues de véhicules déclarées avec des surfaces d'impact non nulles, sont assimilées à des charges concentrées.

Avec l'option DEFAVORABLES, la partie défavorable des surfaces d'impact des roues de véhicules est prise en compte, et leur partie favorable est ignorée.

L'option EDITER provoque l'édition des résultats intermédiaires et des positions des véhicules ; par défaut, seuls les effets enveloppes sont édités.

Avec l'option INFLUENCES, les surfaces d'influence sont éditées, et enregistrées en base de données, sous un format permettant au module RES de les relire et les visualiser.

Avec l'option REACTIONS, toutes les réactions d'appuis sont étudiées.

Avec les options STANDARD, BIARTICULATIONS ou ARTICULATIONS, tous les éléments standard (courants non bi-articulés), bi-articulés ou articulations sont considérés.

En l'absence d'option complémentaire facultative, sont considérés, tous les éléments de poutres pour l'étude des efforts en repères sections, tous les éléments pour l'étude des efforts en repères éléments, ou tous les éléments de poutres (et standard) pour l'étude des contraintes.

L'option PRECISION permet d'augmenter les nombres de points des surfaces d'influence.

En présence d'ACTION REMANENTE, l'ordre des ACTIONS dans la commande ENVELOPPE est important. Une ACTION REMANENTE doit toujours être suivie d'une ACTION sur laquelle s'applique la REMANENCE. La REMANENCE est cumulative au sens où toutes les ACTIONS REMANENTES consécutives précédent une ACTION sont REMANENTES pour cette action. Par exemple, si les actions 1, 2 et 3 sont rémanentes et 4,5 et 6 non rémanentes dans la commande :

```
ENVELOPPE  
ACTIONS 1 2 3 4 5 6;
```

Alors l'action 1 est REMANENTE pour 2, les actions 1 et 2 sont REMANENTES s pour 3 et les actions 1, 2 et 3 sont REMANENTES pour 4. les actions 5 et 6 ne sont affectées par une rémanence. En d'autres termes, l'effet de l'action 2 est le cumul des effets des actions 1 et 2 ; l'effet de l'action 3 est le cumul des effets des actions 1, 2 et 3 ; l'effet de l'action 4 est le cumul des effets des actions 1, 2, 3 et 4.

Conditions d'emploi

- Tout calcul d'effets enveloppes doit être précédé du rappel d'une structure sauvegardée (voir commande STRUCTURE).
- Toutes les actions invoquées dans une commande ENVELOPPES doivent se référer au même support.
- Une série d'effets enveloppes est remplacée en base de données lorsque la commande ENVELOPPES correspondante est réexécutée (après modification de certaines des actions qu'elle invoque, par exemple).
- La dernière ACTION spécifiée ne peut pas être du type REMANENT.

Conseils méthodologiques

- Lorsque des domaines d'étude ne diffèrent que par leurs types et concernent les mêmes nœuds ou extrémités d'éléments, le temps de calcul des effets enveloppes qui leur correspondent peut être réduit en les regroupant dans une seule commande ENVELOPPES ou en les traitant dans une série de commandes ENVELOPPES, sans y intercaler de commandes EFFACER INFLUENCES.
- Le calcul des effets enveloppes est réalisé en linéaire. Si l'utilisateur souhaite un calcul non-linéaire, il pourra trouver la position des charges de trafic la plus défavorable pour la section étudiée grâce à la surface d'influence. Il faudra alors reporter ce cas de charge dans le module de phasage PH3, en définissant des charges équivalentes. Les résultats de ces cas de charges prendront en compte les effets non-linéaires.

Exemples

Dans l'exemple ci-dessous, le premier domaine d'étude, non numéroté, est de type « réactions d'appuis », le domaine d'étude 21 est de type « efforts en repères sections », et le domaine d'étude 31, de type « contraintes normales » ; les douze composantes distinctes générées sont les suivantes :

- pour le premier domaine (étudié en totalité), six composantes principales de réactions (RFX, RFY, RFZ, RMX, RMY et RMZ) ;
- pour le domaine 21, une composante principale (FSX), et quatre composantes concomitantes d'efforts (FSY, FSZ, MSX et MSY) ;
- pour le domaine 31, une composante principale de contraintes (SIG).

```

$ les trois actions invoquees s'appliquent obligatoirement au meme support
ENVELOPPES DEFAVORABLES EDITER
  REACTIONS
  ETUDE 21      COMPOSANTE 1      CONCOMITANTES 2 3 4 5
  ETUDE 31
  ACTIONS 100 200 300;

```

Dans l'exemple ci-dessous, s'appliquant aux mêmes domaines d'étude, les dix composantes distinctes générées sont les suivantes :

- pour le premier domaine, trois composantes principales de réactions (RFZ, RMX, RMY) ;
- pour le domaine 21, six composantes principales (FSX, FSY, FSZ, MSX, MSY et MSZ), et six composantes concomitantes d'efforts (les mêmes) ;
- pour le domaine 31, une composante principale de contraintes (SIG).

```
ENVELOPPES
  REACTIONS      COMPOSANTE 3      COMPOSANTE 4      COMPOSANTE 5
  ETUDE 21      COMPOSANTE 1      CONCOMITANTES 2 3 4 5 6
                COMPOSANTE 2      CONCOMITANTES 1 3 4 5 6
                COMPOSANTE 3      CONCOMITANTES 1 2 4 5 6
                COMPOSANTE 4      CONCOMITANTES 1 2 3 5 6
                COMPOSANTE 5      CONCOMITANTES 1 2 3 4 6
                COMPOSANTE 6      CONCOMITANTES 1 2 3 4 5

  ETUDE 31
  ACTIONS 100 200 300;
```

L'exemple ci-dessous permet d'éditer des surfaces d'influence, calculées avec des précisions renforcées (deux fois et quatre fois), et de les enregistrer en base de données, afin de les visualiser à l'aide du module RES ; les calculs d'enveloppes n'y sont pas effectués.

```
ENVELOPPES INFLUENCES PRECISION 1 2 ETUDE 21 ACTIONS 100;
```

Commandes liées

SURCHARGES ; ETUDE ; SUPPORT ; ACTION ; STRUCTURE ; EFFACER

9.8 - RAPPEL

$$\text{RAPPEL [TERMINAL]} \quad * \left\{ \begin{array}{l} \text{SAUVEGARDE S} \\ \text{ETUDES} \\ \text{SUPPORTS} \\ \text{ACTIONS} \end{array} \right\} ;$$

Fonctions

Cette commande provoque l'édition à l'écran (option TERMINAL), ou dans le fichier de résultats (option par défaut), des entités suivantes figurant en base de données :

- noms des structures sauvegardées par le module PH3 (option SAUVEGARDES) ;
- numéros et caractéristiques des domaines d'étude (option ETUDES), supports (option SUPPORTS), et/ou actions (option ACTIONS), enregistrés par le module ENV.

Exemples

```
$ edition sur ECRAN des noms des structures sauvegardees par le module PH3
RAPPEL TERMINAL SAUVEGARDES;
```

```
$ edition sur FICHER de resultats des numeros et caracteristiques
$ de toutes les entites definies et enregistrees par le module ENV
RAPPEL ETUDES SUPPORTS ACTIONS;
```

Commandes liées

SURCHARGES ; ETUDE ; SUPPORT ; ACTION

9.9 - EFFACER

EFFACER INFLUENCES ;

Fonctions

Cette commande provoque l'effacement de toutes les surfaces d'influence enregistrées en base de données, relatives à une structure sauvegardée ; leur espace est libéré pour stocker d'autres données.

Conditions d'emploi

- Tout effacement de surfaces d'influence doit être précédé du rappel d'une structure sauvegardée (voir commande STRUCTURE).

Conseils méthodologiques

- Il est recommandé d'employer cette commande à la fin de chaque session comportant des calculs de surfaces d'influence.
- Si la taille du modèle mécanique et/ou celle des domaines d'étude donnent lieu à des stockages volumineux, on peut utiliser une commande EFFACER après chaque commande ENVELOPPES (voir aussi les conseils méthodologiques de la commande ENVELOPPES).
- L'espace physique libéré par l'effacement n'est restituable à d'autres fichiers que si la base de données a subi une « compression ».

Exemples

Considérons un tablier de pont dont chacune des trois travées constitue la base d'un des neuf domaines d'étude suivants :

- domaines 11, 21 et 31 : efforts en repères sections, contraintes normales, contraintes tangentes et normales, dans la travée 1, respectivement ;
- domaines 12, 22 et 32 : idem dans la travée 2 ;
- domaines 13, 23 et 33 : idem dans la travée 3.

Les effets enveloppes calculés pour deux actions appliquées se font en trois vagues successives ; si les domaines d'étude relatifs à une travée concernent les mêmes extrémités d'éléments, les temps de calcul sont réduits par ce regroupement.

```
STRUCTURE  STRUSERV  $ structure sauvegardee a la mise en service appelee
ENVELOPPES  ETUDE  11  ETUDE  21  ETUDE  31  ACTIONS  100 200;
EFFACER  INFLUENCES;
ENVELOPPES  ETUDE  12  ETUDE  22  ETUDE  32  ACTIONS  100 200;
EFFACER  INFLUENCES;
ENVELOPPES  ETUDE  13  ETUDE  23  ETUDE  33  ACTIONS  100 200;
EFFACER  INFLUENCES;
FIN;
```

Commandes liées

SURCHARGES ; STRUCTURE ; ENVELOPPES

9.10 - FIN

FIN ;

Fonctions

Cette commande provoque la fin d'une session et l'arrêt de l'exécution du module ENV ; toutes les commandes suivantes éventuelles sont ignorées.

Exemples

```
SURCHARGES  
TITRE 'TABLIER NORD, EFFORTS ET CONTRAINTES SOUS CHARGES D'EXPLOITATION' ;  
.....  
.....  
FIN;
```

Commandes liées

SURCHARGES

Chapitre 10

Définition de trafics

INTRODUCTION

SOMMAIRE

10.1 - DEBUT

10.2 – CLASSE_CIBLE

10.3 - LONGUEUR_CHARGEABLE

10.4 - LARGEUR_CHARGEABLE

10.5 - BANDE_CENTRALE

10.6 - ROUE_VEHICULE

10.7 - ESSIEU_VEHICULE

10.8 - VEHICULE

10.9 - CONVOI_VEHICULES

10.10 - CONCENTREE

10.11 - DENSITE_UNIFORME

10.12 - UNIFORME

10.13 - CHARGE_VOIE

10.14 - VOIES

10.15 - MODALITES

10.16 - TRAFIC

10.17 - FIN

10.18 – LISTE DES CONSTANTES PRÉDÉFINIES

Introduction

L'annexe A fournit les libellés complets des documents référencés dans ce chapitre, sous les appellations condensées : « Fascicule 61 » et « Eurocode 1 ».

L'annexe C contient un exemple-type exhaustif libellé sous forme de « squelette », et des exemples complets réels, d'utilisation du sous-module TRAFIC.

Concepts généraux

Les CHARGES gérées par le sous-module TRAFIC s'appliquent à une surface plane et rectangulaire dénommée ZONE CHARGEABLE, partagée longitudinalement en bandes rectangulaires ou VOIES, et comportant une BANDE CENTRALE neutralisée éventuelle.

L'emprise longitudinale et transversale de la zone chargeable, et la bande centrale, peuvent être définies explicitement, ou par référence à certaines commandes du module ENV, censées faire appel aux trafics définis.

Voies

La voie est le concept essentiel du modèle de données du sous-module TRAFIC ; une voie est une surface à l'intérieur de laquelle peut être appliquée une *charge* ; les voies peuvent être définies explicitement, ou par référence à certains paramètres de la commande CIRCULATION du module ENV.

Le sous-module TRAFIC offre plusieurs modes de partage en voies de la zone chargeable (ce qui constitue son mécanisme fondamental de fonctionnement) :

- les positions et largeurs des voies peuvent être fixées a priori (trottoirs, par exemple) ;
- la zone chargeable peut être décomposée en voies contiguës selon des règles précises (Fascicule 61, ou règlement anglais, par exemple) ;
- plusieurs voies peuvent être déplacées transversalement, en fixant la première dans sa position la plus défavorable, puis la deuxième de la même façon, dans le reste de la zone chargeable, et ainsi de suite (Eurocode 1) ;
- enfin, plusieurs voies peuvent être déplacées transversalement, en considérant la combinaison de voies la plus défavorable.

Les *coefficients de dégressivité* viennent pondérer les effets des charges appliquées aux voies, dans tous les cas où ils sont fournis ; ils sont donnés comme fonctions du nombre de voies chargées, et peuvent se rattacher à des *classes de circulation*.

Charges

Une charge est *défavorable*, lorsque son effet *maximum* recherché produit un résultat *positif*, et son effet *minimum*, un résultat *néгатif*. Une charge est *favorable*, lorsque son effet *maximum* recherché produit un résultat *néгатif*, et son effet *minimum*, un résultat *positif*.

Une charge applicable à une voie peut être formée de deux types de charges non exclusives entre elles :

- la CHARGE UNIFORME est appliquée dans toute l'étendue des surfaces d'influence, ou uniquement dans leurs parties défavorables ; son intensité peut varier en fonction de la longueur chargée, selon une des lois de variation proposées ; l'effet d'une charge uniforme peut être pondéré de manière différente selon qu'il est favorable ou défavorable ; trois cas peuvent être considérés :
 - on recherche la *combinaison d'aires* la plus défavorable (comme pour le système de charges A du Fascicule 61) ;
 - on *cumule toutes les aires défavorables* (comme pour la charge uniforme de l'Eurocode 1) ;
 - on *cumule toutes les aires*, quels que soient leurs signes.
- la CHARGE CONCENTRÉE est un CONVOI de un ou plusieurs VÉHICULES identiques ou distincts, en nombre non limité ; chaque véhicule comprend un certain nombre d'ESSIEUX et chaque essieu est formé d'un nombre quelconque de ROUES ; l'impact d'une roue sur la zone chargeable peut être *ponctuel* ou *surfacique* ; l'effet favorable de chaque véhicule, essieu ou roue peut être pondéré ; l'effet d'une charge concentrée peut être pondéré de manière différente selon qu'il est favorable ou défavorable ;

Lorsqu'une voie peut recevoir *simultanément* une charge uniforme et une charge concentrée, elles peuvent être considérées *indépendantes* ou *liées*, entre elles, de l'une des deux manières suivantes :

- la charge uniforme est *retirée* dans les *zones d'enlèvement* attachées à la charge concentrée, définies relativement à l'avant et l'arrière de chaque véhicule ;
- l'intensité de la charge concentrée dépend de l'intensité correspondante de la charge uniforme, donc de la longueur chargée.

Modalités, trafic et rémanence

Les MODALITÉS de chargement regroupent les limites de la zone chargeable (*longueur et largeur*), et son mode de partage en voies, tenant compte automatiquement de la bande centrale éventuelle. Le TRAFIC proprement dit rassemble une liste de charges applicables à chacune des voies selon des modalités prédéfinies.

L'orthogonalité totale entre les possibilités de chargement des voies et leur traitement transversal permet de simuler toutes les combinaisons de chargements possibles.

Une modalité est REMANENTE si les véhicules du trafic qu'elle définit restent en place et produisent leurs effets pour le trafic suivant dans l'ordre de définition des trafics dans la commande ENVELOPPE. Les véhicules du trafic suivant ne peuvent alors occuper les zones d'enlèvement des véhicules rémanents et les charges uniformes du trafic suivant sont enlevées dans la zone d'enlèvement des véhicules rémanents. Par extension, une MODALITE REMANENTE définit un TRAFIC REMANENT et des VEHICULES REMANENTS. La rémanence ne concerne que les VEHICULES. Il n'y a pas de rémanence des CHARGES UNIFORMES.

Dans la figure ci-dessous, on trouve rassemblés tous les types d'entités que le sous-module TRAFIC peut gérer, avec représentation de leurs liaisons logiques principales ; ce diagramme se parcourt de haut en bas.

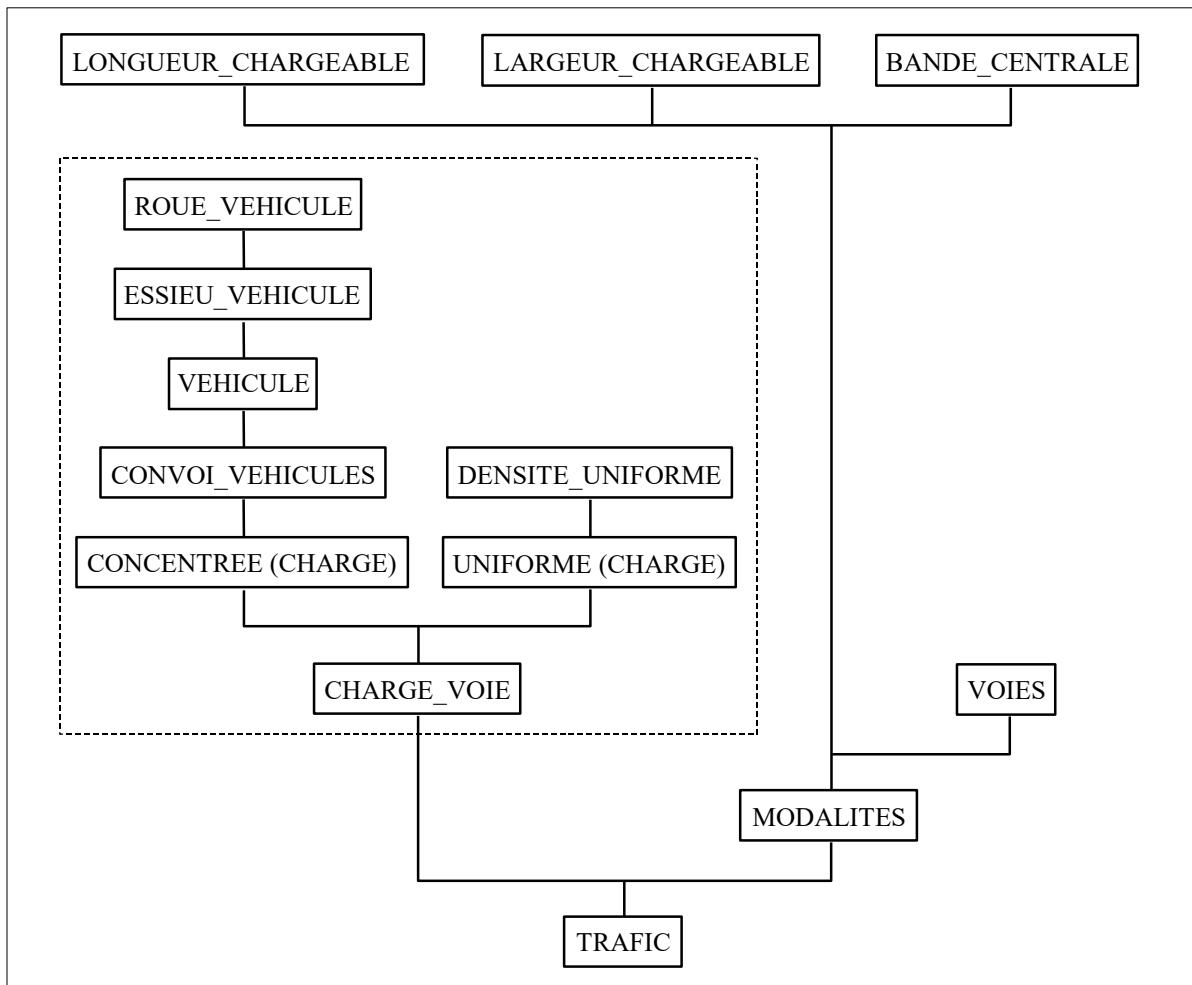


Figure 10.1 - Concepts hiérarchisés (ou commandes) du sous-module TRAFIC

Surfaces d'influence

Elles sont constituées de files de points situées dans des plans verticaux parallèles ; pour le module ENV, les files sont concordantes en abscisses et ont des nombres de points égaux ; le sous-module TRAFIC serait en mesure de traiter des files n'ayant pas ces particularités.

Les axes longitudinal et transversal d'une surface d'influence se confondent avec ceux du repère $O_d X_d Y_d$ de la surface de chargement développée du *support* du module ENV, sur lequel elle est bâtie (figure 9.3).

D'une manière générale, plus le nombre de points de définition des surfaces d'influence est élevé, plus les calculs sont précis ; certains de leurs détails peuvent être correctement modélisés en ajoutant localement des points de définition.

Lorsqu'une seule file de points est définie, la surface d'influence résultante, qui ne varie pas transversalement, est reconnue et analysée à l'aide d'algorithmes simplifiés, qui évitent les traitements transversaux inutiles.

Commandes

Les différents trafics définis doivent être introduits séquentiellement, dans un ordre quelconque, dans le fichier *trafic.don* réservé à une affaire.

Les commandes à délimiteur de fin du sous-module TRAFIC peuvent être rédigées de manière totalement libre (du point de vue de leur découpage en lignes), les libellés-types intégrés à leur présentation étant purement indicatifs.

Elles sont analysées en totalité, dans l'ordre de leur introduction (interprétation) ; puis leur contenu est partiellement compilé.

Numéros d'identification

Les *numéros d'identification*, appelés parfois *numéros*, pour simplifier, sont des entiers (positifs et inférieurs à 1000) servant à désigner les différentes *entités* constitutives d'un modèle de données de TRAFIC, et affectés lors de leur création ; leur « visibilité » ne déborde pas du trafic où ils figurent.

Un numéro déjà utilisé pour désigner une entité ne peut pas être réutilisé pour désigner une autre entité, quel que soit son type, dans un même trafic.

Une entité peut être constituée d'autres entités, référencées par leurs numéros ; par exemple, l'assemblage de plusieurs entités roues forme une entité essieu.

Un numéro nul doit être utilisé lorsqu'un paramètre obligatoire ne doit référencer aucune entité particulière ; Il s'agit toujours d'une entité facultative.

Dans l'ordre du flot des commandes, les références « en avant », à des entités non encore créées sont souvent possibles, dans un même trafic ; cependant, toutes les commandes qui ne peuvent faire appel qu'à des entités déjà créées bénéficient d'un commentaire adapté.

Constantes prédéfinies

Certaines données de TRAFIC sont des *constantes* identifiant des *types d'entités* ; par exemple, le type des voies est codé par un nombre entier qui peut prendre toutes les valeurs de 0 à 6.

Afin de faciliter la création et la relecture des fichiers de commandes, ces constantes sont *prédéfinies* et peuvent être invoquées comme des *variables* du langage PCP, à l'aide de leurs noms réservés placés *entre parenthèses* et séparés par des virgules s'ils sont multiples ; par exemple, nous pourrions écrire : (type_voies_5), (bande_1, bande_n_char), etc.

Ces variables sont utilisées, en lieu et place des constantes entières correspondantes, dans les libellés de présentation des commandes, ou les rubriques descriptives de leurs fonctions ; la liste de ces constantes nommées, et de leurs valeurs est fournie à la fin de ce chapitre.

Références externes

Lorsque le descriptif d'une commande fait référence à un support, il s'agit du support utilisé par les commandes ACTION du module ENV qui appellent le trafic ; certaines données attachées à la circulation dont il peut être pourvu, sont réutilisables par le sous-module TRAFIC.

Sommaire

Commande	Page
10.1 - DEBUT.....	10-8
10.2 – CLASSE_CIBLE	10-9
10.3 - LONGUEUR_CHARGEABLE	10-10
10.4 - LARGEUR_CHARGEABLE.....	10-11
10.5 - BANDE_CENTRALE.....	10-13
10.6 - ROUE_VEHICULE	10-14
10.7 - ESSIEU_VEHICULE.....	10-17
10.8 - VEHICULE	10-19
10.9 - CONVOI_VEHICULES.....	10-22
10.10 - CONCENTREE.....	10-23
10.11 - DENSITE_UNIFORME.....	10-25
10.12 - UNIFORME	10-28
10.13 - CHARGE_VOIE	10-30
10.14 - VOIES	10-32
10.15 - MODALITES	10-40
10.16 - TRAFIC	10-42
10.17 - FIN.....	10-43
10.18 – LISTE DES CONSTANTES PRÉDÉFINIES	10-45

10.1 - DEBUT

DEBUT nom_trafic ;

Paramètres

- nom_trafic : nom attribué au trafic, et permettant de le rappeler dans une commande ACTION du module ENV ; doit débiter par les caractères "T_".

Fonctions

Cette commande permet de démarrer la définition d'un trafic et de l'identifier par un nom.

Conditions d'emploi

- Doit figurer au début de chaque groupe de commandes de définition d'un trafic.

Exemples

```
$ debut du fichier trafic.don contenant deux trafics
DEBUT T_CONVU1;
$ définition du convoi type U1
.....
.....
FIN;

DEBUT T_CONVU2;
$ définition du convoi type U2
.....
.....
FIN;
```

Commandes liées

FIN

10.2 – CLASSE_CIBLE

CLASSE_CIBLE classe ;

Paramètres

- classe : numéro de la classe cible du TRAFIC

Fonctions

Identifie la classe cible du TRAFIC Cette commande est optionnelle car certains TRAFICS sont multi-classes.

10.3 - LONGUEUR_CHARGEABLE

LONGUEUR_CHARGEABLE no_longueur $\left\{ \begin{array}{l} \text{SUPPORT} \\ \text{x_zone_inf} \quad \text{x_zone_sup} \end{array} \right\};$

Paramètres

- no_longueur : numéro d'identification attribué à la longueur chargeable ;
- x_zone_inf, x_zone_sup : abscisses des limites inférieure et supérieure de la zone chargeable, définies sur l'axe longitudinal O_dX_d des surfaces d'influence ; x_zone_sup doit être supérieure à x_zone_inf.

Fonctions

Cette commande définit l'emprise longitudinale de la zone chargeable, par rapport à celle des surfaces d'influence d'un support ; une roue située en dehors de l'emprise longitudinale des surfaces d'influence, ou en dehors de la zone chargeable n'est pas prise en compte dans le calcul global de l'effet d'un véhicule, lors de son déplacement.

Si l'option SUPPORT est employée, l'emprise longitudinale de la zone chargeable est celle de la surface de chargement développée du support.

Si x_zone_inf et x_zone_sup sont définies (figure 10.2) :

- si la zone chargeable ne recouvre qu'une partie des surfaces d'influence, tous leurs points situés en dehors de la zone chargeable sont supposés avoir une influence nulle ;
- si la zone chargeable s'étend en deçà et/ou au delà des limites des surfaces d'influence, les parties de zone chargeable situées longitudinalement en dehors des surfaces d'influence sont supposées avoir un effet nul.

Conditions d'emploi

- Un trafic doit contenir une seule commande de ce type, introduite avant la commande MODALITES qui s'y réfère.
- Lorsque ses limites sont définies explicitement, la zone chargeable peut être positionnée longitudinalement de manière quelconque, mais doit recouvrir au moins une partie des surfaces d'influence.

Exemples

```
$ zone chargeable confondue longitudinalement
$ avec surface de chargement developpee d'un support
LONGUEUR_CHARGEABLE (longueur_1) SUPPORT;
.....
MODALITES (... , ... , ... , longueur_1 , ... , ... , ...);

$ emprise longitudinale de zone chargeable definie explicitement
LONGUEUR_CHARGEABLE (longueur_1) -1.0 125.0;
```

Commandes liées

MODALITES

10.4 - LARGEUR_CHARGEABLE

$$\text{LARGEUR_CHARGEABLE} \quad \text{no_largeur} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{CIRCULATION} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{CHAUSSEES} \\ \text{TROTTOIRS} \end{array} \right\} \\ y_zone_inf \quad y_zone_sup \end{array} \right\} ;$$

Paramètres

- no_largeur : numéro d'identification attribué à la largeur chargeable ;
- y_zone_inf, y_zone_sup : ordonnées des limites inférieure et supérieure de la zone chargeable, définies sur l'axe transversal $O_d Y_d$ des surfaces d'influence ; y_zone_sup doit être supérieure à y_zone_inf.

Fonctions

Cette commande définit l'emprise transversale de la zone chargeable, par rapport à celle des surfaces d'influence d'un support ; une roue située en dehors de l'emprise longitudinale des surfaces d'influence, ou en dehors de la zone chargeable n'est pas prise en compte dans le calcul global de l'effet d'un véhicule, lors de son déplacement.

L'emprise transversale de la zone chargeable est celle :

- des chaussées de la circulation, bande centrale éventuelle comprise, si on code CIRCULATION CHAUSSEES ;
- de la circulation, trottoirs compris, si on code CIRCULATION TROTTOIRS.

Si y_zone_inf et y_zone_sup sont définies (figure 10.2) :

- si la zone chargeable ne recouvre qu'une partie des surfaces d'influence, tous leurs points situés en dehors de la zone chargeable sont supposés avoir une influence nulle ;
- si la zone chargeable s'étend en deçà et/ou au delà des limites des surfaces d'influence, les parties de zone chargeable situées transversalement en dehors des surfaces d'influence font l'objet d'une *extrapolation transversale*.

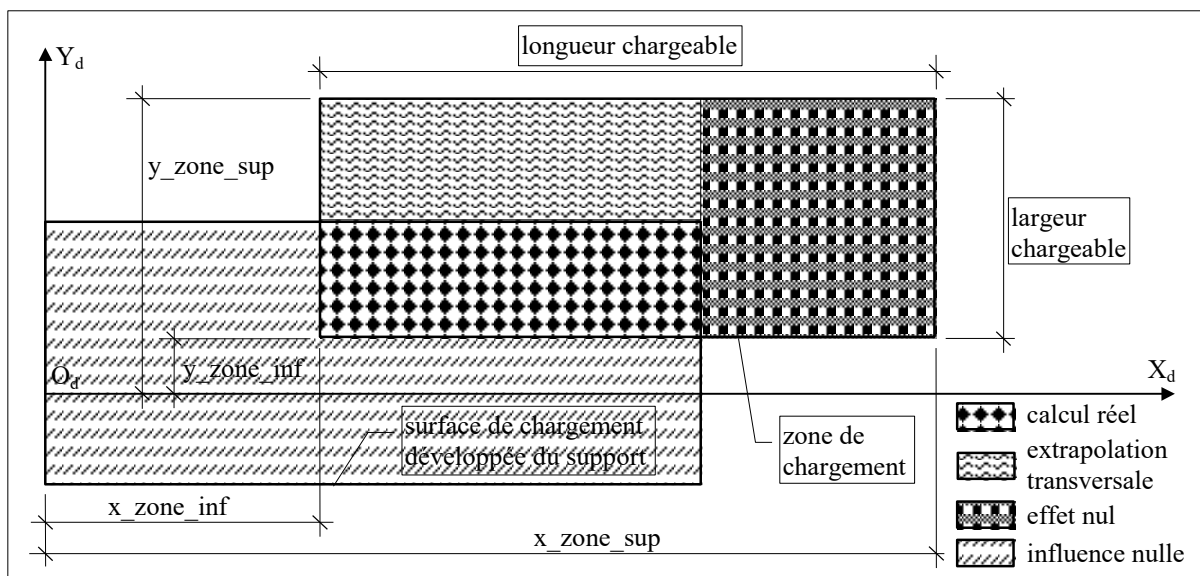


Figure 10.2 - Support et zone chargeable (rectangles à côtés parallèles)

Conditions d'emploi

- Un trafic doit contenir une seule commande de ce type, introduite avant la commande MODALITES qui s'y réfère.
- Lorsque ses limites sont définies explicitement, la zone chargeable peut être positionnée transversalement de manière quelconque, par rapport aux surfaces d'influence.

Exemples

```
$ zone chargeable confondue transversalement avec chaussées de circulation
LARGEUR_CHARGEABLE (largeur_1) CIRCULATION CHAUSSEES;
.....
MODALITES (...; ..., largeur_1, ..., ..., ..., ...);

$ emprise transversale de zone chargeable définie explicitement
LARGEUR_CHARGEABLE (largeur_1) -10.75 10.75;
```

Commandes liées

MODALITES

10.5 - BANDE_CENTRALE

BANDE_CENTRALE no_bande type_bande $\left\{ \begin{array}{l} \text{CIRCULATION} \\ y_bande_inf \quad y_bande_sup \end{array} \right\}$;

Paramètres

- no_bande : numéro d'identification attribué à la bande centrale ;
- type_bande : type de bande centrale ; peut prendre l'une des valeurs suivantes :
 - (bande_n_char) : indique que la bande centrale est non chargeable et non recouvrable par des voies ;
 - (bande_char) : indique que la bande centrale est chargeable et recouvrable par des voies, mais la partie des surfaces d'influence qu'elle recouvre est mise à zéro ;
- y_bande_inf, y_bande_sup : ordonnées des limites inférieure et supérieure de la bande centrale, définies sur l'axe transversal O_dY_d des surfaces d'influence ; y_zone_sup doit être supérieure à y_zone_inf, et la bande centrale doit se trouver dans l'emprise transversale de la zone chargeable.

Fonctions

Cette commande définit l'emprise transversale de la bande centrale, par rapport à celle des surfaces d'influence d'un support.

Si l'option CIRCULATION est employée, et si la circulation comporte deux chaussées, la bande centrale est la zone qui les sépare ; aucune bande centrale n'est réservée si la circulation ne comporte qu'une chaussée.

Quel que soit son type, le partage en voies de la zone chargeable (commande VOIES) est :

- *influencé* par un bande centrale *chargeable*, qu'aucune voie ne peut venir recouvrir, même partiellement ;
- *non influencé* par une bande centrale *non chargeable*.

Conditions d'emploi

- Un trafic peut contenir une commande de ce type au plus, à introduire avant la commande MODALITES qui s'y réfère.

Exemples

```
$ bande centrale non chargeable comprise entre chaussees de circulation
BANDE_CENTRALE (bande_1, bande_n_char) CIRCULATION;
.....
MODALITES (...., ...., ...., ...., ...., ...., bande_1);
```

```
$ emprise transversale de bande centrale chargeable definie explicitement
BANDE_CENTRALE (bande_1, bande_char) -0.25 0.25;
```

Commandes liées

MODALITES

10.6 - ROUE_VEHICULE

ROUE_VEHICULE no_roue type_roue impact_x impact_y
 type_longueur lg_min lg_imposee_max lg_imposee_min
 coef_a ponder_f_roue nb_val [$\langle L \ Q \rangle_{nb_val}$];

Paramètres

- no_roue : numéro d'identification attribué à la roue ;
- type_roue : type de variation de l'intensité Q du poids de la roue, en fonction de la longueur chargée conventionnelle L ; peut prendre l'une des valeurs suivantes :
 - (roue_tabl) : intensité définie par une liste de couples de valeurs $\langle L \ q \rangle_{nb_val}$; l'intensité courante est calculée par interpolation linéaire, dans le domaine couvert par la liste, ou en utilisant la valeur de la borne la plus proche, hors de celui-ci :

$$\begin{aligned}
 Q &= Q_i + (Q_{i+1} - Q_i) [(L - L_i) / (L_{i+1} - L_i)] && \text{pour : } L_i < L \leq L_{i+1} \\
 Q &= Q_1 && \text{pour : } L \leq L_1 \\
 Q &= Q_{nb_val} && \text{pour : } L > L_{nb_val}
 \end{aligned}
 \tag{10.1}$$

- (roue_cons) :

$$Q = a \tag{10.2}$$

- (roue_raci) :

$$Q = a\sqrt{L} \tag{10.3}$$

- (roue_loga) :

$$Q = a \ln(L) \tag{10.4}$$

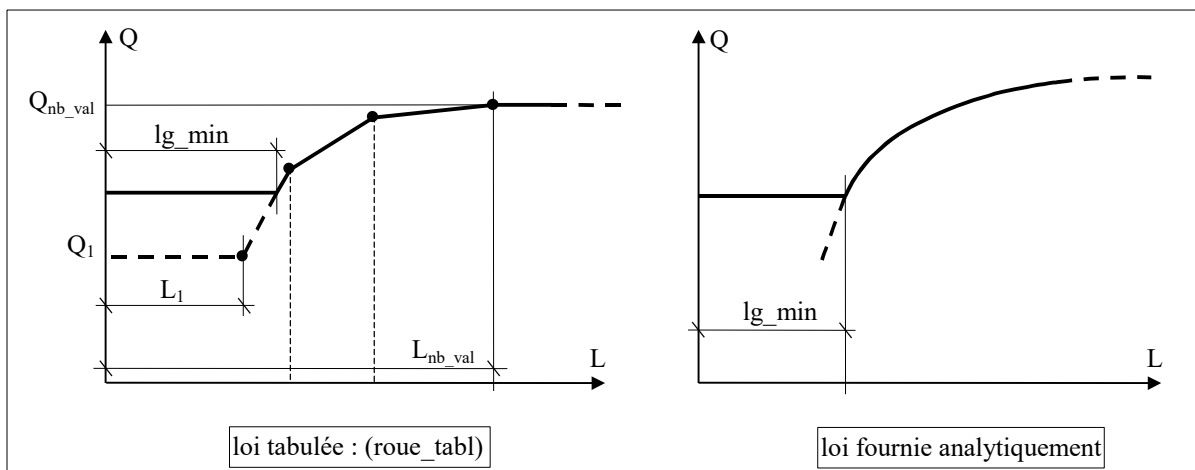


Figure 10.3 - Types de lois de variation pour $Q(L)$

- impact_x, impact_y : dimensions longitudinale et transversale de la surface d'impact de la roue sur la zone de chargement, supposée rectangulaire et ayant ses côtés parallèles aux axes du repère $O_d X_d Y_d$ des surfaces d'influence ; ces valeurs doivent être toutes deux positives en cas d'impact surfacique (figure 10.4), ou toutes deux nulles en cas d'impact ponctuel ;

- `type_longueur` : type de détermination des longueurs chargées *conventionnelles* (nommées ainsi car elles peuvent être calculées ou imposées) servant à calculer l'intensité du poids de la roue ; peut prendre l'une des valeurs suivantes :
 - (`longueur_calc`) : indique que les longueurs chargées conventionnelles sont celles des zones situées entre les points de passage par zéro des lignes d'influence, déterminées lors de l'application de la charge uniforme concomitante sur la voie concernée (qui doit alors exister au niveau de la commande `CHARGE_VOIE`) ;
 - (`longueur_impo`) : indique que les longueurs chargées conventionnelles sont fixées par les paramètres `lg_imposee_max` et `lg_imposee_min`, selon qu'on recherche l'effet de la roue maximum ou minimum ;
- `lg_min` : longueur chargée en dessous de laquelle l'intensité du poids de la roue est supposée constante (figure 10.3) ; cette longueur minimale est utilisée, quelle que soit la valeur du paramètre `type_longueur` ;
- `lg_imposee_max`, `lg_imposee_min` : longueur chargée servant à calculer l'intensité Q pour l'étude des effets maximaux, et minimaux, respectivement, si la roue est de type longueur imposée (paramètre `type_longueur` valant (`longueur_impo`)) ;
- `coef_a` : coefficient a utilisé éventuellement dans les formules 10.2 à 10.4 ;
- `ponder_f_roue` : coefficient de pondération à appliquer à l'effet de la roue, seulement s'il est favorable ; doit être positif ou nul ;
- `nb_val` : nombre de couples de valeurs (L , Q) à fournir, supérieur à un si l'intensité du poids de la roue est de type (`roue_tabl`), nul sinon ;
- L , Q : longueur chargée conventionnelle et intensité de poids de roue définissant un point de discrétisation de la loi de variation $Q(L)$ tabulée ; les valeurs de L doivent être strictement croissantes.

Fonctions

Cette commande définit une roue de véhicule par sa surface d'impact, et l'intensité de son poids, qui peut être constante, ou peut dépendre de la longueur chargée conventionnelle de la charge uniforme concomitante, ou de paramètres fournis directement ; cette longueur chargée conventionnelle peut résulter d'un calcul effectif ou être imposée.

Une roue située en dehors de l'emprise longitudinale des surfaces d'influence, ou en dehors de la zone chargeable n'est pas prise en compte dans le calcul global de l'effet d'un véhicule, lors de son déplacement.

Le mode d'intégration des surfaces d'influence dans la zone d'impact d'une roue est fixé par l'option `SIMPLIFIEES` ou `DEFAVORABLES`, ou par défaut, de la commande `ENVELOPPES` du module `ENV` ; si l'impact de la roue est ponctuel, ces choix sont sans effet sur les calculs ; sinon, l'intégration peut concerner toute la surface d'impact, ou seulement la portion de surface ayant un effet défavorable.

Le coefficient de pondération favorable s'applique aux effets de la roue, indépendamment de ceux des autres roues.

L'unité utilisée correspond à celle définie dans PH3 (par défaut, il s'agit de kdaN). Ainsi, la définition des charges de trafic introduites par l'utilisateur doit se faire dans l'unité choisie lors du phasage.

Conditions d'emploi

- Un trafic peut contenir un nombre quelconque de commandes de ce type.

Exemples

```

$ peut s'appliquer au convoi exceptionnel predefini C1N/C1P du module ENV
$ trois types de roues definis, deux a impact surfacique, un a impact
$ ponctuel, intensite de leur poids Q non dependante d'une longueur chargee
$ conventionnelle, coefficient de ponderation d'effet favorable egal a 1.00
$ parametres communs aux trois types de roues definis une seule fois
<lg_min = 0.00>
<lg_imposee_max = 1.00>
<lg_imposee_min = 1.00>
<ponder_f_roue = 1.00>
<nb_val = 0>
$ -----
<impact_x = 0.37>
<impact_y = 0.37>
<coef_a = (6.00/2.00)>
ROUE_VEHICULE (roue_1, roue_cons, impact_x, impact_y,
               longueur_impo, lg_min, lg_imposee_max, lg_imposee_min,
               coef_a, ponder_f_roue, nb_val);
<impact_x = 0.37>
<impact_y = (0.37+0.37)>
<coef_a = (12.00/2.00)>
ROUE_VEHICULE (roue_2, roue_cons, impact_x, impact_y,
               longueur_impo, lg_min, lg_imposee_max, lg_imposee_min,
               coef_a, ponder_f_roue, nb_val);
<impact_x = 0.00>
<impact_y = 0.00>
<coef_a = (12.80/4.00)>
ROUE_VEHICULE (roue_3, roue_cons, impact_x, impact_y,
               longueur_impo, lg_min, lg_imposee_max, lg_imposee_min,
               coef_a, ponder_f_roue, nb_val);
<nb_roues = 2>
ESSIEU_VEHICULE (... , ..., nb_roues) (nb_roues)*(roue_1) (... , ...);
.....

```

Commandes liées

UNIFORME ; ESSIEU_VEHICULE

10.7 - ESSIEU_VEHICULE

ESSIEU_VEHICULE no_essieu ponder_f_essie
 nb_roues <no_roue>_{nb_roues} <y_roue>_{nb_roues} ;

Paramètres

- no_essieu : numéro d'identification attribué à l'essieu ;
- ponder_f_essie : coefficient de pondération à appliquer à l'effet de l'essieu, seulement s'il est favorable ; doit être positif ou nul ;
- nb_roues : nombre de roues constituant l'essieu ; doit être positif ;
- no_roue : numéro d'une roue, défini sur une commande ROUE_VEHICULE ;
- y_roue : ordonnée de l'axe longitudinal d'une roue, définie dans un repère $O_v x_v y_v$, propre au véhicule auquel appartient l'essieu, qui est un translaté du repère $O_d X_d Y_d$ des surfaces d'influence ; l'origine de ce repère doit être sur la limite inférieure de l'emprise transversale du véhicule, sa position longitudinale étant indifférente ; les ordonnées des roues doivent être strictement croissantes.

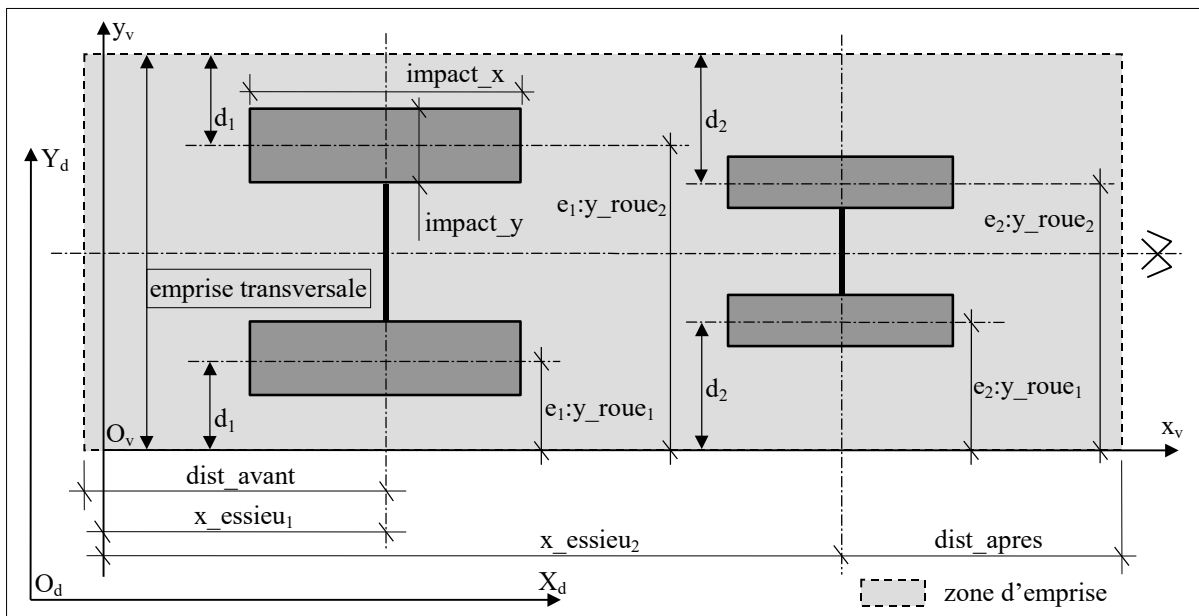


Figure 10.4 - Véhicule à deux essieux de deux roues à impacts surfaciques

Fonctions

Cette commande définit un essieu, composé de roues, positionnées transversalement dans un repère attaché à un véhicule ; l'emprise transversale du véhicule, supposé symétrique transversalement, est déterminée en ajoutant l'ordonnée de la première roue, à l'entraxe des roues extrêmes, de part et d'autre de l'essieu.

Une roue située en dehors de l'emprise longitudinale des surfaces d'influence, ou en dehors de la zone chargeable n'est pas prise en compte dans le calcul global de l'effet d'un véhicule, lors de son déplacement. Le coefficient de pondération favorable s'applique aux effets de l'essieu, indépendamment de ceux des autres essieux.

Conditions d'emploi

- Un trafic peut contenir un nombre quelconque de commandes de ce type.
- Plusieurs véhicules ayant au moins un essieu en commun doivent avoir la même emprise transversale.
- L'emprise transversale d'un véhicule ne peut déborder de la largeur d'une voie.

Exemples

```
$ peut s'appliquer a la charge predefinie BCN/BCP du module ENV qui
$ comprend deux types d'essieux, ayant chacun deux roues identiques a
$ impact ponctuel, coefficient de ponderation d'effet favorable egal a 1.00
$ parametres communs aux deux types d'essieux definis une seule fois
.....
<nb_val = 0>
ROUE_VEHICULE (roue_1, ..., ..., ..., ..., ...,
              ..., ..., ..., ..., nb_val);
.....
ROUE_VEHICULE (roue_2, ..., ..., ..., ..., ...,
              ..., ..., ..., ..., nb_val);
.....
<ponder_f_essi= 1.00>
<nb_roues      = 2>
<y_roue1       = 0.25>
<y_roue2       = 2.25>
ESSIEU_VEHICULE (essieu_1, ponder_f_essi, nb_roues)
                 (nb_roues)*(roue_1) (y_roue1, y_roue2);
ESSIEU_VEHICULE (essieu_2, ponder_f_essi, nb_roues)
                 (nb_roues)*(roue_2) (y_roue1, y_roue2);
```

Commandes liées

ROUE_VEHICULE ; VEHICULE

10.8 - VEHICULE

VEHICULE no_vehicule ponder_f_vehi type_enleve_unif
 dist_avant dist_apres enleve_avant enleve_apres
 nb_essieux <no_essieu>_{nb_essieux} <x_essieu>_{nb_essieux} ;

Paramètres

- no_vehicule : numéro d'identification attribué au véhicule ;
- ponder_f_vehi : coefficient de pondération à appliquer à l'effet du véhicule, seulement s'il est favorable ; doit être positif ou nul ;
- type_enleve_unif : type d'enlèvement de la charge uniforme concomitante ; n'est utilisé que si le paramètre type_enleve_unif de la commande CHARGE_VOIE vaut (enlever_unif) ; peut prendre l'une des valeurs suivantes :
 - (laisser_unif), (enlever_unif) : indiquent respectivement, que la charge uniforme concomitante (ou future si rémanence) est laissée, ou enlevée, dans la zone d'enlèvement de la charge uniforme du véhicule ;
- dist_avant, dist_apres : distance avant l'axe du premier essieu et distance après l'axe du dernier essieu, délimitant longitudinalement la zone d'emprise du véhicule, qu'aucune zone d'emprise d'un autre véhicule ne pourra recouvrir, même partiellement, sauf si le paramètre type_concentree de la commande CONCENTREE vaut (vehicule_born) (figures 10.4 et 10.5) ;
- enleve_avant, enleve_apres : distance avant l'axe du premier essieu et distance après l'axe du dernier essieu, délimitant longitudinalement la zone d'enlèvement de la charge uniforme concomitante éventuelle et future si rémanence ;
- nb_essieux : nombre d'essieux constituant le véhicule ; doit être positif ;
- no_essieu : numéro d'un essieu, défini sur une commande ESSIEU_VEHICULE ;
- x_essieu : abscisse de l'axe d'un essieu, définie dans le repère $O_vx_vy_v$ (voir commande ESSIEU_VEHICULE, paramètre y_roue et figure 10.4) ; les abscisses des essieux doivent être strictement croissantes.

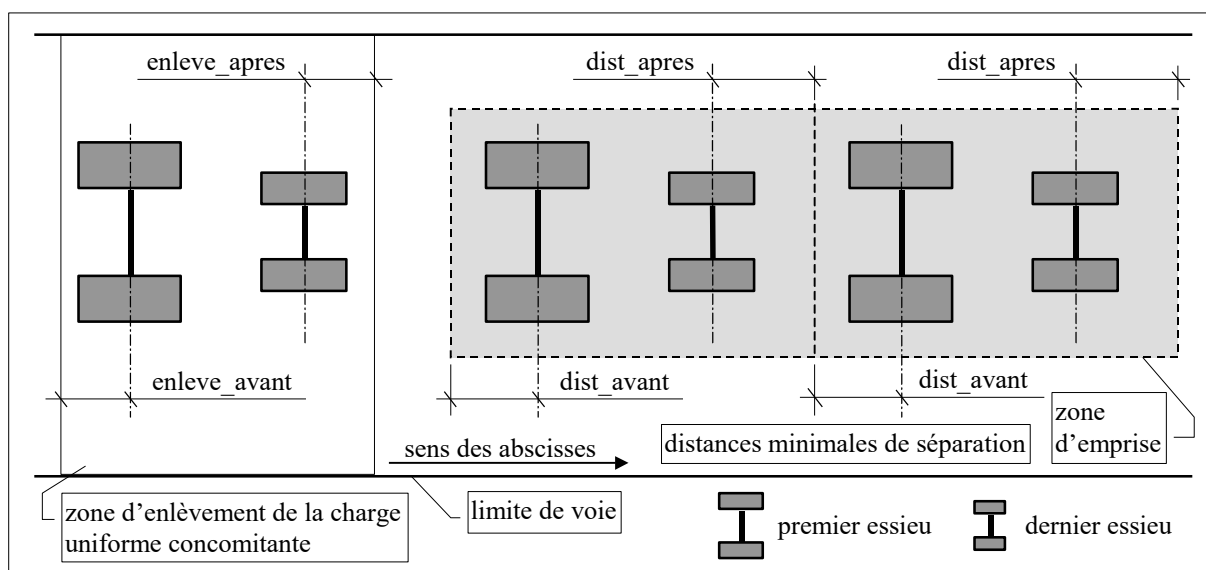


Figure 10.5 - Véhicules

Fonctions

Cette commande définit un véhicule composé d'essieux, positionnés longitudinalement dans un repère qui lui est attaché ; l'emprise transversale du véhicule est celle de ses essieux ; son emprise longitudinale est obtenue en ajoutant des valeurs fournies à l'entraxe de ses essieux extrêmes ; l'emprise longitudinale de la zone d'enlèvement de la charge uniforme concomitante peut être définie de la même manière, indépendamment de la zone d'emprise du véhicule.

La distance d'enlèvement est utilisée pour la charge uniforme du TRAFIC courant si l'option `type_enleve_unif` du VEHICULE et de la CHARGE est `enlev_unif`.

Mais ATTENTION, pour un TRAFIC courant REMANENT (voir MODALITE) :

- La distance d'enlèvement est également utilisée pour les charges uniformes des TRAFICS suivants si l'option courante du VEHICULE `type_enleve_unif` est `enlev_unif` quelle que soit l'option `type_enleve_unif` de la CHARGE courante et des CHARGES des TRAFICS suivants.
- **La distance d'enlèvement est également utilisée comme distance entre véhicules (distance d'encombrement) pour les VEHICULES des TRAFICS suivants quelle que soit l'option `type_enleve_unif` de la CHARGE courante et des CHARGES des TRAFICS suivants.**

Une roue située en dehors de l'emprise longitudinale des surfaces d'influence, ou en dehors de la zone chargeable n'est pas prise en compte dans le calcul global de l'effet d'un véhicule, lors de son déplacement.

Le coefficient de pondération favorable s'applique aux effets du véhicule, indépendamment de ceux des autres véhicules.

Conditions d'emploi

- Un trafic peut contenir un nombre quelconque de commandes de ce type.

Conseils méthodologiques

- Un véhicule circulant dans le sens « négatif » s'obtient par retournement longitudinal de son homologue circulant dans le sens « positif ».
- Un véhicule circulant dans le sens positif a son premier essieu référencé à l'arrière et son dernier essieu référencé à l'avant ; le paramètre *dist_avant* est mesuré par rapport à l'essieu *le plus en arrière*, et le paramètre *dist_apres*, par rapport à l'essieu *le plus en avant*.

Exemples

```

$ peut s'appliquer au convoi exceptionnel predefini C1P du module ENV
$ vehicule forme de huit essieux de trois types differents, emprise
$ longitudinale confondue avec entraxe des essieux extremes (vehicule
$ circulant seul), pas de zone d'enlevement de charge uniforme concomitante
$ definie, coefficient de ponderation d'effet favorable egal a 0.0
<nb_roues = 2>
ESSIEU_VEHICULE (essieu_1, ..., nb_roues)
                ...., ...., ...., ....;

<nb_roues = 2>
ESSIEU_VEHICULE (essieu_2, ..., nb_roues)
                ...., ...., ...., ....;

<nb_roues = 4>
ESSIEU_VEHICULE (essieu_3, ..., nb_roues)
                ...., ...., ...., ...., ...., ...., ...., ....;

<ponder_f_veh1 = 0.00>
<dist_avant    = 0.0>
<dist_apres   = 0.0>
<enleve_avant = 0.0>
<enleve_apres = 0.0>
<nb_essieux   = 8>
<x_essieu1    = 0.00>
<x_essieu2    = 2.75>
<x_essieu3    = 4.10>
<x_essieu4    = 9.10>
<x_essieu5    = (9.10+1.0*1.55)>
<x_essieu6    = (9.10+2.0*1.55)>
<x_essieu7    = (9.10+3.0*1.55)>
<x_essieu8    = (9.10+4.0*1.55)>
VEHICULE (vehicule_1, ponder_f_veh1, laisser_unif,
          dist_avant, dist_apres, enleve_avant, enleve_apres,
          nb_essieux) 5*(essieu_3) (essieu_2, essieu_2, essieu_1)
          (x_essieu1, x_essieu2, x_essieu3, x_essieu4,
           x_essieu5, x_essieu6, x_essieu7, x_essieu8);

```

Commandes liées

ESSIEU_VEHICULE ; CONVOI_VEHICULES

10.9 - CONVOI_VEHICULES

```
CONVOI_VEHICULES  no_convoy  type_convoy  (pr_inutilise)
                  <no_vehicule>_nb_vehicules ;
```

Paramètres

- no_convoy : numéro d'identification attribué au convoi ;
- type_convoy : type de convoi ; peut prendre l'une des valeurs suivantes :
 - (convoi_inde_1) : indique que l'effet maximum du convoi est recherché en plaçant le premier véhicule dans la position produisant l'effet le plus défavorable, puis le deuxième, de la même manière, dans le reste de la zone de recherche, et ainsi de suite, pour tous les véhicules ;
 - (convoi_inde_2) : indique que l'effet maximum du convoi est recherché en étudiant toutes les combinaisons de positions des deux premiers véhicules et en retenant celle qui produit l'effet le plus défavorable, puis en plaçant successivement les autres véhicules, dans les positions produisant les effets les plus défavorables, dans le reste de la zone de recherche ;
- nb_vehicules : nombre de véhicules constituant le convoi ; doit être positif ;
- no_vehicule : numéro d'un véhicule, défini sur une commande VEHICULE.

Fonctions

Cette commande définit un convoi composé de véhicules indépendants entre eux et introduits dans un ordre déterminé ; les distances minimales entre véhicules sont fixées lors de leur définition (voir commande VEHICULE, paramètres dist_avant et dist_apres, et figures 10.4 et 10.5). Deux types de détermination des effets enveloppes sont proposés.

Conditions d'emploi

- Un trafic peut contenir un nombre quelconque de commandes de ce type.

Conseils méthodologiques

- Pour la variable type_convoy, le choix de la valeur (convoi_inde_1) réduit les temps de recherche, mais ne correspond pas à l'étude de toutes les combinaisons de positions de véhicules possibles ; le choix de la valeur (convoi_inde_2) est plus défavorable, et conduit à des temps de recherche plus longs.

Exemples

```
$ peut s'appliquer a la charge predefinie BCN/BCP du module ENV (2 camions)
VEHICULE  (vehicule_1, .....);
<nb_vehicules = 2>
CONVOI_VEHICULES  (convoi_1, convoi_inde_2, pr_inutilise,
                  nb_vehicules) (nb_vehicules)*(vehicule_1);
```

Commandes liées

VEHICULE ; CONCENTREE

10.10 - CONCENTREE

```
CONCENTREE no_concentree type_concentree no_convoi
ponder_d_conc ponder_f_conc coef_rech ;
```

Paramètres

- `no_concentree` : numéro d'identification attribué à la charge concentrée ;
- `type_concentree` : type de traitement transversal de la charge concentrée ; peut prendre l'une des valeurs suivantes :
 - `(vehicule_droi)` : indique que les véhicules du convoi sont fixés transversalement et que le bord droit de leur zone d'emprise reste accolé au bord droit de la voie où ils circulent ; le bord droit correspond à l'ordonnée la plus petite, en regardant dans le sens des abscisses croissantes ;
 - `(vehicule_cent)` : indique que les véhicules du convoi sont fixés transversalement dans l'axe de la voie où ils circulent ;
 - `(vehicule_inte)` : indique que les véhicules du convoi sont mobiles transversalement et que leur zone d'emprise ne peut déborder des limites de la voie où ils circulent ;
 - `(vehicule_born)` : indique que les véhicules du convoi sont mobiles transversalement et que leur zone d'emprise peut déborder des limites de la voie où ils circulent ; les axes des roues de chaque véhicule, les plus intérieures à la voie, doivent cependant rester dans ses limites ;

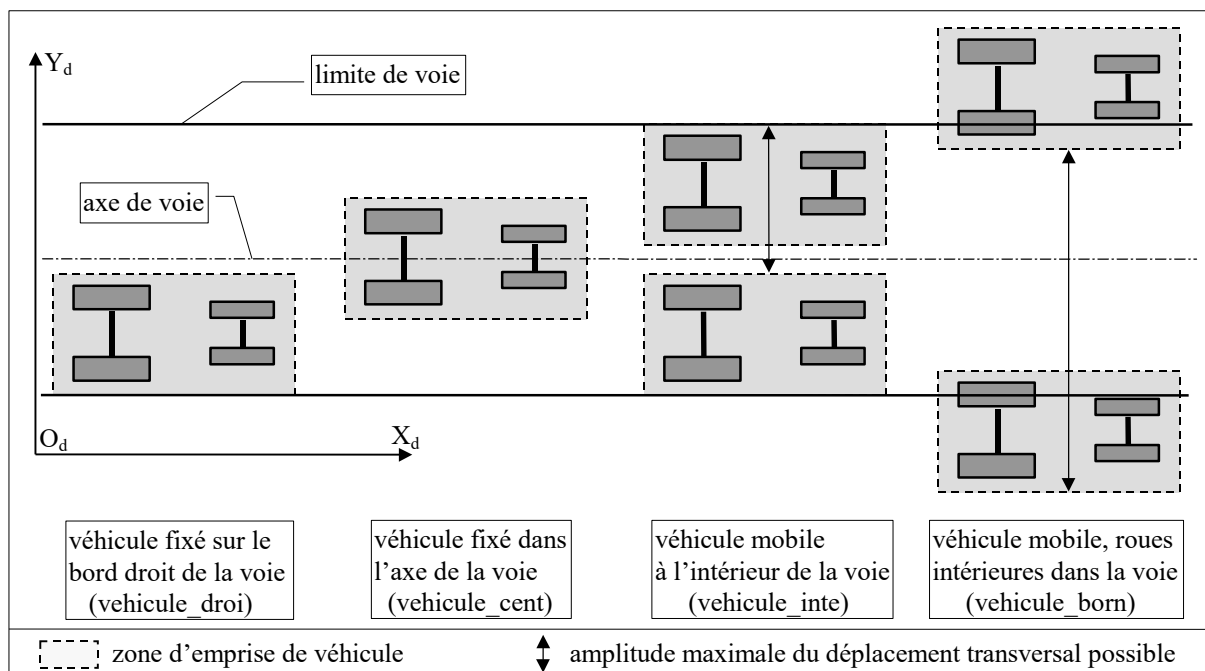


Figure 10.6 - Charge concentrée, types de traitement transversal du véhicule courant

- `no_convoi` : numéro du convoi constituant la charge concentrée, défini sur une commande `CONVOI_VEHICULES` ;
- `ponder_d_conc`, `ponder_f_conc` : coefficients de pondération à appliquer à l'effet de la charge concentrée, s'il est défavorable, ou favorable, respectivement ; doivent être positifs ou nuls ;

- `coef_rech` : rapport entre la valeur de l'influence pour la position courante d'un véhicule et la valeur maximale des influences dans la zone chargeable, en dessous duquel sa position n'est pas étudiée, lors de la recherche d'un effet enveloppe ; si la valeur de l'influence en un point est inférieure au produit de la valeur maximale des influences par `coef_rech`, aucun véhicule n'est appliqué en ce point ; ce coefficient doit être positif ou nul et inférieur ou égal à 1.0.

Fonctions

Cette commande définit une charge concentrée, formée d'un convoi, auquel on applique un type de traitement transversal, un bornage inférieur, et des coefficients de pondération.

Le type de traitement transversal du convoi précise les positions que peuvent prendre ses véhicules, par rapport aux limites transversales des voies où ils circulent ; il est vérifié que l'emprise transversale des véhicules ne dépasse pas les largeurs des voies.

Pour les valeurs (`vehicule_inte`) et (`vehicule_born`) du paramètre `type_concentree`, les véhicules sont déplacés transversalement, entre leurs positions limites, et longitudinalement, le long de chaque ligne d'influence située dans la voie où ils circulent, et en bordure de voie.

Si la valeur du paramètre `coef_rech` le permet, chaque essieu de véhicule est positionné sur chaque point de ligne d'influence.

Conditions d'emploi

- Un trafic peut contenir un nombre quelconque de commandes de ce type.

Conseils méthodologiques

- Attention, le choix de la valeur (`vehicule_born`) pour le paramètre `type_concentree` n'empêche pas le chevauchement de véhicules circulant dans des voies juxtaposées.

Exemples

```
$ peut s'appliquer a la charge predefinie E_M1C1_C du module ENV, trois
$ charges concentrees definies avec meme convoi, un vehicule cale sur bord
$ droit de voie, coefficient de recherche fixe a 0.90, effet favorable
$ pondere par 0.00, effets defavorables ponderes par coefficients degressifs
CONVOI_VEHICULES (convoi_1, ..., ..., ..., ...);
<ponder_d_conc = 1.00>
<ponder_f_conc = 0.00>
<coef_rech      = 0.90>
CENTREEE      (charge_conc_1, vehicule_droi, convoi_1,
               ponder_d_conc, ponder_f_conc, coef_rech);
<ponder_d_conc = (2.00/3.00)>
CENTREEE      (charge_conc_2, vehicule_droi, convoi_1,
               ponder_d_conc, ponder_f_conc, coef_rech);
<ponder_d_conc = (1.00/3.00)>
CENTREEE      (charge_conc_3, vehicule_droi, convoi_1,
               ponder_d_conc, ponder_f_conc, coef_rech);
```

Commandes liées

CONVOI_VEHICULES ; CHARGE_VOIE

10.11 - DENSITE_UNIFORME

DENSITE_UNIFORME no_densite type_densite lg_min (pr_inutilise)
 coef_b coef_c coef_d lg_imposee_max lg_imposee_min
 nb_val [$\langle L \ q \rangle_{nb_val}$];

Paramètres

- no_densite : numéro d'identification attribué à la densité de charge uniforme ;
- type_densite : type de variation de la densité q de la charge uniforme (intensité par unité de surface), en fonction de la longueur chargée conventionnelle L ; peut prendre l'une des valeurs suivantes :

- (densite_tabl) : densité définie par une liste de couples de valeurs $\langle L \ q \rangle_{nb_val}$; la densité courante est calculée par interpolation linéaire, dans le domaine couvert par la liste, ou en utilisant la valeur de la borne la plus proche, hors de celui-ci :

$$\begin{aligned} q &= q_i + (q_{i+1} - q_i) \frac{(L - L_i)}{(L_{i+1} - L_i)} && \text{pour : } L_i < L \leq L_{i+1} \\ q &= q_1 && \text{pour : } L \leq L_1 \\ q &= q_{nb_val} && \text{pour : } L > L_{nb_val} \end{aligned} \quad (10.5)$$

- (densite_cons) :

$$q = b \quad (10.6)$$

- (densite_raci) :

$$q = b + c\sqrt{L} \quad (10.7)$$

- (densite_puis) :

$$q = b / L^c \quad (10.8)$$

- (densite_loga) :

$$q = b + c / \ln(L) \quad (10.9)$$

- (densite_poly) :

$$q = b + c / (d + L) \quad (10.10)$$

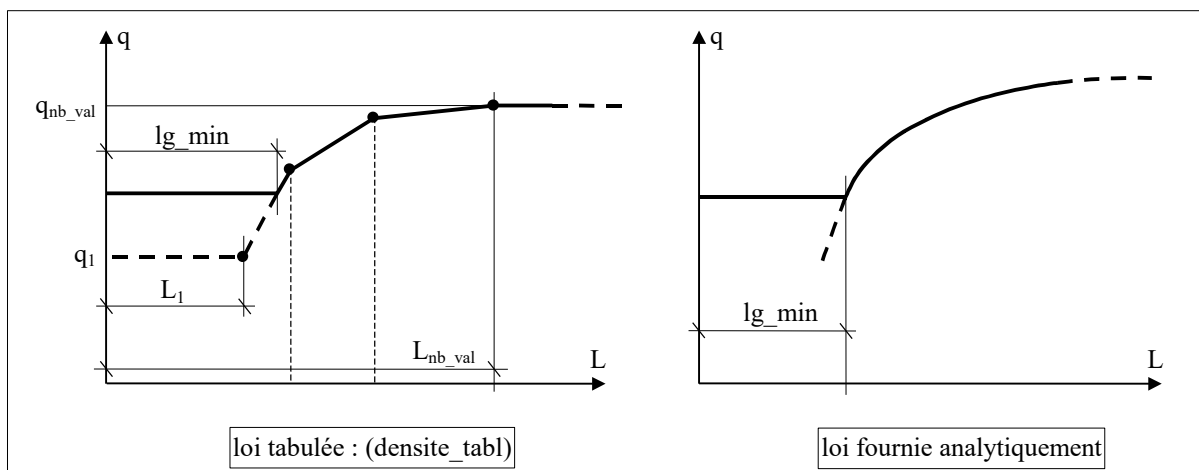


Figure 10.7 - Types de lois de variation pour $q(L)$

- `lg_min` : longueur chargée en dessous de laquelle la densité de la charge uniforme est supposée constante (figure 10.7) ;
- `coef_b`, `coef_c`, `coef_d` : coefficients b, c et d utilisés éventuellement dans les formules 10.6 à 10.10 ;
- `lg_imposee_max`, `lg_imposee_min` : longueur chargée servant à calculer la densité q pour l'étude des effets maximaux, et minimaux, respectivement, si la charge uniforme est de type longueur imposée (paramètre `type_longueur` de la commande UNIFORME associée valant (`longueur_impo`)). Si la charge uniforme est de type longueur bornée (paramètre `type_longueur` de la commande UNIFORME associée valant (`longueur_born`)), la densité de la charge uniforme est bornée par les valeurs obtenues en appliquant la formule de densité choisie à ces deux valeurs extrémales. Si la charge uniforme est de type longueur intégration bornée (paramètre `type_longueur` de la commande UNIFORME associée valant (`longueur_born`)), la charge uniforme totale est bornée par les valeurs obtenues en appliquant la formule de densité choisie à ces deux valeurs extrémales ;
- `nb_val` : nombre de couples de valeurs (L, q) à fournir, supérieur à un si la densité de charge uniforme est de type (`densite_tabl`), nul sinon ;
- L, q : longueur chargée conventionnelle et densité de charge uniforme définissant un point de discrétisation de la loi de variation q(L) tabulée ; les valeurs de L doivent être strictement croissantes.

Fonctions

Cette commande définit le mode de calcul d'une densité de charge uniforme, en fonction d'une longueur chargée conventionnelle, à utiliser dans les calculs d'intégration des surfaces d'influence ; cette entité ne pourra être invoquée que dans une définition de charge uniforme (commande UNIFORME).

La densité de charge uniforme peut être constante, dépendre de la longueur chargée conventionnelle, ou de paramètres fournis directement.

La longueur chargée conventionnelle peut résulter d'un calcul effectif, ou être imposée, selon l'option retenue dans la définition de la charge uniforme.

L'unité utilisée correspond à celle définie dans PH3 (par défaut, il s'agit de kdaN). Ainsi, la définition des charges de trafic introduites par l'utilisateur doit se faire dans l'unité choisie lors du phasage.

Conditions d'emploi

- Un trafic peut contenir un nombre quelconque de commandes de ce type.

Exemples

```
$ peut s'appliquer a la charge predefinie ALPL du module ENV
$ densite uniforme de type (densite_tabl), avec deux points de definition
$ seul nb_val est utilise, les autres parametres ont des valeurs fictives
<lg_min           = 0.00>
<coef_b          = 0.00>
<coef_c          = 0.00>
<coef_d          = 0.00>
<lg_imposee_max  = 1.00>
<lg_imposee_min  = 1.00>
<nb_val          = 2>
```

```

DENSITE_UNIFORME (densite_1, densite_tabl, lg_min, pr_inutilise,
                  coef_b, coef_c, coef_d,
                  lg_imposee_max, lg_imposee_min, nb_val)
0.00 0.40 2000.00 0.00;
.....
$ charge uniforme de type (longueur_calc), parametres lg_imposee_max
$ et lg_imposee_min de la commande DENSITE_UNIFORME precedente inutilises
UNIFORME (... , ... , densite_1, longueur_calc, ... , ...);
$ peut s'appliquer a la charge predefinie E_M1C1_C du module ENV
$ deux densites uniformes de type (densite_cons), seul coef_b est utilise
<lg_min          = 0.00>
<coef_b          = 0.90>
<coef_c          = 0.00>
<coef_d          = 0.00>
<lg_imposee_max  = 1.00>
<lg_imposee_min  = 1.00>
<nb_val          = 0>
DENSITE_UNIFORME (densite_1, densite_cons, lg_min, pr_inutilise, coef_b,
                  coef_c, coef_d, lg_imposee_max, lg_imposee_min, nb_val);
<coef_b = 0.25>
DENSITE_UNIFORME (densite_2, densite_cons, lg_min, pr_inutilise, coef_b,
                  coef_c, coef_d, lg_imposee_max, lg_imposee_min, nb_val);
.....
UNIFORME (... , ... , densite_1, longueur_calc, ... , ...);
UNIFORME (... , ... , densite_2, longueur_calc, ... , ...);

$ peut s'appliquer a la charge predefinie AL du module ENV, densite
$ uniforme type (densite_poly), seuls coef_b, coef_c et coef_d sont utiles
<lg_min          = 0.00>
<coef_b          = 0.23>
<coef_c          = 36.00>
<coef_d          = 12.00>
<lg_imposee_max  = 1.00>
<lg_imposee_min  = 1.00>
<nb_val          = 0>
DENSITE_UNIFORME (densite_1, densite_poly, lg_min, pr_inutilise, coef_b,
                  coef_c, coef_d, lg_imposee_max, lg_imposee_min, nb_val);

```

Commandes liées

UNIFORME

10.12 - UNIFORME

UNIFORME no_uniforme type_uniforme no_densite type_longueur
ponder_d_unif ponder_f_unif;

Paramètres

- no_uniforme : numéro d'identification attribué à la charge uniforme ;
- type_uniforme : type de charge uniforme, déterminant le mode de traitement des aires positives et négatives des surfaces d'influence, selon que leur effet produit est favorable ou défavorable ; la longueur chargée conventionnelle n'est calculée que si le mode (longueur_calc) est adopté au niveau du paramètre type_longueur ; peut prendre l'une des valeurs suivantes :
 - (aires_comb) : indiquent que toutes les aires de même signe sont intégrées et combinées entre elles, et qu'on recherche la combinaison d'aires produisant l'effet le plus défavorable ; la longueur chargée conventionnelle est recalculée pour chaque combinaison ;
 - (aires_cumu) : indiquent que toutes les aires du signe défavorable sont intégrées et cumulées globalement, sans considérer de combinaisons d'aires élémentaires ; la longueur chargée conventionnelle calculée est la longueur moyenne des aires cumulées ;
 - (aires_quel) : indiquent que toutes les aires sont intégrées et cumulées globalement, quel que soit leur signe, sans considérer de combinaisons d'aires élémentaires (intégration algébrique) ; la longueur chargée conventionnelle calculée est la longueur cumulée de toutes les aires.
- no_densite : numéro de la densité de charge uniforme utilisée, défini sur une commande DENSITE_UNIFORME ;
- type_longueur : type de détermination des longueurs chargées *conventionnelles* (nommées ainsi car elles peuvent être calculées ou imposées) servant à calculer la densité de la charge uniforme ; peut prendre l'une des valeurs suivantes :
 - (longueur_calc) : indique que les longueurs chargées conventionnelles sont celles des zones situées entre les points de passage par zéro des lignes d'influence ;
 - (longueur_impo) : indique que les longueurs chargées conventionnelles sont fixées par les paramètres lg_imposee_max et lg_imposee_min de la commande DENSITE_UNIFORME, selon qu'on recherche l'effet maximum ou minimum de la charge uniforme, respectivement
 - (longueur_born) : indique que les longueurs chargées conventionnelles sont bornées par les paramètres lg_imposee_max et lg_imposee_min de la commande DENSITE_UNIFORME. Seule la densité de la charge est donc bornée;
 - (longueur_inte_born) : indique que les longueurs chargées conventionnelles sont bornées par les paramètres lg_imposee_max et lg_imposee_min de la commande DENSITE_UNIFORME pour l'évaluation de la densité et pour l'intégration sur la longueur. La valeur totale de la charge est donc bornée;
- ponder_d_unif, ponder_f_unif : coefficients de pondération à appliquer à l'effet de la charge uniforme, s'il est défavorable, ou favorable, respectivement ; doivent être positifs ou nuls.

Fonctions

Cette commande définit une charge uniforme applicable à une voie, toujours dans la totalité de son emprise transversale ; une charge uniforme est définie par un mode d'intégration des surfaces d'influence, un mode de calcul de sa densité et des coefficients de pondération.

Conditions d'emploi

- Un trafic peut contenir un nombre quelconque de commandes de ce type.

Conseils méthodologiques

- L'écart de précision entre les deux méthodes d'intégration des surfaces d'influence dépend de leur forme ; les surfaces présentant des discontinuités, simultanément dans les directions longitudinale et transversale, doivent être traitées avec une précision augmentée, en affectant au paramètre `type_longueur` la valeur : (`aires_comb_p`), (`aires_cumu_p`) ou (`aires_quel_p`).

Exemples

```
$ peut s'appliquer a la charge predefinie AL du module ENV
<nb_val = 0>
DENSITE_UNIFORME (densite_1, ..., ..., ..., ..., ..., ...,
                  ..., ..., nb_val);
.....
$ recherche de la combinaison d'aires la plus defavorable, parmi les aires
$ de même signe, longueur chargee conventionnelle recalculée pour chaque
$ combinaison, precision standard, effets favorable et defavorable ponderes
$ de la même maniere
<ponder_d_unif = 1.00>
<ponder_f_unif = 1.00>
UNIFORME (charge_unif_1, aires_comb, densite_1, longueur_calc,
          ponder_d_unif, ponder_f_unif);

$ peut s'appliquer a la charge predefinie TR du module ENV, toutes les
$ aires du signe defavorable sont integrees et cumulees globalement
$ longueur chargee conventionnelle calculee, precision standard
$ effet favorable pondere avec coefficient nul
<ponder_d_unif = 1.00>
<ponder_f_unif = 0.00>
UNIFORME (charge_unif_1, aires_cumu, densite_1, longueur_calc,
          ponder_d_unif, ponder_f_unif);
```

Commandes liées

DENSITE_UNIFORME

10.13 - CHARGE_VOIE

CHARGE_VOIE no_charge type_charge
no_concentree no_uniforme type_enleve_unif ;

Paramètres

- no_charge : numéro d'identification attribué à la charge applicable à une voie ;
- type_charge : type de charge applicable à une voie ; peut prendre l'une des valeurs suivantes :
 - (charge_conc) : indique que seule une charge concentrée y est appliquée ;
 - (charge_unif) : indique que seule une charge uniforme y est appliquée ;
 - (charge_gene) : indique qu'une charge concentrée et une charge uniforme y sont appliquées conjointement ;
- no_concentree : numéro de la charge concentrée qui compose la charge applicable à une voie, défini sur une commande CONCENTREE, si type_charge vaut (charge_conc) ou (charge_gene), sinon indiquer (no_inutilise) ;
- no_uniforme : numéro de la charge uniforme qui compose la charge applicable à une voie, défini sur une commande UNIFORME, si type_charge vaut (charge_unif) ou (charge_gene), sinon indiquer (no_inutilise) ;
- type_enleve_unif : type d'enlèvement de la charge uniforme au droit de la charge concentrée ; peut prendre l'une des valeurs suivantes :
 - (laisser_unif) : indique qu'il faut laisser la charge uniforme dans les zones d'enlèvement attachées à la charge concentrée (figure 10.5) ; c'est la valeur à indiquer si une seule des deux charges est présente (type_charge vaut alors (charge_conc) ou (charge_unif)) ;
 - (enlever_unif) : indique qu'il faut enlever la charge uniforme dans les zones d'enlèvement attachées à la charge concentrée (figure 10.5) ; cette option n'est autorisée que si la charge uniforme est de type « toutes aires du signe défavorable cumulées » ou « toutes aires cumulées, quel que soit leur signe » (le paramètre type_uniforme de la commande UNIFORME vaut alors (aires_cumu), (aires_cumu_p), (aires_quel) ou (aires_quel_p)).

Fonctions

Cette commande définit une charge applicable à une voie, formée d'une charge concentrée et/ou d'une charge uniforme.

Si les deux charges figurent, elles peuvent être indépendantes, ou liées, en déclarant que la charge uniforme doit être annulée, dans les zones d'enlèvement attachées à la charge concentrée : zones d'enlèvement de la charge uniforme concomitante de tous les véhicules du convoi correspondant, pour lesquels le paramètre type_enleve_unif de la commande VEHICULE vaut (enlever_unif). Cette option ne s'applique toutefois que pour les VEHICULES du présent TRAFIC pour lesquels l'option type_enleve_unif vaut (enlever_unif).

Attention : L'option type_enleve_unif ne concerne que les CHARGES du TRAFIC courant. Elle ne concerne pas les VEHICULES des CHARGES des TRAFICS précédents déclarés rémanents ni les TRAFICS suivants. Par conséquent, cette option n'est strictement nécessaire qu'en présence d'une charge uniforme dans la charge courante.

Conditions d'emploi

- Le nombre de charges applicables aux voies à définir dans un trafic est lié au type de partage de la largeur chargeable en voies de la commande VOIES (type_voies_0) à (type_voies_6).

Exemples

```
$ peut s'appliquer a la charge predefinie E_M1C1_C du module ENV, trois
$ charges concentrees et deux charges uniformes forment quatre charges
$ applicables aux voies (trois de type general, une de type uniforme)
CONCENTREE (charge_conc_1, ..., ..., ..., ..., ...);
CONCENTREE (charge_conc_2, ..., ..., ..., ..., ...);
CONCENTREE (charge_conc_3, ..., ..., ..., ..., ...);
.....
UNIFORME (charge_unif_1, ..., ..., ..., ..., ...);
UNIFORME (charge_unif_2, ..., ..., ..., ..., ...);
CHARGE_VOIE (charge_1, charge_gene,
             charge_conc_1, charge_unif_1, laisser_unif);
CHARGE_VOIE (charge_2, charge_gene,
             charge_conc_2, charge_unif_2, laisser_unif);
CHARGE_VOIE (charge_3, charge_gene,
             charge_conc_3, charge_unif_2, laisser_unif);
CHARGE_VOIE (charge_4, charge_unif,
             no_inutilise, charge_unif_2, laisser_unif);
```

Commandes liées

VEHICULE ; CONCENTREE ; UNIFORME ; VOIES ; TRAFIC

10.14 - VOIES

VOIES no_voies

<p>(type_voies_0, degres_0)</p> <p>(type_voies_1) type_degr</p> $\left\{ \begin{array}{l} \text{CIRCULATION} \left\{ \begin{array}{l} \text{VOIES nb_clas } \langle v_0 \rangle_{nb_clas} [deg_1] \\ \text{CLASSE } v_0 \ v [deg_2] \end{array} \right\} \\ v_0 \ v [deg_3] \end{array} \right\}$ <p>(type_voies_2) type_degr</p> $\left\{ \begin{array}{l} \text{CIRCULATION CLASSE nb_lcha } \langle lcha \rangle_{nb_lcha} [deg_2] \\ nb_lcha \ \langle lcha \rangle_{nb_lcha} [deg_3] \end{array} \right\}$ <p>(type_voies_3) type_degr</p> $\left\{ \begin{array}{l} \text{CIRCULATION} \left\{ \begin{array}{l} \text{VOIES pas nb_v_max lvoi_max} \\ \text{LA_VOIES pas nb_voies lvoi_max} \\ \text{NB_VOIES pas nb_v_max } \langle lvoi \rangle_{nb_v_max} \\ \text{CLASSE pas nb_voies } \langle lvoi \rangle_{nb_voies} \end{array} \right\} [deg_2] \\ pas \ nb_voies \ \langle lvoi \rangle_{nb_voies} [deg_3] \end{array} \right\}$ <p>(type_voies_4) type_degr</p> $\left\{ \begin{array}{l} \text{CIRCULATION} \left\{ \begin{array}{l} \text{LA_VOIES pas nb_voies lvoi_max} \\ \text{CLASSE pas nb_voies } \langle lvoi \rangle_{nb_voies} \end{array} \right\} [deg_2] \\ pas \ nb_voies \ \langle lvoi \rangle_{nb_voies} [deg_3] \end{array} \right\}$ <p>(type_voies_5) type_degr</p> $\left\{ \begin{array}{l} \text{CIRCULATION} \left\{ \begin{array}{l} \text{TROTTOIRS } [deg_3] \\ \left\{ \begin{array}{l} \text{CHAUSSEES} \\ \text{VOIES} \end{array} \right\} [deg_2] \end{array} \right\} \\ nb_voies \ \langle yvoi_inf \ yvoi_sup \rangle_{nb_voies} [deg_3] \end{array} \right\}$ <p>(type_voies_6) type_degr</p> $\left\{ \begin{array}{l} \text{CIRCULATION} \left\{ \begin{array}{l} \text{VOIES pas}_1 \ pas_2 \ nb_v_max \ lvoi_max \\ \text{LA_VOIES pas}_1 \ pas_2 \ nb_voies \ lvoi_max \\ \text{NB_VOIES pas}_1 \ pas_2 \ nb_v_max \ \langle lvoi \rangle_{nb_v_max} \\ \text{CLASSE pas}_1 \ pas_2 \ nb_voies \ \langle lvoi \rangle_{nb_voies} \end{array} \right\} [deg_2] \\ pas_1 \ pas_2 \ nb_voies \ \langle lvoi \rangle_{nb_voies} [deg_3] \end{array} \right\}$ <p>(type_voies_7) type_degr</p> $\left\{ \begin{array}{l} \text{CIRCULATION} \left\{ \begin{array}{l} \text{LA_VOIES pas}_1 \ pas_2 \ nb_voies \ lvoi_max \\ \text{CLASSE pas}_1 \ pas_2 \ nb_voies \ \langle lvoi \rangle_{nb_voies} \end{array} \right\} [deg_2] \\ pas_1 \ pas_2 \ nb_voies \ \langle lvoi \rangle_{nb_voies} [deg_3] \end{array} \right\}$	<p>;</p>
---	----------

Dans ce libellé, remplacer :

- deg_1 par : $nb_degr \left\langle \left\langle coef_degr \right\rangle_{nb_degr} \right\rangle_{nb_clas}$,
- deg_2 par : $nb_clas \quad nb_degr \left\langle \left\langle coef_degr \right\rangle_{nb_degr} \right\rangle_{nb_clas}$,
- et deg_3 par : $nb_degr \left\langle coef_degr \right\rangle_{nb_degr}$.

Paramètres

- no_voies : numéro d'identification attribué à la description des voies ;
- $(type_voies_0)$ à $(type_voies_6)$: indiquent le type de partage de la largeur chargeable en voies ; leurs paramètres (en dehors des coefficients de dégressivité) sont décrits dans les sous-rubriques portant leurs noms ;
- $type_degr$: type de traitement de la dégressivité transversale, voir les détails dans la sous-rubrique « Types de dégressivité » ;
- deg_1 , deg_2 , deg_3 : trois expressions possibles de la liste des coefficients de dégressivité, voir les détails dans la sous-rubrique « Paramètres de dégressivité ».

(type_voies_0)

Toujours associé au type de dégressivité : $(degres_0)$, indique qu'une seule voie couvre l'ensemble de la zone chargeable.

Pour ce type de partage, les règles suivantes doivent être respectées :

- aucune bande centrale non chargeable ne doit être définie ;
- aucune définition de voies, ni de coefficients de dégressivité n'est nécessaire ;
- une seule charge doit être invoquée dans la commande TRAFIC.

(type_voies_1)

Associé à v et v_0 , indique que la zone chargeable est partagée en un nombre nb_voies de voies contiguës égal à la partie entière du quotient de sa largeur, par une largeur v ; on attribue ensuite à chaque voie, une largeur théorique v_0 .

Avec l'option CIRCULATION VOIES, la largeur v est la largeur des voies de la circulation, et on fournit, dans l'ordre, toutes les valeurs de v_0 qui correspondent aux nb_clas classes de trafic possibles ; la classe de la circulation indique alors le rang dans cette liste de la valeur de v_0 à utiliser.

Ce type de partage correspond à certaines prescriptions du Fascicule 61, à savoir :

$$nb_voies = \text{partie_entière de } (largeur_chargeable/v)$$

$$largeur_effective_voie = largeur_chargeable/nb_voies$$

$$effet_voie_effective = \text{effet d'une charge sur une voie de largeur : } largeur_effective_voie$$

$$effet_voie = effet_voie_effective \times (v_0 / largeur_effective_voie)$$

Le partage s'effectue de manière indépendante, de part et d'autre de la bande centrale non chargeable, si elle existe, et les nombres de voies déterminés pour chaque chaussée sont ajoutés, pour former nb_voies .

Une charge unique est applicable à chaque voie, à pondérer par un coefficient de dégressivité, extrait d'une liste de valeurs fournies.

Pour ce type de partage, les règles suivantes doivent être respectées :

- les coefficients de dégressivité sont appliqués en considérant le nombre de voies total de la zone chargeable ;
- une seule charge doit être invoquée dans la commande TRAFIC.

(type_voies_2)

Indique que la zone chargeable est partagée en un nombre `nb_voies` de voies contiguës, fonction du rang qu'occuperait sa largeur, si elle était insérée dans une liste de largeurs chargeables fournies restant ordonnée par valeurs croissantes, `lcha(1 .. nb_lcha)` :

- si la largeur chargeable est inférieure ou égale à `lcha(1)`, `nb_voies` est fixé à 1 ;
- si la largeur chargeable est supérieure à `lcha(i)` et inférieure ou égale à `lcha(i+1)`, `nb_voies` est fixé à `i+1` ;
- si la largeur chargeable est supérieure à `lcha(nb_lcha)`, `nb_voies` est fixé à `nb_lcha`.

Le partage s'effectue de manière indépendante, de part et d'autre de la bande centrale non chargeable, si elle existe, et les nombres de voies déterminés pour chaque chaussée sont ajoutés, pour former `nb_voies`.

Une charge unique est applicable à chaque voie, à pondérer par un coefficient de dégressivité, extrait d'une liste de valeurs fournies.

Pour ce type de partage, les règles suivantes doivent être respectées :

- les coefficients de dégressivité sont appliqués en considérant le nombre de voies total de la zone chargeable ;
- une seule charge doit être invoquée dans la commande TRAFIC.

(type_voies_3)

Indique que la zone chargeable est partagée en un nombre maximum de voies, disposées transversalement de la manière la plus défavorable, et pouvant recevoir une charge chacune.

La première voie est fixée dans sa position la plus défavorable, puis la deuxième, de la même façon, dans le reste de la zone chargeable, et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'aucune voie ne puisse plus être placée, ou que toutes les voies soient placées.

- `pas` : valeur du pas de déplacement transversal des voies ; doit être le p.g.c.d. des largeurs des voies et des largeurs de chaussée(s) ;
- `nb_v_max` : nombre maximum de voies de référence ;
- `nb_voies` : nombre de largeurs de voies définies ;
- `lvoi_max` : largeur maximale de référence d'une voie ;
- `lvoi` : largeur d'une voie ; les largeurs des voies sont fournies dans l'ordre de leur mise en place.

Avec l'option `CIRCULATION_VOIES`, le nombre de voies définies est le minimum de `nb_v_max` et du nombre de voies de la circulation, et la largeur commune à toutes les voies est le minimum de `lvoi_max` et de la largeur des voies de la circulation.

avec l'option `CIRCULATION_LA_VOIES`, le nombre de voies définies est `nb_voies`, et la largeur commune à toutes les voies est le minimum de `lvoi_max` et de la largeur des voies de la circulation.

avec l'option CIRCULATION NB_VOIES, le nombre de voies définies est le minimum de nb_v_max et du nombre de voies de la circulation, et les largeurs des voies sont fournies (nb_v_max valeurs du paramètre lvoi).

avec l'option CIRCULATION CLASSE, le nombre de voies définies est nb_voies, et les largeurs des voies sont fournies (nb_voies valeurs du paramètre lvoi).

Si le trafic comporte une bande centrale non chargeable, aucune voie ne pourra venir empiéter dans son emprise.

Une charge différente est applicable à chaque voie, à pondérer par un coefficient de dégressivité, extrait d'une liste de valeurs fournies.

Pour ce type de partage, les règles suivantes doivent être respectées :

- les coefficients de dégressivité sont appliqués en considérant la totalité des voies positionnables et chargeables ;
- le nombre total de charges à invoquer dans la commande TRAFIC doit être égal à nb_v_max ou à nb_voies, selon les cas d'utilisation respectifs de ces variables ;
- les charges doivent être invoquées, dans la commande TRAFIC, dans le même ordre que les largeurs, si une liste de largeurs est fournie.

(type_voies_4)

Indique que le partage en voies de la largeur chargeable est de même nature que pour (type_voies_3), mais le nombre de voies est toujours fixé à nb_voies et une charge supplémentaire est appliquée sur le reste de la largeur chargeable, formé de bandes séparant les voies déjà placées.

Pour la signification des paramètres, voir le commentaire correspondant à (type_voies_3), en excluant les options CIRCULATION VOIES et CIRCULATION NB_VOIES.

Pour ce type de partage, les règles suivantes doivent être respectées :

- les coefficients de dégressivité sont appliqués en considérant nb_voies+1 voies (le reste de la largeur chargeable étant assimilé, de ce point de vue, à une seule voie) ;
- le nombre total de charges à invoquer dans la commande TRAFIC doit être égal à nb_voies+1, la dernière étant applicable sur le reste de la largeur chargeable ;
- les nb_voies premières charges de la commande TRAFIC, doivent être invoquées dans le même ordre que les largeurs, si une liste de largeurs est fournie.

(type_voies_5)

Indique que la zone chargeable est partagée en un certain nombre de voies imposé, dont les positions et les largeurs sont fixées.

Une charge différente est applicable à chaque voie, à pondérer par un coefficient de dégressivité, extrait d'une liste de valeurs fournies.

Avec l'option CIRCULATION TROTTOIRS, le nombre de voies est le nombre de trottoirs de la circulation (un trottoir est assimilé à une voie), et les positions et largeurs des voies sont celles des trottoirs de la circulation.

Avec l'option CIRCULATION CHAUSSEES, le nombre de voies est le nombre de chaussées de la circulation (une chaussée est assimilée à une voie), et les positions et largeurs des voies sont celles des chaussées de la circulation.

Avec l'option CIRCULATION VOIES, le nombre de voies est celui de la circulation, et les positions et largeurs des voies sont celles des voies de la circulation.

- `nb_voies`, `yvoi_inf`, `yvoi_sup` : nombre de voies, ordonnées des limites inférieure et supérieure d'une voie, définies sur l'axe transversal O_dY_d des surfaces d'influence ; toutes les voies, fournies dans l'ordre des ordonnées croissantes, doivent être contenues dans la zone chargeable, sans se chevaucher.

Pour ce type de partage, les règles suivantes doivent être respectées :

- aucune bande centrale non chargeable ne doit être définie ;
- les coefficients de dégressivité sont appliqués en considérant le nombre de voies total de la zone chargeable ;
- le nombre total de charges à invoquer dans la commande TRAFIC doit être supérieur ou égal au nombre de voies `nb_voies` (défini implicitement ou explicitement) ; s'il est supérieur au nombre de voies, les `nb_voies` premières charges seront affectées aux voies dans l'ordre de leur apparition.

(type_voies_6)

Indique que la zone chargeable est partagée en un nombre maximum de voies, disposées transversalement de la manière la plus défavorable, en considérant toutes les combinaisons possibles, au niveau des nombres de voies présentes et de leurs positions ; ainsi, lorsqu'on charge deux voies, la position déterminée de la première voie peut être différente de celle obtenue en chargeant une seule voie.

- `pas1` : valeur du pas de déplacement transversal des voies dont l'effet est obtenu par interpolation, à partir des valeurs calculées en utilisant `pas2` ; doit être le p.g.c.d. des largeurs des voies et des largeurs de chaussée(s), et inférieur à `pas2` ;
- `pas2` : valeur du pas de déplacement transversal des voies pour lesquelles on calcule réellement les effets des charges appliquées ;

Pour la signification des paramètres `nb_v_max`, `nb_voies`, `lvoi_max` et `lvoi`, voir le commentaire correspondant à (type_voies_3).

Si le trafic comporte une bande centrale non chargeable, aucune voie ne pourra venir empiéter dans son emprise.

Une charge différente est applicable à chaque voie, à pondérer par un coefficient de dégressivité, extrait d'une liste de valeurs fournies.

Pour ce type de partage, les règles suivantes doivent être respectées :

- les coefficients de dégressivité sont appliqués en considérant la totalité des voies positionnables et chargeables ; les dégressivités sont supposées de type *global*, quelle que soit la valeur attribuée au paramètre `type_degr` ;
- le nombre total de charges à invoquer dans la commande TRAFIC doit être supérieur ou égal à `nb_v_max` ou à `nb_voies`, selon les cas d'utilisation respectifs de ces variables ; s'il est supérieur au nombre effectif de voies `nb_v`, les `nb_v` premières charges seront affectées aux voies dans l'ordre de leur apparition ;
- les charges de la commande TRAFIC doivent être invoquées dans le même ordre que les largeurs, si une liste de largeurs est fournie.

(type_voies_7)

Indique que le partage en voies de la largeur chargeable est de même nature que pour (type_voies_6), mais le nombre de voies est toujours fixé à nb_voies et une charge supplémentaire est appliquée sur le reste de la largeur chargeable, formé de bandes séparant les voies déjà placées.

Pour la signification des paramètres, voir le commentaire correspondant à (type_voies_6), en excluant les options CIRCULATION_VOIES et CIRCULATION_NB_VOIES.

Pour ce type de partage, les règles suivantes doivent être respectées :

- les coefficients de dégressivité sont appliqués en considérant nb_voies+1 voies (le reste de la largeur chargeable étant assimilé, de ce point de vue, à une seule voie) ;
- le nombre total de charges à invoquer dans la commande TRAFIC doit être égal à nb_voies+1, la dernière étant applicable sur le reste de la largeur chargeable ;
- les nb_voies premières charges de la commande TRAFIC, doivent être invoquées dans le même ordre que les largeurs, si une liste de largeurs est fournie.

Types de dégressivité

Dans cette sous-rubrique, le terme « effet » ou la variable effet_voie_i désigne l'effet d'une charge appliquée sur une voie et la variable nb_v désigne le nombre de voies effectivement prises en compte dans un calcul d'effet total.

Le paramètre type_degr peut prendre différentes valeurs, dont les significations sont les suivantes :

- (degres_0) : aucune dégressivité n'est appliquée aux effets, qui sont simplement cumulés ; les coefficients de dégressivité ne sont pas fournis ; cette valeur peut s'appliquer à d'autres types de voies que (type_voies_0) ;
- (degres_voie) : les effets sont classés par ordre d'importance décroissante et chacun est pondéré par le coefficient qui lui correspond ; l'effet total est donné par la formule :

$$effet_total = \sum_{i=1}^{nb_v} coef_degr_i \cdot effet_voie_i \quad (10.11)$$

- (degres_g_voie) : la même méthode que pour (degres_voie) est appliquée, mais le nombre de voies le plus défavorable est recherché ; l'effet total est donné par la formule :

$$effet_total = \max_{j=1, nb_v} \left(\sum_{i=1}^j coef_degr_i \cdot effet_voie_i \right) \quad (10.12)$$

- (degres_glob) : le coefficient correspondant à la nb_v^{ième} voie est appliqué à tous les effets ; l'effet total est donné par la formule :

$$effet_total = coef_degr_{nb_v} \sum_{i=1}^{nb_v} effet_voie_i \quad (10.13)$$

- (degres_g_glob) : la même méthode que pour (degres_glob) est appliquée, mais le nombre de voies le plus défavorable est recherché ; l'effet total est donné par la formule :

$$effet_total = \max_{j=1, nb_v} \left(coef_degr_j \sum_{i=1}^j effet_voie_i \right) \quad (10.14)$$

Paramètres de dégressivité

- `nb_clas` : nombre maximum de classes pour lesquelles sont définis les groupes de coefficients des types `deg_1` ou `deg_2` ; doit être supérieur ou égal au nombre maximum de classes que le trafic peut comporter ;
- `nb_degr` : nombre de coefficients de dégressivité, positif ; doit être supérieur ou égal au nombre de voies pouvant être prises en compte, lorsque la commande VOIES fait référence à une CIRCULATION ; lorsque `nb_degr` est supérieur à `nb_voies`, seuls les `nb_voies` premiers coefficients sont utilisés pour effectuer les combinaisons ;
- `coef_degr` : coefficient de dégressivité ; lorsque la commande VOIES fait référence à une CIRCULATION, on définit un groupe de `nb_degr` coefficients par classe.

Fonctions

Cette commande définit le traitement transversal du trafic, c'est à dire le mode de partage en voies de sa largeur chargeable, les caractéristiques géométriques des voies, leur mode de placement ou de déplacement transversal, et la manière de les charger.

Elle fournit également le mode de traitement de la dégressivité transversale et les coefficients correspondants de pondération des effets des charges applicables aux voies.

Dans certains cas, elle réutilise des valeurs acquises dans une commande CIRCULATION du module ENV.

Conditions d'emploi

- Un trafic doit contenir une seule commande de ce type, introduite avant la commande MODALITES qui s'y réfère.

Exemples

```
$ largeur de zone chargeable couverte par une seule voie
$ pas de voies ni de coefficients de degressivite definis
VOIES (voies_1, type_voies_0, degres_0);
.....
MODALITES (... , ... , ... , ... , ... , voies_1, ...);
```

```
$ peut s'appliquer au convoi exceptionnel predefini C1P/C1N du module ENV
$ zone chargeable partagee transversalement en deux voies, dont les
$ positions et les largeurs sont fixees, voies confondues avec CHAUSSEES
$ de la commande CIRCULATION utilisee conjointement par le module ENV
$ application possible d'une charge differente par voie, effets ponderes
$ par coefficients de degressivite donnes, effet total calcule selon 10.11
<nb_clas = 3>
<nb_degr = 2>
VOIES (voies_1, type_voies_5, degres_voie)
  CIRCULATION CHAUSSEES (nb_clas, nb_degr)
    1.00 0.00 $ nb_degr coefficients, pour la classe 1
    1.00 0.00 $ idem, pour la classe 2
    1.00 0.00; $ idem, pour la classe 3
```

```
$ zone chargeable partagee en quatre voies au maximum, de largeurs egales,
$ disposees transversalement de la maniere la plus defavorable, toutes les
$ combinaisons de voies seront examinees, voies definies explicitement,
$ application possible d'une charge differente par voie, effets ponderes
$ par coefficients de degressivite donnes, effet total calcule selon 10.13
<pas1 = 0.50>
<pas2 = 3.00>
<nb_voies = 4>
<lvoi = 2.50>
<nb_degr = 4>
```



```
VOIES (voies_1, type_voies_6, degres_glob, pas1, pas2, nb_voies)  
(nb_voies)*(lvoi)  
(nb_degr) 1.20 1.10 0.95 0.80;
```

Commandes liées

LARGEUR_CHARGEABLE ; BANDE_CENTRALE ; MODALITES ; TRAFIC

10.15 - MODALITES

MODALITES no_modalites type_modalites no_largeur no_longueur
(no_inutilise) no_voies no_bande ;

Paramètres

- no_modalites : numéro d'identification attribué aux modalités de chargement ;
- type_modalites : type de modalite : non rémanente (modalites_gene) ou rémanente (modalites_rema) ;
- no_largeur : numéro de la largeur chargeable du trafic, défini sur la commande LARGEUR_CHARGEABLE ;
- no_longueur : numéro de la longueur chargeable du trafic, défini sur la commande LONGUEUR_CHARGEABLE ;
- no_voies : numéro des voies du trafic, défini sur la commande VOIES ;
- no_bande : numéro de la bande centrale du trafic, défini sur la commande BANDE_CENTRALE ; indiquer (no_inutilise) si le trafic ne comporte pas de bande centrale.

Fonctions

Cette commande définit les modalités de chargement d'un trafic, renvoyant sur la définition transversale et longitudinale de sa zone chargeable, la définition de ses voies, et de sa bande centrale éventuelle.

Si type_modalites vaut modalites_gene, le TRAFIC courant est non rémanent c'est à dire que les VEHICULES du TRAFIC courant ne sont plus là pour le TRAFIC suivant.

Si type_modalites vaut modalites_rema, les VEHICULES du TRAFIC courant sont rémanents, c'est à dire qu'ils restent en place et exercent leurs effets, pour le prochain TRAFIC. Les véhicules du prochain TRAFIC ne pourront pas empiéter sur la "zone d'enlèvement" des VEHICULES rémanents et les CHARGES UNIFORMES éventuelles du prochain TRAFIC seront également enlevées dans la "zone d'enlèvement" longitudinale des VEHICULES rémanents. La rémanence est reconduite de TRAFIC en TRAFIC jusqu'au prochain TRAFIC non rémanent inclus. Au-delà du TRAFIC non rémanent, il n'y a plus de rémanence. Par exemple, soient les trafics successifs a, b et c rémanents et d, e et f non rémanents, les véhicules de a sont rémanents pour b, les véhicules de a et b sont rémanents pour c, les véhicules a, b et c sont rémanents pour d, aucun véhicule n'est rémanent pour e et f. L'ordre des TRAFIC considéré est celui défini dans la commande ENVELOPPE de PCP.

Les effets enveloppes des différents TRAFICS rémanents sont successivement cumulés entre-eux et avec le dernier TRAFIC non rémanent.

Conditions d'emploi

- Un trafic doit contenir une seule commande de ce type.
- Les commandes LARGEUR_CHARGEABLE, LONGUEUR_CHARGEABLE, VOIES, et éventuellement BANDE_CENTRALE doivent figurer avant la commande MODALITES.

Exemples

```
LARGEUR_CHARGEABLE (largeur_1) .....;
LONGUEUR_CHARGEABLE (longueur_1) .....;
BANDE_CENTRALE (bande_1) .....;
.....
VOIES (voies_1) .....;
MODALITES (modalites_1, modalites_gene, largeur_1, longueur_1,
           no_inutilise, voies_1, bande_1);
TRAFIC
'xxxxxxx'
           (... , modalites_1, ...) .....;
```

Commandes liées

LONGUEUR_CHARGEABLE ; LARGEUR_CHARGEABLE ; BANDE_CENTRALE
VOIES ; TRAFIC

10.16 - TRAFIC

TRAFIC titre_traffic no_traffic no_modalites nb_charges <no_charge>_{nb_charges} ;

Paramètres

- titre_traffic : intitulé attribué au trafic (chaîne de caractères) ;
- no_traffic : numéro d'identification attribué au trafic ;
- no_modalites : numéro des modalités de chargement du trafic, défini sur la commande MODALITES ;
- nb_charges : nombre de charges applicables aux voies, constituant le trafic ; doit être positif et compatible avec le type de partage de la largeur chargeable en voies défini sur la commande VOIES, invoquée par la commande MODALITES ((type_voies_0) à (type_voies_6)) ;
- no_charge : numéro d'une charge applicable à une voie, défini sur une commande CHARGE_VOIE.

Fonctions

Cette commande définit un trafic, par une liste de charges applicables aux voies, selon certaines modalités.

Il est vérifié que l'ensemble des entités composant le trafic est cohérent.

Conditions d'emploi

- Un trafic doit contenir une seule commande de ce type.
- Les commandes CHARGE_VOIE, et MODALITES doivent figurer avant la commande TRAFIC.

Exemples

```
$ peut s'appliquer a la charge predefinie E_M1C1_C du module ENV, le type
$ de partage de la largeur chargeable en voies (type_voies_4) impose de
$ definir quatre charges applicables aux voies (nombre de voies plus une)
CHARGE_VOIE (charge_1, ..., ..., ..., ...);
CHARGE_VOIE (charge_2, ..., ..., ..., ...);
CHARGE_VOIE (charge_3, ..., ..., ..., ...);
CHARGE_VOIE (charge_4, ..., ..., ..., ...);
<nb_voies = 3>
VOIES (voies_1, type_voies_4) ..., ..., ..., ... (nb_voies) .....;
MODALITES (modalites_1, ..., ..., ..., ..., voies_1, ...);
<nb_charges = (nb_voies+1)>
TRAFIC
'EUROCODE 1 - CHARGE ROUTIERE - MODELE 1 - CLASSE 1 - CARACTERISTIQUE'
    (trafic_1, modalites_1, nb_charges,
     charge_1, charge_2, charge_3, charge_4);
```

Commandes liées

CHARGE_VOIE ; MODALITES

10.17 - FIN

FIN ;

Fonctions

Cette commande termine la définition d'un trafic.

Conditions d'emploi

- Doit figurer à la fin de chaque groupe de commandes de définition d'un trafic.

Exemples

```
$ debut du fichier trafic.don contenant deux trafics
DEBUT  T_CONVU1;
.....
.....
TRAFIC 'CONVOI EXCEPTIONNEL TYPE U1' .....;
FIN;

DEBUT  T_CONVU2;
.....
.....
TRAFIC 'CONVOI EXCEPTIONNEL TYPE U2' .....;
FIN;
```

Commandes liées

DEBUT

10.18 – LISTE DES CONSTANTES PRÉDÉFINIES

```

$ pour parametres inutilises
<no_inutilise = 0>
<pr_inutilise = 0.0>

$ pour commande CLASSE_CIBLE
<classe_1 = 1>
<classe_2 = 2>
<classe_3 = 3>

$ pour commande LONGUEUR_CHARGEABLE
<longueur_1 = 1> $ no_longueur

$ pour commande LARGEUR_CHARGEABLE
<largeur_1 = 1> $ no_largeur

$ pour commande BANDE_CENTRALE
<bande_1 = 1> $ no_bande
<bande_n_char = 1> $ type_bande
<bande_char = 2>

$ pour commande ROUE_VEHICULE
<roue_1 = 1> $ no_roue
<roue_2 = 2>
<roue_3 = 3>
<roue_4 = 4>
<roue_5 = 5>
<roue_cons = 10> $ type_roue
<roue_loga = 11>
<roue_raci = 12>
<roue_tabl = 20>

$ pour commande ESSIEU_VEHICULE
<essieu_1 = 1> $ no_essieu
<essieu_2 = 2>
<essieu_3 = 3>
<essieu_4 = 4>
<essieu_5 = 5>

$ pour commande VEHICULE
<vehicule_1 = 1> $ no_vehicule
<vehicule_2 = 2>
<vehicule_3 = 3>
<vehicule_4 = 4>
<vehicule_5 = 5>
<laisser_unif = 1> $ type_enleve_unif, idem pour commande CHARGE_VOIE
<enlever_unif = 2>

$ pour commande CONVOI_VEHICULES
<convoi_1 = 1> $ no_convoi
<convoi_2 = 2>
<convoi_3 = 3>
<convoi_4 = 4>
<convoi_5 = 5>
<convoi_inde_1 = 1> $ type_convoi
<convoi_inde_2 = 2>

$ pour commande CONCENTREE
<charge_conc_1 = 1> $ no_concentree
<charge_conc_2 = 2>
<charge_conc_3 = 3>
<charge_conc_4 = 4>
<charge_conc_5 = 5>
<vehicule_born = 0> $ type_concentree
<vehicule_inte = 1>
<vehicule_droi = 2>
<vehicule_cent = 3>

```

```
$ pour commande DENSITE_UNIFORME
<densite_1      = 1> $ no_densite
<densite_2      = 2>
<densite_3      = 3>
<densite_4      = 4>
<densite_5      = 5>
<densite_poly   = 1> $ type_densite
<densite_puis   = 2>
<densite_cons   = 10>
<densite_loga   = 11>
<densite_raci   = 12>
<densite_tabl   = 20>

$ pour commande UNIFORME
<charge_unif_1  = 1> $ no_uniforme
<charge_unif_2  = 2>
<charge_unif_3  = 3>
<charge_unif_4  = 4>
<charge_unif_5  = 5>
<aires_comb     = 4> $ type_uniforme
<aires_cumu     = 5>
<aires_quel     = 6>
<longueur_calc  = 0> $ type_longueur
<longueur_impo  = 1>

$ pour commande CHARGE_VOIE
<charge_1       = 1> $ no_charge
<charge_2       = 2>
<charge_3       = 3>
<charge_4       = 4>
<charge_5       = 5>
<charge_unif    = 1> $ type_charge
<charge_conc    = 2>
<charge_gene    = 3>

$ pour commande VOIES
<voies_1        = 1> $ no_voies
<type_voies_0   = 0> $ type_voies
<type_voies_1   = 1>
<type_voies_2   = 2>
<type_voies_3   = 3>
<type_voies_4   = 4>
<type_voies_5   = 5>
<type_voies_6   = 6>
<type_voies_7   = 7>
<degrés_0       = 0> $ type_degr
<degrés_voie    = 1>
<degrés_glob    = 2>
<degrés_g_voie  = 3>
<degrés_g_glob  = 4>

$ pour commande MODALITES
<modalites_1    = 1> $ no_modalites
<modalites_gene = 0> $ type_modalites
<modalites_rema = 1> $ type_modalites

$ pour commande TRAFIC
<trafic_1 = 1> $ no_trafic
```

Chapitre 11

Étude dynamique

SOMMAIRE

11.1 - DYNAMIQUE

11.2 - UNITES

11.3 - MASSES

11.4 - STRUCTURE

11.5 - SEQUENCES

11.6 - MODES

11.7 – SELECTION MODES

11.8 – AMORTISSEMENT STRUCTURAL MODAL

11.9 - AMORTISSEMENT STRUCTURAL ELEMENTAIRE

11.10 - AMORTISSEMENT STRUCTURAL DIRECT

11.11 - AMORTISSEMENT AERODYNAMIQUE

11.12 - ADMITTANCE MODALE

11.13 - CARACTERISTIQUES AERODYNAMIQUES

11.14 - VENT

11.15 - REPONSE MODALE VENT

11.16 - SPECTRE

11.17 - REPONSE MODALE SEISME

11.18 - ACTION DETERMINISTE

11.19 - ACTION ACCIDENTELLE

11.20 - ACTION STOCHASTIQUE VENT

11.21 - REPONSE TEMPORELLE

11.22 - REPONSE TEMPORELLE PAR SUPERPOSITION

11.23 - FIN

Fonctions du module DYN

Ce module permet l'analyse DYNAMIQUE des structures par superposition MODALE ou par résolution TEMPORELLE. Il est particulièrement adapté à l'étude dynamique sous l'effet d'un VENT TURBULENT ou d'un SÉISME.

L'analyse dynamique peut-être réalisée pour n'importe quel schéma d'activation de STRUCTURE sauvegardée par le module PH3 durant la construction.

Les MASSES peuvent être :

- calculées directement à partir des caractéristiques mécaniques des éléments et des masses volumiques de leurs matériaux constitutifs (masses initiales) ;
- définies complètement ou partiellement, par répartition sur certains éléments, ou par concentration en certains nœuds.

L'annexe A fournit les libellés complets des documents référencés dans ce chapitre sous les appellations condensées : « AFPS 92 » et « Eurocode 8 ».

Analyse modale

Le module DYN permet d'obtenir les FRÉQUENCES ou les PÉRIODES, des modes de vibration, se situant à l'intérieur d'intervalles définis. Si la structure est sauvegardée lors d'un calcul non linéaire, c'est sa matrice de rigidité tangente qui est utilisée.

On peut également imposer le nombre de valeurs propres et de vecteurs propres à calculer, en partant de la plus petite valeur propre.

Les vecteurs propres (déplacements) et les sollicitations associées (réactions d'appuis, efforts et contraintes) sont des effets de type MODES, considérés comme les autres types d'effets.

Ils peuvent être édités ou combinés par le module ETU, entre-eux ou avec des résultats compatibles produits par les modules PH3 ou ENV, ou fournis ; ils peuvent également être visualisés par le module RES.

Analyse temporelle

Le module DYN permet d'étudier le comportement temporel d'une structure soumise à un ensemble de charges dynamiques. Il calcule les états de la structure aux différents instants de discrétisation temporelle. Ces états sont définis par les déplacements, vitesses, accélérations, réactions, efforts et contraintes. Il calcule également les états extrêmes de la structure tout le long du chargement dynamique. Le calcul peut être conduit en analyse linéaire ou en analyse non linéaire sous réserve que l'état statique ait été étudié par PH3 selon le même mode.

Tous les résultats peuvent être édités ou combinés par le module ETU, entre-eux ou avec des résultats compatibles produits par les modules PH3 ou ENV, ou fournis ; ils peuvent également être visualisés par le module RES.

Calcul spectral du vent turbulent

L'étude d'une structure soumise à un vent turbulent nécessite d'introduire :

- les coefficients d'AMORTISSEMENT STRUCTURAL associés aux différents modes ;
- les caractéristiques AÉRODYNAMIQUES des éléments ;
- les paramètres PROBABILISTES régissant le comportement du vent turbulent supposé QUASI-STATIONNAIRE (constants dans le temps et dans l'espace).

Les coefficients d'AMORTISSEMENT AÉRODYNAMIQUE associés aux différents modes peuvent être fournis ou calculés.

La méthode de calcul s'appuie sur la théorie spectrale du vent turbulent due à A.-G. Davenport.

Des lois établies expérimentalement donnent les densités interspectrales des vitesses du vent et leurs moments d'intercorrélation, en fonction de ses paramètres probabilistes.

Les caractéristiques probabilistes des forces exercées en chaque point de la structure sont déterminées à partir des caractéristiques aérodynamiques des éléments.

La décomposition modale de la structure permet de calculer les variances et covariances des coordonnées généralisées du problème en vecteurs propres.

Les variances et covariances des déplacements et sollicitations en sont déduites par superposition modale, les coefficients d'admittance aérodynamique éventuels venant pondérer les effets de chaque mode.

Les angles d'incidence du vent sur les éléments étant calculés automatiquement, son orientation par rapport à la structure peut être quelconque, mais doit rester cohérente avec les caractéristiques aérodynamiques des éléments.

La réponse de la structure soumise au vent turbulent est calculée sous forme d'écart-types et de valeurs concomitantes, *non pondérés* par les facteurs de pointe, qui sont calculés systématiquement, mais non appliqués.

Ces résultats sont des effets de type RÉPONSES, considérés comme les autres types d'effets ; ils peuvent subir les mêmes types de traitement que les modes de vibration, de la part des modules ETU ou RES.

Sur option, le module DYN peut générer automatiquement le chargement :

- correspondant à l'effet du vent MOYEN ;
- équivalent aux déplacements occasionnés par un MODE ;
- d'effet EXTRÊME pour différents modes, selon un degré de liberté de nœud donné.

Ce sont des commandes CAS DE CHARGE, et des sous-commandes CHARGEMENT [IDENTIQUE] NOEUDS que le module PH3 peut relire et appliquer à la structure (voir chapitre 8).

Calcul temporel du vent turbulent

Les densités spectrales et interspectrales spécifiées pour le vent permettent de déterminer des vitesses de vent aléatoires dont les caractéristiques spectrales sont en moyenne proches de celles demandées. Il est possible de paramétrer la création de ces vitesses de manière à les adapter au problème traité. Le contrôle de la qualité du vent stochastique est assuré par le calcul des densités spectrales et par une comparaison avec celles introduites en données.

Lors du calcul temporel, le vent peut être couplé, le cas échéant, à d'autres actions dynamiques. L'analyse de la structure peut-être linéaire ou non linéaire.

La réponse extrême de la structure soumise au vent turbulent est calculée. Elle prend en compte automatiquement les facteurs de pointe. Ces résultats sont des effets de type RÉPONSES, considérés comme les autres types d'effets ; ils peuvent subir les mêmes types de traitement que les modes de vibration, de la part des modules ETU ou RES.

De même, les états successifs de la structure sont obtenus selon un pas défini par l'utilisateur.

Calcul sismique

L'étude sismique est réalisée à partir de l'analyse modale de la structure. Le facteur correspondant à la fréquence de chaque mode est lu sur le spectre de réponse normalisé ou quelconque à prendre en compte.

Le module ETU réalise la superposition modale par combinaison quadratique des vecteurs propres (voir chapitre 12, option QUADRATIQUE de la commande COMBINAISON).

Vérification des sections

Le module ETU permet une étude aux E.L.U. des sections de poutres, à partir des variances et des covariances des sollicitations dues aux effets probabilistes du vent ou des séismes.

En effet, sa commande CDS dispose d'une option pour générer les 24 sollicitations qui correspondent aux sommets d'un polyèdre circonscrit à l'ellipsoïde d'équiprobabilité des sollicitations d'une section (voir chapitre 12) ; la résistance de la section est garantie, lorsqu'elle supporte ces chargements enveloppes.

Conditions générales

Le module DYN ne peut être utilisé qu'après enregistrement en base de données, par le module PH3, d'au moins une structure sauvegardée (voir chapitre 8, commande SAUVER).

Mode d'analyse des données

Les commandes à délimiteur de fin du module DYN peuvent être rédigées de manière totalement libre (du point de vue de leur découpage en lignes), les libellés-types intégrés à leur présentation étant purement indicatifs.

Elles sont analysées en totalité, dans l'ordre de leur introduction (interprétation) ; il peut être demandé au module DYN de vérifier simplement les commandes, sans les exécuter.

Éditions

L'écho des commandes est produit au fur et à mesure de leur interprétation ; toute commande erronée est suivie de message(s) d'erreur(s).

Le fichier de résultats contient toujours un rappel des entités introduites, le produit de leur prétraitement, les effets détaillés, produits par les commandes de calcul et les entités dont l'édition optionnelle a été demandée en complément ; certains résultats intermédiaires sont édités, également sur option.

Fichier export

Contient toutes les commandes CAS DE CHARGE générées éventuellement pour le module PH3.

Sommaire

Commande	Page
11.1 - DYNAMIQUE	11-7
11.2 - UNITES	11-8
11.3 - MASSES	11-9
11.4 - STRUCTURE	11-12
11.5 - SEQUENCES.....	11-13
11.6 - MODES.....	11-14
11.7 – SELECTION MODES	11-18
11.8 – AMORTISSEMENT STRUCTURAL MODAL	11-21
11.9 - AMORTISSEMENT STRUCTURAL ELEMENTAIRE	11-23
11.10 - AMORTISSEMENT STRUCTURAL DIRECT	11-25
11.11 - AMORTISSEMENT AERODYNAMIQUE	11-27
11.12 - ADMITTANCE MODALE	11-29
11.13 - CARACTERISTIQUES AERODYNAMIQUES.....	11-31
11.14 - VENT	11-37
11.15 - REPONSE MODALE VENT	11-41
11.16 - SPECTRE.....	11-48
11.17 - REPONSE MODALE SEISME.....	11-51
11.18 - ACTION DETERMINISTE	11-55
11.19 - ACTION ACCIDENTELLE.....	11-60
11.20 - ACTION STOCHASTIQUE VENT.....	11-61
11.21 - REPONSE TEMPORELLE.....	11-65
11.22 - REPONSE TEMPORELLE PAR SUPERPOSITION	11-76
11.23 - FIN	11-80

11.1 - DYNAMIQUE

DYNAMIQUE [* { VERIFIER
TITRE titre_session }] ;

Paramètres

- titre_session : intitulé attribué au fichier de commandes, qui sera reproduit en tête des résultats du module DYN, s'il est fourni (chaîne de caractères).

Fonctions

Cette commande identifie un fichier d'étude dynamique et débute une « session » d'utilisation du module DYN.

En mode VÉRIFICATION, le module DYN contrôle la syntaxe et la logique des commandes, sans effectuer les calculs demandés ; le nombre d'erreurs détectables est illimité.

En mode EXÉCUTION (option VERIFIER non utilisée), les commandes validées sont exécutées et certains résultats de calculs peuvent être enregistrés.

Conditions d'emploi

- Doit figurer au début du fichier de commandes.

Conseils méthodologiques

- Vérifier systématiquement les commandes avant de lancer un calcul important.

Exemples

```
DYNAMIQUE;
.....
FIN;
```

Ce libellé de la commande DYNAMIQUE sur deux lignes permet d'activer, ou de désactiver le mode VÉRIFICATION, en supprimant ou rétablissant le caractère "\$" de la première ligne.

```
DYNAMIQUE      $ VERIFIER
TITRE 'VIADUC D'ACCES B, CALCUL AU VENT, SESSION 1';
.....
FIN;
```

Commandes liées

UNITES ; FIN

11.2 - UNITES

UNITES MASSES v_kilogrammes ;

Paramètres

- v_kilogrammes : valeur, en kilogrammes, de l'unité utilisée pour exprimer les masses.

Fonctions

Cette commande désigne l'unité utilisée pour exprimer les masses ; en son absence, la *tonne* est utilisée par défaut (v_kilogrammes = 1000.0).

Conditions d'emploi

- Lorsqu'elle figure, cette commande doit suivre immédiatement la commande DYNAMIQUE.

Exemples

```
DYNAMIQUE;  
$ commande UNITES absente, les masses sont exprimees en tonnes par default  
MASSES ...  
.....
```

```
DYNAMIQUE;  
$ les masses sont exprimees en kilogrammes  
UNITES MASSES 1.0;  
MASSES ...  
.....
```

Commandes liées

DYNAMIQUE ; MASSES

11.3 - MASSES

MASSES titre_masses

$$\left. \begin{array}{l} \text{INITIALES} \left\{ \begin{array}{l} \text{COMPLETES} \\ \text{DIAGONALES} \end{array} \right\} \text{STRUCTURE} \\ \\ \text{SUPPLEMENTAIRES} \left\{ \begin{array}{l} \text{CAS} \langle \text{no_cas} \rangle_{\text{nb_cas}} [\text{STRUCTURE} \text{ nom_structure}] \\ \text{POUTRES} \langle \text{no_pou} \text{ mlp} \text{ iyp} \text{ izp} \rangle_{\text{nb_pou}} \\ \text{ELEMENTS} \langle \text{no_ele} \text{ mle} \text{ iye} \text{ ize} \rangle_{\text{nb_ele}} \\ \text{NOEUDS} \langle \text{no_noe} \text{ mpn} \text{ ixn} \text{ iyn} \text{ izn} \rangle_{\text{nb_noe}} \\ \text{EXTREMITES} \left\langle \left[\begin{array}{l} + \\ - \end{array} \right] \text{no_elx} \text{ mpn} \text{ ixn} \text{ iyn} \text{ izn} \right\rangle_{\text{nb_elx}} \end{array} \right\} \end{array} \right\} ;$$

Paramètres

Les nombres de poutres, d'éléments, de nœuds et d'éléments excentrés recevant une affectation de masses (respectivement nb_pou, nb_ele, nb_noe et nb_elx) sont définis implicitement par les nombres de valeurs fournies correspondantes.

- titre_masses : intitulé attribué au groupe de masses définies (chaîne de caractères) ;
- no_cas : numéro d'un cas de charge de PH3 dont seront tirés les masses ;
- nom_structure : nom de la structure de sauvegarde éventuelle du cas de charge ;
- no_pou, mlp, iyp, izp : numéro d'une poutre, masse linéique et inerties massiques linéiques (selon les axes y et z de ses repères éléments) affectées, lorsque les masses sont réparties sur une série de poutres ;
- no_ele, mle, iye, ize : numéro d'un élément, masse linéique et inerties massiques linéiques (selon les axes y et z de son repère local) affectées, lorsque les masses sont réparties sur une série d'éléments ;
- no_noe, no_elx : numéro d'un nœud, numéro d'un élément, précédé du signe *moins* si on désigne son origine, ou du signe *plus* ou d'aucun signe si on désigne son extrémité (valeur désignant implicitement le nœud non numéroté relié à l'origine ou à l'extrémité de cet élément, par un élément rigide d'excentrement) ;
- mpn, ixn, iyn, izn : masse ponctuelle et inerties massiques (selon les directions OX, OY et OZ du repère global) affectées, lorsque les masses sont concentrées sur une série de nœuds.

Fonctions

Les masses INITIALES de la structure résultent des caractéristiques mécaniques des éléments et des masses volumiques de leurs matériaux constitutifs.

Cette commande permet d'affecter à la structure ses masses initiales et d'ajouter aux masses courantes des masses à répartir sur une série de poutres ou éléments, ou à concentrer sur une série de nœuds (options POUTRES, ELEMENTS, NOEUDS ou EXTREMITES).

Avec l'option SUPPLEMENTAIRES, les masses définies s'ajoutent aux masses initiales.

Avec l'option COMPLETES (retenue par défaut), la matrice des masses d'un élément utilise une fonction d'interpolation linéaire des champs de déplacements et comporte les termes de couplage (entre degrés de liberté de nœuds) dus à l'excentrement de son centre de torsion par rapport à son centre de gravité.

L'inertie massique polaire linéique i_x est calculée à partir de la masse linéique m_l , des inerties massiques linéiques i_y et i_z , et des coordonnées y_c et z_c du centre de torsion en repère principal d'inertie, selon la formule :

$$i_x = i_y + i_z + (y_c^2 + z_c^2) m_l \quad (11.1)$$

Avec l'option DIAGONALES, la matrice des masses d'un élément est réduite à ses termes diagonaux.

Avec l'option STRUCTURE (retenue par défaut), les masses initiales sont calculées et réparties sur les éléments de la structure.

Les numéros des CAS DE CHARGES permettent de prendre les masses correspondant aux charges des superstructures et autres éléments introduits sous forme de CAS DE CHARGE numérotés dans PH3. Les masses correspondantes sont obtenues par division de la force de composante z par g.

Conditions d'emploi

- En l'absence de commande MASSES, la commande MASSES INITIALES COMPLETES STRUCTURE est adoptée et tous les éléments de la structure reçoivent par défaut leurs masses initiales réparties.
- C'est également le cas lorsque la première commande MASSES est en mode masses SUPPLEMENTAIRES ; les masses qu'elle définit s'ajoutent alors aux masses initiales des parties de structure concernées.
- Plusieurs commandes MASSES peuvent se succéder dans une même session ; elles doivent précéder les commandes SEQUENCES et MODES qui utilisent les valeurs de masses qu'elles définissent.
- L'option INITIALES ne peut être introduite que dans la première commande MASSES.
- Les options COMPLETES ou DIAGONALES d'une commande MASSES INITIALES s'appliquent au groupe de commandes MASSES SUPPLEMENTAIRES qui la suivent immédiatement ; il est donc impossible d'utiliser conjointement les options COMPLETES et DIAGONALES pour une même structure.
- Lors d'un calcul de séquences de valeurs propres ou de modes, seuls sont pris en compte les nœuds et éléments actifs de la structure rappelée par la commande STRUCTURE concernée, qu'ils aient reçu ou non une affectation de masses.
- L'affectation de masses à des poutres, éléments ou nœuds se fait indépendamment de leur utilisation effective dans les calculs ; il est donc possible d'affecter des masses « en réserve », utilisables dans divers schémas d'activation.

Conseils méthodologiques

- Les masses s'ajoutant aux masses initiales correspondent en général à celles des parties non prises en compte dans la rigidité de la structure. C'est souvent le cas des entretoises, déviateurs, superstructures, équipages, etc.
- Voir également : chapitre 6, commande MATERIAU, conseils méthodologiques.
- Contrôler la masse totale de la structure, éditée lors du traitement de la commande MODES.

Exemples

```

$ -----
$ la commande UNITES est absente, les masses sont exprimees en tonnes
$ la premiere commande MASSES est en mode SUPPLEMENTAIRES, les masses
$ qu'elle definit s'ajoutent aux masses initiales reparties sur elements
$ ajout de la masse des trois deviateurs a celle de la structure porteuse
$ masses ponctuelles concentrees sur une serie de noeuds, inerties nulles
$ -----
MASSES 'STRUCTURE PORTEUSE + DEVIATEURS'
  SUPPLEMENTAIRES  NOEUDS
$  no_noe mpn      ixn, iyn, izn
  370   2.00      3*0.00
  870   3.00      3*0.00
  1370  2.00      3*0.00;
$ -----
$ ajout de la masse des superstructures aux masses courantes, masses
$ reparties sur une serie de poutres, excentrees selon les axes z
$ de leurs reperes elements, inerties iyp non nulles, inerties izp nulles
$ l'option COMPLETEES s'appliquera par default aux matrices des masses
$ -----
MASSES 'STRUCTURE PORTEUSE + DEVIATEURS + SUPERSTRUCTURES'
  SUPPLEMENTAIRES  POUTRES
$                mlp  iyp  izp
  << (no_pou)  4.00 5.00 0.00 > no_pou = 1 A 3 >;
$ -----
$ ajout de la masse des equipements aux masses courantes, masses
$ non excentrees reparties sur une serie d'elements, inerties nulles
$ -----
MASSES 'STRUCTURE PORTEUSE + DEVIATEURS + SUPERSTRUCTURES + EQUIPEMENTS'
  SUPPLEMENTAIRES  ELEMENTS
$                mle  iye  ize
  << (no_ele)  2.00 0.00 0.00 > no_ele = 10 A 1720 INC 10 >;
.....
$ -----
$ Les masses initiales de la structure porteuse sont declarees diagonales
$ -----
MASSES 'STRUCTURE PORTEUSE'
  INITIALES  DIAGONALES  STRUCTURE;
.....

```

Commandes liées

DYNAMIQUE ; UNITES ; SEQUENCES ; MODES ; REponse TEMPoreLLE
CAS DE CHARGE (PH3)

11.4 - STRUCTURE

STRUCTURE nom_structure ;

Paramètres

- nom_structure : nom d'une structure sauvegardée.

Fonctions

Cette commande provoque le rappel d'une structure sauvegardée, sur laquelle seront effectués les calculs dynamiques.

Dans la suite de ce chapitre, $[M]$ désigne sa matrice des masses et $[K]$, sa matrice de rigidité.

Si la structure est sauvegardée lors d'un calcul linéaire, c'est sa matrice de rigidité linéaire élastique qui est utilisée ; si elle est sauvegardée lors d'un calcul non linéaire géométrique et/ou mécanique, c'est sa matrice de rigidité tangente qui est utilisée.

Conditions d'emploi

- La structure rappelée doit être préalablement enregistrée en base de données, à l'aide de la commande SAUVER du module PH3 (voir chapitre 8).
- La structure sauvegardée ne doit pas provoquer d'instabilités (dues par exemple au non placement d'articulations reliant des parties d'ouvrage).
- Le rappel d'une structure sauvegardée est obligatoire, avant introduction des commandes SEQUENCES , MODES et CALCUL TEMPOREL qui s'y rapportent, et son effet est rémanent.
- Cette commande ne peut pas être répétée donc plusieurs STRUCTURES ne peuvent pas être définies dans un même fichier.
- Le remplacement d'une structure rappelée est permis durant une même session, afin d'effectuer des calculs dynamiques à différentes étapes de la construction.

Exemples

```
$ -----
$ etude du fleau 1
$ -----
STRUCTURE  FLEAU_1;
SEQUENCES  FREQUENCES  0 100 1;
.....

$ -----
$ etude du fleau 2
$ -----
STRUCTURE  FLEAU_2;
SEQUENCES  FREQUENCES  0 100 1;
.....
```

Commandes liées

DYNAMIQUE ; SEQUENCES ; MODES ; REPONSE TEMPORELLE

11.5 - SEQUENCES

SEQUENCES

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{FREQUENCES } \text{frequence_min } \text{frequence_max } [\text{pas_frequence}] \\ \text{PERIODES } \text{periode_min } \text{periode_max } [\text{pas_periode}] \end{array} \right\};$$

Paramètres

- `frequence_min`, `frequence_max` : fréquence minimale et maximale délimitant la plage à étudier ;
- `pas_frequence` : pas de découpage de la plage de fréquences ;
- `periode_min`, `periode_max` : période minimale et maximale délimitant la plage à étudier ;
- `pas_pperiode` : pas de découpage de la plage de périodes.

Fonctions

Cette commande définit une plage de FRÉQUENCES ou de PÉRIODES, à découper en intervalles, selon un pas régulier facultatif et détermine le nombre de modes de vibration de la structure étudiée situés à l'intérieur de chacun de ces intervalles. En l'absence de pas de découpage, un seul intervalle confondu avec la plage de fréquences ou de périodes est pris en compte pour ce calcul.

Le nombre de valeurs propres comprises entre 0.0 et une valeur positive λ est le nombre de pivots négatifs de la matrice $[K] - \lambda [M]$; le nombre de valeurs propres situées à l'intérieur d'un intervalle donné s'obtient par différence, en affectant successivement à λ , les deux valeurs limites de l'intervalle.

Conditions d'emploi

- Cette commande doit être précédée des commandes `MASSES` et `STRUCTURE`.

Conseils méthodologiques

- Utiliser cette commande pour obtenir rapidement des valeurs approchées de périodes et de fréquences.

Exemples

```
MASSES ...
.....
$ etude dynamique a la mise en service
STRUCTURE STRUSERV;
$ etude frequences dans plage 0 .. 100 Hertz decoupee selon pas de 1 Hertz
SEQUENCES FREQUENCES 0 100 1;
$ etude periodes dans plage 2 .. 3 secondes (pas absent, un intervalle)
SEQUENCES PERIODES 2.0 3.0;
```

Commandes liées

DYNAMIQUE ; MASSES ; STRUCTURE

11.6 - MODES

MODES SOUS_ESPACE titre_modes NOMBRE nb_premiers_modes

$$\left[\begin{array}{l} * \left\{ \begin{array}{l} \text{DIMENSION} \quad \text{dim_espace} \\ \text{PRECISION} \quad \text{eps_vp_1} \quad \text{eps_vp_2} \\ \text{ITERATIONS} \quad \text{nb_iter_1} \quad \text{nb_iter_2} \\ \text{FACTEUR_MASSE} \quad \text{facteur} \\ \text{CONTROLLER} \\ \text{NORME} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{MASSE} \\ \text{ELASTIQUE} \\ \text{MAX} \end{array} \right\} \\ \text{ENREGISTRER} \quad \text{no_premier_mode} \quad [\text{nb_modes_enr}] \\ \text{EDITER} \\ \text{REUTILISER} \end{array} \right. \\ \text{CALCULES} \end{array} \right];$$

Paramètres

- titre_modes : intitulé attribué aux modes (chaîne de caractères) ;
- nb_premiers_modes : nombre de modes demandés ; doit être positif et inférieur ou égal au nombre total de degrés de liberté des nœuds ayant reçu une affectation de masses, directement, ou indirectement via au moins un de leurs éléments adjacents ;
- dim_espace : nombre de vecteurs dans le sous-espace ; sa valeur calculée par défaut est : $\max(\text{nb_premier_modes} + 8, 1.25 \times \text{nb_premier_modes})$; lorsqu'il est fourni, il doit être supérieur à nb_premiers_modes ;
- eps_vp_1, eps_vp_2 : précisions de calcul des vecteurs propres pour la méthode de résolution du sous-espace et de Jacobi ; par défaut, ces valeurs sont fixées à : 1.0E-8 et 1.0E-12 ;
- nb_iter_1, nb_iter_2 : nombres maximaux d'itérations pour la méthode de résolution du sous-espace et de Jacobi ; par défaut, ces valeurs sont fixées à 25 et 50 ;
- facteur : facteur de multiplication des masses permettant d'obtenir un système mieux conditionné ; par défaut, cette valeur est fixée à 1000.0 ;
- no_premier_mode : numéro d'enregistrement du premier mode ; les modes sont enregistrés en base de données, si nécessaire, sous les numéros : no_premier_mode à no_premier_mode + nb_premiers_modes - 1, qui doivent rester positifs et inférieurs à 90_000.
- nb_modes_enr : Nombre de modes à enregistrer en base de données. Par défaut, ce nombre est égal au nombre de modes calculés.

Fonctions

Cette commande déclenche le calcul d'un nombre imposé de modes de vibration de la structure étudiée, en partant de la plus petite valeur propre ou fréquence ; ces « premiers modes » sont numérotés consécutivement à partir de un (numéros d'ordre).

On utilise la méthode itérative dite du « sous-espace », qui consiste à déterminer l'ensemble des vecteurs propres d'un sous-espace arbitraire initial et à converger par itérations successives vers la solution du problème général.

Les paramètres de contrôle de la convergence (dimension du sous-espace, précisions de calcul, nombres maximaux d'itérations, facteur multiplicateur des masses) sont fixés par défaut et modifiables. Le paramètre `dim_espace` est important pour accélérer la vitesse de convergence. Si l'on constate que le processus itératif ne progresse que lentement il faut augmenter cette valeur de 10% à 20% par rapport à la valeur par défaut.

Si l'ensemble des critères de convergence n'est pas satisfait pour tous les modes demandés, un message d'erreur est émis et l'exécution est interrompue.

Avec l'option `CONTROLLER`, le nombre de valeurs propres déterminées par la méthode des sous-espaces est comparé à celui obtenu par la méthode de comptage ; s'ils ne coïncident pas, un message d'erreur est émis et l'exécution est interrompue.

Avec l'option `NORME`, les vecteurs propres peuvent être normalisés selon l'une des méthodes suivantes :

- `MASSE` : le produit $\{X_i\}^T [M] \{X_i\}$ est fixé à 1.0 pour chaque vecteur propre $\{X_i\}$; c'est la norme retenue par défaut ;
- `ELASTIQUE` : le produit $\{X_i\}^T [K] \{X_i\}$ est fixé égal à 1.0 pour chaque vecteur propre $\{X_i\}$;
- `MAX` : la valeur maximale du déplacement est fixée à 1.0.

Avec l'option `ENREGISTRER`, les vecteurs propres seront enregistrés en base de données sous une suite de numéros consécutifs (en général différents de leurs numéros d'ordre) dont on fournit la valeur de départ ; ce sont des `EFFETS` de type `MODES` invocables par le module `RES` ; par défaut, aucun mode n'est enregistré. Cette option **n'est pas utile** pour sauvegarder les modes pour un calcul de `REPONSE MODALE` ultérieur qui est l'objet de l'option `REUTILISER` ni pour le calcul des `REPONSES MODALES` à la suite de cette commande car les vecteurs propres restent en mémoire durant toute la session de calcul. Le paramètre `nb_modes_enr` permet de réduire l'espace occupé en base de données en ne stockant que les premiers modes significatifs du projet.

Avec l'option `REUTILISER`, les vecteurs propres sont sauvegardés pour un calcul ultérieur via l'option `CALCULES`.

Avec l'option `CALCULES`, les modes de vibration requis sont simplement extraits de la sauvegarde réalisée avec l'option `REUTILISER` mise en œuvre dans un calcul précédent.

Par défaut, les différents paramètres associés à chaque mode (facteur de participation, masse généralisée, etc.) sont édités. Avec l'option `EDITER`, les vecteurs propres sont édités en complément.

Dans le cas d'une structure issue d'un calcul non linéaire, les efforts dans les éléments sont calculés à partir de leurs matrices de rigidité tangentes.

Les contraintes tangentes et normales y sont calculées sur la base du comportement élastique des matériaux, sauf en cas de non-linéarité mécanique ; dans ce cas, les contraintes normales dans les éléments concernés sont frappées d'un coefficient infiniment grand et non exploitables.

Conditions d'emploi

- Cette commande doit obligatoirement être précédée de la commande `STRUCTURE`.
- Un mode de vibration est remplacé en base de données lorsqu'il est redéfini, avec l'option `ENREGISTRER`.

- Le numéro d'identification d'un EFFET déjà enregistré par les modules PH3, ENV, DYN ou ETU (selon la terminologie employée par le module ETU, voir tableau 12.1) ne peut être utilisé pour désigner un MODE de vibration enregistré.
- L'Option CALCULES n'est utilisable que si un calcul précédent de MODES a été réalisé avec l'option REUTILISER.

Conseils méthodologiques

- En général, un faible nombre de modes de vibration est suffisant pour représenter de manière significative le comportement d'une structure, et une seule commande MODES peut suffire à les calculer.
- Ne modifier les paramètres de contrôle de la convergence pris par défaut qu'en l'absence de convergence du schéma de résolution.
- Utiliser systématiquement l'option CONTROLER.
- Réduire le nombre de modes enregistrés au strict besoin en termes de visualisation sous RES de ceux-ci.

Exemples

```

$ -----
$ etude du fleau 1
$ -----
STRUCTURE FLEAU_1;
.....
$ -----
$ recherche des cinq premiers modes de vibration avec controle par comptage
$ les parametres de controle de la convergence par default sont conservees
$ par default aussi, les vecteurs propres sont normes en MASSE et non edites
$ les vecteurs propres sont enregistres en
$ base de donnees sous les MODES 101 a 105
$ -----
MODES SOUS ESPACE 'FLEAU 1, 5 PREMIERS MODES DE VIBRATION'
      NOMBRE 5 CONTROLER
      ENREGISTRER 101;

$ -----
$ etude du fleau 2
$ -----
STRUCTURE FLEAU_2;
.....
$ -----
$ recherche de mille modes de vibration avec controle par comptage
$ les parametres de controle de la convergence par default sont conservees
$ les vecteurs propres sont normes en valeur MAX et edites
$ les 10 premiers vecteurs propres sont enregistres en
$ base de donnees sous les MODES 201 a 210
$ -----
MODES SOUS ESPACE 'FLEAU 2, 10 PREMIERS MODES DE VIBRATION'
      NOMBRE 10 CONTROLER ENREGISTRER 201 10 EDITER NORME MAX;

$ -----
$ les deux commandes ci-dessous sont equivalentes, en raison des options
$ et valeurs par default en vigueur; la dimension calculee par default du
$ sous-espace (avec nb_premiers_modes = 10) est : min(10+8, 2x10) = 18
$ -----
MODES SOUS ESPACE 'TITRE' NOMBRE 10
      CONTROLER ENREGISTRER 11 EDITER;
.....
MODES SOUS ESPACE 'TITRE' NOMBRE 10
      DIMENSION 18 PRECISIONS 1.0E-8 1.0E-12
      ITERATIONS 25 50 FACTEUR_MASSE 1000.0

```



```
CONTROLER  NORME  MASSE  ENREGISTRER  11  EDITER;

$ -----
$ Calcul de modes avec REUTILISATION ULTERIEURE
$ -----
MODES  SOUS_ESPACE  'TITRE'  NOMBRE  1000
      CONTROLER REUTILISER;
FIN ;
$ Nouvelle session avec réutilisation des modes calculés

DYNAMIQUE
.....
MODES  SOUS_ESPACE  'TITRE'  NOMBRE  1000  CALCULES

----
----
REPONSE ----- ;

FIN ;
```

Commandes liées

DYNAMIQUE ; MASSES ; STRUCTURE ; AMORTISSEMENT AERODYNAMIQUE
SELECTION MODES ; ADMITTANCE MODALE ; REPONSE MODALE VENT
AMORTISSEMENT STRUCTURAL ; REPONSE MODALE SEISME

11.7 – SELECTION MODES

SELECTION MODES titre_modes_selectionnes

{	NOMBRE	nb_modes_selectionnes	}	}											
	LISTE	$\langle \text{no_mode_selectionne} \rangle_{\text{nb_modes}}$													
	FREQUENCES	frequence_min frequence_max													
	PERIODES	periode_min periode_max													
	CRITERES	{			SUFFISANTS	}	}								
								NECESSAIRES	}						
										}	}				
												}	}		
														}	}
	* {	MASSE X pmx	}												
	MASSE Y pmy														
	MASSE Z pmz														
	MASSE XYZ pmxyz														
	FREQUENCE frequence_sup														
	PERIODE periode_inf														

Paramètres

Cette commande s'applique à certains des premiers modes de vibration, calculés par la commande MODES et numérotés consécutivement, de 1 à nb_premiers_modes, dans l'ordre des fréquences croissantes (numéros d'ordre).

Le paramètre nb_modes est défini implicitement par le nombre de valeurs fournies correspondantes.

- titre_modes_selectionnes : intitulé attribué aux modes sélectionnés (chaîne de caractères) ;
- nb_modes_selectionnes : nombre de modes consécutifs à sélectionner, à partir du premier compris ; doit être inférieur ou égal à nb_premiers_modes.
- no_modes_selectionne : numéro d'ordre d'un mode à sélectionner ; doit être inférieur ou égal à nb_premiers_modes ; l'ordre d'entrée des numéros n'est pas imposé ;
- frequence_min, frequence_max : les modes dont les fréquences se situent dans la plage délimitée par ces fréquences minimale et maximale sont sélectionnés ;
- periode_min, periode_max : les modes dont les périodes se situent dans la plage délimitée par ces périodes minimale et maximale sont sélectionnés ;
- pmx, pmy, pmz : pourcentages minimaux de masse totale que doivent mobiliser *ensemble* les modes sélectionnés, selon les directions OX, OY ou OZ du repère global (20.0 signifie 20 %) ;
- pmxyz : pourcentage minimum de masse totale que doivent mobiliser *ensemble* les modes sélectionnés, quelle que soit la direction considérée du repère global ;
- frequence_sup : les modes dont les fréquences sont inférieures à cette fréquence plafond sont sélectionnés ;
- periode_inf : les modes dont les périodes sont supérieures à cette période plancher sont sélectionnés.

Fonctions

Cette commande permet de sélectionner, parmi les modes de vibration calculés par la dernière commande MODES, ceux qui seront utilisés dans les calculs de réponses modales.

Si aucun mode ne vérifie les critères spécifiés, un message d'erreur est émis et l'exécution est interrompue.

Si la sélection opère selon un critère simple, on peut imposer un NOMBRE de modes, une LISTE de numéros d'ordre, une plage de FRÉQUENCES ou une plage de PÉRIODES.

Si elle fait intervenir plusieurs CRITÈRES, on peut imposer des pourcentages minimaux de la MASSE totale à mobiliser (pour l'ensemble des modes, selon une ou plusieurs directions), une FRÉQUENCE plafond, ou une PÉRIODE plancher.

Les modes sélectionnés doivent vérifier au moins un critère s'ils sont déclarés SUFFISANTS, ou tous les critères s'ils sont déclarés NÉCESSAIRES.

Si fp_i est le facteur de participation du mode i selon une direction Δ , M_i , la masse associée au mode i et M_t , la masse totale, nous avons, pour le vecteur propre $\{X_i\}$:

$$fp_i = \frac{\{X_i\}^T [M] \{\Delta\}}{\{X_i\}^T [M] \{X_i\}} \quad (11.2)$$

$$M_i = fp_i^2 \cdot (\{X_i\}^T [M] \{X_i\}) \quad (11.3)$$

$$M_t = \{\Delta\}^T [M] \{\Delta\} \quad (11.4)$$

Et le pourcentage de masse mobilisée est donné par le rapport :

$$100 \cdot \frac{M_i}{M_t} \quad (11.5)$$

Conditions d'emploi

- Si elle figure, cette commande doit être précédée d'une commande MODES.
- En l'absence de sélection, tous les modes calculés sont sélectionnés par défaut.

Conseils méthodologiques

- Utiliser cette commande pour s'assurer que les modes sélectionnés vérifient certains critères.

Exemples

```

$ -----
$ etude du fleau 1
$ -----
STRUCTURE FLEAU_1;
.....
MODES SOUS ESPACE 'FLEAU 1, 10 PREMIERS MODES DE VIBRATION'
  NOMBRE 10
  CONTROLER
  EDITER
  NORME MAX
  ENREGISTRER 101;
$ -----
$ selection d'un NOMBRE fixe de modes
$ -----
SELECTION MODES
  'MODES 1 A 4'
  NOMBRE 4;
.....
$ -----
$ selection de modes par LISTE de numeros d'ordre
$ -----
SELECTION MODES
  'MODES 1, 3, 5 et 7'
  LISTE 1 3 5 7;
.....
$ -----
$ selection de modes dans une plage de FREQUENCES
$ -----
SELECTION MODES
  'MODES DE FREQUENCE COMPRISE ENTRE 1 ET 2 Hertz'
  FREQUENCES 1 2;
.....
$ -----
$ selection de modes selon un seul critere
$ (NECESSAIRES equivaut a SUFFISANTS dans ce cas)
$ -----
SELECTION MODES
  'MODES, DEPLACEMENT SELON OX, AU MOINS 0.20 DE MASSE TOTALE MOBILISEE'
  CRITERES NECESSAIRES MASSE X 20;
.....
$ -----
$ selection de modes selon deux criteres NECESSAIRES
$ -----
SELECTION MODES
  'MODES, FREQUENCE < 100 Hertz ET AU MOINS 0.3 DE MASSE TOTALE MOBILISEE'
  CRITERES NECESSAIRES
  FREQUENCE 100
  MASSE XYZ 30;
.....
$ -----
$ selection de modes selon deux criteres SUFFISANTS
$ -----
SELECTION MODES
  'MODES, FREQUENCE < 100 Hertz OU AU MOINS 0.3 DE MASSE TOTALE MOBILISEE'
  CRITERES SUFFISANTS
  FREQUENCE 100
  MASSE XYZ 30;

```

Commandes liées

DYNAMIQUE ; MODES ; AMORTISSEMENT STRUCTURAL

AMORTISSEMENT AERODYNAMIQUE ; ADMITTANCE MODALE

REPOSE MODALE VENT ; REPOSE MODALE SEISME

11.8 – AMORTISSEMENT STRUCTURAL MODAL

AMORTISSEMENT STRUCTURAL MODAL titre_amortissement_stru

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{DECREMENT_LOGARITHMIQUE} \\ \text{POURCENTAGE_CRITIQUE} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{MOYEN} \text{ cas_moyen} \\ \text{VARIABLE} \langle \text{no_mode} \text{ cas_mode} \rangle_{\text{nb_modes}} \end{array} \right\};$$

Paramètres

Cette commande s'applique à certains des premiers modes de vibration, calculés par la commande MODES et numérotés consécutivement, de 1 à nb_premiers_modes, dans l'ordre des fréquences croissantes (numéros d'ordre).

Le paramètre nb_modes est défini implicitement par le nombre de valeurs fournies correspondantes.

- titre_amortissement_stru : intitulé attribué aux coefficients d'amortissement structural (chaîne de caractères) ;
- cas_moyen : coefficient d'amortissement structural moyen affecté à tous les modes ;
- no_mode : numéro d'ordre d'un mode ; doit être inférieur ou égal à nb_premiers_modes ;
- cas_mode : coefficient d'amortissement structural affecté au mode no_mode.

Fonctions

Cette commande permet d'affecter des coefficients d'amortissement structural aux différents modes de vibration de la structure étudiée, en vue d'un calcul modal ou temporel.

Les options DECREMENT_LOGARITHMIQUE et POURCENTAGE_CRITIQUE désignent l'unité utilisée.

L'amortissement peut être affecté globalement par un coefficient moyen, ou à raison d'un coefficient par mode.

Avant toute affectation d'amortissement mode par mode, tous les coefficients sont mis à 0.0, ce qui correspond à leurs valeurs par défaut.

Conditions d'emploi

- Cette commande doit être unique et doit précéder les commandes REPONSE MODALE ou REPONSE TEMPORELLE qui s'y rapportent.
- Elle peut précéder la commande MODES car l'existence des modes pointés n'est pas vérifiée.
- La liste des modes renseignés peut-être partielle car la présence d'un coefficient d'amortissement affecté à un mode n'est vérifiée que lorsqu'il s'avère utile à un calcul de réponse modale au vent.
- Cette commande n'est pas exclusive par rapport à la commande AMORTISSEMENT STRUCTURAL ELEMENTAIRE .

Exemples

```
$ -----  
$ un coefficient d'amortissement structural moyen est affecte sous forme  
$ de decrement logarithmique, a tous les modes calcules ou a venir  
$ -----  
AMORTISSEMENT STRUCTURAL MODAL 'AMORTISSEMENT STRUCTURAL MOYEN'  
  DECREMENT_LOGARITHMIQUE  
  MOYEN 0.12;  
  
$ -----  
$ un coefficient d'amortissement structural est affecte sous forme de  
$ pourcentage critique aux modes 1 a 5 calcules ou a venir  
$ -----  
AMORTISSEMENT STRUCTURAL MODAL 'AMORTISSEMENT STRUCTURAL VARIABLE'  
  POURCENTAGE_CRITIQUE  
  VARIABLE  
  1 2.0  2 3.0  3 4.0  4 5.0  5 6.0;
```

Commandes liées

DYNAMIQUE ; MODES ; SELECTION MODES ; REPONSE MODALE VENT
REPONSE MODALE SEISME ; REPONSE TEMPORELLE

11.9 - AMORTISSEMENT STRUCTURAL ELEMENTAIRE

AMORTISSEMENT STRUCTURAL ELEMENTAIRE titre_amortissement_stru

$$\left. \begin{array}{l} \text{DECREMENT_LOGARITHMIQUE} \\ \text{POURCENTAGE_CRITIQUE} \end{array} \right\}$$

$$^{**} \left. \begin{array}{lll} \text{MATERIAU} & \text{particule} & \text{am} \\ \text{APPUI} & \text{particule} & \text{am} \\ \text{ARTICULATION} & \text{particule} & \text{am} \end{array} \right\} ;$$

Paramètres

- titre_amortissement_stru : intitulé attribué aux coefficients d'amortissement structural (chaîne de caractères) ;
- particule : particule de sélection, assimilable à un nom, des matériaux , des appuis ou des articulations auxquels s'appliquent la valeur de l'amortissement. Tout matériau, toute articulation ou tout appui dont le nom contient cette particule est concerné ;
- am : coefficient d'amortissement structural affecté au matériau , appui ou articulation .

Fonctions

Cette commande permet d'affecter des coefficients d'amortissement structural à des matériaux , des appuis ou des articulations. Ces coefficients d'amortissement sont utilisés sur option lors du calcul de la réponse modale au vent et aux séismes. Ils sont également utilisés sur option lors d'un calcul dynamique temporel .

Le calcul de l'amortissement associé au mode i est le suivant :

$$\xi^i = \frac{\sum_{j=1,n} \xi_j E_j^i}{\sum_{j=1,n} E_j^i}$$

Dans lequel E_j^i représente l'énergie dissipée par l'élément j pour le mode i et ξ_j est l'amortissement affecté à l'élément j .

Les options DECREMENT_LOGARITHMIQUE et POURCENTAGE_CRITIQUE désignent l'unité utilisée .

Par défaut, les matériaux, les appuis et les articulations n'ont aucune propriété d'amortissement .

Conditions d'emploi

- Cette commande doit être unique et doit précéder les commandes REPONSE MODALE ou REPONSE TEMPORELLE qui s'y rapportent .
- Cette commande n'est pas exclusive par rapport à la commande AMORTISSEMENT STRUCTURAL MODAL .

Exemples

```
$ -----  
$ un coefficient d'amortissement structural elementaire est affecte sous  
$ forme de decrement logarithmique a tous les appuis et materiaux  
$ -----  
AMORTISSEMENT STRUCTURAL ELEMENTAIRE 'AMORTISSEMENT STRUCTURAL'  
  DECREMENT_LOGARITHMIQUE  
  APPUIS          app  0.12  
  MATERIAUX      bet  0.12;
```

```
$ -----  
$ un coefficient d'amortissement structural elementaire est affecte sous  
$ forme de pourcentage critique aux constituants de la structure  
$ -----  
AMORTISSEMENT STRUCTURAL ELEMENTAIRE 'AMORTISSEMENT STRUCTURAL'  
  POURCENTAGE_CRITIQUE  
  APPUIS          app1 2.0  
  APPUIS          app2 3.0  
  ARTICULATIONS  art1 2.0  
  ARTICULATIONS  art2 3.0  
  MATERIAU       bet  2.0  
  ACIERS         aci  3.0;
```

Commandes liées

DYNAMIQUE ; MODES ; REPONSE MODALE VENT

REPONSE MODALE SEISME ; REPONSE TEMPORELLE

11.10 - AMORTISSEMENT STRUCTURAL DIRECT

AMORTISSEMENT STRUCTURAL DIRECT titre_amortissement_stru

```
** { APPUI          particule loi COMPOSANTE no_comp PARAMETRES < p > }
   { ARTICULATION particule loi COMPOSANTE no_comp PARAMETRES < p > }
;
```

Paramètres

- titre_amortissement_stru : intitulé attribué aux coefficients d'amortissement structural (chaîne de caractères) ;
- particule : particule de sélection, assimilable à un nom, des appuis ou des articulations auxquels s'applique la valeur de l'amortissement direct. Toute articulation ou tout appui dont le nom contient cette particule est concerné ;
- loi : nom de la loi définissant l'amortissement direct . Les lois proposées sont les suivantes : LINEAIRE, PARABOLIQUE, CUBIQUE et PUISSANCE.
- no_comp : numéro de la composante de vitesse selon laquelle agit l'amortissement. Ce numéro est compris entre 1 et 6 .
- p : liste des paramètres définissant la force F en fonction de la vitesse selon la composante spécifiée.
 - Loi LINEAIRE : $F = p_1.v.$
 - Loi PARABOLIQUE $F = p_1v^2 + p_2v$
 - Loi CUBIQUE $F = p_1v^3 + p_2v^2 + p_3v$
 - Loi PUISSANCE $F = p_1v^{p^2}$

Fonctions

Cette commande permet d'affecter des raideurs d'amortissement structural à des degrés de liberté d'appuis ou d'articulations. Ces raideurs d'amortissement homogènes à un rapport force/vitesse ou moment/(radians/s) sont utilisés optionnellement lors d'un calcul dynamique temporel .

Par défaut, les raideurs d'amortissement direct sont nulles.

Conditions d'emploi

- Cette commande doit être unique et doit précéder la commande REPONSE TEMPORELLE qui s'y rapporte .
- Cette commande n'est pas exclusive par rapport à la commande AMORTISSEMENT STRUCTURAL MODAL et AMORTISSEMENT STRUCTURAL ELEMENTAIRE.

Exemples

\$ -----
 \$ un coefficient d'amortissement constant est affecte a des appuis et des
 \$ articulations
 \$ -----

```
AMORTISSEMENT  STRUCTURAL DIRECT 'AMORTISSEMENT STRUCTURAL DIRECT'
  APPUIS        APPAMO  CONSTANT COMPOSANTE 1 PARAMETRE 100
  APPUIS        APPAMO  CONSTANT COMPOSANTE 2 PARAMETRE 100
  APPUIS        APPAMO  CONSTANT COMPOSANTE 3 PARAMETRE 100
  ARTICULATION ARTAMO  CONSTANT COMPOSANTE 1 PARAMETRE 100
  ARTICULATION ARTAMO  CONSTANT COMPOSANTE 2 PARAMETRE 100
  ARTICULATION ARTAMO  CONSTANT COMPOSANTE 3 PARAMETRE 100 ;
```

\$ -----
 \$ un coefficient d'amortissement lineaire est affecte a des appuis et des
 \$ articulations
 \$ -----

```
AMORTISSEMENT  STRUCTURAL DIRECT 'AMORTISSEMENT STRUCTURAL DIRECT'
  APPUIS        APPAMO  LINEAIRE COMPOSANTE 1 PARAMETRE 100
  APPUIS        APPAMO  LINEAIRE COMPOSANTE 2 PARAMETRE 100
  APPUIS        APPAMO  LINEAIRE COMPOSANTE 3 PARAMETRE 100
  ARTICULATION ARTAMO  LINEAIRE COMPOSANTE 1 PARAMETRE 100
  ARTICULATION ARTAMO  LINEAIRE COMPOSANTE 2 PARAMETRE 100
  ARTICULATION ARTAMO  LINEAIRE COMPOSANTE 3 PARAMETRE 100 ;
```

Commandes liées

DYNAMIQUE ; AMORTISSEMENT STRUCTURAL MODAL

AMORTISSEMENT STRUCTURAL ELEMENTAIRE ; REPONSE TEMPORELLE

11.11 - AMORTISSEMENT AERODYNAMIQUE

AMORTISSEMENT AERODYNAMIQUE titre_amortissement_aero

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{DECREMENT_LOGARITHMIQUE} \\ \text{POURCENTAGE_CRITIQUE} \end{array} \right\}$$

$$\text{MODAL } \left\{ \begin{array}{l} \text{MOYEN } \text{caa_moyen} \\ \text{VARIABLE } \langle \text{no_mode } \text{caa_mode} \rangle_{\text{nb_modes}} \end{array} \right\} ;$$

Paramètres

Cette commande s'applique à certains des premiers modes de vibration, calculés par la commande MODES et numérotés consécutivement, de 1 à nb_premiers_modes, dans l'ordre des fréquences croissantes (numéros d'ordre).

Le paramètre nb_modes est défini implicitement par le nombre de valeurs fournies correspondantes.

- titre_amortissement_aero : intitulé attribué aux coefficients d'amortissement aérodynamique (chaîne de caractères) ;
- caa_moyen : coefficient d'amortissement aérodynamique moyen affecté à tous les modes ;
- no_mode : numéro d'ordre d'un mode ; doit être inférieur ou égal à nb_premiers_modes ;
- caa_mode : coefficient d'amortissement aérodynamique affecté au mode no_mode.

Fonctions

Cette commande permet d'affecter des coefficients d'amortissement aérodynamique aux différents modes de vibration de la structure étudiée, en vue d'obtenir la partie dynamique de sa réponse modale au vent.

Ils sont utilisés lors du traitement des commandes REPONSE MODALE VENT qui ne font pas appel à l'option AMORTISSEMENT AERODYNAMIQUE CALCULE.

Les options DECREMENT_LOGARITHMIQUE et POURCENTAGE_CRITIQUE désignent l'unité utilisée.

L'amortissement peut être affecté globalement par une valeur moyenne, ou à raison d'un coefficient par mode.

Avant toute affectation d'amortissement mode par mode, tous les coefficients sont mis à 0.0, ce qui correspond à leurs valeurs par défaut.

Conditions d'emploi

- Cette commande facultative et unique doit précéder les commandes REPONSE MODALE VENT qui s'y rapportent.
- Elle peut précéder la commande MODES car l'existence des modes pointés n'est pas vérifiée.
- La liste des modes renseignés peut-être partielle car la présence d'un coefficient d'amortissement affecté à un mode n'est vérifiée que lorsqu'il s'avère utile à un calcul de réponse modale au vent.

Exemples

```

$ -----
$ un coefficient d'amortissement aerodynamique moyen est affecte sous forme
$ de decrement logarithmique, a tous les modes calcules ou a venir
$ -----
AMORTISSEMENT AERODYNAMIQUE 'AMORTISSEMENT AERODYNAMIQUE MOYEN'
  DECREMENT LOGARITHMIQUE
  MODAL MOYEN 0.12;

$ -----
$ un coefficient d'amortissement aerodynamique est affecte sous forme de
$ pourcentage critique aux modes 1 a 5 calcules ou a venir
$ -----
AMORTISSEMENT AERODYNAMIQUE 'AMORTISSEMENT AERODYNAMIQUE VARIABLE'
  POURCENTAGE CRITIQUE
  MODAL VARIABLE
  1 2.0 2 3.0 3 4.0 4 5.0 5 6.0;

```

Commandes liées

DYNAMIQUE ; MODES ; SELECTION MODES
 REPONSE MODALE VENT

11.12 - ADMITTANCE MODALE

ADMITTANCE MODALE titre_admittance

$$\left. \begin{array}{l} \text{MOYENNE} \quad \text{cad_moyen} \\ \text{VARIABLE} \quad \langle \text{no_mode} \quad \text{cad_mode} \rangle_{\text{nb_modes}} \end{array} \right\} ;$$

Paramètres

Cette commande s'applique à certains des premiers modes de vibration, calculés par la commande MODES et numérotés consécutivement, de 1 à nb_premiers_modes, dans l'ordre des fréquences croissantes (numéros d'ordre).

Le paramètre nb_modes est défini implicitement par le nombre de valeurs fournies correspondantes.

- titre_admittance : intitulé attribué aux coefficients d'admittance aérodynamique (chaîne de caractères) ;
- cad_moyen : coefficient d'admittance aérodynamique moyen affecté à tous les modes ;
- no_mode : numéro d'ordre d'un mode ; doit être inférieur ou égal à nb_premiers_modes ;
- cad_mode : coefficient d'admittance aérodynamique affecté au mode no_mode.

Fonctions

Cette commande permet d'affecter des coefficients d'admittance aérodynamique aux différents modes de vibration de la structure étudiée, en vue d'obtenir la partie dynamique de sa réponse modale au vent ou aux séismes.

Ce sont des coefficients de pondération des effets de chaque mode pouvant être affectés globalement par une valeur moyenne, ou à raison d'un coefficient par mode.

Avant toute affectation d'admittance mode par mode, tous les coefficients sont mis à 1.0, ce qui correspond à leurs valeurs par défaut.

Conditions d'emploi

- Cette commande facultative et unique doit précéder les commandes REPONSE MODALE VENT ou REPONSE MODALE SEISME qui s'y rapportent.
- Elle peut précéder la commande MODES car l'existence des modes pointés n'est pas vérifiée.
- La liste des modes renseignés peut-être partielle.

Exemples

```
$ -----  
$ un coefficient d'admittance moyen est affecte a tous les modes  
$ calcules ou a venir  
$ -----
```

```
ADMITTANCE MODALE 'ADMITTANCE MOYENNE'  
MOYENNE 0.75;
```

```
$ -----  
$ un coefficient d'admittance est affecte a chacun des modes 1 a 5  
$ calcules ou a venir  
$ -----
```

```
ADMITTANCE MODALE 'ADMITTANCE VARIABLE'  
VARIABLE  
1 0.75  
2 0.66  
3 0.44  
4 0.65  
5 0.76;
```

Commandes liées

DYNAMIQUE ; MODES ; SELECTION MODES

REPONSE MODALE VENT ; REPONSE MODALE SEISME

11.13 - CARACTERISTIQUES AERODYNAMIQUES

CARACTERISTIQUES AERODYNAMIQUES STRUCTURE titre_caracteristiques

$$\left[\left\{ \begin{array}{l} \text{ABSOLUES} \\ \text{RELATIVES} \end{array} \right\} \right] \left[\left\{ \begin{array}{l} \text{COMPLETES} \\ \text{A_DERIVER} \end{array} \right\} \right] \left[\text{REPERE} \left\{ \begin{array}{l} \text{VENT} \\ \text{PERMUTE} \end{array} \right\} \right]$$

$$** \left\{ \begin{array}{l} \text{SECTION} \quad \text{nom_section} \\ \text{POUTRES} \quad \langle \text{no_poutre} \rangle_{\text{nb_poutres}} \\ \text{E_POUTRES} \quad \langle \text{no_element} \rangle_{\text{nb_elements}} \\ \text{ELEMENTS} \quad \langle \text{no_element} \rangle_{\text{nb_elements}} \\ \langle i \quad B \quad C_{tr} \quad C_{fr} \quad C_{po} \quad C_{mr} \quad [dC_{tr} \quad dC_{fr} \quad dC_{po} \quad dC_{mr}] \rangle_{\text{nb_incidences}} \end{array} \right\} \text{INCIDENCES} \quad \text{nb_incidences} ;$$

Paramètres

Les nombres de poutres et d'éléments recevant une affectation de caractéristiques aérodynamiques (respectivement nb_poutres et nb_elements) sont définis implicitement par les nombres de valeurs fournies correspondantes.

- titre_caracteristiques : intitulé attribué au groupe de caractéristiques aérodynamiques définies (chaîne de caractères) ;
- nom_section, no_poutre, no_element : nom d'une section-type (désignant les éléments courants l'ayant reçu en affectation), numéro d'une poutre ou numéro d'un élément, dont on définit les caractéristiques aérodynamiques ;
- nb_incidences : nombre d'angles d'incidence du vent utilisés pour tabuler les caractéristiques aérodynamiques (limité à 50) ;
- i : angle d'incidence du vent (en degrés, l'amplitude du domaine de variation est limitée à 360.0, l'ordre croissant des valeurs est imposé dans la liste) défini :
 - autour de l'axe $o_d x_d$ et par rapport à l'axe $o_d y_d$ du repère générique de chacune des sections de début des éléments des poutres concernées, en cas d'affectation des caractéristiques aérodynamiques à une série de POUTRES ou à des éléments de poutres par E_POUTRE (figure 11.1, cas 1) ;
 - autour de l'axe o_x et par rapport à l'axe o_y du repère local de chacun des éléments concernés, en cas d'affectation des caractéristiques aérodynamiques à une SECTION-TYPE ou à une série d'ÉLÉMENTS (figure 11.1, cas 2) ;
- B : largeur (positive) d'un élément dans la direction déterminée par l'angle i ;
- C_{tr} , C_{fr} , C_{po} , C_{mr} : coefficient aérodynamique de traînée (doit être positif en repère VENT), de frottement, de portance et de renversement autour de l'axe d'un élément ;
- dC_{tr} , dC_{fr} , dC_{po} , dC_{mr} : dérivées angulaires (ou variation par unité d'angle d'incidence du vent exprimée en *radians*) des coefficients C_{tr} , C_{fr} , C_{po} et C_{mr} .

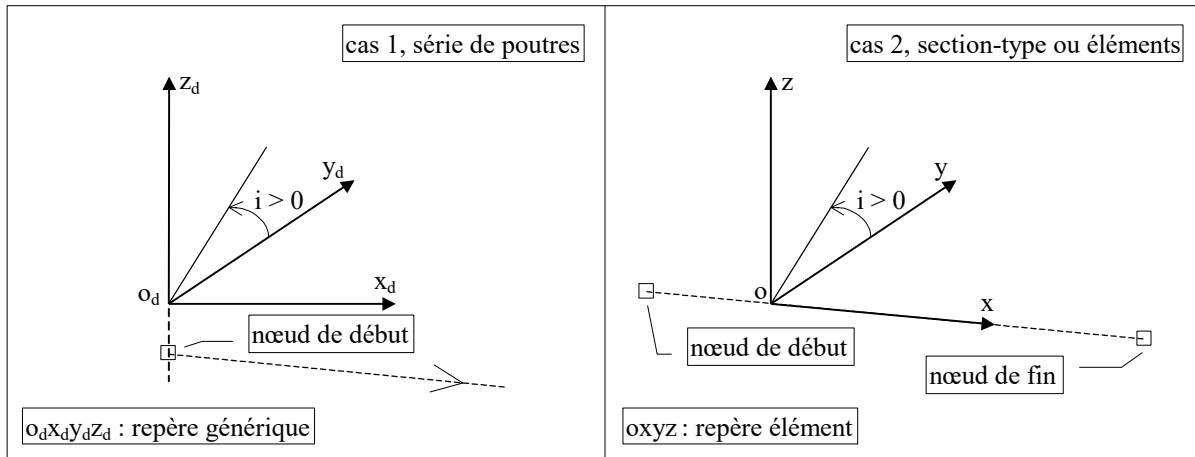


Figure 11.1 - Angles d'incidence de référence pour caractéristiques aérodynamiques

Fonctions

Cette commande permet de définir les caractéristiques aérodynamiques d'une série d'éléments ayant reçu la même affectation de section-type, appartenant à une liste de poutres ou désignés par leurs numéros.

Avec l'option ABSOLUES (retenue par défaut), les éventuelles caractéristiques aérodynamiques précédemment introduites sont annulées.

Avec l'option RELATIVES, les caractéristiques aérodynamiques introduites peuvent se substituer aux anciennes, et les autres caractéristiques aérodynamiques restent inchangées.

Avec l'option COMPLETEES (retenue par défaut), les coefficients aérodynamiques sont fournis avec leurs dérivées angulaires.

Avec l'option A_DERIVER, les coefficients aérodynamiques sont fournis et leurs dérivées angulaires sont calculées.

Avec l'option REPERE VENT (retenue par défaut), les caractéristiques aérodynamiques de chaque élément sont fournies dans un repère de type « vent-élément », lié au vecteur représentant le vent moyen (dit « vecteur vitesse moyenne ») et au repère élément (figure 11.2).

Avec l'option REPERE PERMUTE, les caractéristiques aérodynamiques sont fournies dans un repère de type « entité permuté », lié à l'entité de définition, selon l'option choisie : SECTION, POUTRES, E_POUTRES ou ELEMENTS (figure 11.3).

Les caractéristiques aérodynamiques sont tabulées pour divers angles d'incidence de référence, du vent sur éléments, définis conjointement.

Lors du calcul des effets d'un vent turbulent, son angle d'incidence sur chaque élément est déterminé automatiquement.

Les caractéristiques aérodynamiques associées sont obtenues par interpolation linéaire des valeurs introduites (*toujours réalisée dans le repère vent, figure 11.4*).

Lorsqu'un seul angle d'incidence est fourni, les caractéristiques aérodynamiques des éléments sont supposées constantes, quel que soit l'angle d'incidence du vent.

Les forces exercées par le vent sur un tronçon de discrétisation d'élément (voir commande VENT) se déduisent de ses caractéristiques aérodynamiques et du vecteur vitesse moyenne déterminé en son milieu par les formules suivantes :

$$f_{tr} = \frac{1}{2} \rho \cdot U_p^2 \cdot C_{tr}(i) \cdot B(i) \quad (11.6)$$

$$f_{fr} = \frac{1}{2} \rho \cdot U_t^2 \cdot C_{fr}(i) \quad (11.7)$$

$$f_{po} = \frac{1}{2} \rho \cdot U_p^2 \cdot C_{po}(i) \cdot B(i) \quad (11.8)$$

$$f_{mr} = \frac{1}{2} \rho \cdot U_p^2 \cdot C_{mr}(i) \cdot B^2(i) \quad (11.9)$$

avec :

- ρ : masse volumique de l'air ;
- U_p : norme de la projection du vecteur vitesse moyenne sur un plan perpendiculaire à l'axe de l'élément ;
- U_t : composante tangentielle à l'élément du vecteur vitesse moyenne ;
- $f_{tr}, f_{fr}, f_{po}, f_{mr}$: force de traînée, de frottement et de portance, moment de renversement.

Repère vent

Les caractéristiques aérodynamiques d'une entité (section-type, poutre ou élément) et les forces aérodynamiques associées peuvent être exprimées dans un repère lié au vent moyen de la manière suivante :

- la composante de traînée, f_{tr} , est portée par la projection du vecteur vitesse moyenne sur un plan perpendiculaire à l'axe de l'entité ;
- la composante de frottement, f_{fr} , est en sens inverse de l'axe x du repère entité ;
- la composante de portance, f_{po} , est telle que le trièdre (f_{tr}, f_{fr}, f_{po}) soit direct ;
- le moment de renversement, f_{mr} , autour de l'axe x du repère de l'entité est positif lorsqu'on tourne de l'axe de portance vers l'axe de traînée.

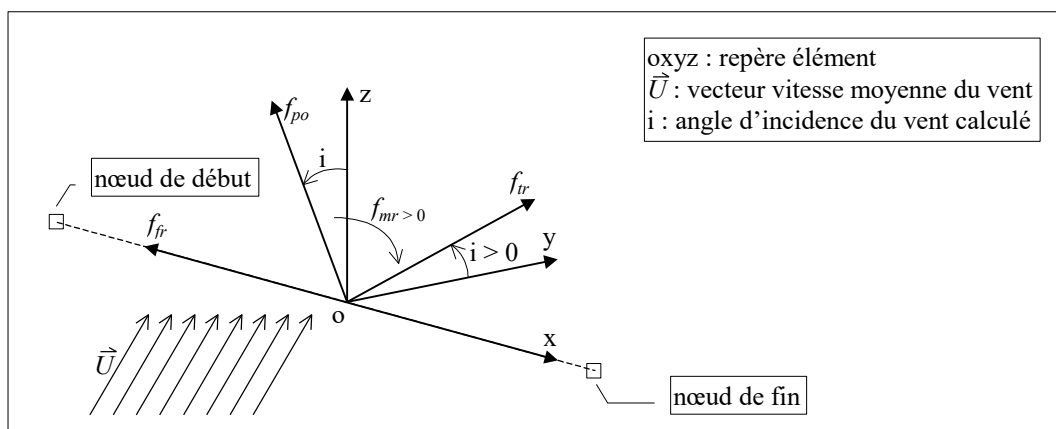


Figure 11.2 - Forces aérodynamiques en repère vent

les dérivées angulaires des coefficients aérodynamiques, éventuellement fournies, sont calculées dans ce repère.

Repère permuté

Elles peuvent être exprimées dans un repère lié au type d'entité choisie pour leur affectation (section-type, poutre ou élément), mais permuté de la manière suivante :

- la composante de traînée, f_{tr} , est portée par l'axe y_e du repère entité ;
- la composante de frottement, f_{fr} , est en sens inverse de l'axe x_e du repère entité ;
- la composante de portance, f_{po} , est telle que le trièdre (f_{tr}, f_{fr}, f_{po}) soit direct ;
- le moment de renversement, f_{mr} , autour de l'axe x_e du repère entité est positif lorsqu'on tourne de l'axe de portance vers l'axe de traînée.

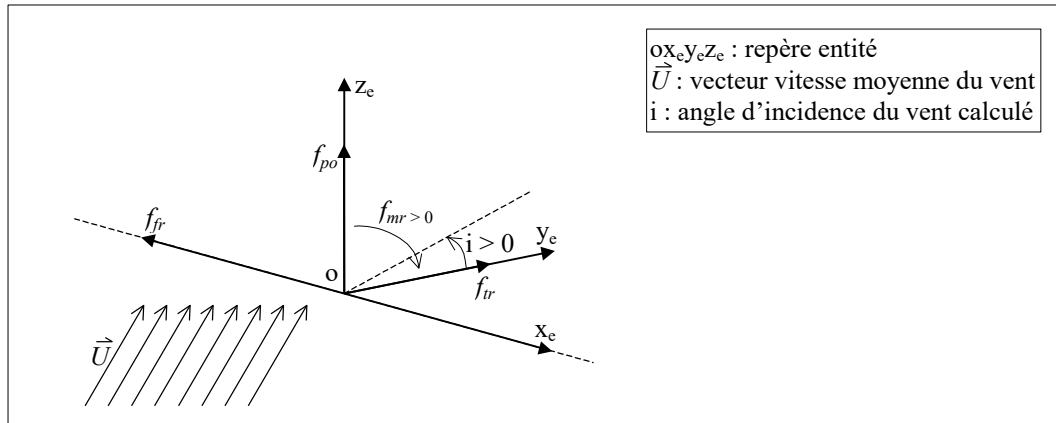


Figure 11.3 - Forces aérodynamiques en repère permuté

les dérivées angulaires des coefficients aérodynamiques, éventuellement fournies, sont calculées dans ce repère.

Le repère entité (servant également à exprimer les angles d'incidence du vent fournis) est :

- le repère élément, en cas d'affectation des caractéristiques aérodynamiques à une section-type ou à une série d'éléments ;
- le repère générique (FIBRE REPERE) de la section de début de l'élément, en cas d'affectation des caractéristiques aérodynamiques à une série de poutres par l'option POUTRES ou à des éléments de poutres par l'option E_POUTRE.

La portance, la traînée et le moment de renversement du repère entité permuté correspondent aux composantes homologues du programme VENTOSE.

Liaison entre repères

Lorsque l'angle d'incidence du vent sur l'élément est nul et que le repère entité est le repère élément, le repère entité permuté est confondu avec le repère vent-élément.

Les dérivées angulaires des coefficients aérodynamiques exprimés en repère vent et en repère entité permuté sont liées par les relations suivantes :

$$\frac{\partial C_{yp}}{\partial i} = \frac{\partial C_{yv}}{\partial i} - C_{zv} \quad (11.10)$$

$$\frac{\partial C_{zp}}{\partial i} = \frac{\partial C_{zv}}{\partial i} + C_{yv} \quad (11.11)$$

Conditions d'emploi

- Plusieurs commandes de ce type peuvent être introduites dans une même session ; elles doivent précéder les commandes REPONSE MODALE VENT qui s'y rapportent.
- La première commande CARACTERISTIQUES doit utiliser l'option ABSOLUES.
- Deux commandes CARACTERISTIQUES utilisant l'option ABSOLUES ne doivent pas se suivre immédiatement, la seconde annulerait les effets de la première.
- Les caractéristiques aérodynamiques des sections-types, poutres ou éléments peuvent remplacer des valeurs définies précédemment, à l'intérieur d'une même commande de définition (possibilité de « surcharge » de valeurs).
- Les éléments dont les caractéristiques aérodynamiques sont toutes nulles (en dehors de leur largeur) ou non définies, sont supposés non exposés au vent.

Conseils méthodologiques

- Il faut tabuler les caractéristiques aérodynamiques des sections non circulaires (pour lesquelles l'angle d'incidence du vent et ces caractéristiques peuvent varier), avec des valeurs d'angles d'incidence du vent proches de celles qui seront utilisées dans les calculs, afin de limiter les imprécisions dues à l'interpolation. Des messages informatifs sont émis lorsque des caractéristiques aérodynamiques sont extrapolées.
- Dans le cas des sections circulaires, un seul angle d'incidence de définition des caractéristiques aérodynamiques est nécessaire car elles seront recalculées automatiquement en repère vent, puis en repères éléments.
- Dans le cas d'un calcul temporel, les incidences sont très variables. Pour éviter les messages signalant une extrapolation, il est conseillé de fournir les valeurs des caractéristiques aérodynamiques pour toute la plage incidente soit 360 degrés. Si les valeurs ne sont pas connues, il faut introduire des caractéristiques aérodynamiques nulles au début et à la fin de la zone incidente correspondante.

Exemples

```

$ -----
$ caractéristiques aérodynamiques définies à l'aide d'une seule commande
$ en repere entite permute ; trois incidences de tabulation pour le tablier
$ non circulaire decrit comme poutre et une seule incidence pour les piles
$ circulaires decrites comme elements courants ayant recu la section-type
$ PILE en affectation ; une partie de pile est cachee, les coefficients
$ nuls qui lui sont affectes viennent surcharger les valeurs anterieures
$ les angles d'incidence du vent et les caracteristiques sont exprimes :
$ - dans les reperes generiques pour le tablier (fibre repere)
$ - dans les reperes elements pour les piles
$ les options ABSOLUES et COMPLETEES sont prises par default
$ -----

```

```

CARACTERISTIQUES AERODYNAMIQUES STRUCTURE
'POUR VENT QUASI-HORIZONTAL (AMPLITUDE ANGULAIRE PERMISE DE 10 DEGRES)'
REPERE PERMUTE
POUTRES 1 INCIDENCES 3 $ tablier
$ i B Ctr Cfr Cpo Cmr dCtr dCfr dCpo dCmr
-5.0 5.00 0.187 0.000 0.727 -0.106 -0.20 0.00 4.20 0.30
0.0 5.00 0.287 0.000 0.827 -0.206 -0.10 0.00 4.50 0.40
5.0 5.00 0.387 0.000 0.927 -0.306 -0.30 0.00 4.70 0.60
SECTION PILE INCIDENCES 1 $ piles circulaires
$ i B Ctr Cfr Cpo Cmr dCtr dCfr dCpo dCmr
0.0 2.0 2.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 2.5 0.0
ELEMENTS 1 A 10 INCIDENCES 1 $ elements d'une pile caches
$ i B Ctr Cfr Cpo Cmr dCtr dCfr dCpo dCmr
0.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0;

```

```

$ -----
$ idem ci-dessus pour un calcul temporel
$ deux incidences ont ete ajoutees en debut et fin de plage pour le tablier
$ avec des valeurs de forces nulles
$ -----

```

```

CARACTERISTIQUES AERODYNAMIQUES STRUCTURE
'POUR VENT QUASI-HORIZONTAL (AMPLITUDE ANGULAIRE PERMISE DE 10 DEGRES)'
REPERE PERMUTE
POUTRES 1 INCIDENCES 7 $ tablier
$ i B Ctr Cfr Cpo Cmr dCtr dCfr dCpo dCmr
-179.9 5.00 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.00 0.00
-6.0 5.00 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.00 0.00
-5.0 5.00 0.187 0.000 0.727 -0.106 -0.20 0.00 4.20 0.30
0.0 5.00 0.287 0.000 0.827 -0.206 -0.10 0.00 4.50 0.40
5.0 5.00 0.387 0.000 0.927 -0.306 -0.30 0.00 4.70 0.60
6.0 5.00 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.00 0.00
179.9 5.00 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00 0.00 0.00 0.00
SECTION PILE INCIDENCES 1 $ piles circulaires
$ i B Ctr Cfr Cpo Cmr dCtr dCfr dCpo dCmr
0.0 2.0 2.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 2.5 0.0
ELEMENTS 1 A 10 INCIDENCES 1 $ elements d'une pile caches
$ i B Ctr Cfr Cpo Cmr dCtr dCfr dCpo dCmr
0.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0;

```

Commandes liées

DYNAMIQUE ; ACTION_STOCHASTIQUE_VENT ; REPONSE MODALE VENT
 ACTION STOCHASTIQUE VENT ; REPONSE TEMPORELLE

11.14 - VENT

VENT titre_vent

$$\left. \begin{array}{l}
 \text{MASSE_VOLUMIQUE_AIR } \rho \\
 \text{Z_SOL } z_s \\
 \text{RUGOSITE_SITE } z_0 \\
 \text{DISTANCE_OBSTACLES } d \\
 \text{ECARTS_TYPES } \sigma_u \quad \sigma_v \quad \sigma_w \\
 \text{Z_TURBULENCE } z_t \\
 \text{ECHELLES_TURBULENCE } L_x^u \quad L_x^v \quad L_x^w \quad L_y^u \quad L_y^v \quad L_y^w \quad L_z^u \quad L_z^v \quad L_z^w \\
 \text{VARIATION_TURBULENCE } E_x^u \quad E_x^v \quad E_x^w \quad E_y^u \quad E_y^v \quad E_y^w \quad E_z^u \quad E_z^v \quad E_z^w \\
 \text{COEFFICIENTS_COHERENCE } C_x^u \quad C_x^v \quad C_x^w \quad C_y^u \quad C_y^v \quad C_y^w \quad C_z^u \quad C_z^v \quad C_z^w \\
 \text{EXPOSANTS_COHERENCE } P_x^u \quad P_x^v \quad P_x^w \quad P_y^u \quad P_y^v \quad P_y^w \quad P_z^u \quad P_z^v \quad P_z^w \\
 \text{VITESSE } \left\{ \begin{array}{l} \text{LOG Z_MESURE } z_m \quad \text{VITESSE } u_m \\ \text{PUISSANCE Z_MESURE } z_m \quad \text{VITESSE } u_m \quad \text{EXPOSANT } p \end{array} \right\} \\
 \text{SPECTRE } U \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{KARMAN} \\ \text{KAIMAL} \end{array} \right\} \quad V \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{KARMAN} \\ \text{KAIMAL} \end{array} \right\} \quad W \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{KARMAN} \\ \text{KAIMAL} \end{array} \right\}
 \end{array} \right\}$$

[LIMITES y_min y_max] ;

Paramètres

Les cotes sont fournies selon l'axe OZ du repère global. Les lettres u, v et w désignent les composantes fluctuantes longitudinale, horizontale et « verticale » du vent dans son repère (figure 11.4) ; les formules 11.12 à 11.21 donnent la signification de certains paramètres.

- titre_vent : intitulé attribué au vent turbulent (chaîne de caractères) ;
- ρ : masse volumique de l'air ;
- z_s : cote du sol ;
- z_0 : hauteur (positive) mesurant la rugosité du site ;
- d : distance verticale à déduire pour prendre en compte les effets des obstacles ;
- $\sigma_u, \sigma_v, \sigma_w$: écarts-types des fluctuations ;
- z_t : cote de mesure de la turbulence ;
- $L_x^u, L_x^v, L_x^w, L_y^u, L_y^v, L_y^w, L_z^u, L_z^v, L_z^w$: échelles de turbulence du vent ;
- $E_x^u, E_x^v, E_x^w, E_y^u, E_y^v, E_y^w, E_z^u, E_z^v, E_z^w$: exposants de la variation des échelles de turbulence du vent ;
- $C_x^u, C_x^v, C_x^w, C_y^u, C_y^v, C_y^w, C_z^u, C_z^v, C_z^w$: coefficients de cohérence du vent ;
- $P_x^u, P_x^v, P_x^w, P_y^u, P_y^v, P_y^w, P_z^u, P_z^v, P_z^w$: exposants des coefficients de cohérence du vent ;
- z_m, u_m : cote du point de mesure et vitesse moyenne du vent ;
- p : exposant de la variation en puissance de la vitesse moyenne du vent ;

- y_{\min} , y_{\max} : ordonnée minimale et maximale, en repère vent, des limites de la zone d'action du vent ; tous les milieux de tronçons de discrétisation d'éléments appartenant à cette zone sont pris en compte dans le calcul de réponse de la structure et les forces nodales sont calculées pour tous les nœuds situés dans ces limites ; par défaut, la structure complète est concernée ;

Les paramètres L_x^u à P_z^w doivent être positifs.

Fonctions

Cette commande permet de définir les paramètres d'un vent turbulent supposé quasi-stationnaire (ses paramètres probabilistes sont constants dans le temps et dans l'espace), à appliquer à la structure, pour en étudier la réponse modale.

Le repère lié au vent moyen dit « repère vent » et les composantes fluctuantes associées u , v et w sont définis de la manière suivante :

- u est la composante longitudinale du vent, confondue avec son vecteur vitesse moyenne ;
- v est la composante horizontale du vent ;
- la composante « verticale » w est telle que le trièdre (u, v, w) soit direct.

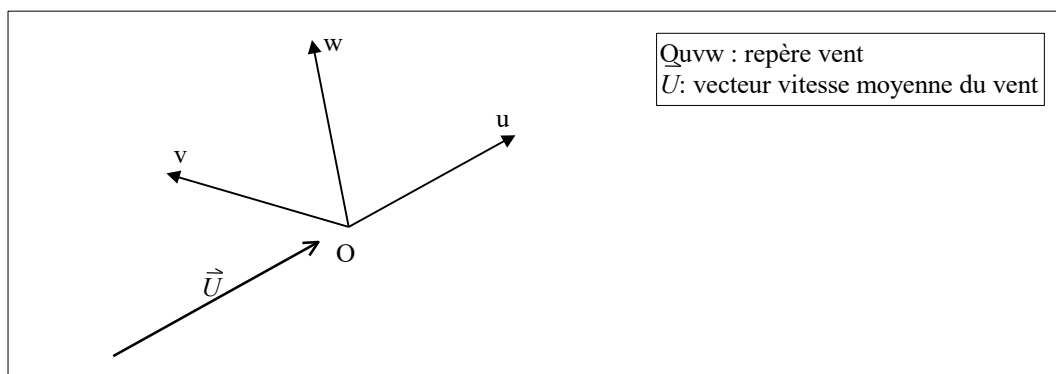


Figure 11.4 - Repère vent

Les échelles de turbulence, coefficients de cohérence et certains exposants sont définis pour les composantes u , v et w du vent turbulent, en fonction des variations spatiales suivant des directions homologues notées avec les indices x , y et z , correspondant respectivement aux directions u , v et w .

Les paramètres de cette commande, qui sont donc intrinsèques au vent et ne dépendent pas de l'orientation du repère vent par rapport au repère global interviennent principalement dans les relations suivantes :

- variation en LOG de la vitesse moyenne du vent en fonction de la cote z :

$$\bar{U}(z) = u_m \cdot \frac{\ln\left(\frac{z - z_s - d}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_m - z_s - d}{z_0}\right)} \quad (11.12)$$

- variation en PUISSANCE de la vitesse moyenne du vent en fonction de la cote z :

$$\bar{U}(z) = u_m \cdot \left(\frac{z - z_s - d}{z_m - z_s - d} \right)^p \quad (11.13)$$

- variation des échelles de turbulence du vent en fonction de la cote z :

$$L_\chi^\xi(z) = L_\chi^\xi \cdot \left(\frac{z - z_s - d}{z_m - z_s - d} \right)^{E_\chi^\xi} \quad (11.14)$$

avec: $\chi = x, y, z$; $\xi = u, v, w$

- densités spectrales de KARMAN en fonction de la vitesse moyenne du vent \bar{U} :

$$S_u(n) = \frac{4L_x^u}{\bar{U} \left[1 + 70.7 \left(\frac{nL_x^u}{\bar{U}} \right)^2 \right]^{5/6}} \cdot \sigma_u^2 \quad (11.15)$$

$$S_\xi(n) = \frac{4L_x^\xi}{\bar{U}} \frac{\left[1 + 188.4 \left(\frac{2nL_x^\xi}{\bar{U}} \right)^2 \right]}{\left[1 + 70.7 \left(\frac{2nL_x^\xi}{\bar{U}} \right)^2 \right]^{11/6}} \cdot \sigma_\xi^2 \quad (11.16)$$

avec: $\xi = v, w$

- densités spectrales de KAIMAL en fonction de la vitesse moyenne du vent \bar{U} :

$$S_u(n) = \frac{17f}{n(1+33f)^{5/3}} \cdot \sigma_u^2 \quad (11.17)$$

$$S_v(n) = \frac{4.2f}{n(1+9.5f)^{5/3}} \cdot \sigma_v^2 \quad (11.18)$$

$$S_w(n) = \frac{1.4f}{n(1+5.3f)^{5/3}} \cdot \sigma_w^2 \quad (11.19)$$

avec: $f = \frac{nz}{\bar{U}}$

- densités interspectrales entre deux points de la structure (l'exposant v signifie que les coordonnées sont calculées en repère vent) :

$$S_{\xi_1 \xi_2}(n) = \sqrt{S_{\xi_1}(n) \cdot S_{\xi_2}(n)} \cdot e^{-\frac{1}{2} \sqrt{\left[\left(\frac{x_2^v - x_1^v}{z} \right)^{P_x^\xi} C_x^\xi \right]^2 + \left[\left(\frac{y_2^v - y_1^v}{z} \right)^{P_y^\xi} C_y^\xi \right]^2 + \left[\left(\frac{z_2^v - z_1^v}{z} \right)^{P_z^\xi} C_z^\xi \right]^2} \cdot \frac{n \cdot z}{\bar{U}} \quad (11.20)$$

avec: $\xi = u, v, w$; $z = \frac{z_1 + z_2}{2} - z_s - d$

- fonctions d'intercorrélation de deux points de la structure :

$$\rho_{\xi_1 \xi_2}(n) = e^{-\sqrt{\frac{(x_2^v - x_1^v)^2}{L_x^\xi(z_1) L_x^\xi(z_2)} + \frac{(y_2^v - y_1^v)^2}{L_y^\xi(z_1) L_y^\xi(z_2)} + \frac{(z_2^v - z_1^v)^2}{L_z^\xi(z_1) L_z^\xi(z_2)}}} \quad (11.21)$$

avec: $\xi = u, v, w$

Dans les relations 11.15 à 11.21, n est la fréquence d'analyse spectrale du vent.

Conditions d'emploi

- Cette commande doit précéder la commande REPONSE MODALE VENT qui s'y rapporte ou la commande ACTION STOCHASTIQUE VENT.
- Pour une REPONSE TEMPORELLE, il est possible de définir plusieurs VENTS successivement sous réserve qu'ils aient des limites disjointes.
- Pour une REPONSE MODALE, un seul VENT doit être défini.

Exemples

```

$ -----
$ definition d'un vent turbulent quasi-stationnaire ; chaque terme du
$ libelle de la commande figure une seule fois, dans un ordre non impose
$ les formulations de KARMAN et KAIMAL sont melangees
$ -----
VENT 'VENT MESURE'
  Z SOL -12.00 $ zs
  RUGOSITE_SITE 0.10 $ zo
  DISTANCE_OBSTACLES 10.00 $ d
  MASSE_VOLUMIQUE_AIR 0.00122 $ ro
  ECARTS_TYPES 9.5 9.5 7.6 $ sigmau, sigmav, sigmaw
  Z_TURBULENCE 150.00 $ zt
  ECHELLES_TURBULENCE 250 70 30 $ Lxu, Lxv, Lxw
  130 100 80 $ Lyu, Lyv, Lyw
  90 100 40 $ Lzu, Lzv, Lzw
  VARIATION_TURBULENCE 9*0.5 $ Exu, Exv, Exw
  $ Eyu, Eyv, Eyw
  $ Ezu, Ezv, Ezw
  COEFFICIENTS_COHERENCE 0 0 0 $ Cxu, Cxv, Cxw
  9 9 7 $ Cyu, Cyv, Cyw
  12 12 9 $ Czu, Czv, Czw
  EXPOSANTS_COHERENCE 9*1 $ Pxu, Pxv, Pxw
  $ Pyu, Pyv, Pyw
  $ Pzu, Pzv, Pzw

VITESSE
  PUISSANCE
  Z_MESURE 20.00 $ zm
  VITESSE 36.00 $ um
  EXPOSANT 0.5 $ p

SPECTRE
U KARMAN
V KAIMAL
W KAIMAL;

```

Commandes liées

DYNAMIQUE ; REPONSE MODALE VENT ; ACTION STOCHASTIQUE VENT
 REPONSE TEMPORELLE

11.15 - REPONSE MODALE VENT

REPONSE MODALE VENT titre_reponse

```

* { ORIENTATION_VENT   $\theta_z$    $\theta_y$ 
  LONGUEUR_DISCRETISATION  lg_max
  SUPERPOSITION  { QUADRATIQUE
                  EXACTE }
  AMORTISSEMENT  AERODYNAMIQUE  CALCULE
  AMORTISSEMENT  STRUCTURAL  CALCULE
  TOTALE  [EDITER]  [no_totale]
  QUASISTATIQUE  [EDITER]  [no_quasistatique]
  DYNAMIQUE  [EDITER]  [no_dynamique]
  RESULTATS  ELEMENTS
  CHARGEMENT  MOYEN  no_charge  FACTEUR  facteur
  CHARGEMENT  { MODE  no_mode
                EXTREME  { NOEUD  no_noeud
                           ELEMENT  no_element }
                COMPOSANTE  no_comp }
  [STRUCTURE  nom_structure]  [F_MOYEN  f_moyen]
};

```

Paramètres

Se reporter à la commande VENT, rubrique « Fonctions » pour la définition du repère vent.

- titre_reponse : intitulé attribué à la réponse modale (chaîne de caractères) ;
- θ_z, θ_y : angles orientant le repère vent par rotation autour de l'axe OZ, puis autour du « nouvel » axe OY, du repère global ; par défaut, ces angles sont nuls, les axes Ou, Ov et Ow du repère vent sont confondus respectivement avec les axes OX, OY et OZ du repère global, et le vecteur vitesse moyenne est parallèle à OX ;

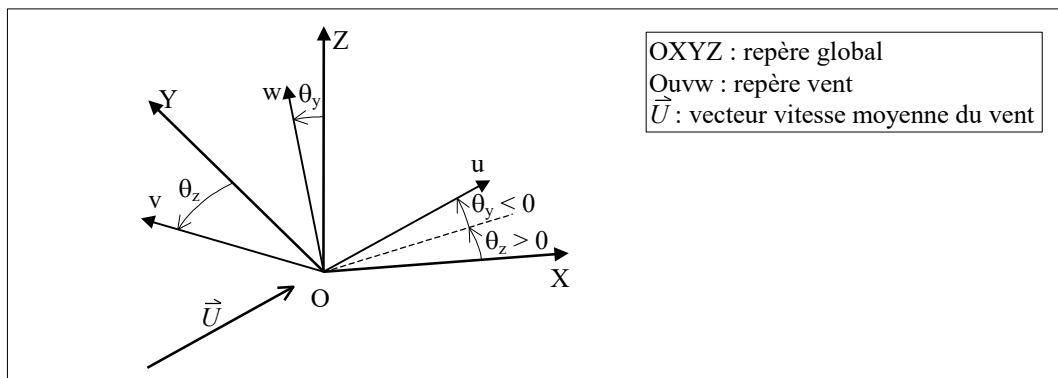


Figure 11.5 - Orientation du repère du vent

- `lg_max` : longueur maximale d'un tronçon de discrétisation des éléments, lors de l'intégration des effets du vent sur la structure ; par défaut cette valeur est fixée à 5.0 ;
- `no_totale`, `no_quasistatique`, `no_dynamique` : numéro d'enregistrement éventuel de la réponse totale, quasistatique ou dynamique, positif et inférieur à 90_000 ;
- `no_charge` : numéro d'enregistrement du chargement nodal éventuel « de vent moyen », à générer pour le module PH3, positif et inférieur à 90_000 ;
- `no_mode` : numéro d'ordre du mode utilisé pour générer le chargement nodal éventuel « de mode », qui lui équivaut, pour le module PH3 ;
- `no_noeud`, `no_comp` : numéro du nœud et numéro de la composante de déplacement utilisés pour générer le chargement nodal éventuel « d'effet extrême », pour le module PH3 ;
- `no_element`, `no_comp` : numéro de l'élément et numéro de la composante d'effort (1 à 6 pour l'origine et 7 à 12 pour l'extrémité) utilisés pour générer le chargement nodal éventuel « d'effet extrême », pour le module PH3 ;
- `facteur` : coefficient de pondération à appliquer au chargement de vent moyen, de mode ou d'effet extrême ;
- `nom_structure` : nom de la structure sauvegardée sur laquelle s'appliquera le chargement généré pour le module PH3 (utilisé sur commande PHASES SUITE ...) ;
- `f_moyen` : coefficient de pondération à appliquer au chargement de vent moyen dans le cas d'un chargement MODE ou EXTREME ; par défaut cette valeur est fixée à 1.

Fonctions

Cette commande déclenche le calcul de la réponse de la structure étudiée soumise à un vent turbulent quasi-stationnaire (prédéfini et dont elle fournit l'orientation), par superposition modale et analyse spectrale. Cette réponse correspond à l'écart type du comportement dynamique de la structure. Pour obtenir l'effet total sur la structure, cette réponse doit être frappée par le facteur de pointe et combinée à l'effet du vent moyen. Ce dernier est généré sur option par cette commande sous forme de cas de charge du module PCPPH3. L'effet total doit ensuite être combiné aux effets des charges permanentes. Ces deux combinaisons doivent être réalisées avec PCPETU.

Les effets du vent le long des éléments sont évalués par intégration sur des tronçons de discrétisation dont la longueur maximale est fixée ; ils peuvent être limités à un intervalle d'ordonnées.

Avec l'option SUPERPOSITION QUADRATIQUE (retenue par défaut), la superposition des effets des modes sélectionnés est obtenue par simple cumul quadratique ; les écarts-types, σ_s , des effets résultants sont obtenus par la relation :

$$\sigma_s^2 = \sum C_{ii} \cdot A_i^2 \cdot s_i^2 \quad (11.22)$$

dans laquelle C_{ii} est la variance de la coordonnée généralisée du mode i , A_i , le coefficient d'admittance du mode i et s_i , l'effet associé au mode i (déplacement, réaction, effort ou contrainte) en un point quelconque de la structure.

Avec l'option SUPERPOSITION EXACTE, la superposition des effets des modes sélectionnés fait intervenir les coefficients de corrélation entre modes, des effets du vent ; les écarts-types des effets résultants sont obtenus par la relation :

$$\sigma_s^2 = \sum_i \sum_j C_{ij} \cdot A_i \cdot s_i \cdot A_j \cdot s_j \quad (11.23)$$

dans laquelle C_{ij} est la covariance des coordonnées généralisées des modes i et j , déduite des paramètres de turbulence du vent, en utilisant les mêmes hypothèses que pour la variance.

Les méthodes de superposition modale utilisées dans ce module s'appuient sur le paragraphe 5.2.4 de l'ouvrage *Calcul dynamique des structures en zone sismique*, Alain CAPRA et Victor DAVIDOVICI, éditions Eyrolles

Avec l'option AMORTISSEMENT AERODYNAMIQUE CALCULE, le coefficient d'amortissement aérodynamique de chaque mode est calculé à partir des vitesses de déplacement qu'il suscite ; par défaut les coefficients d'amortissement aérodynamique à utiliser sont fournis par la commande AMORTISSEMENT AERODYNAMIQUE.

Avec l'option AMORTISSEMENT STRUCTURAL CALCULE, le coefficient d'amortissement structural de chaque mode est calculé à partir des caractéristiques d'amortissement associés aux éléments par la commande AMORTISSEMENT STRUCTURAL ELEMENTAIRE. Par défaut, c'est l'AMORTISSEMENT STRUCTURAL MODAL qui est utilisé.

La réponse TOTALE de la structure soumise au vent turbulent est décomposée en une réponse QUASISTATIQUE et une réponse DYNAMIQUE, rendant compte respectivement de son comportement statique et dynamique.

Chacune de ces trois réponses peut être éditée (avec l'option EDITER) ou enregistrée en base de données, si on fournit son numéro ; par défaut, aucune réponse n'est éditée ni enregistrée.

Dans le cas d'une structure issue d'un calcul non linéaire, les efforts dans les éléments sont calculés à partir de leurs matrices de rigidité tangentes.

Les contraintes tangentes et normales y sont calculées sur la base du comportement élastique des matériaux ; en cas de non-linéarité mécanique, les contraintes normales dans les éléments concernés sont frappées d'un coefficient infiniment grand et non exploitables.

Chacune de ces réponses est constituée des écarts-types des déplacements, réactions, effort et contraintes, et pour chaque composante de la sollicitation considérée. Les valeurs concomitantes des composantes associées sont calculées selon les relations :

$$C_s^{ab} = \sum_i \sum_j C_{ij} \cdot A_i \cdot s_i^a \cdot A_j \cdot s_j^b \quad ; \quad \sigma_s^{ab} = \frac{C_s^{ab}}{\sigma_s^{aa}} \quad (11.24)$$

dans lesquelles C_s^{ab} est la covariance des composantes a et b , s_i^a et s_j^b sont les effets associés au mode i pour les composantes a et b , σ_s^{ab} est la valeur de la composante b concomitante à la valeur de la composante a et σ_s^{aa} , l'écart-type associé à la composante a (voir également 11.23 pour les autres notations).

Sont également toujours édités : pour chaque mode, la variance de la coordonnée généralisée et de son accélération et la covariance de la coordonnée généralisée, et le facteur de pointe de chaque type d'effet, calculé selon la méthode de Davenport.

Ce facteur de pointe n'est pas appliqué par PCP aux réponses éditées ou enregistrées. Ce sont les seuls écarts types bruts qui sont édités ou enregistrés

Avec l'option RESULTATS ELEMENTS, les résultats de calculs intermédiaires relatifs aux éléments sont édités en complément ; par défaut, ils ne le sont pas.

Avec l'option CHARGEMENT, le chargement nodal équivalent à l'un des trois types d'effets suivants peut être généré (sous forme de commandes destinées au module PH3 qui s'empilent dans le fichier export : dynph3.don) :

- avec l'option MOYEN, l'effet du vent moyen pondéré par le coefficient fourni est appliqué sur les éléments concernés ; le vecteur forces nodales $\{F_{moyen}\}$ s'en déduit ;
- avec l'option MODE, le chargement nodal équivalent aux déplacements occasionnés par le mode spécifié est calculé, pondéré par le coefficient fourni et cumulé au chargement de vent moyen non pondéré ; le vecteur forces nodales s'écrit :

$$\{F_{mode}\} = f_moyen \cdot \{F_{moyen}\} + \text{facteur} \cdot \sigma_{mode} \cdot A_{mode} \cdot [K] \cdot \{X_{mode}\} \quad (11.25)$$

- avec l'option EXTREME, le chargement nodal équivalent au vecteur déplacements dit « extrême » est calculé, pour tous les modes sélectionnés, pondéré par le coefficient fourni, et cumulé au chargement de vent moyen non pondéré ; le vecteur forces nodales s'écrit :

$$\{F_{extreme}\} = f_moyen \cdot \{F_{moyen}\} + \text{facteur} \cdot [K] \cdot \{X_{extreme}\} \quad (11.26)$$

Pour l'option CHARGEMENT EXTREME, le vecteur déplacements est constitué de l'écart-type du déplacement du nœud spécifié, selon la composante choisie, et des déplacements concomitants des autres degrés de liberté ; ces valeurs correspondent à l'effet total (quasistatique et dynamique) du vent turbulent.

$$\{X_{extreme}\} = \begin{Bmatrix} \sigma_x^{li} \\ \cdot \\ \sigma_x^{ii} \\ \cdot \\ \sigma_x^{ji} \\ \cdot \\ \cdot \\ \sigma_x^{ni} \end{Bmatrix} \begin{array}{l} \leftarrow \text{écart - type du déplacement du point d'étude} \\ \leftarrow \text{déplacement concomitant au déplacement du point d'étude} \end{array} \quad (11.27)$$

Si aucune STRUCTURE n'est spécifiée, c'est la STRUCTURE courante qui est utilisée dans la commande PHASE SUITE du chargement généré.

Si une STRUCTURE est spécifiée, c'est nom_structure qui est utilisé dans la commande PHASE SUITE du chargement généré. La STRUCTURE courante est alors utilisée pour faire une nouvelle sauvegarde de STRUCTURE dans le chargement généré. Celle-ci peut alors être réutilisée pour un calcul dynamique. Il est alors possible de former une suite de calculs dynamiques et de chargements dans lesquels la structure courante est mise à jour en fonction du chargement appliqué.

Conditions d'emploi

- Plusieurs commandes REPONSE MODALE peuvent être introduites dans une même session.

- Cette commande doit être précédée des commandes MODES, AMORTISSEMENT STRUCTURAL, CARACTERISTIQUES AERODYNAMIQUES, VENT et éventuellement des commandes SELECTION MODES, AMORTISSEMENT AERODYNAMIQUE, ADMITTANCE MODALE.
- Le numéro d'identification d'un EFFET déjà enregistré par les modules PH3, ENV, DYN ou ETU (selon la terminologie employée par le module ETU, voir tableau 12.1) ne peut être utilisé pour désigner une RÉPONSE modale ou un CHARGEMENT nodal de vent MOYEN enregistrés.
- L'orientation du vent peut être quelconque par rapport à la structure mais doit rester cohérente avec les caractéristiques aérodynamiques de ses éléments ; en particulier, lorsque leurs sections ne sont pas circulaires, les angles d'incidence du vent sur éléments, utilisés pour tabuler leurs caractéristiques aérodynamiques doivent correspondre, à l'interpolation près, à ceux qui seront présumés calculés.
- Un seul vent doit préalablement être défini.

Conseils méthodologiques

- Les aspects théoriques du vent turbulent sont développés dans le document « Vent_turbulent_theorie.pdf » fourni dans le sous-répertoire notice du répertoire d'installation de PCP.
- l'option CHARGEMENT MOYEN s'applique aux structures au comportement linéaire ou linéarisés. Elle permet de combiner le calcul de la réponse stochastique à l'effet du vent moyen calculé par PCP. La réponse stochastique est calculée selon la rigidité tangente de la structure. PCP génère le cas de charge de vent moyen dans le fichier dynph3.don. Ce fichier doit être exécuté par PCPPH3. Les effets du cas de charge correspondant doivent ensuite être combinés quadratiquement par PCPETU à la réponse stochastique frappée du facteur de pointe qui figure dans le fichier de résultats ou qui est fourni par les essais de vent. La séquence de données est la suivante :

```

$ phasage initial
facteur_pointe = 4

SAUVE structdyn
FIN

rep = 1
vm = 2

$
DYNAMIQUE;
STRUCTURE structdyn;
REPONSE MODALE VENT
TOTALE rep
CHARGEMENT MOYEN vm FACTEUR 1
...
FIN

$ chargement vent moyen du fichier dynph3.don
PHASAGE SUITE structdyn
CAS DE CHARGE vm
...
FIN

PCPETU ;
...
COMBINAISON QUADRATIQUE
...

```

```

COEFFICIENT facteur_pointe REponse rep STRUCTURE structdyn
COEFFICIENT 1 CHARGE vm STRUCTURE structdyn
COEFFICIENT 1 ETAT 0 STRUCTURE structdyn;
...
FIN

```

- Les options EXTREME ou MODE sont réservées aux calculs non linéaires. La réponse stochastique est calculée selon la rigidité tangente et un cas de charge nodal concomitant en est déduit qui peut être appliqué à la structure par le module PH3 en prenant en compte le comportement non linéaire de la structure. Pour utiliser correctement les options EXTREME ou MODE avec une STRUCTURE de référence, il faut préalablement faire une double sauvegarde dans PH3. L'une des deux sauvegardes figurera dans la commande STRUCTURE du module DYN et STRUCTURE sauvegardée (SAUVE nom_structure) dans le chargement généré. L'autre figurera dans la commande CHARGEMENT et sera utilisée comme STRUCTURE de référence pour le chargement généré (PHASE SUITE). La STRUCTURE de référence reste inchangée d'un calcul à un autre alors que la STRUCTURE utilisée pour le calcul dynamique est mise à jour. La séquence de données est la suivante :

```

$ phasage initial
SAUVE structref
SAUVE structdyn
FIN
$ Etape courante
DYNAMIQUE;
STRUCTURE structdyn;
REponse MODALE VENT
...
CHARGEMENT EXTREME ... STRUCTURE structref
...
FIN
$ chargement extreme du fichier dynph3.don
PHASAGE SUITE structref
CAS DE CHARGE
...
SAUVE structdyn
FIN

```

Exemples

```

$ -----
$ reponse modale de la structure sous un vent turbulent quasi-stationnaire
$ horizontal oriente a 45.0 degres par rapport a l'axe OX global
$ la longueur des troncons de discretisation d'elements est 5.0 par default
$ la structure complete est prise en compte dans les calculs par default car
$ les y limites de la zone d'action du vent ne sont pas fixees
$ par default egalement, l'option SUPERPOSITION QUADRATIQUE est utilisee
$ les coefficients d'amortissement aerodynamique des modes sont calcules
$ la commande AMORTISSEMENT AERODYNAMIQUE est absente ; les trois reponses
$ (totale, quasistatique et dynamique) seront enregistrees sous les numeros
$ 101 a 103 et editees, on editera egalement les resultats intermediaires
$ relatifs aux elements ; aucun chargement n'est genere pour le module PH3
$ -----
REponse MODALE VENT 'VENT DE NORD-EST'
$
$          tetaz  tetay
ORIENTATION_VENT 45.0  0.0
AMORTISSEMENT AERODYNAMIQUE CALCULE
TOTALE EDITER 101
QUASISTATIQUE EDITER 102
DYNAMIQUE EDITER 103
RESULTATS ELEMENTS;

```

```

$ -----
$ reponse modale de la structure sous un vent turbulent quasi-stationnaire
$ ascendant oriente a 45.0 degres par rapport a l'axe OX global et
$ de 10.0 degres autour de l'axe OY global lui-meme tourne de 45.0 degres
$ la longueur des troncons de discretisation d'elements est fixee a 2.5
$ les y limites de la zone d'action du vent sont fixees en repere vent
$ l'option SUPERPOSITION EXACTE est utilisee ; les coefficients
$ d'amortissement aerodynamique des modes sont fournis par une commande
$ AMORTISSEMENT AERODYNAMIQUE ; seule la reponse totale est enregistree
$ sous le numero 101 et editee ; aucun resultat intermediaire n'est edite
$ le chargement nodal de vent moyen pondere par le coefficient 1.0 est
$ enregistre sous le numero 1001 et traduit en commandes pour le module PH3
$ qui utilisera la structure STRUC_1 en association
$ -----
REPONSE MODALE VENT 'VENT DE NORD-EST ASCENDANT'
  ORIENTATION_VENT 45.0 10.0      (tetaz, tetay)
  LONGUEUR_DISCRETISATION 2.5
  LIMITES_-2.5 15.0              (y_min, y_max)
  SUPERPOSITION EXACTE
  TOTALE EDITER 101
  CHARGEMENT MOYEN 1001 FACTEUR 1.0 STRUCTURE STRUC_1;

$ -----
$ exemple analogue a celui ci-dessus... le chargement nodal d'effet extreme
$ calcule pour le noeud 1005 et la composante de deplacement 2 (Uy) est
$ pondere par le coefficient 2.0 et traduit en commandes pour le module PH3
$ -----
REPONSE MODALE VENT 'VENT DE NORD-EST ASCENDANT'
  ORIENTATION_VENT 45.0 10.0
  LONGUEUR_DISCRETISATION 2.5
  LIMITES_-2.5 15.0
  SUPERPOSITION EXACTE
  TOTALE EDITER 101
  CHARGEMENT EXTREME NOEUD 1005 COMPOSANTE 2 FACTEUR 2.0
  STRUCTURE STRUC_1;

```

Commandes liées

DYNAMIQUE ; MODES ; SELECTION MODES

AMORTISSEMENT STRUCTURAL ; AMORTISSEMENT AERODYNAMIQUE

ADMITTANCE MODALE ; CARACTERISTIQUES AERODYNAMIQUES ; VENT

11.16 - SPECTRE

$$\text{SPECTRE SISMIQUE } \left\{ \begin{array}{l} \text{HORIZONTAL} \\ \text{VERTICAL} \end{array} \right\} \text{ titre_spectre}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{DEPLACEMENT } \langle T \ u \rangle_{\text{nb_points}} \\ \text{ACCELERATION } \langle T \ \gamma \rangle_{\text{nb_points}} \end{array} \right\} \text{NORMALISE} \left\{ \begin{array}{l} \left\{ \begin{array}{l} \text{AFPS92_E} \\ \text{AFPS92_C} \end{array} \right\} \\ \left\{ \begin{array}{l} \text{EC8_DF_E} \\ \text{EC8_DF_C} \end{array} \right\} \end{array} \right.$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{SITE } \left\{ \begin{array}{l} \text{S0} \\ \text{S1} \\ \text{S2} \\ \text{S3} \end{array} \right\} \\ \text{PARAMETRES } \left\{ \begin{array}{l} \text{TB } \text{tb} \\ \text{TC } \text{tc} \\ \text{TD } \text{td} \\ \text{RA } \text{ra} \\ \text{RM } \text{rm} \end{array} \right\} \\ \text{SITE } \left\{ \begin{array}{l} \text{SA1/SB1/SC1/SD1/SE1} \\ \text{SA2/SB2/SC2/SD2/SE2} \\ \text{FA1/FB1/FC1/FD1/FE1} \\ \text{FA2/FB2/FC2/FD2/FE2} \end{array} \right\} \\ \text{PARAMETRES } \left\{ \begin{array}{l} \text{TB } \text{tb} \\ \text{TC } \text{tc} \\ \text{TD } \text{td} \\ \text{S } \text{s} \\ \text{BETA } \beta \end{array} \right\} \end{array} \right\} \text{CALAGE } \text{c} ;$$

Paramètres

Le nombre de points de tabulation (nb_points) est défini implicitement par le nombre de couples de valeurs fournies.

- titre_spectre : intitulé attribué au spectre (chaîne de caractères) ;
- T, u, γ : période, valeur correspondante de déplacement ou d'accélération du spectre fourni point par point ;
- tb, tc, td : paramètres communs à tous les spectres normalisés ;
- ra, rm : paramètres spécifiques aux spectres normalisés de l'AFPS 92 ;
- s : paramètre de sol spécifique aux spectres normalisés de l'Eurocode 8 ;
- β : paramètre de limite inférieure spécifique au spectre normalisé de calcul de l'Eurocode 8 ;

- c : facteur de calage du spectre normalisé à appliquer aux valeurs qu'il fournit, pour obtenir les valeurs de réponse maximales. Il correspond pour les spectres normalisés de l'AFPS à l'accélération nominale (dépendante de la classe du pont et du site) et pour les spectres normalisés de l'EC8 aux valeurs a_g pour les séismes horizontaux et a_{vg} pour les séismes verticaux. Attention ce dernier dépend du type de séisme: 1 ou 2.

Fonctions

Cette commande permet de définir un spectre horizontal ou vertical, utilisable pour étudier la réponse de la structure soumise à un séisme.

Un tel spectre de réponse sismique peut être fourni point par point, en associant à chaque valeur de période, une valeur de déplacement ou d'accélération.

On peut également invoquer les spectres normalisés de l'AFPS 92 (spectre élastique, option AFPS92_E, ou de calcul, option AFPS92_C), ou de l'EC 8-1,3.2 (spectre élastique, option EC8_DF_E, ou de calcul, option EC8_DF_C). Un spectre normalisé peut être défini par son site ou ses paramètres typifiés, et son facteur de calage ; les paramètres fournis ou déterminés d'après le site sont édités dans le fichiers de résultats. Dans le cas des Eurocodes, l'indice 1 et 2 renvoie aux types 1 et 2 de séisme définis dans le paragraphe 3.2.2.2.

Les composantes horizontale et verticale d'un spectre peuvent être définies de manières indépendantes (possibilité de coupler un tableau de valeurs avec une forme normalisée).

La réponse de la structure pour une période donnée s'appuie sur une interpolation ou une extrapolation linéaire des valeurs connues les plus proches.

La nomenclature des sites se décompose de la façon suivante :

- 'S' désigne les sites définis par les Eurocodes; 'F' ceux définis par l'arrêté du 26 octobre 2011 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux ponts de la classe dite "à risque normal"
- A,B,C,D,E : désigne la classe de sol
- 1,2 : désigne le type de séisme étudié

Conditions d'emploi

- Cette commande doit précéder la commande REPONSE MODALE SEISME s'y référant.
- Toute nouvelle définition de spectre, horizontal ou vertical, se substitue à l'ancienne.
- Dans le cas de spectres normalisés verticaux, tous les coefficients réducteurs prévus dans les documents normatifs sont appliqués automatiquement.

Exemples

```
$ spectre de reponse sismique verticale en acceleration defini point/point
SPECTRE SISMIQUE VERTICAL 'SPECTRE VERTICAL D''ACCELERATION NON NORMALISE'
ACCELERATION
```

```
$ T      Gamma
0.00    2.00
1.00    4.00
3.00    6.00;
```

```
$ spectre de reponse sismique horizontale normalise
$ defini par ses parametres typifies
SPECTRE SISMIQUE HORIZONTAL
'SPECTRE HORIZONTAL NORMALISE ELASTIQUE DE L''AFPS92'
```

NORMALISE AFPS92 E
PARAMETRES TB 0.15 TC 0.30 TD 2.07 RA 1.00 RM 2.50
CALAGE 1.50;

Commandes liées

DYNAMIQUE ; REPOSE MODALE SEISME

11.17 - REPONSE MODALE SEISME

REPONSE MODALE SEISME titre_reponse COMPOSANTES $\begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{Bmatrix}$

* $\left\{ \begin{array}{l} \text{ORIENTATION_SEISME } \theta_z \\ \text{Q } c_comp \\ \text{SUPERPOSITION } \left\{ \begin{array}{l} \text{CQC} \\ \text{SRSS} \end{array} \right\} \\ \text{AMORTISSEMENT STRUCTURAL CALCULE} \\ \text{EDITER} \\ \text{ENREGISTRER } no_reponse \\ \text{CHARGEMENT } \left\{ \begin{array}{l} \text{MODE } no_mode \\ \text{EXTREME } \left\{ \begin{array}{l} \text{NOEUD } no_noeud \\ \text{ELEMENT } no_element \end{array} \right\} \\ \text{COMPOSANTE } no_comp \end{array} \right\} \text{FACTEUR } facteur \\ \text{[STRUCTURE } nom_structure \end{array} \right\};$

Paramètres

- titre_reponse : intitulé attribué à la réponse modale (chaîne de caractères) ;
- θ_z : angle orientant le repère d'application du séisme $OX_s Y_s Z_s$ par rotation autour de l'axe OZ du repère global ; par défaut, cet angle est nul et le séisme s'applique en repère global ;
- c_comp : coefficient de comportement (1.0 par défaut) ;
- no_reponse : numéro d'enregistrement éventuel de la réponse (totale), positif et inférieur à 90_000 ;
- no_mode : numéro d'ordre du mode utilisé pour générer le chargement nodal éventuel « de mode », qui lui équivaut, pour le module PH3 ;
- no_noeud, no_comp : numéro du nœud et numéro de la composante de déplacement utilisés pour générer le chargement nodal éventuel « d'effet extrême », pour le module PH3 ;
- no_element, no_comp : numéro de l'élément et numéro de la composante d'effort (1 à 6 pour l'origine et 7 à 12 pour l'extrémité) utilisés pour générer le chargement nodal éventuel « d'effet extrême », pour le module PH3 ;
- facteur : coefficient de pondération à appliquer au chargement de mode ou d'effet extrême ;
- nom_structure : nom de la structure sauvegardée sur laquelle s'appliquera le chargement généré pour le module PH3 (utilisé sur commande PHASES SUITE ...).

Fonctions

Cette commande déclenche le calcul de la réponse de la structure étudiée soumise à un séisme (prédéfini et dont elle fournit l'orientation), par superposition modale et analyse spectrale.

Avec l'option SUPERPOSITION SRSS, la superposition des effets des modes sélectionnés est obtenue par simple cumul quadratique, selon la méthode notée « SRSS » ; les écarts-types, σ_s , des effets résultants sont obtenus par la relation 11.22, avec les mêmes notations.

Avec l'option SUPERPOSITION CQC (retenue par défaut), la superposition des effets des modes sélectionnés est obtenue par un calcul dit « CQC » qui fait intervenir les coefficients de corrélation entre modes, des effets du séisme ; les écarts-types des effets résultants sont obtenus par la relation 11.23, avec les mêmes notations, et dans laquelle C_{ij} est calculée selon la formule classique de la CQC.

Les méthodes de superposition modale utilisées dans ce module s'appuient sur le paragraphe 5.2.4 de l'ouvrage *Calcul dynamique des structures en zone sismique*, Alain CAPRA et Victor DAVIDOVICI, éditions Eyrolles.

Avec l'option AMORTISSEMENT STRUCTURAL CALCULE, le coefficient d'amortissement structural de chaque mode est calculé à partir des caractéristiques d'amortissement associés aux éléments par la commande AMORTISSEMENT STRUCTURAL ELEMENTAIRE. Par défaut, c'est l'AMORTISSEMENT STRUCTURAL MODAL qui est utilisé.

Lorsque l'option COMPOSANTES invoque plusieurs composantes, leurs effets produits sont combinés quadratiquement.

Si un coefficient de comportement différent de 1.0 est associé à un spectre de calcul normalisé, il intervient comme un diviseur d'amplitude de la réponse sismique.

La réponse (totale) peut être éditée (avec l'option EDITER) et/ou enregistrée en base de données (avec l'option ENREGISTRER) ; par défaut, aucune réponse n'est éditée ni enregistrée.

Dans le cas d'une structure issue d'un calcul non linéaire, les efforts dans les éléments sont calculés à partir de leurs matrices de rigidité tangentes.

Les contraintes tangentes et normales y sont calculées sur la base du comportement élastique des matériaux ; en cas de non-linéarité mécanique, les contraintes normales dans les éléments concernés sont frappées d'un coefficient infiniment grand et non exploitables.

Les écarts-types des déplacements, réactions, effort et contraintes sont toujours édités, et pour chaque composante de la sollicitation considérée, les valeurs concomitantes des composantes associées sont calculées selon les relations 11.24, avec les mêmes notations.

Sont également toujours édités : pour chaque mode et chacune des composantes étudiées, l'écart-type et la covariance de la coordonnée généralisée.

Avec l'option CHARGEMENT, le chargement nodal équivalent à l'un des deux types d'effets suivants peut être généré (sous forme de commandes destinées au module PH3 qui s'empilent dans le fichier export : dynph3.don) :

- avec l'option MODE, le chargement nodal équivalent aux déplacements occasionnés par le mode spécifié est calculé et pondéré par le coefficient fourni ; le vecteur forces nodales s'écrit :

$$\{F_{mode}\} = facteur \cdot \sigma_{mode} \cdot A_{mode} \cdot [K] \cdot \{X_{mode}\} \quad (11.28)$$

- avec l'option EXTREME, le chargement nodal équivalent au vecteur déplacements dit « extrême » est calculé, pour tous les modes sélectionnés et pondéré par le coefficient fourni ; le vecteur forces nodales s'écrit :

$$\{F_{extreme}\} = facteur \cdot [K] \cdot \{X_{extreme}\} \quad (11.29)$$

Pour l'option CHARGEMENT EXTREME, le vecteur déplacements est constitué de l'écart-type du déplacement du nœud spécifié, selon la composante choisie, et des déplacements concomitants des autres degrés de liberté ; ces valeurs correspondent à l'effet total du séisme (voir relation 11.27).

Si aucune STRUCTURE n'est spécifiée, c'est la STRUCTURE courante qui est utilisée dans la commande PHASE SUITE du chargement généré.

Si une STRUCTURE est spécifiée, c'est nom_structure qui est utilisé dans la commande PHASE SUITE du chargement généré. La STRUCTURE courante est alors utilisée pour faire une nouvelle sauvegarde de STRUCTURE dans le chargement généré. Celle-ci peut alors être réutilisée pour un calcul dynamique. Il est alors possible de former une suite de calculs dynamiques et de chargements dans lesquels la structure courante est mise à jour en fonction du chargement appliqué.

Conditions d'emploi

- Plusieurs commandes REPONSE MODALE peuvent être introduites dans une même session.
- Cette commande doit être précédée des commandes MODES, AMORTISSEMENT STRUCTURAL et SPECTRE (pour les directions horizontale et/ou verticale) et éventuellement des commandes SELECTION MODES et ADMITTANCE MODALE.
- Le numéro d'identification d'un EFFET déjà enregistré par les modules PH3, ENV, DYN ou ETU (selon la terminologie employée par le module ETU, voir tableau 12.1) ne peut être utilisé pour désigner une RÉPONSE modale enregistrée.
- Si le séisme porte sur la composante X ou Y, un spectre horizontal doit être défini.
- Si le séisme porte sur la composante Z, un spectre vertical doit être défini.
- Le coefficient de comportement n'est compatible qu'avec les spectres de calcul.

Conseils méthodologiques

- Les chargements nodaux de mode ou d'effet extrême sont réservés aux calculs non linéaires.
- Pour utiliser correctement les options EXTREME ou MODE avec une STRUCTURE de référence, il faut préalablement faire une double sauvegarde dans PH3. L'une des deux sauvegardes figurera dans la commande STRUCTURE du module DYN et STRUCTURE sauvegardée (SAUVE nom_structure) dans le chargement généré. L'autre figurera dans la commande CHARGEMENT et sera utilisée comme STRUCTURE de référence pour le chargement généré (PHASE SUITE). La STRUCTURE de référence reste inchangée d'un calcul à un autre alors que la STRUCTURE utilisée pour le calcul dynamique est mise à jour. La séquence de données est la suivante :

```
$ phasage initial
SAUVE structref
SAUVE structdyn
```

```

FIN
$ Etape courante
DYNAMIQUE;
STRUCTURE structdyn;
REPONSE MODALE VENT
...
CHARGEMENT EXTREME ... STRUCTURE structref
...
FIN
$ chargement extreme du fichier dynph3.don
PHASAGE SUITE structref
CAS DE CHARGE
SAUVE structdyn
FIN

```

Exemples

```

$ -----
$ reponse modale de la structure sous un seisme horizontal oriente a 45.0
$ degres par rapport a l'axe OX global, dont on etudie la composante X
$ la reponse calculee selon la methode CQC (retenue par default) est editee
$ et enregistree sous le numero 100 ; pas de chargement genere pour PH3
$ -----
REPONSE MODALE SEISME
  'SEISME HORIZONTAL A 45.0 DEGRES'
  COMPOSANTES X
  ORIENTATION_SEISME 45.0
  EDITER
  ENREGISTRER 100;

$ -----
$ reponse modale de la structure sous un seisme global, dont on etudie les
$ trois composantes en repere global (pas d'orientation definie par default)
$ la reponse calculee en superposition quadratique est enregistree
$ sous le numero 200 et editee ; le chargement nodal d'effet extreme
$ calcule pour le noeud 1000 et la composante de deplacement 3 (Uz) est
$ pondere par le coefficient 2.0 et traduit en commandes pour le module PH3
$ qui utilisera la structure STRUC_2 en association
$ -----
REPONSE MODALE SEISME
  'SEISME MULTIDIRECTIONNEL'
  COMPOSANTES X Y Z
  SUPERPOSITION SRSS
  EDITER
  ENREGISTRER 200
  CHARGEMENT EXTREME NOEUD 1000 COMPOSANTE 3 FACTEUR 2.0
  STRUCTURE STRUC_2;

```

Commandes liées

DYNAMIQUE ; MODES ; SELECTION MODES

AMORTISSEMENT STRUCTURAL ; ADMITTANCE MODALE ; SPECTRE

11.18 - ACTION DETERMINISTE

ACTION DETERMINISTE titre_action

*	INTENSITE FOURIER T a_o $\langle a_i \ b_i \rangle_n$	}
*	INTENSITE MODALE TOTALE no_mode [FREQUENCE f]	
*	INTENSITE MODALE PARTIELLE no_mode [FREQUENCE f]	
[INTENSITE TABULEE $\langle t_i \ v_i \rangle_n$	
	INTENSITE FICHER fichier	
	MOBILE VITESSE vitesse ACCELERATION accélération	
	DUREE DEBUT t_deb [FIN t_fin]	
**	POIDS CAS no_cas	}
	FORCE CAS no_cas	
	POIDS POUTRE no_ptre COMPO ic VALEUR v POSITION x y z	
	FORCE POUTRE no_ptre COMPO ic VALEUR v POSITION x y z	
	MASSE POUTRE no_ptre COMPO ic VALEUR v POSITION x y z	
	POIDS SUPPORT no_sup COMPO ic VALEUR v POSITION x y z	
	FORCE SUPPORT no_sup COMPO ic VALEUR v POSITION x y z	
	MASSE SUPPORT no_sup COMPO ic VALEUR v POSITION x y z	
	POIDS NOEUD no_noeud COMPO ic VALEUR v	
	FORCE NOEUD no_noeud COMPO ic VALEUR v	
	MASSE NOEUD no_noeud COMPO ic VALEUR v	
	ACCELERATION NOEUD no_noeud COMPO ic VALEUR v	
	DEPLACEMENT NOEUD no_noeud COMPO ic VALEUR v	

Paramètres

- titre_action : intitulé attribué à l'action déterministe (chaîne de caractères) ;
- T : période de pulsation de la série de Fourier en secondes ;
- a_o : terme constant de la série de Fourier ;
- a_i : i ème coefficient en cosinus de la série de Fourier ;
- b_i : i ème coefficient en sinus de la série de Fourier ;
- t_i, v_i : tableau de définition des paramètres d'évolution temporelle ;
- nu_mode : numéro du mode concerné ;
- f : fréquence de l'action, par défaut c'est celle du mode ;
- fichier : nom du fichier contenant les valeurs tabulées t_i, v_i ;
- vitesse : valeur de la vitesse de l'action ;
- accélération : valeur de l'accélération de l'action ;
- t_deb : instant en secondes de début de l'action (0 secondes ou t_o par défaut) ;
- t_fin : instant en secondes de la fin de l'action (sans fin ou t_n par défaut) ;
- no_cas : numéro du cas de charge de PH3 à appliquer ;
- no_ptre : numéro de la poutre à charger ;
- no_sup : numéro du support de ENV à charger ;
- no_noeud : numéro du nœud du modèle à charger ;

- ic : numéro de la composante de chargement ;
- v : intensité de l'action ;
- x,y,z : coordonnées initiales du chargement ;

Fonctions

Cette commande permet de définir une action dynamique du type déterministe. Cette action est automatiquement appliquée lors du traitement de la commande REPONSE TEMPORELLE qui suit cette commande.

Les options INTENSITE, MOBILE et DUREE permettent de contrôler l'application de la charge. Ils sont optionnels et ne sont pas exclusifs entre-eux. Par défaut, la charge dynamique est fixe, d'intensité constante et appliquée depuis le début de l'instant considéré jusqu'à la fin.

Avec l'option INTENSITE FOURIER, l'intensité de la charge est modulée par une série de Fourier définie de la façon suivante :

$$facteur = a_0 + \sum_{i=1,n} a_i \cos(2 \pi i \frac{t}{T}) + b_i \sin(2 \pi i \frac{t}{T})$$

Le facteur obtenu au temps t, compté depuis le début de l'action déterministe: t_deb, est appliqué à l'intensité de la charge.

Avec l'option INTENSITE MODALE TOTALE, l'intensité de la charge est modulée par une fonction sinusoïdale de fréquence f donnée ou sinon celle du mode nu_mode :

$$facteur = \sin(2 \pi f t)$$

Le facteur obtenu au temps t, compté depuis le début de l'action déterministe : t_deb, est appliqué à l'intensité de la charge. Si le sens de la force initiale (avant application du facteur) appliquée à un nœud est l'inverse (au sens du produit scalaire) de celle du déplacement nodal du mode sélectionné, le signe de la charge nodale est **inversée**. Cette option ne concerne que les actions du type FORCE non MOBILES. Elle correspond aux charges piétonnières telles qu'indiquées dans le guide Méthodologique du Sétra publié en 2006 : « Passerelles piétonnières - Évaluation du comportement vibratoire sous l'action des piétons ».

Avec l'option INTENSITE MODALE PARTIELLE, l'intensité de la charge est modulée par une fonction sinusoïdale de fréquence f donnée ou sinon celle du mode nu_mode :

$$facteur = \sin(2 \pi f t)$$

Le facteur obtenu au temps t, compté depuis le début de l'action déterministe : t_deb, est appliqué à l'intensité de la charge. Si le sens de la force initiale (avant application du facteur) appliquée à un nœud est l'inverse (au sens du produit scalaire) de celle du déplacement nodal du mode sélectionné, la charge nodale est **annulée**. Cette option ne concerne que les actions du type FORCE non MOBILES. Elle correspond aux charges piétonnières qui ne sont appliquées que si elles ont un effet défavorable pour le mode sélectionné. Si elles sont favorables elles sont annulées.

Avec l'option INTENSITE TABULEE ou l'option INTENSITE FICHER, l'intensité de la charge est modulée par la valeur obtenue au temps t par interpolation linéaire des valeurs de tabulation : t_i, v_i.

$$\begin{aligned} \text{facteur} &= v_{i-1} + \left(\frac{v_i - v_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} \right) (t - t_{i-1}) \quad \text{pour } t \in [t_{i-1}, t_i] \\ \text{facteur} &= v_1 \quad \text{pour } t < t_1 \\ \text{facteur} &= v_n \quad \text{pour } t > t_n \end{aligned}$$

Le temps t est celui de la réponse temporelle. Le facteur obtenu au temps t est appliqué à l'intensité de la charge. Les options d'INTENSITE sont interdites pour des POIDS et des MASSES.

Avec l'option MOBILE, l'action est affectée d'une vitesse et/ou d'une accélération. Cette option est interdite avec des CAS DE CHARGE et des actions sur les NŒUDS. L'origine des temps est prise égale à 0 par défaut ou à t_{deb} sinon. La position initiale est celle indiquée par la définition de l'action. Le sens positif est le sens de parcours du SUPPORT ou de la POUTRE.

Avec l'option DUREE, l'action est affectée d'un instant de début d'application: t_{deb} et, optionnellement, d'un instant de fin d'application: t_{fin} . L'origine des temps est zéro. Par défaut, le début et la fin d'application de l'action sont confondus avec ceux de la plage temporelle complète définie par la commande ACTION TEMPORELLE.

Les actions peuvent être de l'un des types suivants :

- CAS : un CAS DE CHARGE numéroté de PH3 est appliqué. Si l'option POIDS est indiquée ce sont les forces appliquées plus les masses correspondantes qui sont considérées. Si l'option FORCE est indiquée seules les forces du cas de charge sont appliquées.
- POUTRE : une FORCE ou un POIDS (MASSE+FORCE) d'intensité v est appliqué selon la composante ic à la position x , y et z de la POUTRE dans le repère de la FIBRE REPERE.
- SUPPORT : une FORCE ou un POIDS (MASSE+FORCE) d'intensité v est appliqué selon la composante ic à la position x , y et z du SUPPORT défini en données de ENV. Ce support doit être un support simple constitué d'éléments ou de poutres. Il ne doit pas être constitué de supports ou de nœuds.
- NŒUD : une FORCE, une MASSE, un POIDS, une ACCELERATION ou un DEPLACEMENT d'intensité v est appliqué selon la composante ic sur le nœud no_{noeud} .

Ces différents chargements peuvent être combinés entre-eux. Une MASSE ou un POIDS ne peut concerner que la composante verticale. Leur intensité est toujours positive. Une ACCELERATION ou un DEPLACEMENT ne peut être appliqué que sur un appui. La composante indiquée est la composante selon le repère global et non le repère local.

Conditions d'emploi

- Plusieurs ACTIONS DETERMINISTES peuvent précéder la ou les commandes REPONSE TEMPORELLE qui vont les traiter.

Exemples

```

$ -----
$ action deterministe representant un choc de vehicule defini sous forme de
$ cas de charge numerote 100 de PH3. La masse et la force exercee sont
$ considerees dans l'analyse temporelle. Le choc est applique au temps 0.
$ Seule la composante verticale du chargement est utilisée pour déterminer
$ la masse du camion.
$ -----
ACTION DETERMINISTE

```

```
'CHOC D UN CAMION SUR UNE PILE'  
POIDS CAS 100 ;  
  
$ -----  
$ action deterministe representant le deplacement d un vehicule de 250  
$ tonnes sur un tablier, roulant à la vitesse de 10 m/s et dont la position  
$ initiale est a l'origine du tablier et a l'ordonnee: -3.00 m.  
$ -----  
ACTION DETERMINISTE  
  'DEPLACEMENT D UN CAMION SUR UN TABLIER'  
  MOBILE VITESSE 10  
  POIDS POUTRE 1 COMPOSANTE 3 VALEUR 250 POSITION 0. -3.00 0.20 ;  
  
$ -----  
$ action deterministe representant le deplacement d un vehicule de 250  
$ tonnes sur un support constitue d une succession d'elements, roulant a la  
$ vitesse de 10 m/s , dont l'acceleration est de 2 m/s/s et dont la  
$ position initiale est a l'origine du support et a l'ordonnee: -3.00 m.  
$ -----  
ACTION DETERMINISTE  
  'DEPLACEMENT D UN CAMION SUR UNE SUCCESSION D ELEMENTS'  
  MOBILE VITESSE 10 ACCELERATION 2  
  POIDS SUPPORT 1 COMPOSANTE 3 VALEUR 250 POSITION 0. -3.00 0.20 ;  
  
$ -----  
$ action deterministe modale totale representant une charge pietonne  
$ introduite sous dorme de cas de charge et dont l intensite s inverse en  
$ fonction du signe de la deformee du mode selectionne 3. Sa frequence est  
$ celle du mode.  
$ -----  
ACTION DETERMINISTE 'oscillateur modal total'  
INTENSITE MODALE TOTALE 3  
FORCE CAS 1 ;
```

```

$ -----
$ action deterministe representant une action harmonique sinusoidale
$ horizontale d'intensite 2.5 tonnes, de periode 1.5 seconde, de valeur
$ moyenne 2, de facteur 4, debutant a 10 secondes du temps origine et se
$ terminant a 100 secondes du temps origine;
$ -----
ACTION DETERMINISTE
  'FORCE SINUSOIDALE HORIZONTALE '
  INTENSITE FOURIER 1.5 2. 0. 4.
  DUREE DEBUT 10 FIN 100
  FORCE NOEUD 20 COMPOSANTE 2 VALEUR 2.5 ;

$ action deterministe representant une action harmonique sinusoidale
$ horizontale d'intensite 2.5 tonnes, de periode 1.5 seconde, de valeur
$ moyenne 2 et de facteur 4. Elle se deplace sur une poutre a la vitesse
$ de 5 m/s
$ -----
ACTION DETERMINISTE
  'FORCE SINUSOIDALE HORIZONTALE MOBILE'
  MOBILE VITESSE 5
  INTENSITE FOURIER 1.5 2. 0. 4.
  FORCE POUTRE 10 COMPOSANTE 2 VALEUR 2.5 POSITION 0.0 0.0 0.0 ;

$ -----
$ actions deterministes representant une accelerogramme horizontal d axe Y
$ et vertical s exerçant sur les appuis aux nœuds 10 , 20 et 30.
$ -----
ACTION DETERMINISTE
  'ACCELOGRAMME HORIZONTAL AXE Y'
  INTENSITE TABULEE 0. 1. 0.01 2...
  ACCELERATION NOEUD 10 COMPOSANTE 2 VALEUR 1.00
  ACCELERATION NOEUD 20 COMPOSANTE 2 VALEUR 1.00
  ACCELERATION NOEUD 30 COMPOSANTE 2 VALEUR 1.00 ;
ACTION DETERMINISTE
  'ACCELOGRAMME VERTICAL'
  INTENSITE TABULEE 0. 1.5. 0.01 1.4...
  ACCELERATION NOEUD 10 COMPOSANTE 3 VALEUR 1.00
  ACCELERATION NOEUD 20 COMPOSANTE 3 VALEUR 1.00
  ACCELERATION NOEUD 30 COMPOSANTE 3 VALEUR 1.00 ;

```

Commandes liées

DYNAMIQUE ; REPONSE TEMPORELLE ; CAS DE CHARGE (PH3)

SUPPORT (ENV)

11.19 - ACTION ACCIDENTELLE

ACTION ACCIDENTELLE titre_action

```

**
[ { RUPTURE  ELEMENT  <no_element>_n
  { RUPTURE  APPUI    <no_noeud>_n
  { RUPTURE  CABLE    <nom_cable>_n } ]];

```

Paramètres

- titre_action : intitulé attribué à l'action accidentelle (chaîne de caractères) ;
- no_element : numéro d'élément supprimé ;
- no_noeud : numéro de nœud portant un appui à supprimer ;
- nom_câble : nom de câble supprimé ;

Fonctions

Cette commande permet de définir une action dynamique du type accidentel. Cette action est automatiquement appliquée au temps t_debut lors du traitement de la commande REPONSE TEMPORELLE qui suit cette commande.

Conditions d'emploi

- Cette commande doit-être introduite avant la commande REPONSE TEMPORELLE qui va la traiter.
- Les différentes entités supprimées doivent être distinctes.
- Cette commande peut-être combinée à une action déterministe.

Exemples

```

$ -----
$ action accidentelle de rupture simultanee d'elements et de cables.
$ -----
ACTION ACCIDENTELLE
  'RUPTURE DE CABLES ET D ELEMENTS'
  RUPTURE ELEMENTS 10 11 12
  RUPTURE CABLES CABLE21 CABLE22 CABLE23;

$ -----
$ action accidentelle de rupture simultanee de plusieurs appuis.
$ -----
ACTION ACCIDENTELLE
  'RUPTURE D APPUIS'
  RUPTURE APPUIS 10 20 30;

```

Commandes liées

DYNAMIQUE ; REPONSE TEMPORELLE

11.20 - ACTION STOCHASTIQUE VENT

ACTION STOCHASTIQUE VENT titre_action

PERIODE To_r

ECHANTILLONS_FREQUENTIELS nb_frequencies

$$\left[\begin{array}{l}
 \text{AMORTISSEMENT_AERODYNAMIQUE} \\
 \text{DISTANCE_CORRELATION } d_correlation \\
 * \text{ORIENTATION_VENT } \theta_z \ \theta_y \\
 \text{DENSITES_SPECTRALES } \text{NOEUDS } \langle \text{no_noeud_1} \ \text{no_noeud_2} \rangle_n \\
 \left(\begin{array}{l}
 \text{FENETRE } \left\{ \begin{array}{l} \text{PARZEN } \text{largeur} \\ \text{PERIODOGRAMME } \text{nb_f_moy} \end{array} \right\} \\
 \text{INTEGRATION}
 \end{array} \right) \\
 \text{SIMULATION } \text{SEMENCE } \text{no_semence } \text{SERIES } \text{nb_series}
 \end{array} \right];$$

Paramètres

- titre_action : intitulé attribué à l'action stochastique vent (chaîne de caractères) ;
- To_r : période de référence du vent généré ;
- nb_frequencies : nombre d'échantillons fréquentiels de référence ; doit être une puissance de 2 supérieure à 8 et inférieure ou égale à 32768 ;
- no_noeud_1 et no_noeud_2 : numéros des nœuds de calcul des densités ;
- d_correlation : distance maximale de prise en compte de la corrélation ;
- θ_z, θ_y : angles orientant le repère vent par rotation autour de l'axe OZ, puis autour du « nouvel » axe OY, du repère global ; par défaut, ces angles sont nuls, les axes Ou, Ov et Ow du repère vent sont confondus respectivement avec les axes OX, OY et OZ du repère global, et le vecteur vitesse moyenne est parallèle à OX (Figure 11.5) ;
- largeur : largeur comprise entre 1 et 4 de la fenêtre à considérer pour la troncature (3 par défaut) ;
- nb_f_moy : nombre de fréquences de moyennage du périodogramme (valeur conseillée : 10) ;
- no_semence : numéro de la semence stochastique à considérer pour la simulation (doit être supérieur à zéro) ;
- nb_séries : nombre de séries temporelles à générer pour la simulation ;

Fonctions

Cette commande permet de définir une action dynamique du type vent stochastique. Cette action est automatiquement appliquée lors du traitement de la commande REPONSE TEMPORELLE qui suit cette commande.

La période T_{o_r} permet de déterminer la période la plus longue du vent synthétique généré. L'étendue du spectre est définie par :

$$f \in \left[\frac{1}{T_{o_r}}, \frac{n_f}{2T_{o_r}} \right]$$

Ici n_f est le paramètre nb_frequencies. Le pas de temps de discrétisation temporelle est égal à :

$$\Delta t = \frac{T_{o_r}}{n_f}$$

Le pas de temps de discrétisation fréquentielle est égal à :

$$\Delta f = \frac{1}{T_{o_r}}$$

L'étendue du spectre fréquentiel est un paramètre essentiel de la qualité de l'analyse.

Avec l'option AMORTISSEMENT_AERODYNAMIQUE, la vitesse du vent est corrigée par la vitesse de la structure pour obtenir une vitesse de vent apparente à partir de laquelle sont calculées les forces sur la structure.

Avec l'option DISTANCE_CORRELATION, on fixe la distance au delà de laquelle les densités interspectrales sont supposées nulles. Ce paramètre permet de réduire la taille des matrices de densité interspectrales. Toutefois, ce paramètre est à manier avec précaution car il peut conduire, s'il est pris trop petit, à des matrices de densité interspectrale non définies positives. La valeur par défaut est fixée à 1000 m.

Avec l'option DENSITES_SPECTRALE, il est possible demander le calcul des densités interspectrales de la vitesse du vent généré des nœuds no_nœud_1 et no_nœud_2 considérés et des valeurs théoriques correspondantes. Si les deux nœuds ont le même numéro, c'est la densité spectrale du vent au nœud considéré qui est analysée. Ces éléments sont édités soit dans le cadre de l'option SIMULATION ci-dessous ou dans le cadre du calcul TEMPOREL proprement dit.

La FENETRE permet d'indiquer le mode de calcul de la densité spectrale. Avec l'option PARZEN une fenêtre d'apodisation de PARZEN est appliquée. La largeur de cette fenêtre est pilotée par le paramètre largeur qui vaut 1 pour la plus faible et 4 pour la plus large. La valeur conseillée est 3. Avec l'option PERIODOGRAMME, c'est directement le périodogramme de la vitesse qui est calculé et moyenné en prenant nb_freq valeurs de part et d'autre de la valeur de calcul. Cette option ne fonctionne pas pour les densités interspectrales (valeur nulle retournée). Avec l'option, INTEGRATION, l'auto-corrélation est calculée et intégrée pour obtenir la densité spectrale. Il est à noter que la précision de calcul de la densité spectrale est moins bonne sur les faibles fréquences et excellente sur les hautes fréquences. Il arrive que l'on obtienne une estimation de la densité spectrale pour les faibles fréquences à un facteur 2 près.

Avec l'option SIMULATION, il est possible d'obtenir avant le calcul effectif des effets du vent, une estimation des densités du vent qui va être généré. Il faut alors indiquer le numéro de la semence de génération aléatoire des déphasages et le nombre de séries à générer, sachant qu'une série dure T_{o_r} secondes. Cette option n'a de sens que si l'option DENSITES_SPECTRALES est codée.

Le schéma général de génération des forces de vent est pour chaque série le suivant :

- Calcul des matrices de densité interspectrale des nœuds sollicités par le vent pour chaque fréquence d'échantillonnage et dans chaque direction du vent ;
- Factorisation de ces matrices ;
- Génération pour chaque nœud sollicité par le vent et pour chaque fréquence d'une liste de déphasages ;
- Calcul des amplitudes fréquentielles des vitesses en chaque nœud à partir des matrices de densité spectrale ;
- Calcul des amplitudes temporelles des vitesses pour chaque nœud par la transformation de Fourier inverse selon la méthode de la FAST FOURIER TRANSFORMATION ;
- Calcul pour chaque pas de temps de la vitesse courante du vent en chaque nœud et selon les trois directions ;
- Calcul de la vitesse relative sur option ;
- Calcul des forces aux nœuds à partir des coefficients aérodynamiques des éléments.

Dans le cadre d'une SIMULATION ou lors du calcul TEMPOREL, les éléments de contrôle suivants sont éditées pour chaque paire de nœuds de l'option DENSITES_SPECTRALES :

- Tableau des densités spectrales et interspectrales pour chaque fréquence d'échantillonnage ;
- Ecart moyen entre densités des vitesses simulées et densité spécifiée ;
- Ecarts-types calculés sur la base de la densité spectrale initiale et sur la base de la densité spectrale du vent simulé ;
- Vecteur vitesse moyen et vecteur forces moyen ;
- Ecart global moyen entre les densités spectrales spécifiées et les densités du vent simulées pour l'ensemble des nœuds de contrôle ;

En présence de vents de caractéristiques différentes, les densités interspectrales sont calculées en prenant en compte une densité interspectrale nulle pour deux nœuds situés dans deux zones de vent distincts.

Il est à noter que les déphasages générés sont identiques d'une session de calcul à une autre pour autant que le numéro de la semence soit le même. La semence définit un scénario temporel reproductible car elle initialise la fonction "random" utilisée pour générer les signaux aléatoires. Pour que 2 calculs successifs dans 2 sessions distinctes soient indépendants, il faut que la différence entre les deux semences soit au moins égale à $3 * n_{noe} * n_f * n_{nb_series}$ où n_{noe} est le nombre de nœuds sollicités par le vent.

Les forces sur la structure sont condensées aux nœuds mais sont calculées à partir des caractéristiques aérodynamiques des éléments.

Conditions d'emploi

- Cette commande doit-être introduite avant la commande REPONSE TEMPORELLE qui va la traiter.
- Un ou plusieurs vents doivent être préalablement définis.
- Si plusieurs vents sont définis, ils doivent être disjoints géométriquement c'est à dire sans zone de recouvrement.
- Une structure doit être préalablement spécifiée.
- Cette commande peut-être combinée à une action déterministe.

Conseils méthodologiques

- Il est conseillé de faire une simulation pour vérifier que les paramètres d'échantillonnage sont corrects. Les densités seront choisis sur des nœuds de l'ouvrage significatifs eu égard au vent.
- Le nombre de séries temporelles doit être toujours supérieur ou égal à 5. Pour un nombre de séries supérieur ou égal à 20, les résultats moyens sont assez proches de la valeur asymptotique. Il faut également vérifier qu'en moyenne le système de forces généré est proche des effets du vent moyen. Les éléments de contrôle édités par PCP seront analysés en ce sens.
- La période de référence doit être suffisamment longue pour que les basses fréquences soient représentées. De plus, elle doit être grande par rapport à la période du premier mode de vibration de l'ouvrage. Il est conseillé de ne pas descendre en dessous de 256 secondes et de prendre pour valeur une puissance de 2 pour obtenir un pas de temps simple. Il est à noter que cette période détermine le pas de discrétisation fréquentiel. Plus elle est grande plus le pas fréquentiel sera petit et plus la discrétisation sera fine.
- Le pas de temps d'échantillonnage temporel doit être supérieur ou égal au pas de discrétisation de l'analyse temporelle.
- Le nombre de fréquences d'échantillonnage doit être tel que les hautes fréquences soient suffisamment représentées. La plage de fréquences obtenue doit encadrer les modes de vibration significatifs de la structure.

Exemples

```

$ -----
$ Vent soufflant en Y. Les densités sont calculées aux nœuds 200 et 201.
$ l'amortissement aérodynamique est actif. Le nombre d'échantillons
$ fréquentiels est pris égal à 512 et la période de référence est de 25.6s
$ le pas de temps utilisé pour la simulation est 0.025 secondes , la
$ semence est prise égale à 1. le nombre de séries temporelles est fixé
$ égal à 20.
$ -----
ACTION STOCHASTIQUE VENT
" VENT DE NORD-OUEST STOCHASTIQUE"
PERIODE                25.6
FREQUENCES              512
ORIENTATION_VENT      90 0
AMORTISSEMENT_AERODYNAMIQUE
DENSITES_SPECTRALES_NOEUDS 200 200 201 201 200 201
SIMULATION_SEMENCE 1 SERIES 20;

```

Commandes liées

DYNAMIQUE ; STRUCTURE ; VENT ; REPONSE TEMPORELLE

11.21 - REPONSE TEMPORELLE

REPONSE TEMPORELLE titre_reponse

```

[AMORTISSEMENT STRUCTURAL { RAYLEIGH          a  b }
                          { RAYLEIGH  CALCULE f1 f2 }
                          { MODAL          a  b }
                          { MODAL  CALCULE a  b }
                          { MODAL  FILTRE  fc dc } ]

[AMORTISSEMENT  DIRECT { TANGENT
                        { MIXTE ftangent fsecant nb_ite } (vitesse_troncature) ]

* [ { MATRICE  AMORTISSEMENT { IGNOREE
                             { INITIALE
                             { TEMPORELLE
                             { EXACTE } } } } ]
  [ { MATRICE  RIGIDITE { TANGENTE
                        { EXACTE } } } ]
  [ { MATRICE  MASSE { IGNOREE
                     { INITIALE
                     { TEMPORELLE
                     { EXACTE } } } } ] ]

[NEWMARK  p1  p2] [SEMENCE  no_semence]
[INDICES  indice_deb  indice_fin]

[CINEMATIQUE { ABSOLUE }
             { RELATIVE } ]

* [ { ETAT [EDITER [options_ed itions]] [ENREGISTRER no_etats] PAS pas_e }
  [ { EXTREMAS [EDITER ] [ENREGISTRER no_reponse] [options_ex tremas] } ] ]

[options non lineaires]
DEBUT t_debut  FIN  t_fin  PAS  t_pas;

[options_ed itions ] = [options_ex tremas] = [ { ACCELERATIONS
                                              VITESSES
                                              DEPLACEMENTS
                                              REACTIONS
                                              EFFORTS  ELEMENTS
                                              EFFORTS  SECTIONS
                                              CONTRAINTES NORMALES
                                              CONTRAINTES TANGENTES } ]

```

Paramètres

- titre_reponse : intitulé attribué à la réponse temporelle (chaîne de caractères) ;
- a et b : coefficients de RAYLEIGH pour la construction de la matrice d'amortissement ;
- f_1 et f_2 : fréquence de calcul des coefficients de RAYLEIGH ;
- f_c : fréquence de filtrage des modes supérieurs ;
- d_c : incrément exprimé en pourcentage de l'amortissement critique de l'amortissement au delà de la fréquence de filtrage : f_c ;
- f_{tangent} et f_{secant} : facteurs de l'amortissement tangent et sécant en mode MIXTE ;
- nb_ite : nombre d'itérations d'équilibre à partir duquel le mode MIXTE est mis en oeuvre ;
- vitesse_troncature : vitesse en dessous de laquelle la loi en puissance de l'amortissement est dégénérée en loi cubique tangente à la courbe réelle au droit de la vitesse de troncature. La valeur par défaut est 1.e-06 ;
- p_1 et p_2 : paramètres permettant de piloter le schéma de résolution de NEWMARK. Par défaut ces valeurs sont fixées à 0.5 chacune ;
- no_semence : numéro de la semence stochastique à considérer pour une simulation stochastique (1 par défaut) ;
- indice_deb et indice_fin : numéros des pas de temps de début et de fin de la plage temporelle à générer. Par défaut la plage temporelle est complète donc indice_deb=1 et indice_fin=(t_fin-t_debut)/tpas+1 ;
- no_etats : numéro d'enregistrement des différents états temporels successifs, positif et inférieur à 999. Ce numéro est indépendant des numéros d'effets ;
- no_reponse : numéro d'enregistrement éventuel de la réponse positif et inférieur à 90_000. Ce numéro doit être compatible avec les numéros d'effets déjà enregistrés ;
- pas_e : pas d'édition ou d'enregistrement des états successifs. Ne sont édités et/ou enregistrés que les numéros d'états multiples de ce pas : 0, pas_e, 2 pas_e, etc. ;
- t_debut et t_fin : temps initial et final du calcul temporel en secondes avec t_debut ≥ 0 et t_fin < 9999 ;
- t_pas : incrément de temps en secondes à appliquer entre deux instants de calcul temporel. C'est le pas de discrétisation temporel ;

Fonctions

Cette commande déclenche le calcul de la réponse temporelle à une action ou plusieurs actions déterministes, une action accidentelle et/ou une action stochastique. Les seuls paramètres obligatoires sont les temps en seconde de début et de fin de calcul de la réponse temporelle ainsi que le pas de discrétisation temporel. La structure considérée est la structure définie par la commande STRUCTURE.

Il est à noter que les différentes options de calcul temporel permettent d'inhiber les effets dynamiques et de mener un calcul purement statique, par exemple, sous un déplacement de charges.

Les masses introduites par l'utilisateur sous forme d'ACTIONS peuvent être prises en compte dans leur configuration courante de différentes manières plus ou moins précises avec l'option MATRICE MASSES.

Les amortissements pris en compte sont calculés selon différentes modalités en fonction des AMORTISSEMENTS ELEMENTAIRES , MODAUX et/ou DIRECTS introduits par l'utilisateur. L'utilisateur doit être attentif aux conditions de l'amortissement car ils déterminent la réponse de la structure. Dans le cas d'un calcul non linéaire, l'amortissement de plastification n'est pas pris en compte de façon spécifique par le logiciel. Ce qui signifie que si la structure est susceptible de se plastifier, il faut introduire un amortissement structurel supplémentaire correspondant.

AMORTISSEMENT STRUCTURAL

Par défaut aucun AMORTISSEMENT STRUCTURAL n'est appliqué. Mais, par contre, si un AMORTISSEMENT DIRECT a été introduit par l'utilisateur, il sera automatiquement pris en compte même en l'absence d'amortissement structurel.

Les différentes options relatives aux AMORTISSEMENTS STRUCTURALS sont les suivantes :

- RAYLEIGH : L'amortissement est calculé selon la méthode dite de RAYLEIGH qui consiste à construire la matrice d'amortissement comme une combinaison de la matrice des masses pondérée par a et de la matrice de rigidité pondérée par b.

$$[A] = a [M] + b [K]$$

- RAYLEIGH CALCULE : L'amortissement est calculé selon la méthode dite de RAYLEIGH mais les coefficients a et b relatifs à chaque élément ou nœud sont calculés à partir de la valeur des fréquences f_1 et f_2 , et à partir des AMORTISSEMENTS STRUCTURAUX ELEMENTAIRES ξ_e et ξ_n de la façon suivante :

$$[A_e] = a_e [M_e] + b_e [K_e]$$

$$[A_n] = a_n [M_n] + b_n [K_n]$$

$$\begin{Bmatrix} a_e \\ b_e \end{Bmatrix} = \frac{2\xi_e}{\omega_1 + \omega_2} \begin{Bmatrix} \omega_1 \omega_2 \\ 1 \end{Bmatrix} \quad \begin{Bmatrix} a_n \\ b_n \end{Bmatrix} = \frac{2\xi_n}{\omega_1 + \omega_2} \begin{Bmatrix} \omega_1 \omega_2 \\ 1 \end{Bmatrix}$$

$$\omega_i = 2\pi f_i$$

$$[A] = \sum [A_e] + \sum [A_n]$$

Cette option ne peut être introduite que si des AMORTISSEMENTS ELEMENTAIRES ont été introduits par l'utilisateur.

- MODAL : L'amortissement total est la somme de l'amortissement associé à chaque mode calculé comme une participation spécifique du mode à l'amortissement général et d'un amortissement de RAYLEIGH calculé à partir des coefficients a et b.

$$[A] = a [M] + b [K] + [M] \left[\sum_{i=1,n} \frac{2\xi_i \omega_i}{m_i} X_i X_i^T \right] [M]$$

Les paramètres ξ_i , ω_i et m_i sont respectivement les amortissements, les pulsations et les masses généralisées associées à chaque mode. Cette option ne peut être introduite que si un calcul des MODES a été préalablement demandé. Si les coefficients de RAYLEIGH sont différents de 0, il appartient à l'utilisateur de prendre en compte cet amortissement supplémentaire en le soustrayant lors de l'évaluation des amortissements modaux.

MODAL CALCULE : L'amortissement est calculé de la même manière qu'en MODAL simple mais les amortissements modaux sont calculés à partir des caractéristiques des matériaux et des appuis. Cette option ne peut être introduite que si des AMORTISSEMENTS ELEMENTAIRES ont été introduits par l'utilisateur et si un calcul des MODES a été préalablement demandé. Si les coefficients de RAYLEIGH sont différents de 0, il appartient à l'utilisateur de prendre en compte cet amortissement supplémentaire en le soustrayant lors de l'évaluation des amortissements modaux.

- **MODAL FILTRE** : L'amortissement est calculé de la même manière qu'en MODAL CALCULE : les amortissements modaux sont calculés à partir des caractéristiques des matériaux et des appuis. Mais les coefficients de RAYLEIGH sont calculés de telle manière que la droite d'amortissement de RAYLEIGH (on pose $a=0$) passe par le point défini par f_c et l'amortissement modal minimal. Au delà de f_c et jusqu'à la fréquence du dernier mode calculé : f_n , l'amortissement modal est augmenté de d_c . En deçà, il est diminué de la valeur de l'amortissement de RAYLEIGH.

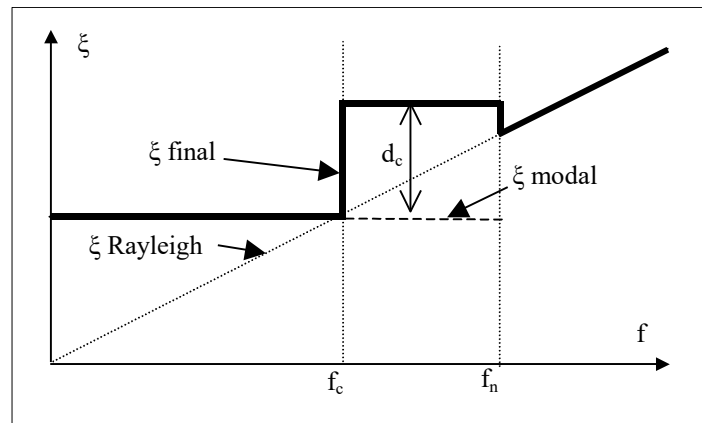


Figure 11.6 – Courbe d'amortissement filtrée

L'amortissement modal en présence d'une structure mixte varie d'un mode à un autre. L'amortissement modal utilisé est alors l'amortissement minimal.

$$[A] = a [M] + b [K] + [M] \left[\sum_{i=1,n} \frac{2\xi_i \omega_i}{m_i} X_i X_i^T \right] [M]$$

$$\text{avec } a = 0 \quad b = \frac{\xi_{\min}}{\pi f_c}$$

$$\xi_i = \xi_i^{\text{ini}} - \frac{b}{2} \omega_i \quad \text{si } f_i \leq f_c$$

$$\xi_i = \min(\xi_i^{\text{ini}} + d_c, \xi_{\min} + d_c) - \frac{b}{2} \omega_i \quad \text{et } \xi_i > 0 \quad \text{si } f_i > f_c$$

$$\xi_{\min} : \min_{i=1,n} (\xi_i^{\text{ini}})$$

$$\xi_i^{\text{ini}} : \text{Amortissement modal initial avant correction du } i^{\text{eme}} \text{ mode}$$

Cette option ne peut être introduite que si des AMORTISSEMENTS ELEMENTAIRES ont été définis par l'utilisateur et si un calcul des MODES a été préalablement demandé.

AMORTISSEMENT DIRECT

Cette option permet de modifier le comportement par défaut des AMORTISSEURS DIRECTS. Par défaut l'opérateur de convergence de l'amortissement est pris égal à l'opérateur TANGENT. Avec cette option il peut être fixé, à partir de nb_ite itérations d'équilibre, à une valeur MIXTE obtenue par combinaison linéaire de l'opérateur tangent et de l'opérateur sécant au moyen des coefficients f_{tangent} et $f_{\text{sécant}}$. Pour les lois d'amortissement en puissance, une vitesse de troncature peut être précisée de manière à dégénérer la loi en puissance en loi cubique pour des valeurs de vitesse inférieure à cette vitesse de troncature. L'opérateur MIXTE diminue les risques d'oscillation mais ralentit les calculs. L'augmentation de la vitesse de troncature diminue également les risques d'oscillation. Lorsqu'une oscillation de la convergence en équilibre a pour origine l'amortissement direct on pourra dans un premier temps augmenter la vitesse de troncature puis, dans un deuxième temps, utiliser l'amortissement mixte avec des valeurs telles que $f_{\text{tangent}} + f_{\text{sécant}} = 1$ et f_{tangent} supérieur ou égal à $f_{\text{sécant}}$. Les valeurs conseillées sont respectivement 0.75 et 0.25. Le nombre d'itérations de basculement pourra être pris égal à 50.

MATRICES DE CALCUL

Les options de calcul des MATRICES sont les suivantes :

- RIGIDITE TANGENTE : La matrice de rigidité tangente calculée par PH3 au moment de la sauvegarde de la STRUCTURE est utilisée et reste inchangée durant tout le processus du calcul temporel. Toutes les options de calcul non linéaire sont inhibées. Dans le cas d'un calcul linéaire comportant un calcul en chaîne des haubans, celui-ci est également inhibé. Cette option permet de conduire un calcul TEMPOREL linéaire à la suite d'un phasage de construction non linéaire ou en présence d'entités ELASTOPLASTIQUES.
- RIGIDITE EXACTE : Toutes les options non linéaires de calcul des rigidités du module PH3 sont reconduites pour le calcul temporel. Il en est de même dans le cas d'un calcul linéaire avec chaîne. C'est l'option par défaut.
- MASSE IGNOREE : La matrice des masses n'est pas prise en compte. Cette option permet d'obtenir les effets purement statiques d'une ACTION donnée.
- MASSE INITIALE : La matrice des masses est calculée une seule fois et n'est plus modifiée par la suite. Cette option ne peut pas être introduite avec des actions déterministes dont la MASSE varie.
- MASSE TEMPORELLE : La matrice des masses est actualisée au début de chaque pas de temps et reste inchangée durant le recherche de l'équilibre. C'est l'option par défaut. Les masses sont les masses de la structure et les masses appliquées.
- MASSE EXACTE : La matrice des masses est actualisée au début de chaque pas de temps et durant le recherche de l'équilibre. Les masses sont les masses de la structure et les masses appliquées.
- AMORTISSEMENT IGNORE : La matrice des amortissements n'est pas prise en compte. Si cette option est introduite aucun AMORTISSEMENT STRUCTURAL ne doit être spécifié. Cette option est interdite en présence d'AMORTISSEMENTS DIRECTS.
- AMORTISSEMENT INITIAL : La matrice des amortissements est calculée une fois pour toutes au début du calcul et n'est plus modifiée par la suite. Cette option est interdite en présence d'AMORTISSEMENTS DIRECTS.

- AMORTISSEMENT TEMPOREL : La matrice des amortissements est actualisée au début de chaque pas de temps et reste inchangée durant le recherche de l'équilibre. C'est l'option par défaut.
- AMORTISSEMENT EXACT : La matrice des amortissements est actualisée au début de chaque pas de temps et durant le recherche de l'équilibre.

La matrice des MASSES et la matrice des AMORTISSEMENTS doivent respecter le tableau des compatibilités suivant :

AMORTISSEMENT →	IGNORE	INITIAL	TEMPOREL	EXACT
MASSE IGNOREE	oui	-	-	-
MASSE INITIALE	-	oui	-	-
MASSE TEMPORELLE	-	-	oui	-
MASSE EXACTE	-	-	-	oui
AMORTISSEMENT DIRECT	-	-	oui	oui
AMORTISSEMENT RAYLEIGH	-	oui	oui	oui
AMORTISSEMENT MODAL	-	oui	oui	oui

SCHEMA DE NEWMARK

La résolution du système différentiel est obtenue en utilisant le schéma de Newmark. Les paramètres p_1 et p_2 qui pilotent la discrétisation temporelle sont définis de la façon suivante:

$$\dot{U}(t + \Delta t) = \dot{U}(t) + \Delta t ((1 - p_1)\ddot{U}(t) + p_1\ddot{U}(t + \Delta t))$$

$$U(t + \Delta t) = U(t) + \Delta t \dot{U}(t) + \frac{\Delta t^2}{2} ((1 - p_2)\ddot{U}(t) + p_2\ddot{U}(t + \Delta t))$$

Attention : la définition du coefficient p_2 diffère selon les auteurs d'un facteur 2. Ici le facteur du terme d'accélération est égal à $p_2/2$ alors que pour d'autres auteurs il est égal à p_2 . Celui-ci est donc fixé ici à une valeur deux fois plus grande que dans le cas de l'autre convention.

Le schéma de NEWMARK est inconditionnellement superstable si les conditions suivantes sont vérifiées :

$$p_1 \geq \frac{1}{2}$$

$$p_2 \geq \frac{1}{2} \left(p_1 + \frac{1}{2} \right)^2$$

Pour $p_1=0.50$ et $p_2=0.50$, le schéma de NEWMARK n'introduit aucun amortissement numérique. Ce sont les valeurs prises par défaut.

Le schéma de NEWMARK introduit un amortissement numérique si $p_1 > \frac{1}{2}$. Dans ce cas là, la convergence est optimale pour $p_2 = \frac{1}{2} \left(p_1 + \frac{1}{2} \right)^2$.

L'amortissement numérique se développe à partir d'une fréquence égale à $\frac{1}{10 \Delta t}$ et est maximal à partir de la fréquence $\frac{1}{\Delta t}$. Par exemple, en fixant $p_1 = 0.6$ et $p_2 = 0.6050$, on obtient un amortissement numérique de l'ordre de 3% pour toute fréquence supérieure à $\frac{1}{\Delta t}$. En fixant $p_1 = 0.8$ et $p_2 = 0.8450$, on obtient un amortissement numérique de l'ordre de 7% pour toute fréquence supérieure à $\frac{1}{\Delta t}$.

Le terme p_1 pilote donc l'amortissement numérique, plus il est élevé, plus l'amortissement numérique est important.

SEMENCE

Le numéro de la semence est relatif aux actions stochastiques. Elle définit un scénario temporel reproductible car elle initialise la fonction "random" utilisée pour générer les signaux aléatoires. Pour que 2 calculs successifs dans 2 sessions distinctes soient indépendants, il faut que la différence entre les deux semences soit au moins égale à $3 * n_{noe} * n_f * n_b_séries$ où n_{noe} est le nombre de nœuds sollicités par le vent. $n_b_séries$ est la valeur entière de t_{fin}/T_{o_r} .

INDICES

Les indices permettent de spécifier une plage temporelle à l'intérieur de la plage complète. Ces indices peuvent être utilisés dans le cadre suivant. Un premier calcul a permis d'établir un indice temporel provoquant un effet extrême lors d'un calcul linéaire. Il peut être intéressant de faire une simulation du comportement de la structure en calcul non linéaire pour une plage temporelle englobant l'effet extrême mais non complète de façon à réduire les temps de calcul. Il est conseillé de prendre une durée égale à plusieurs fois la première période de vibration.

CINEMATIQUE

Par défaut, les déplacements de la structure sont calculés dans le repère ABSOLU c'est à dire, en cas d'ACTION DETERMINISTE du type ACCELERATION ou DEPLACEMENT, dans le repère non déplacé. Avec l'option RELATIVE, ils sont calculés dans le repère en mouvement créé par les ACTIONS DETERMINISTES, c'est à dire, en fait, dans le repère local des appuis.

En l'absence d'ACTION DETERMINISTE du type ACCELERATION ou DEPLACEMENT, cette option n'a aucun effet.

Les vitesses et accélérations sont toujours évaluées dans le repère absolu.

ETATS ET EXTREMES

Les états de sollicitation, contrainte, déplacement, etc. correspondant à chaque étape de calcul du schéma de Newmark peuvent être EDITES et/ou ENREGISTRES en base de données selon un pas déterminé par l'utilisateur.

Les valeurs extrêmes prises par ces états tout le long du calcul temporel peuvent être EDITES et/ou ENREGISTRES en base de données.

OPTIONS NON LINEAIRES

Ces options permettent de piloter le calcul non linéaire lorsque la STRUCTURE sauvegardée a été déterminée dans un tel mode. Il s'agit des options : SECTION , DEPLACEMENT, FORCE et PONDERATION de la commande CALCUL NON LINEAIRE du module PH3.

PLAGE TEMPORELLE ET PAS DE TEMPS

La plage temporelle de calcul est fixée par l'utilisateur avec les paramètres DEBUT et FIN. Cette plage temporelle définit la base de temps pour l'application des ACTIONS DETERMINISTES. Le PAS de discrétisation temporelle est également fixé par l'utilisateur. Il est conseillé pour que la REPONSE TEMPORELLE ait un sens de prendre comme pas de temps le 10^{ème} de la plus petite période de vibration de mode significative dans la structure.

Conditions d'emploi

- Cette commande doit obligatoirement être précédée des commandes ACTION et STRUCTURE.
- Le numéro d'identification d'un EFFET déjà enregistré par les modules PH3, ENV, DYN ou ETU (selon la terminologie employée par le module ETU, voir tableau 12.1) ne peut être utilisé pour désigner une RÉPONSE modale enregistrée.
- Si des AMORTISSEMENTS sont spécifiés explicitement ou par défaut, ils doivent être préalablement définis.
- Si les AMORTISSEMENTS font référence à des MODES, ceux-ci doivent être préalablement définis.
- Plusieurs commandes REPONSE TEMPORELLE peuvent se succéder sauf si une ACTION ACCIDENTELLE est spécifiée. En effet, aucune autre REPONSE TEMPORELLE ne peut suivre celle ayant traité l'action accidentelle.

Conseils méthodologiques

- Cette commande peut-être utilisée concurremment à la méthode TEMPORELLE par SUPERPOSITION MODALE dans le cas d'un calcul dynamique linéaire ou linéarisé par l'option RIGIDITE TANGENTE et d'une troncature des modes de fréquence élevée.
- Il est conseillé de mener un calcul linéaire statique avant de lancer un calcul linéaire dynamique qui doit lui-même précéder le calcul non linéaire dynamique. Ceci, de façon à bien valider les données du calcul à chaque étape.
- Les calculs avec des matrices de MASSE et d'AMORTISSEMENT actualisés au début de chaque pas de temps sont la plupart du temps suffisants sauf en présence d'un AMORTISSEMENT DIRECT ou d'un CALCUL NON LINEAIRE où il peut-être nécessaire de faire des calculs EXACTS.

- Le pas de temps doit être choisi avec attention. On prendra un pas de temps de l'ordre de 1/10 de la plus petite période significative de la structure étudiée.

Cette plus petite période peut être estimée en considérant les éléments physiques les plus courts de l'ouvrage et l'on prendra pour une barre en flexion :

$$\frac{1}{T_{phy}} = \frac{1}{2\pi} \max \left(2 \frac{c}{L}, 2 \sqrt{\frac{129I}{A} \frac{c}{L^2}} \right) \text{ avec } c = \sqrt{\frac{\rho}{E}}$$

$$\Delta t_{phy} = \frac{T_{phy}}{10}$$

Dans la quelle, E est le module d'élasticité, ρ est la masse volumique, L est la longueur, A, l'aire et I, l'inertie.

- Dans le cas d'une action stochastique du type vent t_{debut} doit être égal à 0 et t_{fin} doit être un multiple de To_r pour que les statistiques sur les densités spectrales aient un sens. Pour plusieurs séries de vent successives on prendra pour t_{fin} un multiple correspondant de To_r . En général on pourra un multiple de l'ordre de 10 à 20.
- Dans le cas d'un déplacement de véhicule on calculera le pas de temps en fonction de la vitesse du véhicule et la longueur de déplacement sur l'ouvrage pour un pas de temps. Cette longueur est un sous multiple de la longueur de barre longitudinale la plus petite sur laquelle se déplace le véhicule. Soit L la longueur de l'élément et V la vitesse du véhicule, alors :

$$\Delta t_{cin} = \frac{1}{10} \frac{L}{V}$$

$$\Delta t = \min(\Delta t_{cin}, \Delta t_{phy})$$

- Les conditions de l'amortissement doivent être particulièrement étudiées. La matrice d'amortissement de RAYLEIGH seule sous-estime l'amortissement entre les deux fréquences choisies pour le calage, mais les calculs sont plus rapides. Les amortissements modaux sont plus précis sous réserve d'avoir précalculé tous les modes que l'on souhaite amortir, mais demandent plus de temps de calcul. En première analyse on peut réaliser un calcul avec un amortissement de RAYLEIGH seul. Si cette option est trop sévère, alors on utilise les amortissements modaux.
- Si l'on souhaite filtrer les modes de fréquence élevée on utilisera l'option CALCUL MODAL FILTRE qui permet d'éliminer l'effet des modes de fréquence supérieur à f_c .
- L'introduction de modes parasites d'origine numérique dans le calcul temporel peut être détecté en comparant un calcul linéaire temporel et un calcul linéaire temporel par superposition modale. Si le calcul temporel présente des perturbations, il faut filtrer les modes parasites avec l'option CALCUL MODAL FILTRE.
- Si la perturbation numérique persiste on pourra, en plus, introduire un amortissement numérique pour une fréquence de coupure donnée : f_c . Alors on prendra un valeur de pas de temps de l'ordre de :

$$\Delta t_c = \frac{1}{f_c} \quad \Delta t_{num} = \frac{\Delta t_c}{10}$$

$$\Delta t = \min(\Delta t_{cin}, \Delta t_{phy}, \Delta t_{num})$$

puisque l'on a vu que l'amortissement numérique de NEWMARK commence à partir d'une fréquence de l'ordre de $\frac{1}{10\Delta t_c}$.

On peut contrôler que l'amortissement numérique ne perturbe pas les basses fréquences par une comparaison avec un calcul temporel par superposition modale dans le cadre d'un calcul linéaire.

Exemples

```

$ -----
$ reponse temporelle classique avec un amortissement de rayleigh
$ le calcul debute à 0 seconde et se termine a 1 seconde.
$ le pas de temps est de 1/100 de seconde
$ les editions et les enregistrements sont réalisés avec un pas de 2
$ les extremas sont edites et enregistrés
$ -----
REPONSE TEMPORELLE
  'EXEMPLE'
  AMORTISSEMENT STRUCTURAL RAYLEIGH 0.10 0.20
  DEBUT 0 FIN 1 PAS 0.01
  ETAT EDITER ENREGISTRER 1 PAS 2
  EXTREMAS EDITER ENREGISTRER 200;

$ -----
$ reponse temporelle classique avec un amortissement de rayleigh calcule
$ sur la base de fréquences de 1 et 100 Hertz
$ le calcul debute à 0 seconde et se termine a 2 secondes.
$ le pas de temps est de 1/100 de seconde
$ les editions et les enregistrements de déplacements sont réalisés avec
$ un pas de 2. Les extremas de déplacements sont edites et enregistrés
$ -----
REPONSE TEMPORELLE
  'EXEMPLE'
  AMORTISSEMENT STRUCTURAL RAYLEIGH CALCULE 1 100
  DEBUT 0 FIN 2 PAS 0.01
  ETAT EDITER DEPLACEMENTS ENREGISTRER 1 PAS 2
  EXTREMAS EDITER ENREGISTRER 300 DEPLACEMENTS;

$ -----
$ reponse temporelle classique avec un amortissement de rayleigh calcule
$ element par element sur la base de la 5 ème harmonique.
$ les matrices sont toutes calculées de façon exacte.
$ le calcul debute à 0 seconde et se termine a 2 secondes.
$ le pas de temps est de 1/100 de seconde
$ les editions et les enregistrements de contraintes normales sont réalisés
$ avec un pas de 2
$ les extremas de contraintes normales sont edites et enregistrés
$ -----
REPONSE TEMPORELLE
  'EXEMPLE'
  AMORTISSEMENT STRUCTURAL RAYLEIGH CALCULE HARMONIQUE 5
  MATRICE AMORTISSEMENT EXACTE
  MATRICE MASSE EXACTE
  DEBUT 0 FIN 2 PAS 0.01
  ETAT EDITER CONTRAINTES NORMALES ENREGISTRER 1 PAS 2
  EXTREMAS EDITER ENREGISTRER 200 CONTRAINTES NORMALES;

$ -----
$ reponse temporelle classique avec un amortissement modal classique
$ la matrice de rigidité est la matrice de rigidité tangente.
$ le calcul debute à 0 seconde et se finit à 2 secondes.
$ le pas de temps est de 1/100 de seconde
$ les extremas sont edites et enregistrés
$ -----
REPONSE TEMPORELLE
  'EXEMPLE'

```

```
AMORTISSEMENT STRUCTURAL MODAL 0 5.  
MATRICE RIGIDITE TANGENTE  
DEBUT 0 FIN 2 PAS 0.01  
EXTREMAS EDITER ENREGISTRER 200;
```

```
$ -----  
$ reponse temporelle classique avec un amortissement modal calcule  
$ la matrice de rigidité est la matrice de rigidité tangente.  
$ le calcul debute à 0 seconde et se finit à 2 secondes.  
$ le pas de temps est de 1/100 de seconde  
$ les extremas sont edites et enregistrés  
$ Une semence est spécifiée pour un calcul temporel de vent  
$ la sequence comprise entre les indices 80 et 120 est rejouée  
$ -----
```

```
REPONSE TEMPORELLE  
  'EXEMPLE'  
  AMORTISSEMENT STRUCTURAL MODAL CALCULE 0 5..  
  MATRICE RIGIDITE TANGENTE  
  DEBUT 0 FIN 2 PAS 0.01  
  SEMENCE 1  
  INDICES 80 120  
  EXTREMAS EDITER ENREGISTRER 200;
```

```
$ -----  
$ reponse temporelle statique: les effets dynamiques sont ignores  
$ le calcul debute à 0 seconde et se finit à 2 secondes.  
$ le pas de temps est de 1/100 de seconde  
$ les extremas sont edites et enregistrés  
$ -----
```

```
REPONSE TEMPORELLE  
  'EXEMPLE'  
  MATRICE MASSE IGNOREE  
  MATRICE AMORTISSEMENT IGNOREE  
  DEBUT 0 FIN 2 PAS 0.001  
  EXTREMAS EDITER ENREGISTRER 200;
```

Commandes liées

DYNAMIQUE ; MASSES ; MODES ; SELECTION MODES ;
AMORTISSEMENT DIRECT ; AMORTISSEMENT STRUCTURAL ;
AMORTISSEMENT ELEMENTAIRE ; ACTION DETERMINISTE ;
ACTION ACCIDENTELLE; ACTION STOCHASTIQUE VENT

11.22 - REPONSE TEMPORELLE PAR SUPERPOSITION

REPONSE TEMPORELLE SUPERPOSITION_MODAL titre_reponse

AMORTISSEMENT STRUCTURAL { MODAL
MODAL CALCULE }

[SEMENCE no_semence]

[CINEMATIQUE { ABSOLUE
RELATIVE }]

*
[{ ETAT [EDITER [options_editions]] [ENREGISTRER no_etats] PAS pas_e }
{ EXTREMAS [EDITER] [ENREGISTRER no_reponse] [options_extremas] }]

DEBUT t_debut FIN t_fin PAS t_pas;

[options_editions] = [options_extremas] = [* { ACCELERATIONS
VITESSES
DEPLACEMENTS
REACTIONS
EFFORTS ELEMENTS
EFFORTS SECTIONS
CONTRAINTES NORMALES
CONTRAINTES TANGENTES }]

Paramètres

- titre_reponse : intitulé attribué à la réponse temporelle (chaîne de caractères) ;
- no_semence : numéro de la semence stochastique à considérer pour une simulation stochastique (1 par défaut) ;
- no_etats : numéro d'enregistrement des différents états temporels successifs, positif et inférieur à 999. Ce numéro est indépendant des numéros d'effets ;
- no_reponse : numéro d'enregistrement éventuel de la réponse positif et inférieur à 90_000. Ce numéro doit être compatible avec les numéros d'effets déjà enregistrés ;
- pas_e : pas d'édition ou d'enregistrement des états successifs. Ne sont édités et/ou enregistrés que les numéros d'états multiples de ce pas : 0, pas_e, 2 pas_e, etc. ;
- t_debut et t_fin : temps initial et final du calcul temporel en secondes avec t_debut ≥ 0 et t_fin < 9999 ;
- t_pas : incrément de temps en secondes à appliquer entre deux instants de calcul temporel. C'est le pas de discrétisation temporel ;

Fonctions

Cette commande déclenche le calcul de la réponse temporelle par superposition modale à une action ou plusieurs actions déterministes ou stochastiques. Celle(s)-ci doivent impérativement être définies en FORCE, ACCELERATION OU DEPLACEMENT. Les seuls paramètres obligatoires sont les temps en seconde de début et de fin de calcul de la réponse temporelle, et le pas de discrétisation temporel. La structure considérée est la structure définie par la commande STRUCTURE. Les calculs sont effectués à partir de la base MODALE définie par l'utilisateur avec les commandes MODE et SELECTION MODES.

Les amortissements pris en compte sont calculés selon différentes modalités en fonction des AMORTISSEMENTS ELEMENTAIRES ou MODAUX introduits par l'utilisateur. L'utilisateur doit être attentif aux conditions de l'amortissement car ils déterminent la réponse de la structure. Les AMORTISSEMENTS DIRECTS sont interdits.

AMORTISSEMENT STRUCTURAL

Les différentes options relatives aux AMORTISSEMENTS STRUCTURALS sont les suivantes :

- MODAL : L'amortissement est fixé mode par mode par la commande AMORTISSEMENT STRUCTUREL MODAL.
- MODAL CALCULE : L'amortissement est calculé à partir des AMORTISSEMENTS ELEMENTAIRES introduits par l'utilisateur.

SEMENCE

Le numéro de la semence est relatif aux actions stochastiques. Elle définit un scénario temporel reproductible car elle initialise la fonction "random" utilisée pour générer les signaux aléatoires. Pour que 2 calculs successifs dans 2 sessions distinctes soient indépendants, il faut que la différence entre les deux semences soit au moins égale à $3 * n_{noe} * n_f * n_{b_series}$ où n_{noe} est le nombre de nœuds sollicités par le vent. n_{b_series} est la valeur entière de t_{fin}/T_{o_r} .

CINEMATIQUE

Par défaut, les déplacements de la structure sont calculés dans le repère ABSOLU c'est à dire, en cas d'ACTION DETERMINISTE du type ACCELERATION ou DEPLACEMENT, dans le repère non déplacé. Avec l'option RELATIVE, ils sont calculés dans le repère en mouvement créé par les ACTIONS DETERMINISTES, c'est à dire, en fait, dans le repère local des appuis.

En l'absence d'ACTION DETERMINISTE du type ACCELERATION ou DEPLACEMENT, cette option n'a aucun effet.

Les vitesses et accélérations sont toujours évaluées dans le repère absolu.

ETATS ET EXTREMES

Les états de sollicitation, contrainte, déplacement, etc. correspondant à chaque étape de calcul du schéma de Newmark peuvent être EDITES et/ou ENREGISTRES en base de données selon un pas déterminé par l'utilisateur.

Les valeurs extrêmes prises par ces états tout le long du calcul temporel peuvent être EDITES et/ou ENREGISTRES en base de données.

PLAGE TEMPORELLE ET PAS DE TEMPS

La plage temporelle de calcul est fixée par l'utilisateur avec les paramètres DEBUT et FIN. Cette plage temporelle définit la base de temps pour l'application des ACTIONS DETERMINISTES. Le PAS de discrétisation temporelle est également fixé par l'utilisateur. Il est conseillé pour que la REPONSE TEMPORELLE ait un sens de prendre comme pas de temps le 10^{ème} de la plus petite période de vibration de mode significative dans la structure.

Dans le cas d'une action stochastique du type vent t_debut doit être égal à 0 et t_fin doit être un multiple de To_r pour que les statistiques sur les densités spectrales aient un sens.

Conditions d'emploi

- Cette commande doit obligatoirement être précédée des commandes ACTION, STRUCTURE , MODES et AMORTISSEMENT.
- Le numéro d'identification d'un EFFET déjà enregistré par les modules PH3, ENV, DYN ou ETU (selon la terminologie employée par le module ETU, voir tableau 12.1) ne peut être utilisé pour désigner une RÉPONSE modale enregistrée.
- Plusieurs commandes REPONSE TEMPORELLE SUPERPOSITION peuvent se succéder.
- Aucune ACTION ACCIDENTELLE ne doit précéder cette commande.
- Seuls les vents sans AMORTISSEMENTAERODYNAMIQUE sont acceptés.
- Aucune ACTION DETERMINISTE du type POIDS ou MASSE ne doit précéder cette commande.
- Aucun AMORTISSEMENT DIRECT ne doit précéder cette commande.

Conseils méthodologiques

- Les conditions de l'amortissement doivent être particulièrement étudiées.
- Le pas de temps doit également être choisi avec attention.
- Il est conseillé de mener un calcul linéaire statique avant de lancer un calcul linéaire dynamique. Ceci, de façon à bien valider les données du calcul à chaque étape.

Exemples

```

$ -----
$ reponse temporelle par superposition modale
$ le calcul debute à 0 seconde et se termine a 1 seconde.
$ le pas de temps est de 1/100 de seconde
$ les editions et les enregistrements sont réalises avec un pas de 2
$ les extremas sont edites et enregistrés
$ -----
REPONSE TEMPORELLE SUPERPOSITION MODALE 'SUPERPOSITION MODALE'
  AMORTISSEMENT STRUCTURAL MODAL 0.0 0.0
  DEBUT 0 FIN 1 PAS 0.01
  ETAT EDITER ENREGISTRER 1 PAS 2
  EXTREMAS EDITER ENREGISTRER 200;

```

Commandes liées

DYNAMIQUE ; MASSES ; MODES ; SELECTION MODES ;
AMORTISSEMENT STRUCTURAL ; AMORTISSEMENT ELEMENTAIRE ;
ACTION DETERMINISTE ; ACTION STOCHASTIQUE VENT

11.23 - FIN

FIN ;

Fonctions

Cette commande provoque la fin d'une session et l'arrêt de l'exécution du module DYN ; toutes les commandes suivantes éventuelles sont ignorées.

Exemples

```
DYNAMIQUE      $ VERIFICATION
TITRE 'VIADUC D'ACCES B, CALCUL AU VENT, SESSION 1' ;
.....
FIN;
```

Chapitre 12

Études

INTRODUCTION

SOMMAIRE

12.1 - ETUDES

12.2 - TITRE

12.3 - RAPPELER

12.4 - TRAITEMENT

12.5 - LECTURE

12.6 - COMBINAISON

12.7 - PONDERATION

12.8 - ENVELOPPE

12.9 - TAULIMITES

12.10 - ACIERS

12.11 – CDS_EC

12.12 - COMMENTAIRE

12.13 - EDITER

12.14 - EXPORTER

12.15- IMPORTER

12.16- ENREGISTRER

12.17 FINTRAITEMENT

12.18- FIN

Fonctions du module ETU

Ce module permet d'accéder aux différents « EFFETS » enregistrés en base de données par les modules PH3, ENV, DYN, et lui-même, pour les ÉDITER, ou les EXPORTER (sous une forme que certains tableurs peuvent accepter).

Leurs résultats compatibles peuvent être COMBINÉS, PONDÉRÉS ou ENVELOPPÉS (pour certains domaines d'ÉTUDE enregistrés par le module ENV, et certaines composantes), entre eux, ou avec des données acquises directement. Les résultats de ces calculs peuvent être édités, exportés, ENREGISTRÉS en base de données, ou intervenir dans d'autres calculs en chaîne de combinaisons, pondérations ou enveloppes.

En complément à ces traitements, les CONTRAINTES TANGENTES admissibles et les quantités minimales d'ACIERS PASSIFS à mettre en œuvre peuvent être calculés, pour un effet donné, selon différents critères réglementaires.

Le module ETU permet enfin de générer, pour un état de la structure associé à un effet particulier, une suite de commandes du logiciel CDS contenant toutes les données nécessaires au calcul des sections précontraintes d'un domaine d'étude (en dehors de leurs aciers passifs).

Effets manipulés

Le terme « effet » est pris dans son sens le plus général et recouvre les entités suivantes :

- effets d'un CAS DE CHARGE, d'un ÉTAT, ou d'un MODE de flambement, enregistrés par le module PH3 ;
- effets enveloppes d'une ACTION, enregistrés par le module ENV ;
- effets d'un MODE de vibration, ou d'une RÉPONSE modale à un vent turbulent, enregistrés par le module DYN ;
- EFFET introduit directement en données du module ETU ;
- PONDÉRATION (favorable et défavorable) d'un EFFET, COMBINAISON ou effets ENVELOPPES de plusieurs EFFETS, enregistrés par le module ETU dans une session antérieure, ou produits dans la session en cours.

Les opérations sur ces effets généraux peuvent concerner les DÉPLACEMENTS des nœuds, RÉACTIONS d'appuis, EFFORTS en repères éléments ou sections, ou les CONTRAINTES normales ou tangentées, et ne sont pas limitées.

Les contraintes tangentées admissibles et quantités minimales d'aciers passifs sont également considérées comme des effets particuliers que l'on ne peut associer entre eux, ou à d'autres types d'effets.

Conditions générales

L'utilisation de ce module est subordonnée à l'enregistrement préalable, en base de données, d'au moins un effet de base par les modules PH3, ENV ou DYN, et d'au moins un domaine d'étude par le module ENV.

Les résultats enregistrés durant une session pourront être repris par le module ETU, dans une session ultérieure, ou visualisés par le module RES.

Mode d'analyse des données

Les commandes à délimiteur de fin du module ETU peuvent être rédigées de manière totalement libre (du point de vue de leur découpage en lignes), les libellés-types intégrés à leur présentation étant purement indicatifs.

Elles sont analysées en totalité, dans l'ordre de leur introduction (interprétation) ; le traitement des effets s'opère cependant par bouclage sur les domaines d'étude choisis, via des blocs de commandes délimités de manière adéquate ; il peut être demandé au module ETU de vérifier simplement les commandes, sans les exécuter.

Éditions

L'écho des commandes est produit au fur et à mesure de leur interprétation ; toute commande erronée est suivie de message(s) d'erreur(s).

Le fichier de résultats ne contient que les effets dont l'édition a été demandée ; les calculs de quantités minimales d'aciers passifs produisent des résultats intermédiaires toujours édités.

Fichier export

Il contient toutes les commandes générées pour le logiciel CDS ou tous les effets dont on a demandé l'exportation.

Sommaire

Commande	Page
12.1 - ETUDES.....	6
12.2 - TITRE.....	7
12.3 - RAPPELER.....	8
12.4 - TRAITEMENT.....	9
12.5 - LECTURE.....	14
12.6 - COMBINAISON.....	16
12.7 - PONDERATION.....	19
12.8 - ENVELOPPE.....	21
12.9 - TAULIMITES.....	23
12.10 - ACIERS.....	28
12.11 – CDS_EC.....	31
12.12 - COMMENTAIRE.....	44
12.13 - EDITER.....	45
12.14 - EXPORTER.....	46
12.15- IMPORTER.....	48
12.16- ENREGISTRER.....	49
12.17 FINTRAITEMENT.....	50
12.18- FIN.....	51

12.1 - ETUDES

```
ETUDES [ * {VERIFIER
          {TITRE titre_session}}];
```

Paramètres

- titre_session : intitulé attribué au fichier de commandes qui sera reproduit en tête des résultats du module ETU, s'il est fourni (chaîne de caractères).

Fonctions

Cette commande identifie un fichier d'étude des résultats et débute une « session » d'utilisation du module ETU.

En mode VÉRIFICATION, le module ETU contrôle la syntaxe et la logique des commandes, sans effectuer les calculs, éditions, exportations ou enregistrements demandés ; le nombre d'erreurs détectables est illimité.

En mode EXÉCUTION (option VERIFIER non utilisée), les commandes de calcul, édition, exportation ou enregistrement, déclarées correctes, sont exécutées.

Par défaut, le titre de session est l'intitulé principal du modèle (première commande TITRE du module PH1).

Conditions d'emploi

- Doit figurer au début du fichier de commandes.

Conseils méthodologiques

- Vérifier systématiquement les commandes avant de lancer un calcul important.

Exemples

```
ETUDES TITRE 'COMBINAISONS REGLEMENTAIRES, ETAPE 1';
.....
.....
FIN;
```

Ce libellé de la commande ETUDES sur deux lignes permet d'activer, ou de désactiver le mode VÉRIFICATION, en supprimant ou rétablissant le caractère "\$" de la première ligne.

```
ETUDES $ VERIFIER
;
.....
.....
FIN;
```

Commandes liées

RAPPELER ; COMBINAISON ; PONDERATION ; ENVELOPPE ; TAULIMITES
ACIERS ; CDS ; COMMENTAIRE ; EDITER ; EXPORTER ; ENREGISTRER ; FIN

12.2 - TITRE

TITRE titre_courant ;

Paramètres

- titre_courant : titre d'identification courant qui sera reproduit, en encadré, dans les résultats du module ETU, en dehors de l'écho des commandes (chaîne de caractères).

Fonctions

Cette commande permet de définir ou de redéfinir le titre courant.

Conditions d'emploi

- Cette commande optionnelle peut être introduite plusieurs fois, à diverses étapes du calcul (en dehors des blocs que délimitent les commandes TRAITEMENT et FINTRAITEMENT).

Exemples

```
ETUDES;  
.....  
TITRE 'ETUDE DES REACTIONS D''APPUIS';  
TRAITEMENT  
.....  
FINTRAITEMENT;  
TITRE 'ETUDE DES EFFORTS EN REPERES ELEMENTS';  
TRAITEMENT  
.....  
FINTRAITEMENT;  
FIN;
```

Commandes liées

TRAITEMENT ; FINTRAITEMENT

12.3 - RAPPELER

RAPPELER [TERMINAL];

Fonctions

Cette commande provoque l'édition de la liste des effets produits par les modules PH3, ENV, DYN et ETU et présents en base de données, avec leurs types, numéros et labels d'identification.

Avec l'option TERMINAL, cette liste s'intègre à l'écho des commandes (sur écran).

Sans l'option TERMINAL, elle s'insère dans le fichier de résultats.

Conditions d'emploi

- Cette commande optionnelle peut être introduite plusieurs fois, à diverses étapes du calcul (en dehors des blocs que délimitent les commandes TRAITEMENT et FINTRAITEMENT).

Exemples

```
ETUDES;
$ rappel a l'ecran des effets présents en base de données
RAPPELER TERMINAL;
FIN;

ETUDES;
.....
TRAITEMENT
.....
ENREGISTRER ...
ENREGISTRER ...
.....
FINTRAITEMENT;
$ la liste des effets présents antérieurement en base de données
$ et des effets enregistrés par le module ETU, durant la session
$ s'insérera dans le fichier de résultats
RAPPELER;
FIN;
```

Commandes liées

ETUDES ; TRAITEMENT ; FINTRAITEMENT

12.4 - TRAITEMENT

TRAITEMENT

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{ETUDE no_domaine} \\ \text{DEPLACEMENTS} \\ \text{REACTIONS STRUCTURE nom_structure} \\ \text{EFFORTS SECTIONS [POUTRE no_poutre]} \\ \left\{ \begin{array}{l} \text{EFFORTS ELEMENTS} \\ \text{CONTRAINTES } \left\{ \begin{array}{l} \text{NORMALES} \\ \text{TANGENTES} \end{array} \right\} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \text{POUTRE no_poutre} \\ \text{SECTION nom_section} \\ \text{STANDARD} \end{array} \right\} \\ \text{EFFORTS ELEMENTS } \left[\left\{ \begin{array}{l} \text{BIARTICULATIONS} \\ \text{ARTICULATIONS} \end{array} \right\} \right] \end{array} \right\}$$

$$\left[\left(\text{COMPOSANTE no_cpp } \left[\text{CONCOMITANTES } \langle \text{no_cpc} \rangle_{\text{nb_cpc}} \right] \right)_{\text{nb_cpp}} \right]_{\text{nb_domaines}} ;$$

$$\left| \begin{array}{c} \dots\dots\dots \\ \text{commandes de traitement} \\ \dots\dots\dots \\ \text{FINTRAITEMENT;} \end{array} \right|$$

Paramètres

Le nombre de domaines d'étude numérotés (explicites) ou non numérotés (implicites), nb_domaines, est défini implicitement par le nombre d'appels à l'option ETUDE ou à ses options concurrentes de même niveau.

Les nombres de composantes principales et de composantes concomitantes à une composante principale (respectivement nb_cpp et nb_cpc) sont définis implicitement par les nombres de valeurs fournies correspondantes.

- no_domaine : numéro d'un domaine d'étude pour lequel les traitements qui suivent seront effectués, défini sur une commande ETUDE du module ENV (voir chapitre 9) ; si l'option ETUDE n'est pas utilisée, ils s'appliquent à un domaine non numéroté ;
- nom_structure : nom de la structure sauvegardée dont on traite les réactions d'appuis ;
- no_poutre : numéro de la poutre pour laquelle sont traités les EFFORTS en repères SECTIONS ou ÉLÉMENTS, ou les CONTRAINTES ;
- nom_section : nom d'une section-type, défini sur une commande SECTION TYPE du module PH1 (voir chapitre 6) ; tous les éléments ayant reçu cette section-type en affectation sont désignés implicitement pour le traitement des EFFORTS en repères ÉLÉMENTS ou des CONTRAINTES ;
- no_cpp, no_cpc : numéro d'une composante d'étude principale, et d'une composante concomitante associée, à choisir selon les conventions du tableau 1.1.

Par défaut, toutes les composantes principales du domaine d'étude no_domaine sont étudiées et aucune composante concomitante ne l'est.

Toutes les commandes de traitement qui suivent, jusqu'à la prochaine commande FINTRAITEMENT s'appliquent successivement à chaque domaine d'étude choisi, par *bouclage* ; il peut s'agir d'une composition en nombres quelconques de commandes :

- LECTURE ;
- COMBINAISON, PONDERATION, ENVELOPPE ;
- TAULIMITES, ACIERS ;
- CDS ;
- COMMENTAIRE ;
- EDITER, EXPORTER, ENREGISTRER.

Fonctions

Cette commande débute un groupe de traitements pour certains domaines d'étude explicites ou implicites, certaines composantes principales, et certaines composantes concomitantes éventuelles (dénommé plus simplement « traitement »).

Avec l'option DEPLACEMENTS, les déplacements de tous les nœuds sont traités.

Avec l'option REACTIONS, toutes les réactions d'appuis sont traitées.

Avec les options STANDARD, BIARTICULATIONS ou ARTICULATIONS, tous les éléments standard (courants non bi-articulés), bi-articulés ou articulations sont considérés.

En l'absence d'option complémentaire facultative, sont considérés, tous les éléments de poutres pour l'étude des efforts en repères sections, tous les éléments pour l'étude des efforts en repères éléments, ou tous les éléments de poutres (et standard) pour l'étude des contraintes.

Les commandes de traitement qui s'y rapportent s'appliquent aux effets enregistrés en base de données, acquis directement, et/ou générés durant le traitement.

Outre son intitulé destiné à en repérer le contenu, chaque effet est identifié, pour sa gestion, par un mot-clé indiquant son type, un numéro d'identification unique, et le nom d'une structure sauvegardée (par le module PH3) qui lui est rattachée éventuellement.

Le type d'un effet est l'opération qui est à l'origine de sa création.

Type d'EFFET (mot-clé)	Consistance	Se rattache à une structure sauvegardée ?
CHARGE	Effets d'un cas de charge, acquis en données et enregistré par le module PH3 Effets d'un chargement nodal de vent moyen, généré par le module DYN, relu et enregistré par le module PH3	Parfois
ETAT	État probable, extrémal, pondéré ou précontraint, enregistré par le module PH3	Parfois
MODE	Effets d'un mode de flambement, enregistré par le module PH3	Parfois
ACTION	Effets enveloppes d'une action, enregistrée par le module ENV	Toujours
MODE	Effets d'un mode de vibration, enregistré par le module DYN	Toujours
REPONSE	Effets d'une réponse modale à un vent turbulent ou à un séisme, enregistrée par le module DYN	Toujours
LECTURE	Effets enveloppes acquis en données par le module ETU	Jamais
COMBINAISON	Combinaison de plusieurs effets, créée par le module ETU	Jamais
PONDERATIO N	Pondération favorable et défavorable d'un effet, créée par le module ETU	Jamais
ENVELOPPE	Enveloppe de plusieurs effets, créée par le module ETU	Jamais
TAULIMITES	Contraintes tangentes admissibles, créées par le module ETU	Jamais
ACIERS	Quantités minimales d'aciers passifs, créées par le module ETU	Jamais

Tableau 12.1 - Types d'effets

Tous les effets sont considérés comme des courbes enveloppes, avec en chaque point, une valeur maximale et une valeur minimale ; pour certains effets « simples » (CAS DE CHARGE, ÉTATS probables ou précontraints, MODES de flambement ou de vibration), ces valeurs sont rendues égales par convention.

Les commandes qui génèrent les effets de type TAULIMITES ou ACIERS ne s'appliquent qu'aux études de type CONTRAINTES TANGENTES, portant sur les deux composantes : TANGENTES et NORMALES ; ces commandes sont ignorées lorsqu'elles s'appliquent à d'autres types d'études.

Les effets de type TAULIMITES ou ACIERS sont dits « terminaux », car ils ne peuvent faire l'objet d'une COMBINAISON, PONDÉRATION ou ENVELOPPE.

Tout effet créé durant le traitement et non enregistré en base de données est maintenu « en mémoire » et peut être invoqué, tant que la prochaine commande FINTRAITEMENT n'est pas atteinte.

À l'issue du traitement, il est effacé, et ne pourra être invoqué dans un traitement ultérieur.

Seul un effet enregistré en base de données durant un traitement peut être invoqué dans un traitement ultérieur, portant sur les mêmes études, dans la session en cours ou dans une session ultérieure.

Dans les libellés descripteurs des commandes qui les utilisent, les effets sont identifiés à l'aide d'une syntaxe unique :

```
type_effet no_effet [STRUCTURE nom_structure]
```

avec :

- type_effet : type d'un effet ;
- no_effet : numéro d'identification ;
- nom_structure : nom de la structure sauvegardée rattachée.

Conditions d'emploi

- Le nombre de domaines d'étude utilisables dans un même traitement n'est pas limité.
- Tous les effets invoqués durant un traitement doivent exister en mémoire ou en base de données.
- Les numéros de composantes d'étude choisies pour chaque domaine doivent être compatibles entre-eux et avec le type de domaine.

Conseils méthodologiques

- Il est courant de réutiliser les domaines et composantes d'étude utilisés dans les commandes ENVELOPPES du module ENV (voir chapitre 9).

Exemples

Dans l'exemple ci-dessous, le premier domaine d'étude, non numéroté, est de type « réactions d'appuis », le domaine d'étude 21 est de type « contraintes normales », et le domaine d'étude 31 est de type « efforts en repères sections ».

Le traitement qui leur est appliqué concerne :

- toutes les composantes des réactions d'appuis, sans composante concomitante ;
- l'unique composante des contraintes normales ;
- toutes les composantes des efforts en repères sections, avec toutes leurs composantes concomitantes.

```

TRAITEMENT
$ par défaut toutes les composantes sont etudiees
$ sans composante concomitante
REACTIONS STRUCTURE STRUC_1
ETUDE 21
$ il est necessaire de detailler pour acceder aux composantes concomitantes
ETUDE 31
COMPOSANTE 1 CONCOMITANTES 2 3 4 5 6
COMPOSANTE 2 CONCOMITANTES 1 3 4 5 6
COMPOSANTE 3 CONCOMITANTES 1 2 4 5 6
COMPOSANTE 4 CONCOMITANTES 1 2 3 5 6
COMPOSANTE 5 CONCOMITANTES 1 2 3 4 6
COMPOSANTE 6 CONCOMITANTES 1 2 3 4 5;
$ commandes de traitement
.....
FINTRAITEMENT;

```

Exemple équivalent :

```

TRAITEMENT
REACTIONS STRUCTURE STRUC 1
COMPOSANTE 1 COMPOSANTE 2 COMPOSANTE 3
COMPOSANTE 4 COMPOSANTE 5 COMPOSANTE 6
ETUDE 21
COMPOSANTE 1
ETUDE 31
COMPOSANTE 1 CONCOMITANTES 2 3 4 5 6
COMPOSANTE 2 CONCOMITANTES 1 3 4 5 6
COMPOSANTE 3 CONCOMITANTES 1 2 4 5 6
COMPOSANTE 4 CONCOMITANTES 1 2 3 5 6
COMPOSANTE 5 CONCOMITANTES 1 2 3 4 6
COMPOSANTE 6 CONCOMITANTES 1 2 3 4 5;
$ commandes de traitement
.....
FINTRAITEMENT;
    
```

Exemple équivalent :

```

TRAITEMENT
REACTIONS STRUCTURE STRUC_1;
$ commandes de traitement
.....
FINTRAITEMENT;
TRAITEMENT
ETUDE 21;
$ commandes de traitement
.....
FINTRAITEMENT;
TRAITEMENT
ETUDE 31
COMPOSANTE 1 CONCOMITANTES 2 3 4 5 6
COMPOSANTE 2 CONCOMITANTES 1 3 4 5 6
COMPOSANTE 3 CONCOMITANTES 1 2 4 5 6
COMPOSANTE 4 CONCOMITANTES 1 2 3 5 6
COMPOSANTE 5 CONCOMITANTES 1 2 3 4 6
COMPOSANTE 6 CONCOMITANTES 1 2 3 4 5;
$ commandes de traitement
.....
FINTRAITEMENT;
    
```

Commandes liées

TITRE ; RAPPELER ; LECTURE ; COMBINAISON ; PONDERATION ; ENVELOPPE
 TAULIMITES ; ACIERS ; CDS ; COMMENTAIRE ; EDITER ; EXPORTER
 ENREGISTRER ; FINTRAITEMENT

12.5 - LECTURE

LECTURE no_effet titre_effet

VALEURS

$\left\{ \begin{array}{l} \text{SIMPLES } \langle \langle v \rangle_{\text{nb_composantes}} \rangle_{\text{nb_points}} \\ \text{ENVELOPPES } \langle \langle v_{\text{max}} \rangle_{\text{nb_composantes}} \rangle_{\text{nb_points}} \quad \langle \langle v_{\text{min}} \rangle_{\text{nb_composantes}} \rangle_{\text{nb_points}} \end{array} \right\};$

Paramètres

Les nombres de composantes (une principale et des concomitantes éventuelles) et de points d'étude (respectivement nb_composantes et nb_points) sont fixés implicitement par la dernière commande TRAITEMENT.

- no_effet : numéro d'identification de l'effet à créer, positif et inférieur à 90_000 ;
- titre_effet : intitulé qui sera rappelé à chacune de ses utilisations, dans les résultats du module ETU, les menus et dessins du module RES ;
- v, v_max, v_min : valeur de l'effet simple, valeurs maximale et minimale de l'effet enveloppe, pour une composante et un point du domaine d'étude en cours de traitement.

Fonctions

Cette commande permet de lire directement un effet simple (option SIMPLES) ou enveloppe (option ENVELOPPES) ; les valeurs de l'effet simple seront dédoublées automatiquement, à l'identique.

L'effet lu est géré de la même manière qu'un effet créé par le module ETU (voir commande TRAITEMENT).

Conditions d'emploi

- Cette commande optionnelle peut être introduite plusieurs fois, au cours d'un traitement.
- La dernière commande TRAITEMENT ne doit invoquer qu'un domaine d'étude, pour lequel on étudie une seule composante principale (et des composantes concomitantes éventuelles).
- Un effet de type LECTURE existant en mémoire est remplacé, s'il est relu avec le même numéro d'identification.
- Un effet de type LECTURE existant en base de données n'est remplacé que si une commande ENREGISTRER est appliquée à un effet du même type relu et portant le même numéro d'identification.
- Le numéro d'identification attribué à un effet de type LECTURE ne doit pas être utilisé par ailleurs pour désigner un effet d'origine différente (voir tableau 12.1).

Exemples

Considérons un domaine d'étude à cinq points, dont on étudie une composante principale, et deux composantes concomitantes (les valeurs entrées sont fictives).

```

TRAITEMENT  ETUDE  11  COMPOSANTE  1
                                CONCOMITANTES  2 3;

.....
$ cp : composante principale, cc : composante concomitante
$ pe : point d'etude
LECTURE  101  'GRADIENT THERMIQUE'
VALEURS  SIMPLES
$   v(cp 1)   v(cc 2)   v(cc 3)
    100.0     50.0     300.0 $ pe 1
    200.0     25.0     350.0 $ pe 2
    350.0     65.0     600.0 $ pe 3
    425.0     80.0     505.0 $ pe 4
    600.0     25.0     250.0; $ pe 5
LECTURE  102  'CHARGES DE CHANTIER'
VALEURS  ENVELOPPES
$ v_max(cp 1) v_max(cc 2) v_max(cc 3) v_min(cp 1) v_min(cc 2) v_min(cc 3)
    100         30         250         -200         47         30 $ pe 1
    200         25         330         -120         30         50 $ pe 2
    225         37         450         -100         22         75 $ pe 3
    347         41         405         -57         12         47 $ pe 4
    720         63         309         -78         -20        79; $ pe 5
$ commandes de calcul, d'edition, d'exportation et d'enregistrement
$ faisant intervenir eventuellement les effets 101 et 102
.....
$ ces commandes autorisent l'utilisation future des effets lus dans
$ d'autres traitements de la session en cours, ou dans d'autres sessions
ENREGISTRER  101;
ENREGISTRER  102;
.....
FINTRAITEMENT;
.....

```

Commandes liées

TRAITEMENT ; FINTRAITEMENT

12.6 - COMBINAISON

COMBINAISON [QUADRATIQUE] no_combinaison titre_combinaison
 $\left. \begin{array}{l} \left\{ \begin{array}{l} \text{FAVORABLE } k_{\text{fav}} \text{ DEFAVORABLE } k_{\text{def}} \\ \text{COEFFICIENT } k \end{array} \right\} \text{type_effet no_effet} \\ \text{[STRUCTURE nom_structure]} \end{array} \right\}_{\text{nb_effets}} ;$

Paramètres

Le nombre d'effets à combiner, nb_effets, est défini implicitement par les données fournies.

- no_combinaison : numéro d'identification de la combinaison à créer, positif et inférieur à 90_000 ;
- titre_combinaison : intitulé qui sera rappelé à chacune de ses utilisations, dans les résultats du module ETU, les menus et dessins du module RES. L'intitulé est une chaîne de caractères délimitée par des apostrophes (') ;
- k : coefficient de pondération de l'effet no_effet (valeur négative, nulle ou positive) ;
- k_{fav}, k_{def} : coefficients de pondération à appliquer aux valeurs maximales et minimales de l'effet no_effet, lorsqu'elles sont favorables ou défavorables. La valeur attendue de k_{fav} est comprise dans l'intervalle [0.0 ; 1.0], et celle de k_{def} est supérieure à 1.0. Si ce n'est pas le cas, un message d'avertissement s'affichera sans toutefois interrompre le calcul, qui sera effectué avec les valeurs de l'utilisateur ;
- type_effet, nom_effet, nom_structure : paramètres identifiant un effet à combiner (voir commande TRAITEMENT).

Fonctions

Cette commande provoque le calcul d'un effet par combinaison linéaire (option par défaut), ou quadratique (option QUADRATIQUE), de plusieurs effets compatibles, pondérés de manière individuelle.

Les valeurs maximales et minimales de l'effet à créer (v_{max_e} et v_{min_e}) sont calculées en chaque point et pour chaque composante d'étude selon les formules ci-dessous.

Pour une combinaison linéaire :

$$v_{max_e} = \sum_{i=1, nb_effets} \max(k_i \cdot v_{max_i}, k_i \cdot v_{min_i}) \quad (12.1)$$

$$v_{min_e} = \sum_{i=1, nb_effets} \min(k_i \cdot v_{max_i}, k_i \cdot v_{min_i}) \quad (12.2)$$

Pour une combinaison quadratique :

$$v_{max_e} = +\sqrt{\sum_{i=1, nb_effets} (k_i \cdot v_{max_i})^2} \quad (12.3)$$

$$v_{min_e} = -\sqrt{\sum_{i=1, nb_effets} (k_i \cdot v_{min_i})^2} \quad (12.4)$$

La combinaison créée est gérée selon les conditions fixées dans la rubrique « Fonctions » de la commande TRAITEMENT.

Conditions d'emploi

- Cette commande optionnelle peut être introduite plusieurs fois, au cours d'un traitement.

- Tous les types d'effets peuvent être combinés, hormis les types terminaux (voir commande TRAITEMENT).
- Les effets à combiner doivent exister en mémoire, ou en base de données.
- Un effet de type COMBINAISON existant en mémoire est remplacé, s'il est relu avec le même numéro d'identification.
- Un effet de type COMBINAISON existant en base de données n'est remplacé que si une commande ENREGISTRER est appliquée à un effet du même type recalculé et portant le même numéro d'identification.
- Le numéro d'identification attribué à un effet de type COMBINAISON ne doit pas être utilisé par ailleurs pour désigner un effet d'origine différente (voir tableau 12.1).
- L'utilisateur veillera à la syntaxe du paramètre titre_combinaison : l'oubli d'une apostrophe (') à la fin de celui-ci entraîne une erreur systématique.

Conseils méthodologiques

- Cette commande réalise une combinaison linéaire des différents effets. Si l'utilisateur souhaite prendre en compte le caractère non-linéaire de la structure, il pourra utiliser le module de phasage PH3 qui réalise des calculs non-linéaires, en définissant des charges équivalentes de la combinaison souhaitée. Voici la démarche à suivre dans ce cas :
 - Dans le fichier de phasage, après avoir introduit les différentes charges permanentes, sauvegarder la structure avec la commande SAUVER.
 - Créer ensuite autant de fichiers de phasage que de combinaisons de charges à étudier : les fichiers avec la commande PHASES SUITE permettent de reprendre le phasage à partir de la structure sauvegardée que l'on souhaite.
 - Dans chacun des fichiers PHASE SUITE, entrer les différents CAS DE CHARGE de la combinaison voulue, puis entrer la commande ETAT pour l'enregistrement en base de données.

Un effet de type COMBINAISON existant en mémoire est remplacé, s'il est relu avec le même numéro Exemples

```

$ combinaison lineaire des effets des charges permanentes, des surcharges
$ majorees, et des gradients thermiques ; tous les effets combines sont
$ rattaches a la meme structure sauvegardee : STRUC1
COMBINAISON 1000 'C.P. + 1.10*A(L) + GRADIENT 5 DEGRES'
  COEFFICIENT 1.00  ETAT 0  STRUCTURE STRUC1
  COEFFICIENT 1.10  ACTION 100  STRUCTURE STRUC1
  COEFFICIENT 1.00  CHARGE 11  STRUCTURE STRUC1;

$ combinaison lineaire simulant la redistribution forfaitaire des efforts
$ par fluage ; aucun etat combine ne se rattache a une structure
$ sauvegardee
$ ETAT 1 : etat de la structure a sa mise en service
$ ETAT 2 : etat de la structure supposee coulee d'emblee sur cintre
COMBINAISON 1001 '0.50*(S1+S2)'
  COEFFICIENT 0.50  ETAT 1
  COEFFICIENT 0.50  ETAT 2;

$ etude des efforts en reperes sections
$ l'option QUADRATIQUE s'applique aux effets du vent turbulent
$ les autres combinaisons se forment en mode lineaire par defaut
COMBINAISON QUADRATIQUE 3008
    
```

```
'VENT TURBULENT QUADRATIQUE EST'  
  COEFFICIENT 3.50 REponse 800 STRUCTURE FLEAU_2;  
.....  
COMBINAISON 3012  
'ELS RARE : CHARGES PERMANENTES + PRECONTRAINTE MOYENNE + VENT QUADRATIQUE'  
  COEFFICIENT 1.00 COMBINAISON 3008  
  COEFFICIENT 1.00 CHARGE 850 STRUCTURE FLEAU_2  
  COEFFICIENT 1.00 ETAT 0 STRUCTURE FLEAU_2;  
  
COMBINAISON 100  
'(0.80 OU 1.20)*SUPERSTRUCTURES + GRADIENT THERMIQUE'  
  FAVORABLE 0.80 DEFAVORABLE 1.20 CHARGE 25  
  COEFFICIENT 1. CHARGE 20 STRUC STRUserv ;
```

Commandes liées

ETUDES ; TRAITEMENT ; FINTRAITEMENT

12.7 - PONDERATION

```

PONDERATION no_ponderation titre_ponderation
             k_fav DEFAVORABLE k_def
             type_effet no_effet [STRUCTURE nom_structure];
    
```

Paramètres

- `no_ponderation` : numéro d'identification de la pondération à créer, positif et inférieur à 90_000 ;
- `titre_ponderation` : intitulé qui sera rappelé à chacune de ses utilisations, dans les résultats du module ETU, les menus et dessins du module RES ;
- `k_fav`, `k_def` : coefficients de pondération à appliquer aux valeurs maximales et minimales de l'effet `no_effet`, lorsqu'elles sont favorables ou défavorables. La valeur attendue de `k_fav` est comprise dans l'intervalle [0.0 ; 1.0], et celle de `k_def` est supérieure à 1.0. Si ce n'est pas le cas, un message d'avertissement s'affichera sans toutefois interrompre le calcul, qui sera effectué avec les valeurs de l'utilisateur ;
- `type_effet`, `nom_effet`, `nom_structure` : paramètres identifiant l'effet à pondérer (voir commande TRAITEMENT).

Fonctions

Cette commande provoque le calcul d'un effet par pondération favorable et défavorable d'un autre effet.

En chaque point et pour chaque composante d'étude, sa valeur *maximale* est pondérée par `k_fav` lorsqu'elle est *négative*, et sa valeur *minimale* est pondérée par `k_def` lorsqu'elle est *positive* selon les formules suivantes.

$$v_{max_e} = \max(k_i \cdot v_{max_i}, k_i \cdot v_{min_i}) \quad (12.5)$$

$$v_{min_e} = \min(k_i \cdot v_{max_i}, k_i \cdot v_{min_i}) \quad (12.6)$$

La pondération créée est gérée selon les conditions fixées dans la rubrique « Fonctions » de la commande TRAITEMENT.

Conditions d'emploi

- Les conditions d'emploi de la commande COMBINAISON s'appliquent à la commande PONDÉRATION (qui n'utilise qu'un effet).

Exemples

```

$ ponderation des effets d'un CAS DE CHARGE du a des superstructures
$ et rattache a la structure sauvegardee : STRUC1
$ ces effets sont diminuees s'ils sont favorables (coefficient 0.80)
$ ou augmentes s'ils sont defavorables (coefficient 1.20)
PONDERATION 100 '(0.80 OU 1.20)*SUPERSTRUCTURES'
FAVORABLE 0.80 DEFAVORABLE 1.20
CHARGE 25 STRUCTURE STRUC1;
    
```

Commandes liées

ETUDES ; TRAITEMENT ; FINTRAITEMENT

12.8 - ENVELOPPE

ENVELOPPE no_enveloppe titre_enveloppe

$$\left. \left\{ \begin{array}{l} \text{FAVORABLE } k_{\text{fav}} \text{ DEFAVORABLE } k_{\text{def}} \\ \text{COEFFICIENT } k \end{array} \right\} \text{type_effet no_effet} \right\}_{\text{nb_effets}} \left[\text{STRUCTURE nom_structure} \right];$$

Paramètres

Le nombre d'effets à envelopper, nb_effets, est défini implicitement par les données fournies.

- no_enveloppe : numéro d'identification de l'enveloppe à créer, positif et inférieur à 90 000 ;
- titre_enveloppe : intitulé qui sera rappelé à chacune de ses utilisations, dans les résultats du module ETU, les menus et dessins du module RES ;
- k : coefficient de pondération de l'effet no_effet (valeur négative, nulle ou positive) ;
- k_{fav}, k_{def} : coefficients de pondération à appliquer aux valeurs maximales et minimales de l'effet no_effet, lorsqu'elles sont favorables ou défavorables. La valeur attendue de k_{fav} est comprise dans l'intervalle [0.0 ; 1.0], et celle de k_{def} est supérieure à 1.0. Si ce n'est pas le cas, un message d'avertissement s'affichera sans toutefois interrompre le calcul, qui sera effectué avec les valeurs de l'utilisateur ;
- type_effet, nom_effet, nom_structure : paramètres identifiant un effet à envelopper (voir commande TRAITEMENT).

Fonctions

Cette commande provoque le calcul d'un effet par enveloppe de plusieurs effets compatibles, pondérés de manière individuelle.

Les valeurs maximales et minimales de l'effet à créer (v_{max_e} et v_{min_e}) sont calculées en chaque point et pour chaque composante d'étude selon les formules ci-dessous :

$$v_{max_e} = x_{i=1, nb_effets} (k_i \cdot v_{max_i}, k_i \cdot v_{min_i}) \quad (12.7)$$

$$v_{min_e} = n_{i=1, nb_effets} (k_i \cdot v_{max_i}, k_i \cdot v_{min_i}) \quad (12.8)$$

L'enveloppe créée est gérée selon les conditions fixées dans la rubrique « Fonctions » de la commande TRAITEMENT.

Conditions d'emploi

Les conditions d'emploi de la commande COMBINAISON s'appliquent à la commande ENVELOPPE.

Exemples

```
$ calcul des effets enveloppes de deux combinaisons
ENVELOPPE 102
'ENVELOPPE FINALE'
  COEFFICIENT 1.00 COMBINAISON 100
  COEFFICIENT 1.00 COMBINAISON 101;

$ structure comportant quatre appuis
$ -----
$ calcul de l'effet enveloppe des CAS DE CHARGE simulant des tassements
$ d'appuis exclusifs entre eux :
$ le CAS DE CHARGE 10, applique sur le premier appui, provoque un tassement
$ 10.570 fois plus faible que celui pris en compte dans l'enveloppe ; idem
$ pour les CAS DE CHARGE 11, 12 et 13, s'appliquant aux appuis 2, 3 et 4,
$ et produisant des tassements 15.750, 19.101 et 17.103 fois trop faibles
ENVELOPPE 100
'ENVELOPPE DES TASSEMENTS D''APPUIS'
  COEFFICIENT 10.570 CHARGE 10
  COEFFICIENT 15.750 CHARGE 11
  COEFFICIENT 19.101 CHARGE 12
  COEFFICIENT 17.103 CHARGE 13;
```

Commandes liées

ETUDES ; TRAITEMENT ; FINTRAITEMENT

12.9 - TAULIMITES

TAULIMITES no_taulimites titre_taulimites $\left\{ \begin{array}{l} \text{CHALOS} \\ \text{BPELELS} \\ \text{BPELELU} \\ \text{BPHPELU} \\ \text{EC2ELS} \\ \text{EC2ELU} \\ \text{EC2ELUS } \beta_u \end{array} \right\}$
 RESISTANCE + $\left\{ \begin{array}{l} \text{TRACTION } v1 \\ \text{COMPRESSION } v2 \end{array} \right\}$ COEFFICIENT k
 [ACIERS $\left\{ \begin{array}{l} \text{CONSTANTES } v3 \ v4 \\ \text{VARIABLES } \text{nb_points} \ \langle v3 \rangle_{\text{nb_points}} \ \langle v4 \rangle_{\text{nb_points}} \end{array} \right\}$]
 type_effet no_effet [STRUCTURE nom_structure];

Paramètres

- no_taulimites : numéro d'identification de l'effet de type TAULIMITES à créer, positif et inférieur à 90_000 ;
- titre_taulimites : intitulé qui sera rappelé à chacune de ses utilisations, dans les résultats du module ETU, les menus et dessins du module RES ;
- v1, v2 : résistance du béton à la traction (en valeur absolue), et à la compression ($v2 > 4 \cdot v1$) ;
- k : coefficient de réduction à appliquer à la contrainte tangente limite, calculée selon le critère choisi ;
- nb_points : nombre total de points d'étude impliqués dans le calcul ;
- v3 : contrainte normale induite en un point d'étude, par la précontrainte transversale, sur une facette orthogonale à son axe ;
- v4 : angle (en degrés) que fait l'axe de la précontrainte transversale, avec celui de la paroi mince associée à un point d'étude (qui est dans le plan de la section générique de poutre concernée) ; lorsque cette précontrainte est « traversante », son sens « suit » conventionnellement celui de la fibre repère.
- β_u : angle (en degrés) de la bielle par rapport à la fibre moyenne de la poutre concernée par le calcul ; cette valeur (comprise entre -90.0 et 90.0, bornes exclues) est fournie (avec l'option EC2ELUS) conformément à l'article EC2-1-1/AN 6.2.3(2). Par défaut, cet angle est calculé par le module ETU et borné inférieurement à 30.0 degrés ;

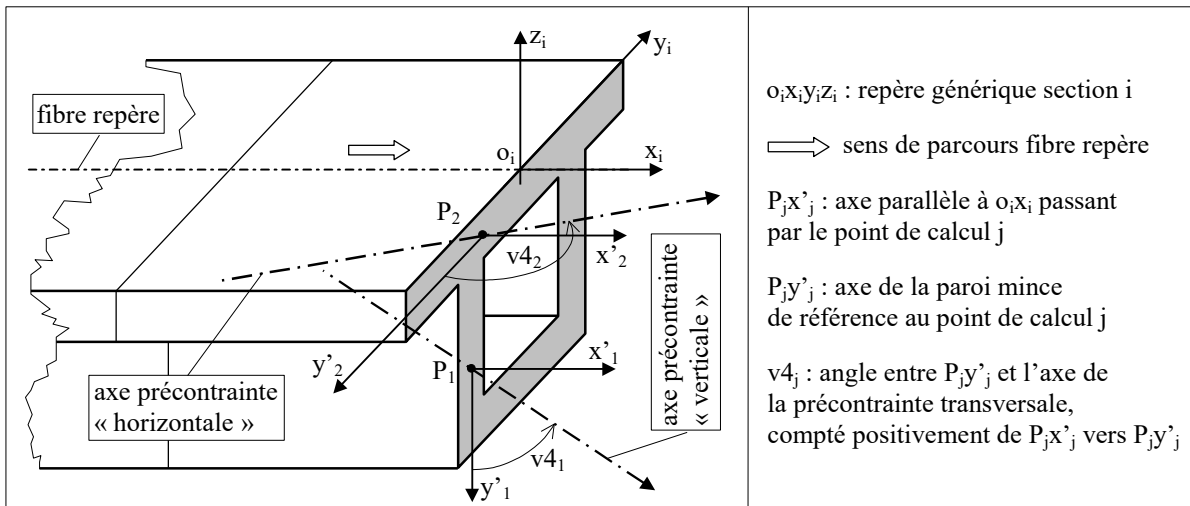


Figure 12.1 - Précontraintes transversales d'une section de poutre, conventions

Avec l'option CONSTANTES, v_3 et v_4 représentent des valeurs moyennes, pour tous les points d'étude impliqués dans le calcul.

Avec l'option VARIABLES, v_3 et v_4 sont des valeurs fournies pour chacun de ces points d'étude, dans leur ordre de définition.

- `type_effet`, `nom_effet`, `nom_structure` : paramètres identifiant l'effet sélectionné pour le calcul (voir commande TRAITEMENT).

Fonctions

Cette commande permet de calculer, pour tous les points d'un domaine d'étude de type CONTRAINTES TANGENTES et NORMALES, et un effet donné, les contraintes tangentes admissibles selon un critère réglementaire à choisir.

Un effet de type TAULIMITES est déduit de l'effet étudié, en remplaçant, en chaque point d'étude, la contrainte tangente réelle (composante 1), par la plus petite différence, $\delta\tau$, existant entre elle-même et les contraintes tangentes admissibles minimale et maximale, multipliées par le coefficient de réduction k .

La valeur obtenue est positive lorsque la contrainte tangente réelle est dans la fourchette des contraintes admissibles réduites ; elle est donnée par :

$$\delta\tau = \min(k \cdot \tau_{max} - \tau, \tau - k \cdot \tau_{min}) \quad (12.9)$$

τ_{max} et τ_{min} sont les contraintes tangentes maximale et minimale admissibles, calculées :

- selon le critère de Chalos et Béteille (option CHALOS) ;
- selon le BPEL, pour un calcul à l'état limite de service (article 7.2,2, option BPELELS), ou pour un calcul à l'état limite ultime (article 7.3,3, option BPELELU).
- Selon l'annexe QQ de l'EC2.2 pour les ELS et l'article 6.2.3 de l'EC2.2 pour les ELU

Si la contrainte normale est en dehors du domaine de résistance du béton, la composante 1 de l'effet de type TAULIMITES est fixée conventionnellement à $-1.0E+40$.

Les contraintes utilisées dans les formules ci-dessous sont calculées en tenant compte de la précontrainte transversale.

Option CHALOS

Les valeurs de τ_{max} et τ_{min} sont déduites du système d'inéquations suivantes :

$$\tau[\tau - \sigma_{\theta} \sin(2\theta)] \leq \sigma \cdot \sigma_{\theta} \cos^2 \theta + \frac{\bar{\sigma}'}{\bar{\sigma}} (\bar{\sigma}' + \sigma + \sigma_{\theta}) \cdot (\bar{\sigma} - \sigma - \sigma_{\theta}) \quad (12.10)$$

$$[\tau - 0.5 \cdot \sigma_{\theta} \sin(2\theta)]^2 \leq (\bar{\sigma} - \sigma_{\theta} \cos^2 \theta) \cdot (\bar{\sigma} - \sigma - \sigma_{\theta} \sin^2 \theta) \quad (12.11)$$

avec :

- τ : contrainte tangente ;
- θ : angle d'orientation de la précontrainte transversale, par rapport à la section droite ;
- σ_{θ} : contrainte normale transversale ;
- $\bar{\sigma}'$, $\bar{\sigma}$: résistance du béton à la traction et à la compression (paramètres v1 et v2) ;
- σ : contrainte normale longitudinale.

La valeur courante du paramètre v4 sert à déterminer l'angle θ .

Option BPELELS

Les valeurs de τ_{max} et τ_{min} sont déduites du système d'inéquations suivantes :

$$\tau^2 - \sigma_x \cdot \sigma_t \leq 0.4 f_{tj} \left[f_{tj} + \frac{2}{3} (\sigma_x + \sigma_t) \right] \quad (12.12)$$

$$\tau^2 - \sigma_x \cdot \sigma_t \leq 2 \frac{f_{tj}}{f_{cj}} (0.6 f_{cj} - \sigma_x - \sigma_t) \cdot \left[f_{tj} + \frac{2}{3} (\sigma_x + \sigma_t) \right] \quad (12.13)$$

avec (selon le BPEL) :

- τ : contrainte tangente ;
- σ_x : contrainte normale longitudinale ;
- σ_t : contrainte normale transversale ;
- f_{tj}, f_{cj} : résistance du béton à la traction et à la compression (paramètres v1 et v2).

Lorsque σ_x est négative, les inéquations ci-dessus sont remplacées par :

$$\tau^2 \leq 0.4 f_{tj} (f_{tj} + \frac{2}{3} \sigma_t) \quad (12.14)$$

Le coefficient k' du règlement correspond au paramètre k.

Option BPELELU

Les valeurs de τ_{max} et τ_{min} sont données par :

$$\tau_{cj} \sin(\beta_u) \min_{max} \quad (12.15)$$

Le coefficient de réduction (paramètre k) valant :

$$\frac{0.85}{3\gamma_b} \quad (12.16)$$

avec (selon le BPEL) :

- f_{cj} : résistance du béton à la compression (paramètre v2) ;
- β_u : angle que forment les fissures avec la fibre moyenne de la poutre ;
- γ_b : coefficient de sécurité, pour le béton.

Option BPHPELU

Les valeurs de τ_{max} et τ_{min} sont données par :

$$\tau_{cj}^{2/3} \sin(\alpha_u) \min_{max} \quad (12.17)$$

Le coefficient de réduction (paramètre k) valant :

$$1.14 \cdot \frac{0.85}{3\gamma_b} \quad (12.18)$$

- Ces formules sont extraites de l'annexe 14 du BPEL, consacrée aux bétons à hautes performances, f_{cj} , β_u et γ_b ayant la même signification que ci-dessus.

Option EC2ELS

Les valeurs de τ_{max} et τ_{min} sont données par :

$$\tau \sqrt{\sigma_x \cdot \sigma_y - \frac{5f_{ck} \times f_{ctk} \times (\sigma_x + \sigma_y + f_{ctk}) \times (4\sigma_x + 4\sigma_y - 5f_{ctk})}{(5f_{ck} + 4f_{ctk})^2}} \min_{max} \quad (12.19)$$

avec, selon l'EC2-2 Expr (QQ.101)) :

- σ_x : contrainte normale longitudinale ;
- σ_y : contrainte normale transversale ;
- f_{ck} , f_{ctk} : résistance du béton à la traction et à la compression (paramètres v1 et v2).
- k : coefficient de pondération en général égal à 1 ;

Option EC2ELU

Les valeurs de τ_{max} et τ_{min} sont données par :

$$\tau c w_{1ck} \sin(\alpha_u) \min_{max} \quad (12.20)$$

avec, selon l'EC2-2 Expr (6.14)) :

- a_{cw} : coefficient déterminé en fonction de f_{ck} ;
- v_1 : coefficient déterminé en fonction de f_{cd} ;
- f_{ck} : résistance du béton à la traction et à la compression (paramètre v1).
- k : coefficient de pondération tel que:

$$f_{cd} = k \cdot f_{ck} = \frac{\alpha_{cc}}{\gamma_c} \cdot f_{ck} ;$$

Option EC2ELUS

Idem ci-dessus mais avec la valeur de β_u fournie en entrée.

Conditions d'emploi

Cette commande s'applique aux études de type CONTRAINTES TANGENTES et NORMALES, portant sur les deux composantes, que la composante principale choisie soit la contrainte tangente ou la contrainte normale ; elle est ignorée si la composante concomitante n'est pas étudiée, ou si on l'applique à d'autres types d'études.

Avec les options ACIERS et VARIABLES, elle s'applique normalement à un seul domaine d'étude ; avec les options ACIERS et CONSTANTES, elle peut s'appliquer à plusieurs domaines d'étude.

Les conditions d'emploi de la commande COMBINAISON s'appliquent également à la commande TAULIMITES (qui n'utilise qu'un effet).

Exemples

```
$ traitement de trois domaines d'etude d'une poutre (un bloc de commandes)
$ le domaine 10, dont on etudie alternativement les deux composantes,
$ porte sur les CONTRAINTES TANGENTES et NORMALES, et certaines sections
$ la commande TAULIMITES n'est pas executee pour les domaines d'etude
$ 1 et 11, qui sont d'autres types
$ la precontrainte transversale existe et ses parametres de definition sont
$ supposees constants, en particulier, les axes des cables sont supposees
$ paralleles a ceux des parois minces issues des sections generiques
TRAITEMENT
  ETUDE 1
  ETUDE 10 COMPOSANTE 1 CONCOMITANTE 2
            COMPOSANTE 2 CONCOMITANTE 1
  ETUDE 11;
  .....
  ENVELOPPE 1000 ...
  .....
  TAULIMITES 100
  'CONTRAINTES TANGENTES ADMISSIBLES SOUS ENVELOPPE FINALE (ELS)'
  BPELELS
  RESISTANCE TRACTION 300.0 COMPRESSION 3000.0
  COEFFICIENT 1.0
  ACIERS CONSTANTES 200.0 0.0
  ENVELOPPE 1000;
  .....
  EDITER TAULIMITES 100;
  ENREGISTRER TAULIMITES 100;
  .....
FINTRAITEMENT ;
```

Commandes liées

ETUDES ; TRAITEMENT ; FINTRAITEMENT

12.10 - ACIERS

ACIERS no_aciers titre_aciers $\left\{ \begin{array}{l} BPELELU \\ BPELELUS \beta_u \\ BPHPELU \\ BPHPELUS \beta_u \\ EC2ELU \\ EC2ELUS \beta_u \end{array} \right\}$
 RESISTANCE + $\left\{ \begin{array}{l} TRACTION v1 \\ COMPRESSION v2 \end{array} \right\}$ COEFFICIENT k
 [ACIERS $\left\{ \begin{array}{l} CONSTANTES v3 v4 \\ VARIABLES nb_points \langle v3 \rangle_{nb_points} \langle v4 \rangle_{nb_points} \end{array} \right\}$]
 type_effet no_effet [STRUCTURE nom_structure];

Paramètres

- no_aciers : numéro d'identification de l'effet de type ACIERS à créer, positif et inférieur à 90_000 ;
- titre_aciers : intitulé qui sera rappelé à chacune de ses utilisations, dans les résultats du module ETU, les menus et dessins du module RES ;
- β_u : angle (en degrés) que font les fissures avec la fibre moyenne de la poutre concernée par le calcul ; cette valeur (comprise entre -90.0 et 90.0, bornes exclues) est fournie (avec les options BPELELUS, BPHPELUS ou EC2ELUS), indépendamment de la réalité ; (conformément à ce que prévoient les articles 7.3,23 et 7.3,24 du BPEL et l'article EC2-1-1/AN 6.2.3(2) des Eurocodes ; avec les autres options BPELELU, BPHPELU ou EC2ELU, cet angle est calculé par le module ETU et borné inférieurement à 30.0 degrés ;
- v1, v2 : résistance du béton à la traction (en valeur absolue), et à la compression ($v2 > 4 \cdot v1$) ;
- k : coefficient de passage des forces à équilibrer, par unité de longueur de poutre, aux quantités d'aciers « transversaux » à placer (voir les détails dans la rubrique « Fonctions » ;
- nb_points : nombre total de points d'étude impliqués dans le calcul ;
- v3 : contrainte normale induite en un point d'étude, par la précontrainte transversale, sur une facette orthogonale à son axe ; une valeur nulle signale l'absence de précontrainte transversale ;
- v4 : angle (en degrés) que fait l'axe des aciers transversaux (passifs et actifs éventuels), avec celui de la paroi mince associée à un point d'étude (qui est dans le plan de la section générique de poutre concernée) ; lorsque ces aciers sont « traversants », leur sens « suit » conventionnellement celui de la fibre repère (voir figure 12.1).

Avec l'option CONSTANTES, v3 et v4 représentent des valeurs moyennes, pour tous les points d'étude impliqués dans le calcul.

Avec l'option VARIABLES, v3 et v4 sont des valeurs fournies pour chacun de ces points d'étude, dans leur ordre de définition.

- type_effet, nom_effet, nom_structure : paramètres identifiant l'effet sélectionné pour le calcul (voir commande TRAITEMENT).

Fonctions

Cette commande permet de calculer, pour tous les points d'un domaine d'étude de type CONTRAINTES TANGENTES et NORMALES, et un effet donné, les quantités minimales d'aciers transversaux nécessaires, pour satisfaire un critère réglementaire.

Un effet de type ACIERS est déduit de l'effet étudié, en remplaçant, en chaque point d'étude, la contrainte tangente réelle (composante 1), par la quantité d'aciers calculée.

Les aciers transversaux passifs (et actifs éventuels) sont supposés avoir la même orientation modifiable, qui est par défaut orthogonale à la fibre moyenne de la poutre étudiée.

Lorsque la précontrainte transversale existe, les quantités d'aciers calculées s'assimilent à des forces totales à équilibrer, à l'aide des aciers passifs et actifs.

La quantité d'aciers calculée, x , est donnée par l'équation suivante (dans laquelle interviennent les paramètres k et β_u , $\delta\tau_u$ valant 0 pour les options EC2ELU et EC2ELUS, $f_{tj}/3.0$ pour les options BPELELU et BPELELUS, et $0.16\sqrt{f_{cj}}$ pour les options BPHPELU et BPHPELUS, selon l'annexe 14 du BPEL consacrée aux bétons à hautes performances) :

$$\tau_u - \delta\tau_u = k \cdot \frac{\sin(\alpha + \beta_u)}{\sin \beta_u} \cdot x \quad (12.21)$$

avec les notations ci-dessous, et d'autres (extraites du BPEL) :

- τ_u : contrainte tangente à l'état limite ultime, définie par la valeur de la composante 1 de l'effet no_effet ;
- f_{ij}, f_{cj} : résistance du béton à la traction et à la compression (paramètres v1 et v2) ;
- α : angle que forment les aciers avec la fibre moyenne de la poutre (compris entre 45.0 et 90.0 degrés), calculé à l'aide de la valeur courante du paramètre v4 ;
- f_e : limite d'élasticité des aciers passifs selon le BPEL ;
- f_{ywd} : limite d'élasticité des aciers passifs selon l'EC2.2 ;
- γ_s : coefficient de sécurité, pour les aciers passifs ;
- A_t : somme des aires des sections droites d'un cours d'armatures passives ;
- s_t : espacement de ces armatures, mesuré suivant la fibre moyenne de la poutre ;
- b_n : épaisseur nette d'une paroi mince, en un point de calcul des contraintes tangentes.

Trois possibilités existent :

- **en l'absence de précontrainte transversale, et si b_n et s_t sont constants**, la valeur x calculée correspond à A_t et il faut fournir un coefficient k donné par :

$$\text{BPEL} \quad k = \frac{f_e}{\gamma_s \cdot s_t \cdot b_n} \Rightarrow \text{résultat pcp: } x = A_t$$

$$\text{EC2.2} \quad k = \frac{f_{ywd}}{s_t \cdot b_n} \Rightarrow \text{résultat pcp: } x = A_t \quad (12.22)$$

- **en l'absence de précontrainte transversale, et si b_n ou s_t sont variables**, la valeur x calculée est la section d'aciers par unité de longueur de poutre, et par unité d'épaisseur nette de paroi mince ; il faut fournir un coefficient k corrigé en conséquence :

$$\text{BPEL} \quad k = \frac{f_e}{\gamma_s} \Rightarrow \text{résultat pcp: } x = \frac{A_t}{(s_t \cdot b_n)}$$

$$\text{EC2.2} \quad k = f_{ywd} \Rightarrow \text{résultat pcp: } x = \frac{A_t}{(s_t \cdot b_n)} \quad (12.23)$$

- **en présence de précontrainte transversale**, la valeur x calculée représente l'effort tranchant à équilibrer ; il faut fournir un coefficient k égal à 1.0 et déduire de x , la part reprise par les aciers actifs.

BPEL $k = 1 \Rightarrow$ résultat pcp: $x = T$

EC2.2 $k = 1 \Rightarrow$ résultat pcp: $x = T(12.24)$

Conditions d'emploi

Les conditions d'emploi de la commande TAULIMITES s'appliquent à la commande ACIERS.

Exemples

\$ traitement de trois domaines d'etude d'une poutre (un bloc de commandes)
 \$ le domaine 10, dont on etudie alternativement les deux composantes,
 \$ porte sur les CONTRAINTES TANGENTES et NORMALES, et certaines sections
 \$ les commandes ACIERS ne sont pas executees pour les domaines d'etude
 \$ 1 et 11, qui sont d'autres types
 \$ la precontrainte transversale existe et les quantites minimales d'aciers
 \$ sont calculees avec le meme effet, et selon deux criteres
 \$ les parametres de definition des aciers transversaux sont supposes
 \$ constants, en particulier, leurs axes sont supposes paralleles a ceux
 \$ des parois minces issues des sections generiques

```

TRAITEMENT
  ETUDE 1
  ETUDE 10 COMPOSANTE 1 CONCOMITANTE 2
             COMPOSANTE 2 CONCOMITANTE 1

  ETUDE 11;
  ENVELOPPE 1000 ...
  ACIERS 500
  'ACIERS TRANSVERSAUX, COEFFICIENT betau CALCULE'
  BPELELU
  RESISTANCE TRACTION 300.0 COMPRESSION 3000.0
  COEFFICIENT 1.0
  ACIERS CONSTANTES 200.0 0.0
  ENVELOPPE 1000;
  ACIERS 501
  'ACIERS TRANSVERSAUX, COEFFICIENT betau FOURNI'
  BPELELUS 45.0
  RESISTANCE TRACTION 300.0 COMPRESSION 3000.0
  COEFFICIENT 1.0
  ACIERS CONSTANTES 200.0 0.0
  ENVELOPPE 1000;
  .....
  EDITER ACIERS 500;
  ENREGISTRER ACIERS 500;
  EDITER ACIERS 501;
  ENREGISTRER ACIERS 501;
  .....
FINTRAITEMENT ;
    
```

Commandes liées

ETUDES ; TRAITEMENT ; FINTRAITEMENT

12.11 – CDS_EC

CDS_EC LABEL_CALCUL label_calcul

OPTION $\left\{ \begin{array}{l} \text{PONDERATION_LOI} \\ \text{RETOUR_ETAT_0} \end{array} \right\}$
 [MATERIAU $\left\{ \begin{array}{l} \text{FICHIER nom_fichier_matériaux} \\ \text{PCP} \end{array} \right\}]$
 [FERRAILLAGE $\left\{ \begin{array}{l} \text{EXPLICITE} \\ \text{AUTOMATIQUE} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \text{FICHIER nom_fichier_ferraillage} \\ \text{PCP} \end{array} \right\}]$
 [GEOMETRIE $\left\{ \begin{array}{l} \text{FICHIER nom_fichier_geometrie} \\ \text{PCP} \end{array} \right\}]$
 [$\left\{ \begin{array}{l} \text{JUSTIFICATION} \\ \text{DIMENSIONNEMENT} \end{array} \right\}$ DEFORMATIONS $\left\{ \begin{array}{l} \text{BORNEES} \\ \text{NON_BORNEES} \end{array} \right\}$
 PIVOT_C $\left\{ \begin{array}{l} \text{JUSTIFIE} \\ \text{NON_JUSTIFIE} \end{array} \right\}$ [DIAGRAMME_INTERACTION]]

SOLLICITATIONS

**

$\left(\begin{array}{l} \text{ETAT LIMITE etat_limite SITUATION situation } \left\{ \begin{array}{l} \text{PONDERES} \\ \text{A_PONDERER} \end{array} \right\} \\ * \left\{ \begin{array}{l} \left\{ \begin{array}{l} G \\ GQ \end{array} \right\} \text{type_effet no_effet_gq [STRUCTURE nom_str_gq]} \\ \left\{ \begin{array}{l} P \\ GP \end{array} \right\} \text{type_effet no_effet_gp [STRUCTURE nom_str_gp]} \\ \text{TENSIONS STRUCTURE nom_str_p [RHO_INJECTION rho]} \\ \text{[PONDERATION FAVORABLE k_fav DEFAVORABLE k_def]} \\ Q \text{type_effet no_effet_q [STRUCTURE nom_str_q][POLYEDRE facteur]} \end{array} \right\} \end{array} \right)$

;

Paramètres

- Label_calcul : label du calcul qui doit identifier la nature du calcul et permet de construire le nom du fichier de calcul CDS et les fichiers de résultats.
- nom_fichier_matériaux : nom du fichier sans l'extension « .don » (nom complet : nom_fichier_matériaux.don) contenant les paramètres du matériau. Ce fichier, rédigé par l'utilisateur, contient les sous-commandes MATERIAU de CDS (voir Notice de CDS) qui sont intégrées au fichier de commandes CDS produit. Par défaut, ce sont les valeurs des matériaux calculées par PCP à partir des caractéristiques des matériaux qui sont utilisées.
- nom_fichier_ferraillage : nom du fichier sans l'extension « .don » (nom complet : nom_fichier_ferraillage.don) contenant les paramètres du FERRAILLAGE AUTOMATIQUE ou le ferraillage effectif. Ce fichier, rédigé par l'utilisateur, contient les sous-commandes de FERRAILLAGE_AUTOMATIQUE ou de ferraillage effectif de CDS (voir Notice de CDS) qui sont intégrées au fichier de commandes CDS produit par ETU. Par défaut, (option PCP) c'est le ferraillage défini dans PCP pour la POUTRE et la SECTION concernée, le cas échéant, qui est défini en données de CDS.

- `nom_fichier_geometrie` : nom du fichier sans l'extension « .don » (nom complet : `nom_fichier_geometrie.don`) contenant la définition géométrique de la section. Ce fichier, rédigé par l'utilisateur, contient les sous-commandes de la commande CONTOUR de CDS (voir Notice de CDS) qui seront intégrées au fichier de commandes CDS produit par ETU. Par défaut, (option PCP) c'est la géométrie de la section définie dans PCP pour la POUTRE et la SECTION concernée qui est définie en données de CDS.
- `etat_limite` : à choisir parmi les états suivants :
 - ELS (FREQUENT/CARACTERISTIQUE/QUASIPERMANENT)
 - ELS_NON_FISSURE (FREQUENT/CARACTERISTIQUE/QUASIPERMANENT)
 - ELU (DURABLE/ACCIDENTEL)
- `situation` : à choisir parmi les suivantes :
 - EXPLOITATION SERVICE
 - EXPLOITATION INFINIE
 - CONSTRUCTION
 - ACCIDENTELLE
 - SEISME
- `type_effet`, `no_effet_gq` et `nom_strp_gq` : paramètres identifiant l'effet G ou GQ à considérer comme chargement à appliquer aux sections à étudier par CDS (`type_effet` : voir commande TRAITEMENT).
- `type_effet`, `no_effet_gp` et `nom_strp_gp` : paramètres identifiant l'effet P ou GP à considérer comme chargement à appliquer aux sections à étudier par CDS (`type_effet` : voir commande TRAITEMENT).
- `nom_str_p` : nom de la structure sauvegardée (par le module PH3) identifiant un état d'où seront tirées les tensions des câbles et leur état d'injection.
- `rho` : Facteur de participation de la précontrainte à l'équilibre de la section (compris entre 0 et 1 inclus). Il est pris égal à 1 par défaut. Il ne s'applique qu'aux câbles injectés.
- `k_fav`, `k_def` : facteurs de pondération s'appliquant aux tensions des câbles de précontrainte calculées par PCP. Ces facteurs ne sont à renseigner que si l'option PONDERE est choisie car dans le cas contraire CDS effectuera la pondération nécessaire.
- `facteur` : facteur de pondération s'appliquant au chargement lié à l'effet `no_effet` lorsque l'option POLYEDRE est utilisée.

Fonctions

Cette commande permet de dimensionner ou de justifier sous sollicitations normales les sections d'un domaine d'étude de type EFFORTS SECTIONS ou EFFORTS ELEMENTS sous les composantes de flexion composée déviée (FSX, MSY et MSZ, voir tableau 1.1) avec le logiciel CDS. Dans le cas des EFFORTS SECTIONS seules les sections à contours peuvent être traitées par cette commande. Le dimensionnement ne peut être demandé qu'en présence de Ferrailage dans la section (cf. option FERRAILLAGE). Cette commande n'est utile que si l'utilisateur dispose au minimum de la version 6.xx de CDS.

Pour chaque section d'étude, le module ETU génère les commandes de définition du béton, des contours, de la précontrainte éventuelle, ainsi que les commandes de chargement et de contrôle dans un fichier identifié par le label du calcul CDS : « label_calcul » et par le numéro de l'élément concerné. Ce fichier est stocké dans le sous répertoire CDS de l'affaire en cours.

Une fois le module ETU exécuté, il faut lancer le logiciel CDS sous PCP en sélectionnant le fichier « Cds_Exe_label_calcul.don » généré automatique par PCP ou exploiter individuellement chacun des fichiers de données de CDS figurant dans le sous répertoire CDS. Dans le premier cas, l'utilisateur doit indiquer au préalable dans le fichier « Setconf.tcl », situé dans le répertoire d'installation de PCP, le chemin d'installation de l'exécutable de CDS. Les différentes sections sont alors traitées successivement par CDS. Les notes de calcul sont produites dans le répertoire CDS de l'affaire. Le fichier Cds_Exe_label_calcul.prt contient l'ensemble des notes de calcul et le sommaire du calcul.

Matériaux

Les caractéristiques des matériaux sont soit déterminées par PCP à partir des données introduites par l'utilisateur lors de leur définition dans PCP, soit redéfinies et complétées dans le fichier nom_fichier_materiau.don dont le contenu est intégré à la commande CDS créée.

Avec l'option PCP, ETU calculera les résistances caractéristiques des matériaux à partir des du module d'élasticité des matériaux définis en données des modules de définition de la géométrie des POUTRES. Il déterminera les options des MATERIAUX à partir des caractéristiques définies dans PCP et pour les autres options, ce sont celles prises par défaut par CDS. Il appartient donc à l'utilisateur de vérifier qu'elles correspondent au projet.

Si l'utilisateur souhaite introduire plus de paramètres (coefficients partiels relatifs aux états limites, etc.), il devra créer le fichier nom_fichier_materiaux.don et y intégrer les commandes de définition des matériaux avancées de CDS (cf. notice CDS). Les matériaux devront alors être définis avec les mêmes noms que ceux utilisés par PCP s'ils existent déjà. C'est notamment le cas pour le béton et la précontrainte.

Ferraillage

Le ferraillage peut être défini de quatre manières :

Ferraillage EXPLICITE défini dans PCP (cf. définition des POUTRES) : soit l'utilisateur décide de redéfinir les caractéristiques dans le fichier MATERIAU : il reprend alors le même nom que celui de PCP pour redéfinir ses caractéristiques dans le fichier « nom_fichier_materiaux.don », soit ETU déduit les caractéristiques des aciers des paramètres des aciers définis lors de la définition des POUTRES.

Ferraillage EXPLICITE défini dans le fichier de « nom_fichier_ferraillage.don » : L'utilisateur doit alors définir le matériau dans le fichier « nom_fichier_materiaux.don » avec le même nom d'acier dans les deux fichiers. Le fichier « nom_fichier_ferraillage.don » contient alors les commandes de définition explicite d'un ferraillage (cf. notice CDS)

Ferraillage AUTOMATIQUE PCP : ETU produira des options de FERRAILLAGE AUTOMATIQUE pour CDS mais il faut qu'un matériau ACIER soit défini dans le fichier « nom_fichier_materiaux.don » et que le nom donné à ce matériau soit impérativement : aci_pcp. Les options de FERRAILLAGE AUTOMATIQUE pour CDS sont : ferraillage EXTRADOS et INTRADOS sur un seul lit avec les diamètres par défaut de CDS.

FERRAILLAGE AUTOMATIQUE défini par nom_fichier_ferraillage.don : il faut que les matériaux ACIER définis dans le fichier « nom_fichier_materiaux.don » et dans le fichier de nom_fichier_ferraillage.don soient identiques. Les commandes de définition du ferraillage automatique dans le fichier « nom_fichier_ferraillage.don » sont celles de CDS (cf. Notice CDS) :

Précontrainte

La méthode de calcul des sections précontraintes PONDERATION_LOI correspond à la méthode de pondération de la loi de CDS. La méthode RETOUR_ETAT_0 correspond à la méthode du retour à l'état 0 de CDS.

ETU se place dans l'hypothèse de la POST-TENSION et donc applique simultanément G et P puis applique Q. L'option GQ est donc interdite en béton précontraint.

Le coefficient rho dépend de la règle de prise en compte des surtensions dans les câbles. Soit la surtension ne doit pas être considérée et auquel cas rho doit être pris nul, soit elle doit être totalement considérée et auquel cas on fixe rho égal à 1. Une surtension partielle est prise en compte en fixant une valeur de rho comprise entre 0 et 1. Pour les câbles NON_INJECTES ETU fixe systématiquement rho à zéro.

ETU prend en compte l'état du câblage défini au moment de la SAUVEGARDE de la STRUCTURE nom_str_p par PH3. Seuls les câbles INTERIEURS sont renseignés pour CDS. Les câbles EXTERIEURS sont donc ignorés. L'état INJECTE ou non INJECTE est également défini automatiquement par PCP en fonction de la situation lors de la SAUVEGARDE de la STRUCTURE nom_str_p par PH3.

GEOMETRIE

Cette option précise la définition géométrique de la section dans le cas d'une étude EFFORTS ELEMENTS.

Dans le cas d'une étude du type EFFORTS SECTIONS, c'est la géométrie définie dans PCP pour la POUTRE et la SECTION concernée qui doit être produite en données de CDS. L'option PCP qui est l'option par défaut est alors obligatoire.

Dans le cas d'une étude du type EFFORTS ELEMENTS et donc concernant des ELEMENTS COURANTS, l'option FICHIER pour la définition de la géométrie est obligatoire car aucune géométrie n'est définie dans PCP pour ces éléments. Le fichier doit commencer par la commande TITRE et ne doit contenir que les sous-commandes de la commande CONTOUR à l'exception des sous-commandes MATERIAU, FERRAILLAGE, GAINÉ et PRECONTRAINTÉ qui ne doivent pas être renseignés. Le fichier contiendra donc des POINTS, des CONTOURS imbriqués ou des EVIDEMENTS éventuels.

Sollicitations

Les Etats limites du type ELS et ELU DURABLE concernent exclusivement les situations EXPLOITATION ou CONSTRUCTION. L'ELU ACCIDENTEL concerne exclusivement les situations SEISME et ACCIDENT.

Les chargements appliqués résultent d'un état de sollicitation permanent G, auquel on superpose un effet P éventuel et un chargement Q, considéré comme un chargement simple ou gaussien (cf. POLYEDRE) :

L'effort G résulte d'un ETAT simple, d'un ETAT PONDERE ou d'un ETAT EXTREMAL issu de PH3.

Les efforts P résultent d'un ETAT PONDERE ou d'un ETAT EXTREMAL issu de PH3 qui englobent les effets ISO et HYPER de la précontrainte. P peut être isolé ou combiné à G (option GP) avec l'option PONDERES.

L'effort Q résulte en général d'un EFFET créé sous ETU par combinaison ou enveloppe.

Les données de mise en œuvre de la précontrainte (câbles tendus ou non, câbles injectés ou non, tensions probables dans les câbles) sont produites à partir de la structure sauvegardée « nom_str_p » par PH3. Le coefficient d'injection ne concerne que les câbles injectés au moment de la sauvegarde de la STRUCTURE « nom_str_p » par PH3. Pour les câbles non injectés, ETU prend la valeur zéro pour ce coefficient.

Ces efforts peuvent être préalablement PONDERES par les coefficients règlementaires ou à PONDERER par CDS. Dans le premier cas ils peuvent être définis groupés (GP,GQ) ou séparés. Dans le deuxième cas ils ne peuvent être définis que séparés afin que CDS puisse appliquer les coefficients par défaut.

Les tableaux ci-dessous illustrent les différents cas de figure :

Type effort	G	P	GP	Q
Calculs PCP	Dans PH3 est un ETAT PONDERE avec $KG_{xx}=1$ et $KP_{xx}=0$	Dans PH3 est un ETAT PONDERE avec $KG_{xx}=0$ et $KP_{xx}=1$	Interdit	Dans ETU est une : Combinaison, Enveloppe, Pondération des actions Q
Transfert à CDS	Etat G probable	Etat G probable et tensions probables		Effet Q max et min
CDS	Calcul avec pondération de G : 0.95, 1.05 aux ELS et 1.35 aux ELU	Calcul avec pondération de P : 0.90, 1.10 aux ELS et 1.00 aux ELU		Calcul avec pondération de Q : 1 aux ELS et 1.2 aux ELU DURABLE et 1 aux ELU ACCIDENTEL.

Tableau 12.2 : cas des sollicitations A_PONDERER par CDS

Type effort	G	P	GP	Q
Calculs PCP	Dans PH3 est un ETAT PONDERE avec : $KG_{xx}=0.95, 1.05$ aux ELS ou 1, 1.35 aux ELU $KP_{xx}=0$	Dans PH3 est un ETAT PONDERE avec : $KP_{xx}=0.90, 1.10$ aux ELS et 1 aux ELU $KG_{xx}=0$	Dans PH3 est un ETAT PONDERE avec $KG_{xx}=0.95, 1.05$ aux ELS et 1, 1.35 aux ELU $KP_{xx}=0.90, 1.10$ aux ELS ou 1 aux ELU	Dans ETU est une : Combinaison, Enveloppe, ou Pondération des actions Q
Transfert à CDS	Etat pondéré G max et min	Etat pondéré P max et min et tensions frappées par k_{fav} et k_{def} .	Etat pondéré GP max et min et tensions frappées par k_{fav} et k_{def} .	Effet Q max et min
CDS	Calcul sans pondération de G	Calcul sans pondération de P	Calcul sans pondération de GP	Calcul sans pondération de Q

Tableau 12.3 : cas des sollicitations déjà PONDEREES par PCP

Pondération CDS si A_PONDERER

Etat limite	G	P	Q
ELS	0.95/1.95	0.90/1.10	0/1
ELU DURABLE	1/1.35	1	0/1.2
ELU ACCIDENTEL	1	1	0/1(*)

(*) valeur erronée pour le vent : il faut donc passer en mode PONDERES pour une charge Q du type vent.

Option Polyèdre

Avec l’option EFFET POLYEDRE, l’effet no_effet est considéré comme un chargement de type gaussien, à ajouter, après pondération par le paramètre facteur, à l’état permanent G+P; 24 chargements sont construits en considérant les sommets du polyèdre circonscrit à l’ellipsoïde de ce chargement de type gaussien. Cette méthode est documentée dans « Alain CAPRA et Victor DAVIDOVICI : Calcul dynamique des structures en zone sismique Eyrolles 1980 ».

Les traitements suivants sont effectués :

Recherche des 9 valeurs caractéristiques de l’effet de type gaussien (les termes diagonaux de la matrice correspondante sont les écarts-types des composantes considérées, et les termes croisés sont leurs composantes concomitantes) :

$$\begin{bmatrix} FSX & MSY_{FSX} & MSZ_{FSX} \\ FSX_{MSY} & MSY & MSZ_{MSY} \\ FSX_{MSZ} & MSY_{MSZ} & MSZ \end{bmatrix} \quad (12.25)$$

Etablissement de la matrice de covariance correspondante (toujours symétrique pour un effet de type gaussien) :

$$\begin{bmatrix} FSX^2 & FSX \cdot MSY_{FSX} & FSX \cdot MSZ_{FSX} \\ MSY \cdot FSX_{MSY} & MSY^2 & MSY \cdot MSZ_{MSY} \\ MSZ \cdot FSX_{MSZ} & MSZ \cdot MSY_{MSZ} & MSZ^2 \end{bmatrix} \quad (12.26)$$

Détermination des 24 triplets de valeurs (FSX, MSY, MSZ) représentant les sommets du polyèdre circonscrit à l’ellipsoïde d’équiprobabilité, défini par la matrice de covariance ; si on projette l’ellipsoïde sur un plan d’axes ox et oy représentant un couple de valeurs extraites d’un triplé, on obtient quatre sommets du polyèdre :

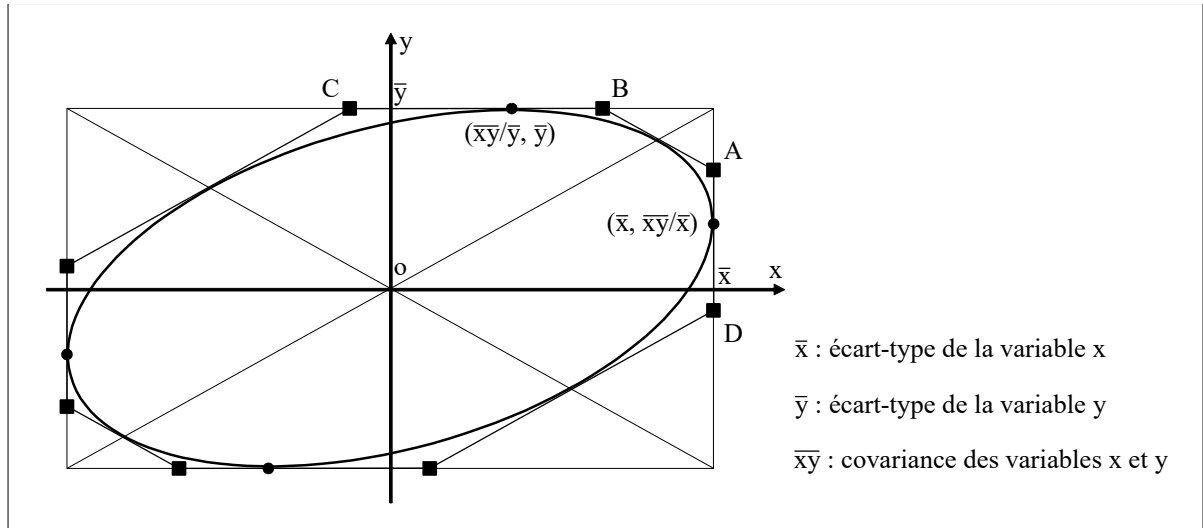


Figure 12.4 - Ellipsoïde d'équiprobabilité, quatre sommets du polyèdre circonscrit

$$A \begin{cases} \bar{x} \\ \bar{y}[\sqrt{2(1+\rho)} - 1] \end{cases} \quad B \begin{cases} \bar{x}[\sqrt{2(1+\rho)} - 1] \\ \bar{y} \end{cases} \quad (12.27)$$

$$C \begin{cases} \bar{x}[1 - \sqrt{2(1-\rho)}] \\ \bar{y} \end{cases} \quad D \begin{cases} \bar{x} \\ \bar{y}[1 - \sqrt{2(1-\rho)}] \end{cases} \quad (12.28)$$

$$\rho = \frac{\bar{x}\bar{y}}{\bar{x}\cdot\bar{y}} \quad (12.29)$$

L'ellipsoïde est projeté successivement sur chacun des trois plans possibles ; chaque face de son parallélépipède circonscrit fournissant quatre sommets du polyèdre, on obtient les 24 sommets recherchés ; chaque triplet représentant un sommet du polyèdre est ensuite pondéré par le paramètre facteur et ajouté aux sollicitations permanentes, pour produire un chargement.

Dimensionnement

Le dimensionnement ne s'applique qu'avec l'option FERRAILLAGE. Dans le cas d'un FERRAILLAGE AUTOMATIQUE CDS déterminera la position et le nombre d'aciers sur chaque nappe.

Dans le cas d'un ferrailage EXPLICITE, le dimensionnement conduit le cas échéant CDS à augmenter globalement la quantité d'acier de chaque zone : INTRADOS ou EXTRADOS.

Le dimensionnement est systématique suivi d'une Justification.

Justifications

Les justifications s'appliquent aux aciers déjà présents dans les sections PCP ou aux aciers issus du DIMENSIONNEMENT préalablement effectués.

Avec l'option DEFORMATIONS BORNEES l'équilibre de la section est recherché en se limitant aux déformations licites de l'Etat limite traité. Avec l'option DEFORMATIONS NON_BORNEES l'équilibre est recherché indépendamment des limites des déformations licites mais le logiciel signale les dépassements.

L'option sur le pivot C, permet de demander sa justification.

Conditions d'emploi

- Cette commande optionnelle peut être introduite plusieurs fois, au cours d'un traitement.
- Cette commande est interdite lorsque le domaine d'étude auquel elle s'applique n'est pas de type EFFORTS SECTIONS ou EFFORTS ELEMENTS, ou lorsque les composantes FSX, MSY et MSZ ne sont pas étudiées simultanément.
- Les fichiers CDS sont créés dans le répertoire CDS de l'affaire. L'utilisateur peut lancer CDS en sélectionnant chacun des fichiers.
- Le fichier « Cds_Exe_Label_calcul.don » permet de lancer l'ensemble des CDS.
- Avec les options EFFET POLYEDRE, il n'est pas vérifié que la matrice de covariance est symétrique.
- Les options A_PONDERER sont interdites pour des efforts de type GP.
- Si une COMBINAISON QUADRATIQUE est utilisée il faut qu'elle soit ENREGISTREE et réalisée dans un TRAITEMENT et FINTRAITEMENT préalable.
- Avec l'option POLYEDRE si une combinaison est nécessaire pour évaluer l'effet Q total, cette combinaison doit être réalisée successivement sur chacune des composantes d'étude avec leur concomitante et enregistrée dans une commande TRAITEMENT préalable (cf. exemple séisme ci-dessous).

Conseils méthodologiques

- L'option POLYEDRE est à utiliser avec des actions Q correspondant à une REPONSE SPECTRALE du type VENT ou du type SISMIQUE.
- Pour une étude au vent aux ELU, le coefficient de pondération 1.2 sur Q doit être introduit en mode PONDERE car la valeur par défaut de CDS est 1.
- Pour le dimensionnement, il est conseillé de regrouper tous les états limites dans une seule commande CDS afin de conduire à un dimensionnement globalement optimum.
- Dans le cas d'un séisme, une combinaison quadratique des différentes directions sismiques est exclusive d'une application de la règle de cumul de l'Eurocode utilisant les coefficients 0.3 frappant les directions concomitantes. Pour appliquer cette règle de cumul, une COMBINAISON classique sera utilisée (Cf. exemple séismes sur éléments courants).

Exemples

```

$ Exemple de l affaire encorb_sci

$ l etude ci-dessous porte sur les EFFORTS en reperes SECTIONS
$ dans une partie de poutre ; on y traite successivement les trois
$ composantes de sollicitation normales :
$ Les charges Q sont definies par des enveloppes
$ le materiau est defini dans le fichier mate_cds.don
$ le ferrailage automatique est defini dans le fichier fer_cds.don
$ l etat GP est obtenu par la commande ETAT PONDERE definies dans le
$ phasage
$
PCPETU ;
TITRE 'ETUDE DU PONT - justification des sections en CARA et ELU';
TRAITEMENT ETUDE EFFORTS SECTIONS
COMP 1 CONC 5 6
COMP 5 CONC 1 6 ;
ENVELOPPE 400 ' GRADIENT THERMIQUE 10 DEGRES'
COEF 0. CHARGE 20 STRUCTURE STRUSERV

```

```

COEF 1.  CHARGE 20 STRUCTURE STRUSERV ;
COMBINAISON 500 'Q CARA : LM1, TROTTOIR , GRADIENT 5 DEGRES '
COEF 1.0  ACTION 30 STRUCTURE STRUSERV
COEF 1.0  ACTION 40 STRUCTURE STRUSERV
COEF 0.5  ENVELOPPE 400;
COMBINAISON 600 'Q ELU : LM1, TROTTOIR '
COEF 1.2  ACTION 30 STRUCTURE STRUSERV
COEF 1.2  ACTION 40 STRUCTURE STRUSERV;

CDS_EC
LABEL_CALCUL          ELS_ELU
OPTION                RETOUR_ETAT_0
MATERIAU_FICHER       mate_cds $ redefinition des materiaux
FERRAILLAGE_AUTOMATIQUE FICHER fer_cds $ ferrailage automatique
                                                $intrados et extrados

DIMENSIONNER DEFORMATION BORNEES PIVOT JUSTIFIER DIAGRAMME
SOLLICITATIONS
$ ELS CARACTERISTIQUES
ETAT_LIMITE ELS CARACTERISTIQUE SITUATION EXPLOITATION SERVICE PONDERES
      GP ETAT 100 STRUCTURE STRUSERV
      TENSIONS STRUCTURE STRUSERV RHO_INJECTION 1
      PONDERATION FAVORABLE 0.90 DEFAVORABLE 1.10
      Q COMBINAISON 500
ETAT_LIMITE ELS CARACTERISTIQUE SITUATION EXPLOITATION INFINI PONDERES
      GP ETAT 100 STRUCTURE STRUINFI
      TENSIONS STRUCTURE STRUINFI RHO_INJECTION 1
      PONDERATION FAVO 0.90 DEFA 1.10
      Q COMBINAISON 500

$ ELU
ETAT_LIMITE ELU DURABLE SITUATION EXPLOITATION SERVICE PONDERES
      GP ETAT 200 STRUCTURE STRUSERV
      TENSIONS STRUCTURE STRUSERV RHO_INJECTION 1
      PONDERATION FAVO 1 DEFA 1
      Q COMBINAISON 600
ETAT_LIMITE ELU DURABLE SITUATION EXPLOITATION INFINI PONDERES
      GP ETAT 200 STRUCTURE STRUINFI
      TENSIONS STRUCTURE STRUINFI RHO_INJECTION 1
      PONDERATION FAVO 1 DEFA 1
      Q COMBINAISON 600 ;

FINTRAITEMENT ;
FIN ;

```

Fichier de phasage :

PHASAGE

```

CALCUL EXTREMAS EFFORTS SECTIONS COMP 1 CONC 5 4 6
CALCUL EXTREMAS EFFORTS SECTIONS COMP 5 CONC 1 4 6
CALCUL EXTREMAS EFFORTS SECTIONS COMP 6 CONC 1 4 5

```

```

$
SAUVE STRUSERV
TITRE 'ETAT PONDERE CARACTERISTIQUE EN SERVICE'
ETAT PONDERE KGFA 0.95 KGDE 1.05 KPTFAVORABLE 0.90 KPTDEFAVORABLE 1.10 100
TITRE 'ETAT PONDERE ELU EN SERVICE'
ETAT PONDERE KGFAVORABLE 1 KGDEFAVORABLE 1.35 200
TITRE 'OUVRAGE AU TEMPS INFINI A VIDE'
DATE VIEILLISSEMENT INFINI ETAT
SAUVE STRUINFI
TITRE 'ETAT PONDERE CARACTERISTIQUE INFINI'
ETAT PONDERE KGFA 0.95 KGDE 1.05 KPTFAVORABLE 0.90 KPTDEFAVORABLE 1.10 100
TITRE 'ETAT PONDERE ELU INFINI'
ETAT PONDERE KGFAVORABLE 1 KGDEFAVORABLE 1.35 200
FIN

```

Fichier mate_cds.don :

```

MATERIAU BETON BETON $ meme nom que materiau PCP
    TITRE                ' Materiau beton fck = 43.55 '
    FCK                  43.55
    SECTION              CAISSON
    EXPOSITION           XS1
    PRECONTRAINTE        oui
    CIMENT               R
    FATIGUE_CRITERE_SIMPLIFIE TRACTION OUI
FIN MATERIAU
MATERIAU PRECONTRAINTTE CABTYP1 $ meme nom que cable PCP
    TITRE                "CABTYP1 "
    FP01K                (0.9*1770/0.8)
    FPK                  (1770/0.8)
    TYPE                 TORON
FIN MATERIAU
MATERIAU PRECONTRAINTTE CABTYP2 $ meme nom que cable PCP
    TITRE                "CABTYP2 "
    FP01K                (0.9*1777/0.8)
    FPK                  (1777/0.8)
    TYPE                 TORON
FIN MATERIAU
MATERIAU ACIER ACI_PCP $ nom repris dans fer_cds.don
    TITRE                "ACIPCP "
    FYK                  500.0
    TYPE                 T_A
    SECTION              CAISSON
    CONFINE              OUI
    FATIGUE_CRITERE_SIMPLIFIE OUI
    FISSURATION_CRITERE_SIMPLIFIE OUI
FIN MATERIAU

```

Fichier de definition du ferrailage fer_cds.don

```

FERRAILLAGE fer_pcpsup
    TITRE                "fersup"

```



```

MATERIAU aci_pcp
OPTIONS_FERRAILLAGE_AUTOMATIQUE
DISPOSITION SUPERIEURE STRICTE
FIN_OPTIONS
FIN_FERRAILLAGE
FERRAILLAGE fer_pcp_inf
TITRE "ferinf"
MATERIAU aci_pcp
OPTIONS_FERRAILLAGE_AUTOMATIQUE
DISPOSITION INFERIEURE STRICTE
FIN_OPTIONS
FIN_FERRAILLAGE

```

```

$ Exemple de l affaire encorb_sci avec effet polyedre sur seisme
$ l etude ci-dessous porte sur les EFFORTS en reperes SECTIONS
$ dans une partie de poutre ; on y traite successivement les trois
$ composantes de sollicitation normales et leurs concomitantes qui sont
$ ensuite ENREGISTREES
$ les directions sismiques sont combinées quadratiquement.
$ le materiau et le ferrailage sont deduits des donnees PCP
$ l etat GP est le meme que precedemment
$

```

```

PCPETU;
TITRE 'ETUDE DU PONT - justification des sections au seisme';
$ construction de la combinaison Quadratique
TRAITEMENT ETUDE EFFORTS SECTIONS
COMP 1 CONC 5 6 $ obligatoire pour l option polyedre
COMP 5 CONC 1 6 $ obligatoire pour l option polyedre
COMP 6 CONC 1 5;$ obligatoire pour l option polyedre
COMBINAISON QUADRATIQUE 2000 "Combinaison seisme vertical/horizontal"
COEF 1 REPONSE 1001 STRUCTURE STRUSERV
COEF 1 REPONSE 1002 STRUCTURE STRUSERV
ENREGISTRER COMBINAISON 2000; $ obligatoire pour l option polyedre
FINTRAITEMENT;

```

```

$Justification au seisme
TRAITEMENT ETUDE EFFORTS SECTIONS
COMP 1 CONC 5 6; $ la définition de ce torseur est suffisante car PCP
$ira chercher automatiquement les autres composantes pour
$ générer la totalité du polyedre

```

```

CDS_EC
LABEL_CALCUL SEISME
OPTION RETOUR_ETAT_0
MATERIAU PCP
FERRAILLAGE EXPLICITE PCP
JUSTIFIER DEFORMATION BORNEES PIVOT JUSTIFIER DIAGRAMME
SOLLICITATIONS
$ ELU a la mise en service
ETAT_LIMITE ELU ACCIDENTELLE SITUATION SEISME PONDERES
GP ETAT 200 STRUCTURE STRUSERV
TENSIONS STRUCTURE STRUSERV RHO_INJECTION 1
PONDERATION FAVO 1 DEFA 1

```

```

Q   REPONSE          1001  STRUCTURE STRUSERV POLYEDRE 1
Q   REPONSE          1002  STRUCTURE STRUSERV POLYEDRE 1
Q   COMBINAISON      2000                                POLYEDRE 1 ;
FINTRAITEMENT ;
FIN ;

```

```

$ Commandes du fichier seisme :
REPONSE MODALE SEISME
'seisme transversal'
COMPOSANTE Y SUPERPOSITION CQC ENREGISTRER 1001 ;

REPONSE MODALE SEISME
'seisme vertical'
COMPOSANTE Z SUPERPOSITION CQC ENREGISTRER 1002 ;

```

```

$ Exemple d effet polyedre sur seisme pour des ELEMENTS COURANTS avec
$ combinaison Eurocode des trois directions de seisme : 9100, 9200 et 9300.
$ le materiau et le ferrailage sont deduites des donnees PCP
$ La geometrie de la section est defini dans le fichier contour.
$ l etat GP est le meme que precedemment
$

```

```

PCPETU;
TITRE 'ETUDE DU PONT - justification des sections au seisme';
$ construction de la combinaison des trois directions du seisme
TRAITEMENT ETUDE EFFORTS SECTIONS
COMP 1 CONC  5 6 $ obligatoire pour l option polyedre
COMP 5 CONC  1 6 $ obligatoire pour l option polyedre
COMP 6 CONC  1 5; $ obligatoire pour l option polyedre
COMBINAISON  9501 'Seisme Ex +- Sx +- 0.3Sy +- 0.3Sz'
FAVORABLE   -1      DEFAVORABLE 1      REPONSE 9100 STRUCTURE STRUSERV
FAVORABLE  -0.3    DEFAVORABLE 0.3     REPONSE 9200 STRUCTURE STRUSERV
FAVORABLE  -0.3    DEFAVORABLE 0.3     REPONSE 9300 STRUCTURE STRUSERV ;

COMBINAISON  9502 'Seisme Ex +-0.3 Sx +- Sy +- 0.3Sz'
FAVORABLE  -0.3    DEFAVORABLE 0.3     REPONSE 9100 STRUCTURE STRUSERV
FAVORABLE  -1      DEFAVORABLE 1      REPONSE 9200 STRUCTURE STRUSERV
FAVORABLE  -0.3    DEFAVORABLE 0.3     REPONSE 9300 STRUCTURE STRUSERV;

COMBINAISON  9503 'Seisme Ex +- 0.3Sx +- 0.3Sy +- Sz'
FAVORABLE  -0.3    DEFAVORABLE 0.3     REPONSE 9100 STRUCTURE STRUSERV
FAVORABLE  -0.3    DEFAVORABLE 0.3     REPONSE 9200 STRUCTURE STRUSERV
FAVORABLE  -1      DEFAVORABLE 1      REPONSE 9300 STRUCTURE STRUSERV;

ENVELOPPE  9550 'Ex-Ey-Ez'
COEFFICIENT 1 COMBINAISON 9501
COEFFICIENT 1 COMBINAISON 9502
COEFFICIENT 1 COMBINAISON 9503;

```

```
EDITER ENVELOPPE 9550;
ENREGISTRER ENVELOPPE 9550;
FINTRAITEMENT; FINTRAITEMENT;
```

\$Justification au seisme

TRAITEMENT ETUDE EFFORTS SECTIONS

COMP 1 CONC 5 6; \$ la définition de ce torseur est suffisante car PCP
\$ira chercher automatiquement les autres composantes pour
\$ générer la totalité du polyedre

CDS_EC

LABEL_CALCUL SEISME

OPTION

RETOUR_ETAT_0

MATERIAU

PCP

GEOMETRIE

FICHER contour

FERRAILLAGE

EXPLICITE PCP

JUSTIFIER DEFORMATION BORNEES PIVOT JUSTIFIER DIAGRAMME

SOLLICITATIONS

\$ ELU a la mise en service

ETAT_LIMITE ELU ACCIDENTELLE SITUATION SEISME PONDERES

GP ETAT 200 STRUCTURE STRUSERV

TENSIONS STRUCTURE STRUSERV RHO_INJECTION 1

PONDERATION FAVO 1 DEFA 1

Q ENVELOPPE 9550 POLYEDRE 1 ;

FINTRAITEMENT ;

FIN ;

Fichier Contour.don

TITRE " Contour section"

POINT

NUMERO 1 Y 1.500 Z 0.100

NUMERO 2 Y -1.500 Z 0.100

NUMERO 3 Y -1.500 Z 1.500

NUMERO 4 Y -2.000 Z 1.500

NUMERO 5 Y -2.000 Z -1.500

NUMERO 6 Y -1.500 Z -1.500

NUMERO 7 Y -1.500 Z -0.100

NUMERO 8 Y 1.500 Z -0.100

NUMERO 9 Y 1.500 Z -1.500

NUMERO 10 Y 2.000 Z -1.500

NUMERO 11 Y 2.000 Z 1.500

NUMERO 12 Y 1.500 Z 1.500

FIN_POINT

\$ EVIDEMENTS eventuels

Commandes liées

ETUDES ; TRAITEMENT ; FINTRAITEMENT

12.12 - COMMENTAIRE

COMMENTAIRE texte_info ;

Paramètres

texte_info : texte informatif (chaîne de caractères) ;

Fonctions

Cette commande provoque l'insertion d'une ligne de texte informatif, dans le fichier de résultats.

Conditions d'emploi

Cette commande optionnelle peut être introduite plusieurs fois, au cours d'un traitement.

Exemples

```
$ insertion d'une ligne de texte soulignee  
COMMENTAIRE  
' CALCUL DES SOLLICITATIONS ENVELOPPES, SELON LE BPEL '  
COMMENTAIRE  
' ----- '
```

Commandes liées

ETUDES ; TRAITEMENT ; FINTRAITEMENT

12.13 - EDITER

EDITER [A4]

type_effet no_effet [STRUCTURE nom_structure];

Paramètres

type_effet, nom_effet, nom_structure : paramètres identifiant l'effet à éditer (voir commande TRAITEMENT).

Fonctions

Cette commande provoque l'édition d'un effet.

Avec l'option A4, les résultats sont produits sur 80 colonnes au maximum ; par défaut, ils le sont sur 132 colonnes au maximum.

Conditions d'emploi

Cette commande optionnelle peut être introduite plusieurs fois, au cours d'un traitement.

Les effets édités s'empilent dans le fichier de résultats, dans l'ordre d'introduction : des commandes EDITER pour un domaine d'étude, des domaines d'étude pour un traitement, et des traitements pour une session.

Tous les types d'effets peuvent être édités, y compris les types terminaux (voir commande TRAITEMENT).

L'effet à éditer doit exister, en mémoire ou en base de données.

Exemples

```
$ edition d'effets crees par les modules PH3 et ENV
$ et presents en base de donnees
EDITER CHARGE 100;
EDITER ETAT 0 STRUCTURE STRUC1;
EDITER ACTION 100 STRUCTURE STRUC1;
```

```
$ edition d'effets crees par le module ETU
$ et presents en memoire, ou en base de donnees
EDITER ENVELOPPE 1000;
EDITER COMBINAISON 100;
$ ces effets ne seront calcules, donc edités
$ que pour les domaines d'etude concernes
EDITER TAULIMITES 51;
EDITER ACIERS 151;
```

Commandes liées

ETUDES ; TRAITEMENT ; FINTRAITEMENT

12.14 - EXPORTER

EXPORTER $\left\{ \begin{array}{l} \text{GUIVIRGULES} \\ \text{VIRGULES} \\ \text{ESPACES} \\ \text{PCP} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \text{MAX} \\ \text{MIN} \\ \text{MAX_MIN} \end{array} \right\}$

type_effet no_effet [STRUCTURE nom_structure] [FICHIER nom_fichier];

Paramètres

type_effet, nom_effet, nom_structure : paramètres identifiant l'effet à exporter (voir commande TRAITEMENT).

nom_fichier : nom du fichier (à placer entre côtes) dans lequel l'effet sera exporté. Si l'option FICHIER n'est pas utilisée, le fichier portera le même nom que le fichier de données dans lequel la commande EXPORTER est utilisée, et portera l'extension 'exp'.

Fonctions

Cette commande provoque l'exportation d'un effet, sous une forme lisible et modulable.

Avec l'option GUIVIRGULES, les valeurs éditées sont mises individuellement entre guillemets, et séparées par des virgules.

Avec les options VIRGULES ou ESPACES, les valeurs sont éditées « telles quelles », et séparées par des virgules (format compatible avec le tableur MSTM-EXCEL[®]), ou des espaces.

Avec l'option PCP, les valeurs sont éditées de façon à pouvoir être importées dans une autre affaire à l'aide la commande IMPORTER.

Les options MAX, MIN et MAX_MIN permettent d'éditer respectivement les valeurs maximales seules, les valeurs minimales seules, ou les valeurs maximales et minimales.

Conditions d'emploi

Cette commande optionnelle peut être introduite plusieurs fois, au cours d'un traitement.

Tous les types d'effets peuvent être exportés, y compris les types terminaux (voir commande TRAITEMENT).

L'effet à exporter doit exister, en mémoire ou en base de données.

Les effets exportés s'empilent dans le fichier export (« remis à zéro » à chaque début de session), dans l'ordre d'introduction : des commandes EXPORTER pour un domaine d'étude, des domaines d'étude pour un traitement, et des traitements pour une session.

Conseils méthodologiques

Éviter de mélanger des commandes EXPORTER et CDS, dans une même session.

Exemples

```
EXPORTER GUIVIRGULES MAX_MIN CHARGE 100;
EXPORTER VIRGULES MAX COMBINAISON 1000;
EXPORTER ESPACES MAX_MIN ACTION 100 STRUCTURE STRUCT1;
EXPORTER PCP MAX_MIN ENVELOPPE 2000 FICHIER 'enve2000.exp';
```

Commandes liées

ETUDES ; TRAITEMENT ; FINTRAITEMENT ; IMPORTER ;

[™] MS est une marque déposée de Microsoft Corporation ; [®] EXCEL est un produit de Microsoft Corporation

12.15- IMPORTER

IMPORTER nom_fichier type_effet no_effet ;

Paramètres

type_effet, nom_effet : paramètres identifiant l'effet à importer (voir commande TRAITEMENT).

nom_fichier : nom du fichier (à placer entre côtes) dans lequel l'effet sera recherché.

Fonctions

Cette commande provoque l'importation d'un effet, et son enregistrement en base de données.

Conditions d'emploi

Cette commande optionnelle peut être introduite plusieurs fois, au cours d'un traitement.

Tous les types d'effets peuvent être importés, y compris les types terminaux (voir commande TRAITEMENT).

Les numéros des études de l'affaire dans laquelle on importe des effets doivent correspondre avec les numéros des études de l'affaire dans laquelle la commande EXPORTER a été utilisée. De même, les composantes et concomitantes demandées doivent correspondre.

Exemples

```
IMPORTER 'enve2000.exp' ENVELOPPE 2000;  
IMPORTER 'export.exp' CHARGE 10;
```

Commandes liées

ETUDES ; TRAITEMENT ; FINTRAITEMENT ; EXPORTER ;

12.16- ENREGISTRER

ENREGISTRER type_effet no_effet ;

Paramètres

type_effet, no_effet : paramètres identifiant l'effet à enregistrer (voir commande TRAITEMENT).

Fonctions

Cette commande provoque l'enregistrement en base de données, d'un effet qui pourra être réutilisé par le module ETU, dans un traitement ultérieur de la session en cours ou dans une session ultérieure, ou visualisé par le module RES.

Conditions d'emploi

Cette commande optionnelle peut être introduite plusieurs fois, au cours d'un traitement.

Seuls les effets créés par le module ETU peuvent être enregistrés, y compris les effets terminaux (voir commande TRAITEMENT).

L'effet à enregistrer doit avoir été créé durant le traitement en cours.

Exemples

```
ETUDES;
TRAITEMENT ... $ traitement 1
  ETUDE ...
  .....
  COMBINAISON 1000 ...
  .....
  ENVELOPPE 1001
  .....
  ENREGISTRER COMBINAISON 1000;
  ENREGISTRER ENVELOPPE 1001;
FINTRAITEMENT;
TRAITEMENT ... $ traitement 2
$ la combinaison 1000 et l'enveloppe 1001 peuvent etre reutilisees ici
  ETUDE ...
  .....
  ENVELOPPE 1002
  'TITRE'
  COEFFICIENT 1.0 COMBINAISON 1000
  COEFFICIENT 1.0 ENVELOPPE 1001;
  .....
FINTRAITEMENT;
FIN;
```

Commandes liées

ETUDES ; TRAITEMENT ; FINTRAITEMENT

12.17 FINTRAITEMENT

FINTRAITEMENT ;

Fonctions

Cette commande marque la fin du traitement en cours (bloc de commandes ayant débuté après la dernière commande TRAITEMENT).

Tous les effets créés durant ce traitement et non enregistrés seront effacés de la mémoire.

Conditions d'emploi

À chaque commande TRAITEMENT doit correspondre une commande FINTRAITEMENT.

L'imbrication des séquences de traitement est interdite.

Exemples

```
ETUDES;
$ groupe 1
$ -----
TRAITEMENT ...
$ domaines d'étude et composantes
.....
$ calculs divers, commandes :
$ LECTURE, COMBINAISON, PONDERATION, ENVELOPPE, TAULIMITES, ACIERS, CDS
.....
$ gestion des resultats, commandes :
$ COMMENTAIRE, EDITER, EXPORTER, ENREGISTRER
.....
FINTRAITEMENT;
$ groupe 2
$ -----
TRAITEMENT ...
.....
FINTRAITEMENT;
$ groupe 3
$ -----
TRAITEMENT ...
.....
FINTRAITEMENT;
FIN;
```

Commandes liées

TITRE ; RAPPELER ; TRAITEMENT ; LECTURE ; COMBINAISON ; PONDERATION
ENVELOPPE ; TAULIMITES ; ACIERS ; CDS ; COMMENTAIRE ; EDITER
EXPORTER ; ENREGISTRER

12.18- FIN

FIN ;

Fonctions

Cette commande provoque la fin d'une session et l'arrêt de l'exécution du module ETU ; toutes les commandes suivantes éventuelles sont ignorées.

Exemples

```
ETUDES ;  
.....  
.....  
FIN ;
```

Commandes liées

ETUDES

Chapitre 13

Éléments finis

SOMMAIRE

13.1 – DISCRETISATION

13.2 - STRUCTURE

13.3 - LOGICIEL

13.4 - MAILLAGE POUTRE VOLUMIQUE

13.5 - MAILLAGE POUTRE SURFACIQUE

13.6 - MAILLAGE POUTRE LINEIQUE

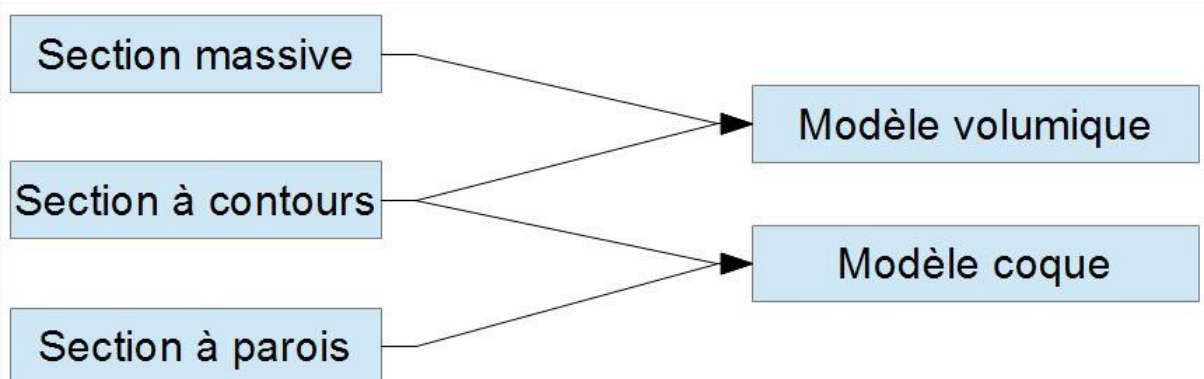
13.7 - MAILLAGE ELEMENTS

13.8 - FIN

Fonctions du module MAI

L'objectif du module MAI est de permettre à l'utilisateur de poursuivre une étude dans un logiciel aux éléments finis, sans avoir à redéfinir le modèle géométrique. Ceci est rendu possible par le fonctionnement de PCP, dont les données entrantes sont constituées non pas des caractéristiques équivalentes des barres, mais de la géométrie réelle de l'ouvrage. Puisqu'il fait appel à une structure sauvegardée en base de données, ce module doit être appelé après le module de phasage PH3.

Le module MAI permet de générer des éléments poutre, coque/plaque et volumique. L'obtention de ces modélisations est tributaire de la méthode choisie pour décrire la géométrie du module dans PCP. Si le modèle est entièrement défini par la commande SECTION TYPE, on ne peut générer qu'un modèle avec des éléments poutre. Si un ou plusieurs fichiers GE1 ont été définis, on peut alors générer les modèles coques et volumiques selon le schéma de compatibilité suivant :



Pour une modélisation donnée, le module MAI lie deux sections transversales point à point dans le cas de deux sections identiques, et utilise une méthode du point le plus proche dans le cas de deux sections différentes. Néanmoins, si deux sections successives présentent une trop forte discontinuité, le module MAI ne peut pas réaliser la liaison proprement. Il est alors demandé à l'utilisateur de définir un voussoir de transition, de faible longueur, qui sera impérativement modélisé selon une formulation poutre.

Il est par ailleurs possible de générer des modèles hybrides, mélangeant deux, voire trois modélisations différentes. Le module MAI réalise alors automatiquement les liaisons entre les formulations volumique et poutre, ou encore surfacique et poutre. La liaison entre modélisation 2D et 3D n'est pour le moment pas assurée.

Ce module permet de générer un fichier de géométrie et un fichier de maillage. Dans le cas de structure comportant de la précontrainte, des mailles de liaisons câble-béton ont été ajoutées dans le fichier de maillage, et le fichier de maillage à prendre en compte porte le nom `geometrie_liaisons`. Le maillage au format `.msh` est disponible actuellement. Pour cela, l'utilisateur doit avoir installé le logiciel GMSH.

Un fichier de commande de calcul aux éléments finis est également créé pour le logiciel aux éléments finis choisi par l'utilisateur. Pour le moment, le fichier de commande généré est relatif au logiciel `Code_Aster`.

L'ensemble des fichiers générés se trouvent dans un répertoire intitulé `gms`, placé dans le répertoire de l'affaire.

Sommaire

Commande	Page
13.1 – DISCRETISATION	13-4
13.2 - STRUCTURE	13-6
13.3 - LOGICIEL.....	13-7
13.4 - MAILLAGE POUTRE VOLUMIQUE	13-8
13.5 - MAILLAGE POUTRE SURFACIQUE	13-11
13.6 - MAILLAGE POUTRE LINEIQUE.....	13-14
13.7 - MAILLAGE ELEMENTS	13-16
13.8 - FIN	13-17

13.1 – DISCRETISATION

DISCRETISATION [FORMAT format] [FICHIER $\left\{ \begin{array}{l} \text{UNIQUE} \\ \text{MULTIPLES} \end{array} \right\}$];

Paramètres

- format : format de sortie du fichier de maillage. Pour l'instant, les formats de maillage disponibles sont MSH et MED. PCP ne peut actuellement générer un modèle comportant de la précontrainte qu'avec le format .msh, à condition que l'utilisateur ait installé le logiciel GMSH.

Fonctions

Cette commande marque le début des données de paramétrage du maillage aux éléments finis. Elle permet également de fixer le format de sortie du fichier de maillage et de définir le mode de fonctionnement du module MAI.

Avec l'option MULTIPLES, un voussoir n'est créé que si les deux sections transversales qui le composent sont identiques. A chaque discontinuité, un nouveau fichier est créé. Par ailleurs, il est impossible de mélanger différentes modélisations dans un seul fichier avec ce mode de fonctionnement.

Avec l'option UNIQUE, la géométrie de tous les tronçons, quelles que soient leurs modélisations, est réunie dans un seul fichier. Si deux sections transversales successives (et de même modélisation) ne sont pas identiques, la liaison est forcée par une méthode de recherche du point le plus proche.

Avec l'option UNIQUE, il est également possible de mélanger les différentes modélisations (1D/2D/3D). Par ailleurs, si deux sections transversales successives possèdent des modélisations différentes, une liaison dite "mixte" est réalisée pour les combinaisons suivantes : 1D/3D et 1D/2D. La liaison 2D/3D n'est pas gérée par le module MAI.

Conditions d'emploi

- Doit constituer la première ligne du fichier de commandes
- Le format par défaut est .msh.
- L'option FICHIER UNIQUE est l'option par défaut.

Conseils méthodologiques

- Le choix du format détermine également la méthode utilisée pour nommer les groupes de mailles du modèle, au sens de Code_Aster. Avec le format MED, chaque voussoir est désigné par un groupe de mailles nommé Vou+n° du voussoir. Par exemple, le 10^{ème} voussoir est désigné par le groupe de mailles "Vou10". En surfacique, des groupes de mailles désignant les surfaces élémentaires de chaque voussoir sont définis. Ils sont nommés de la manière suivante : GM+100000+n° voussoir*1000+n° surface élémentaire. Par exemple, la troisième surface élémentaire du 4^{ème} voussoir est désignée par : "GM104003".
Au format MSH, les caractères alphabétiques ne sont pas autorisés. Ainsi, les groupes de mailles des voussoirs sont numérotés de la façon suivante : n°poutre*100000+n°voussoir*1000. Ils peuvent alors être appelés dans Code_Aster : "GM+n° groupe de maille".
- Le module « éléments finis » permet de créer un fichier de géométrie, un fichier de maillage et un fichier de commande pour un logiciel aux éléments finis. Pour l'instant, un fichier de commande pour Code_Aster est correctement créé dans le cas d'un fichier unique pour les éléments volumiques, surfaciques et linéiques. Le fichier de commande comporte la lecture du maillage, l'affectation du modèle, la définition des matériaux et leurs affectations, les caractéristiques des mailles, la définition des forces de précontrainte et du poids propre et le calcul statique linéaire des effets de la précontrainte et du poids propre de la structure. L'utilisateur aura à définir les conditions aux limites et pourra prolonger son étude en renseignant les autres charges et les calculs relatifs à ces charges.

Exemples

```
DISCRETISATION FORMAT MSH FICHIER UNIQUE;  
.....
```

Commandes liées

```
FIN;
```

13.2 - STRUCTURE

STRUCTURE nom_structure ;

Paramètres

- nom_structure : nom d'une structure sauvegardée.

Fonctions

Cette commande provoque le rappel d'une structure sauvegardée pour laquelle seront créés un fichier de géométrie, un fichier de maillage et un fichier de commande pour un logiciel aux éléments finis.

Conditions d'emploi

- La structure rappelée doit être préalablement enregistrée en base de données, à l'aide de la commande SAUVER du module PH3 (voir chapitre 8).
- La structure sauvegardée ne doit pas provoquer d'instabilités (dus par exemple au non placement d'articulations reliant des parties d'ouvrage).
- Le rappel d'une structure sauvegardée est obligatoire, avant introduction des commandes LOGICIEL, MAILLAGE POUTRE et MAILLAGE ELEMENT qui s'y rapportent, et son effet est rémanent.
- Cette commande ne peut pas être répétée donc plusieurs STRUCTURES ne peuvent pas être rappelées dans un même fichier.

Exemples

```
DISCRETISATION FORMAT MSH FICHER UNIQUE;  
STRUCTURE STRUTEST;  
LOGICIEL ASTER  
MODELISATION '3D';  
MAILLAGE POUTRE VOLU
```

Commandes liées

MAILLAGE POUTRE ; MAILLAGE ELEMENTS

13.3 - LOGICIEL

LOGICIEL logiciel_cible

[MODELISATION modelisation_globale];

Paramètres

- logiciel_cible : logiciel dans lequel sera exploité le fichier de maillage généré par le module MAI, à choisir parmi : ASTER.
- modelisation_globale : type des éléments finis utilisé dans le modèle

Fonctions

Cette commande désigne le logiciel cible qui sera utilisé pour exploiter le fichier de maillage généré par le module MAI. Pour l'instant, seul le logiciel Code_Aster (<http://www.code-aster.org/>) est géré par le module MAI.

Elle permet également de préciser le type des éléments finis utilisés.

Conditions d'emploi

- Lorsqu'elle figure, cette commande doit suivre immédiatement la commande STRUCTURE.
- Lorsque le logiciel Code_Aster est utilisé (par défaut), les différentes valeurs que peut prendre le paramètre modelisation_globale sont décrites dans la notice de la commande AFFE_MODELE, de référence U4.41.01. Par ailleurs, l'emploi de ce paramètre, bien que facultatif, est conseillé lors d'une exploitation du fichier par Code_Aster. En effet, il est conseillé d'affecter une modélisation à l'ensemble des éléments, quitte à venir surcharger certains éléments si le modèle en contient différents types.

Exemples

```
MAILLAGE FORMAT MED;  
  
LOGICIEL ASTER  
MODELISATION 'POU_D_T';  
.....
```

Commandes liées

LOGICIEL ; MAILLAGE POUTRE VOLUMIQUE ; MAILLAGE POUTRE SURFACIQUE ; MAILLAGE POUTRE LINEIQUE ; MAILLAGE ELEMENTS ;

13.4 - MAILLAGE POUTRE VOLUMIQUE

MAILLAGE POUTRE VOLUMIQUE

```

* { TRONCON nu_deb nu_fin
  { ALGORITHME { DEL3D
                FRONT3D
                MMG3D }
    LISSAGE nb_liss
    ORDRE nu_ord
    ECHELLE echelle
    MINI t_mini
    { MAXI t_maxi
      COURBE
      OPTIMISER
      PERTURBATION pert
      VERIFIER
      MODELISATION modelisation
      PRECONTRAINTTE
    }
  }

```

l_pout;

Paramètres

- nu_deb, nu_fin : numéros de points de la fibre repère désignant le tronçon de la/les poutre(s) de l_pout au(x)quel(les) on souhaite appliquer les paramètres
- nb_liss : nombre d'étapes de lissage du maillage
- nu_ord : ordre des éléments générés
- ech : longueur caractéristique des mailles
- t_mini : taille minimale des mailles
- t_maxi : taille maximale des mailles
- pert : facteur de perturbation aléatoire
- modelisation : modélisation des éléments du tronçon, telle que définie dans la commande AFFE_MODELE du logiciel Code_Aster (U4.41.01)
- l_pout : liste des numéros de poutre dont on souhaite fixer les paramètres du maillage éléments finis

Fonctions

Cette commande permet de générer le modèle éléments finis volumique d'un tronçon d'une ou de plusieurs poutre(s).

L'option OPTIMISER permet d'améliorer la qualité des tétraèdres.

L'option COURBE permet de calculer la taille des mailles à partir de la courbure.

L'option VERIFIER permet d'effectuer des vérifications d'homogénéité sur le maillage.

L'option PRECONTRAINTTE permet de prendre en compte la précontrainte : dans ce cas, les mails linéiques des câbles de précontrainte seront créés et le fichier de commande de calcul aux éléments finis intégrera la modélisation des câbles ainsi que les forces de précontraintes.

Conditions d'emploi

- La modélisation éléments finis volumique n'est possible que si la poutre a été définie en SECTION MASSIVE ou SECTION CONTOURS ENTIERE.
- Si la poutre n'est pas homogène du point de vue de la topologie des sections sur toute sa longueur, le maillage sera "coupé" au niveau de ces discontinuités en mode FICHER MULTIPLES, ou la liaison sera forcée si l'on utilise l'option FICHER UNIQUE.
- L'ordre des éléments doit être strictement positif et inférieur ou égal à 5.
- Pour les modèles volumiques, l'algorithme DEL3D est le plus rapide et le plus robuste. C'est l'algorithme par défaut.
- Si l'option TRONCON n'est pas précisée, les paramètres s'appliquent sur l'ensemble des poutres de l_pout.
- Le module MAI génère automatiquement des groupes de maille (au sens de Code_Aster, définis en tant que Physical dans le fichier de géométrie au format GMSH). Un groupe de maille est créé pour chaque voussoir du tronçon volumique. Au format MED, ils sont nommés selon le principe suivant : Vou+n° voussoir. Par exemple, le voussoir n°15 est désigné par la chaîne "Vou15". Au format MSH, les chaînes de caractère ne sont pas autorisées dans la dénomination des groupes de mailles, ils sont donc numérotés selon le principe suivant : 100000+n°voussoir*1000. On pourra alors faire appel à ces groupes de mailles dans le fichier de commandes de Code_Aster en les précédant de la mention 'GM'. Par exemple, le 24^{ème} voussoir est désigné par "GM124000". Par ailleurs, un groupe de mailles est également créé pour chaque section transversale : dans les deux cas, il est référencé selon le principe suivant : "GM"+"100000+n°point de la fibre repère*1000+1". Par exemple, le groupe de mailles associé à la section transversale affectée au 12^{ème} point de la fibre repère peut être appelé par : "GM112001".
- Si l'option PRECONTRAINTTE est précisée en cas d'absence de câbles dans le tronçon demandé, un message d'avertissement apparaîtra sans interrompre le calcul.
- Le module « éléments finis » permet de créer un fichier de commande pour un logiciel aux éléments finis. Pour l'instant, un fichier de commande pour Code_Aster est correctement créé dans le cas d'un fichier unique. Le fichier de commande comporte la lecture du maillage, l'affectation du modèle, la définition des matériaux et leurs affectations, les caractéristiques des mailles, la définition des forces de précontrainte et du poids propre et le calcul statique linéaire des effets de la précontrainte et du poids propre de la structure. L'utilisateur aura à définir les conditions aux limites et pourra prolonger son étude en renseignant les autres charges et les calculs relatifs à ces charges.

Exemples

```

MAILLAGE POUTRE VOLUMIQUE
TRONCON 5 27
ALGORITHME DEL3D

```

OPTIMISER
ORDRE 1
MINI 0.3 MAXI 0.8
1;

Commandes liées

MAILLAGE POUTRE SURFACIQUE ; MAILLAGE POUTRE LINEIQUE ;
MAILLAGE ELEMENTS;

13.5 - MAILLAGE POUTRE SURFACIQUE

MAILLAGE POUTRE SURFACIQUE

```
* {
  TRONCON nu_deb nu_fin
  ALGORITHME {
    DEL2D
    FRONT2D
    MESHADAPT
  }
  LISSAGE nb_liss
  ORDRE nu_ord
  ECHELLE echelle
  MINI t_mini
  MAXI t_maxi
  COURBE
  OPTIMISER
  PERTURBATION pert
  VERIFIER
  RECOMBINER discretisation
  MODELISATION modelisation
  PRECONTRAINTTE
}
```

l_pout;

Paramètres

- nu_deb, nu_fin : numéros de points de la fibre repère désignant le tronçon de la/les poutre(s) de l_pout au(x)quel(les) on souhaite appliquer les paramètres
- nb_liss : nombre d'étapes de lissage du maillage
- nu_ord : ordre des éléments générés
- ech : longueur caractéristique des mailles
- t_mini : taille minimale des mailles
- t_maxi : taille maximale des mailles
- pert : facteur de perturbation aléatoire
- discretisation : nombre de points créé sur les lignes de l'ensemble du tronçon lors du maillage
- modelisation : modélisation des éléments du tronçon, telle que définie dans la commande AFFE_MODELE du logiciel Code_Aster (U4.41.01)
- l_pout : liste des numéros de poutre dont on souhaite fixer les paramètres du maillage éléments finis

Fonctions

Cette commande permet de générer le modèle éléments finis surfacique d'un tronçon d'une ou de plusieurs poutre(s).

L'option OPTIMISER permet d'améliorer la qualité des tétraèdres.

L'option COURBE permet de calculer la taille des mailles à partir de la courbure.

L'option VERIFIER permet d'effectuer des vérifications d'homogénéité sur le maillage.

L'option RECOMBINER permet de transformer un maillage composé uniquement de triangles en un maillage mélangeant les éléments triangulaires et quadrangulaires.

L'option PRECONTRAINTTE permet de prendre en compte la précontrainte : dans ce cas, les mails linéiques des câbles de précontrainte seront créés et le fichier de commande de calcul aux éléments finis intégrera la modélisation des câbles ainsi que les forces de précontraintes.

Conditions d'emploi

- La modélisation éléments finis surfacique n'est possible que si la poutre a été définie en SECTION PAROIS ou SECTION CONTOURS ENTIERE.
- Si la poutre n'est pas homogène du point de vue de la topologie des sections sur toute sa longueur, le maillage sera "coupé" au niveau de ces discontinuités en mode FICHER MULTIPLES, ou la liaison sera forcée si l'on utilise l'option FICHER UNIQUE.
- L'ordre des éléments doit être strictement positif et inférieur ou égal à 5.
- Si l'option TRONCON n'est pas précisée, les paramètres s'appliquent sur la totalité des poutres de l_pout.
- Pour les modèles plaques, l'algorithme MESHADAPT est adapté aux surfaces courbes complexes. L'algorithme FRONT2D fournit la meilleure qualité de maillage. L'algorithme DEL2D possède la vitesse d'exécution la plus importante lorsqu'il s'agit de mailler de grandes surfaces.
- Le module MAI génère automatiquement des groupes de mailles. Un groupe de mailles est créé pour chaque voussoir du tronçon surfacique. Contrairement à un tronçon volumique, ils ne sont pas créés dans le fichier de géométrie mais dans le fichier de commande Code_Aster. Au format MED, ils sont nommés selon le principe suivant : Vou+n° voussoir. Par exemple, le voussoir n°15 est désigné par la chaîne "Vou15". Au format MSH, les chaînes de caractère ne sont pas autorisées dans la dénomination des groupes de mailles, ils sont donc numérotés selon le principe suivant : 100000+n°voussoir*1000. On pourra alors faire appel à ces groupes de mailles dans le fichier de commandes de Code_Aster en les précédant de la mention 'GM'. Par exemple, le 24^{ème} voussoir est désigné par "GM124000". Par ailleurs, un groupe de mailles est également créé pour chaque section élémentaire composant un voussoir. Ils sont référencés selon le principe suivant : "GM"+"100000+n°voussoir*1000+n° de la surface au sein du tronçon". Par exemple, le groupe de mailles associé à la 3^{ème} surface élémentaire du 7^{ème} tronçon peut être appelé par : "GM107003".
- Si l'option PRECONTRAINTTE est précisée en cas d'absence de câbles dans le tronçon demandé, un message d'avertissement apparaîtra sans interrompre le calcul.

- Le module « éléments finis » permet de créer un fichier de commande pour un logiciel aux éléments finis. Pour l'instant, un fichier de commande pour Code_Aster est correctement créé dans le cas d'un fichier unique. Le fichier de commande comporte la lecture du maillage, l'affectation du modèle, la définition des matériaux et leurs affectations, les caractéristiques des mailles, la définition des forces de précontrainte et du poids propre et le calcul statique linéaire des effets de la précontrainte et du poids propre de la structure. L'utilisateur aura à définir les conditions aux limites et pourra prolonger son étude en renseignant les autres charges et les calculs relatifs à ces charges.

Exemples

```
MAILLAGE POUTRE SURFACIQUE
TRONCON 12 32
ALGORITHME MESHADAPT
OPTIMISER
MAXI 0.8
VERIFIER
MODELISATION 'DKT'
1 3;
```

Commandes liées

MAILLAGE POUTRE VOLUMIQUE ; MAILLAGE POUTRE LINEIQUE ;
MAILLAGE ELEMENTS;

13.6 - MAILLAGE POUTRE LINEIQUE

MAILLAGE POUTRE LINEIQUE

```
* { TRONCON nu_deb nu_fin }
  { MODELISATION modelisation }
  { PRECONTRAINTTE }
```

l_pout;

Paramètres

- nu_deb, nu_fin : numéros de points de la fibre repère désignant le tronçon de la/les poutre(s) de l_pout au(x)quel(les) on souhaite appliquer les paramètres
- modelisation : modélisation des éléments du tronçon, telle que définie dans la commande AFFE_MODELE du logiciel Code_Aster (U4.41.01)
- l_pout : liste des numéros de poutre dont on souhaite fixer les paramètres du maillage éléments finis

Fonctions

Cette commande permet de générer le modèle éléments finis linéique d'un tronçon d'une ou de plusieurs poutre(s).

L'option PRECONTRAINTTE permet de prendre en compte la précontrainte : dans ce cas, les mails linéiques des câbles de précontrainte seront créés et le fichier de commande de calcul aux éléments finis intégrera la modélisation des câbles ainsi que les forces de précontraintes.

Conditions d'emploi

- La modélisation éléments finis linéique est possible quelque soit la méthode utilisée pour définir le modèle.
- Si l'option TRONCON n'est pas précisée, les paramètres s'appliquent sur l'ensemble des poutres de l_pout.
- Le module MAI génère automatiquement des groupes de mailles (au sens de Code_Aster, définis en tant que Physical dans le fichier de géométrie au format GMSH). Un groupe de maille est créé pour chaque voussoir du tronçon en modélisation poutre. Au format MED, ils sont nommés selon le principe suivant : Vou+n° voussoir. Par exemple, le voussoir n°15 est désigné par la chaîne "Vou15". Au format MSH, les chaînes de caractère ne sont pas autorisées dans la dénomination des groupes de mailles, ils sont donc numérotés selon le principe suivant : 100000+n°voussoir*1000. On pourra alors faire appel à ces groupes de mailles dans le fichier de commandes de Code_Aster en les précédant de la mention 'GM'. Par exemple, le 24^{ème} voussoir est désigné par "GM124000".
- Si l'option PRECONTRAINTTE est précisée en cas d'absence de câbles dans le tronçon demandé, un message d'avertissement apparaîtra sans interrompre le calcul.

- Le module « éléments finis » permet de créer un fichier de commande pour un logiciel aux éléments finis. Pour l'instant, un fichier de commande pour Code_Aster est correctement créé dans le cas d'un fichier unique. Le fichier de commande comporte la lecture du maillage, l'affectation du modèle, la définition des matériaux et leurs affectations, les caractéristiques des mailles, la définition des forces de précontrainte et du poids propre et le calcul statique linéaire des effets de la précontrainte et du poids propre de la structure. L'utilisateur aura à définir les conditions aux limites et pourra prolonger son étude en renseignant les autres charges et les calculs relatifs à ces charges.

Exemples

```
MAILLAGE POUTRE LINEIQUE  
TRONCON 12 32  
MODELISATION 'POU_D_T'  
1;
```

Commandes liées

```
MAILLAGE POUTRE VOLUMIQUE ; MAILLAGE POUTRE SURFACIQUE ;  
MAILLAGE ELEMENTS;
```

13.7 - MAILLAGE ELEMENTS

MAILLAGE ELEMENTS { ARTICULATIONS
BIARTICULES
STANDARDS
RIGIDES } ;

Fonctions

Cette commande permet de générer le modèle éléments finis linéique des éléments hors poutre.

Conditions d'emploi

- Il est nécessaire de répéter la commande pour chaque type d'éléments.
- Avec l'option FICHER UNIQUE, ces éléments sont ajoutés au fichier de géométrie global. Dans le cas contraire, ils sont créés dans des fichiers distincts, en fonction de leur type.

Exemples

```
MAILLAGE ELEMENTS RIGIDES;
.....
MAILLAGE ELEMENTS STANDARDS;
.....
```

Commandes liées

MAILLAGE POUTRE VOLUMIQUE ; MAILLAGE POUTRE SURFACIQUE ;
MAILLAGE POUTRE LINEIQUE;

13.8 - FIN

FIN ;

Fonctions

Cette commande provoque la fin d'une session et l'arrêt de l'exécution du module MAI ; toutes les commandes suivantes éventuelles sont ignorées.

Exemples

```
MAILLAGE FORMAT MSH;  
.....  
FIN;
```

Annexe A

Documents de référence

Appellation	Désignation plus complète	Réf. publication
IP 2	Circulaire N° 73-153 du 13 août 1973 relative à l'emploi du béton précontraint [...]	BO 73-64 bis Fascicule spécial
Fascicule 61	CPC - Fascicule 61 - Titre II CONCEPTION, CALCUL ET ÉPREUVES DES OUVRAGES D'ART - Programmes de charges et épreuves des ponts-routes	BO 72-21 bis (réédition de 1981)
Circulaire 83	Lettre circulaire du 20 juillet 1983 TRANSPORTS EXCEPTIONNELS - DÉFINITION DES CONVOIS TYPES ET RÈGLES POUR LA VÉRIFICATION DES OUVRAGES D'ART	DR-R/EG3
Code Modèle CEB	COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON CEB-FIP MODEL CODE - DESIGN CODE	T. Telford 1990
CEB 90	COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON CEB-FIP MODEL CODE 1990 - DESIGN CODE	T. Telford 1993
BAEL 83	CCTG - Fascicule 62 - Titre I - Section I Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages en béton armé, suivant la méthode des états limites	BO 83-45 bis Fascicule spécial
BPEL 91 (révisé 99)	CCTG - Fascicule 62 - Titre I - Section II Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages en béton précontraint, suivant la méthode des états limites	BO 99-9 Fascicule spécial
Eurocode 1	Eurocode 1 - Partie 3 Bases de calcul et actions sur les structures - Charges sur les ponts dues au trafic et DAN (IC : P06-103)	AFNOR XP ENV 1991-3 (octobre 1997)
Eurocode 2	Eurocode 2 - parties 1-x et 2 Calcul des structures en béton (IC : P18-7xx)	AFNOR ENV 1992-1-x et 1992-2
Eurocode 8	Eurocode 8 - partie 1-1 Conception et dimensionnement des structures pour leur résistance au séisme - Règles générales, actions sismiques et prescriptions générales pour les structures et DAN (ICS : 91.120.20)	AFNOR XP ENV 1998-1-1
AFPS 92	Association française du génie para-sismique - Guide AFPS 92 pour la protection sismique des ponts	Presses de l'ENPC
CDS	PROGRAMME CDS - (Calcul Des Sections), MANUEL DE RÉFÉRENCE (Version 3.4)	SETRA (mai 1991)
S606	CAN/CSA-S6-06 Code canadien sur le calcul des ponts routiers	Publications du groupe CSA

Thèse de doctorat	Contribution à l'analyse non linéaire géométrique et matérielle des ossatures spatiales en génie civil. Application aux ouvrages d'art	F. Robert INSA de Lyon (1999, 250 p.)

Tableau A.1 - Liste de documents

Annexe B

Lois rhéologiques des matériaux

L'annexe A détient les libellés complets des documents référencés dans cette annexe sous les appellations condensées « IP 2 », « Code Modèle CEB », « CEB90 », « BPEL 83 », « BPEL 91 », « S606 », « AFREM 96 » et « Eurocode 2 ».

Pour la loi de fluage de J. Courbon, se reporter à l'article du même auteur, paru dans le numéro 242 des Annales de l'ITBTP (février 1968) et intitulé « L'INFLUENCE DU FLUAGE LINÉAIRE SUR L'ÉQUILIBRE DES SYSTÈMES HYPERSTATIQUES EN BÉTON PRÉCONTRAINTE ».

Les numéros de lois de comportement rhéologique des matériaux de base (loi_fluage, loi_module et loi_retrait), le module d'Young de référence (module_reference), et les paramètres supplémentaires (para_supp₁, para_supp₂ et para_supp₃) se rapportent à la commande MATERIAU du module GE1 (voir chapitre 3) ou PH1 (voir chapitre 6).

Les valeurs à introduire doivent être puisées dans l'un des tableaux ci-dessous.

Pour la formulation et les notations, se reporter aux documents de référence mentionnés dans les intitulés de ces tableaux.

Paramètres	Description
loi_fluage	0 : matériau sans fluage 1 : le matériau flue selon la loi de J. Courbon
loi_module	0 : le module d'Young instantané est constant et égal au module de référence
loi_retrait	0 : matériau sans retrait
para_supp ₁	module d'Young instantané à 28 jours
para_supp ₂	non utilisé
para_supp ₃	non utilisé

Tableau B.1 - Lois de base

Paramètres	Description
loi_fluage	2 : le matériau flue selon la loi de la formulation
loi_module	1 : le module d'Young instantané est constant et égal au module à 28 jours 2 : le module d'Young instantané varie selon la loi de la formulation
loi_retrait	1 : le matériau se rétracte selon la loi de la formulation
para_supp ₁	module d'Young instantané à 28 jours
para_supp ₂	paramètre k_b de la formulation ; $0.6 \leq k_b \leq 2.0$
para_supp ₃	paramètre k_p de la formulation ; $0.5 \leq k_p \leq 1.0$

Tableau B.2 - Lois de l'IP 2, pour bétons traditionnels

Paramètres	Description
loi_fluage	6 : le matériau flue selon la loi de la formulation
loi_module	9 : le module d'Young instantané est constant et égal au module à 28 jours 10 : le module d'Young instantané varie selon la loi de la formulation
loi_retrait	5 : le matériau se rétracte selon la loi de la formulation
para_supp ₁	module d'Young instantané à 28 jours
para_supp ₂	paramètre k_b de la formulation ; $0.6 \leq k_b \leq 2.0$
para_supp ₃	paramètre k_p de la formulation ; $0.5 \leq k_p \leq 1.0$

Tableau B.3 - Lois de l'IP 2, pour bétons légers

Paramètres	Description
loi_fluage	4 : le matériau flue selon la loi de la formulation
loi_module	5 : le module d'Young instantané est constant et égal au module à 28 jours 6 : le module d'Young instantané varie selon la loi de la formulation
loi_retrait	3 : le matériau se rétracte selon la loi de la formulation
para_supp ₁	module d'Young instantané à 28 jours
para_supp ₂	paramètre α de la formulation ; $0.001 \leq \alpha \leq 5.0$
para_supp ₃	paramètre k_1 de la formulation

Tableau B.4 - Lois du Code Modèle CEB

Paramètres	Description
loi_fluage	3 : le matériau flue selon la loi de la formulation
loi_module	3 : le module d'Young instantané est constant et égal au module à 28 jours 4 : le module d'Young instantané varie selon la loi de la formulation du BPEL 83 14 : le module d'Young instantané varie selon la loi de la formulation du BPEL 91, pour les bétons ayant une résistance à la compression, f_{cj} , inférieure ou égale à 40 Mpa 16 : idem ci-dessus, lorsque f_{cj} est supérieure à 40 Mpa
loi_retrait	2 : le matériau se rétracte selon la loi de la formulation
para_supp ₁	module d'Young instantané à 28 jours
para_supp ₂	paramètre non utilisé
para_supp ₃	paramètre k_s de la formulation ; $0.5 \leq k_s \leq 1.0$

Tableau B.5 - Lois du BPEL, pour les bétons traditionnels

Paramètres	Description
loi_fluage	5 : le matériau flue selon la loi de la formulation
loi_module	7 : le module d'Young instantané est constant et égal au module à 28 jours 8 : le module d'Young instantané varie selon la loi de la formulation du BPEL 83
loi_retrait	4 : le matériau se rétracte selon la loi de la formulation
para_supp ₁	module d'Young instantané à 28 jours
para_supp ₂	paramètre E_a de la formulation
para_supp ₃	paramètre k_s de la formulation ; $0.5 \leq k_s \leq 1.0$

Tableau B.6 - Lois du BPEL, pour les bétons légers

Paramètres	Description
loi_fluage	10 : le matériau flue selon la loi de la formulation
loi_module	3 : le module d'Young instantané est constant et égal au module à 28 jours 4 : le module d'Young instantané varie selon la loi de la formulation du BPEL 83 14 : le module d'Young instantané varie selon la loi de la formulation du BPEL 91, pour les bétons ayant une résistance à la compression, f_{cj} , inférieure ou égale à 40 Mpa 16 : idem ci-dessus, lorsque f_{cj} est supérieure à 40 Mpa
loi_retrait	9 : le matériau se rétracte selon la loi de la formulation
para_supp ₁	module d'Young instantané à 28 jours
para_supp ₂	indique la présence de fumée de silice, s'il est négatif, ou son absence, s'il est positif ou nul
para_supp ₃	paramètre k_s de la formulation ; $0.5 \leq k_s \leq 1.0$

Tableau B.7 - Lois du BPEL (99, annexe 14 pour bétons H.P.)

Paramètres	Description
loi_fluage	9 : le matériau flue selon la loi de la formulation
loi_module	17 : le module d'Young instantané est constant et égal au module à 28 jours 18 : le module d'Young instantané varie selon la loi de la formulation
loi_retrait	8 : le matériau se rétracte selon la loi de la formulation
para_supp ₁	module d'Young instantané à 28 jours
para_supp ₂	indique la vitesse de prise du ciment : 1.0 rapide, 2.0 normale, 3.0 lente
para_supp ₃	coefficient de prise en compte de la présence d'aciers passifs, selon le même principe que k_s du BPEL

Tableau B.8 - Lois de l'Eurocode 2 – version ENV

Paramètres	Description
loi_fluage	11 : le matériau flue selon la loi de la formulation
loi_module	19 : le module d'Young instantané est constant et égal au module à 28 jours 20 : le module d'Young instantané varie selon la loi de la formulation
loi_retrait	11 : le matériau se rétracte selon la loi de la formulation
para_supp ₁	module d'Young instantané à 28 jours : valeur E_{cm}
para_supp ₂	Sa valeur absolue indique la classe de résistance : 1.0 classe R, 2.0 classe N, 3.0 classe S ; son signe indique si l'on pondère (négatif) ou non (positif) la déformation de fluage et de retrait par le coefficient γ_{lt} de l'article B.105 de l'EN 1992-2:2005.
para_supp ₃	coefficient de prise en compte de la présence d'aciers passifs, selon le même principe que k_s du BPEL

Tableau B.9 - Lois de l'Eurocode 2 – EN 1992-1-1:2004

Paramètres	Description
loi_fluage	12 : le matériau flue selon la loi de la formulation
loi_module	19 : le module d'Young instantané est constant et égal au module à 28 jours 20 : le module d'Young instantané varie selon la loi de la formulation
loi_retrait	12 : le matériau se rétracte selon la loi de la formulation
para_supp ₁	module d'Young instantané à 28 jours : valeur E_{cm}
para_supp ₂	Sa valeur absolue indique la classe de résistance : 1.0 classe R, 2.0 classe N, 3.0 classe S ; son signe indique si l'on pondère (négatif) ou non (positif) la déformation de fluage et de retrait par le coefficient γ_{lt} de l'article B.105 de l'EN 1992-2:2005.
para_supp ₃	coefficient de prise en compte de la présence d'aciers passifs, selon le même principe que k_s du BPEL

Tableau B.10 - Lois de l'Eurocode 2 - BHP sans fumée de silice– EN 1992-2:2005 –annexe B.103

Paramètres	Description
loi_fluage	13 : le matériau flue selon la loi de la formulation
loi_module	19 : le module d'Young instantané est constant et égal au module à 28 jours 20 : le module d'Young instantané varie selon la loi de la formulation
loi_retrait	13 : le matériau se rétracte selon la loi de la formulation
para_supp ₁	module d'Young instantané à 28 jours : valeur Ecm
para_supp ₂	Sa valeur absolue indique la classe de résistance : 1.0 classe R, 2.0 classe N, 3.0 classe S ; son signe indique si l'on pondère (négatif) ou non (positif) la déformation de fluage et de retrait par le coefficient γ_{lt} de l'article B.105 de l'EN 1992-2:2005.
para_supp ₃	coefficient de prise en compte de la présence d'aciers passifs, selon le même principe que k_s du BPEL

Tableau B.11 - Lois de l'Eurocode 2 - BHP avec fumée de silice– EN 1992-2:2005 –annexe B.103

Paramètres	Description
loi_fluage	14 : le matériau flue selon la loi de la formulation
loi_module	21 : le module d'Young instantané est constant et égal au module à 28 jours 22 : le module d'Young instantané varie selon la loi de la formulation
loi_retrait	106 : le matériau se rétracte selon la loi de la formulation
para_supp ₁	module d'Young instantané à 28 jours : valeur Eci
para_supp ₂	Sa valeur absolue indique la classe de résistance : 1.0 classe RS, 2.0 classe N et R, 3.0 classe SL
para_supp ₃	coefficient de prise en compte de la présence d'aciers passifs, selon le même principe que k_s du BPEL

Tableau B.12 - Lois du Code Modèle CEB 1990

Paramètres	Description
loi_fluage	15 : le matériau flue selon la loi de la formulation
loi_module	23 : le module d'Young instantané est constant et égal au module à 28 jours 24 : le module d'Young instantané varie selon la loi de la formulation
loi_retrait	107 : le matériau se rétracte selon la loi de la formulation
para_supp ₁	module d'Young instantané à 28 jours : valeur Ec,28
para_supp ₂	Type de ciment : 1 pour un ciment type 10 en cure normale, 2 pour un ciment type 30 en cure normale, 3 pour un ciment type 10 en cure accélérée, 4 pour un ciment type 30 en cure accélérée
para_supp ₃	coefficient de prise en compte de la présence d'aciers passifs, selon le même principe que k_s du BPEL

Tableau B.13 - Lois du code canadien CSA-S6-06

Paramètres	Description
loi_fluage	16 : le matériau flue selon la loi de la formulation
loi_module	19 : le module d'Young instantané est constant et égal au module à 28 jours 20 : le module d'Young instantané varie selon la loi de la formulation
loi_retrait	16 : le matériau se rétracte selon la loi de la formulation
para_supp1	module d'Young instantané à 28 jours : valeur E_{cm}
para_supp2	Sa valeur absolue indique la classe de résistance : 1.0 classe R, 2.0 classe N, 3.0 classe S ; son signe indique si l'on pondère (négatif) ou non (positif) la déformation de fluage et de retrait par le coefficient γ_t de l'article B.105 de l'EN 1992-2:2005.
para_supp3	coefficient de prise en compte de la présence d'aciers passifs, selon le même principe que k_s du BPEL
para_supp4	coefficient k_{rd} de prise en compte de la déformation due au retrait de dessiccation : $\epsilon_{cs} = k_{rd}\epsilon_{cd} + k_{re}\epsilon_{ca}$; par défaut, $k_{rd} = 1.0$ (équation 3.8)
para_supp5	coefficient k_{re} de prise en compte de la déformation due au retrait endogène : $\epsilon_{cs} = k_{rd}\epsilon_{cd} + k_{re}\epsilon_{ca}$; par défaut, $k_{re} = 1.0$ (équation 3.8)
para_supp6	coefficient k_{fd} de prise en compte de la déformation conventionnelle différée par fluage de dessiccation : $\epsilon_{cc}(t, t_0) = (\sigma(t_0)/E_c)(k_{fe}\phi_b(t, t_0) + k_{fd}\phi_d(t, t_0))$; par défaut, $k_{fd} = 1.0$ (équation B.117)
para_supp7	coefficient k_{fe} de prise en compte de la déformation conventionnelle différée par fluage propre : $\epsilon_{cc}(t, t_0) = (\sigma(t_0)/E_c)(k_{fe}\phi_b(t, t_0) + k_{fd}\phi_d(t, t_0))$; par défaut, $k_{fe} = 1.0$ (équation B.117)
para_supp8	coefficient de cinétique de fluage k_{fc} modifiant la loi d'évolution de fluage : $\beta_{bc} = 0.4k_{fc}\exp(3.1f_{cm}(t_0)/f_{ck})$; par défaut, $k_{fc} = 1.0$ (équation B.120)

Tableau B.14 - Lois de l'Eurocode 2 - BHP sans fumée de silice avec des coefficients avancés– EN 1992-2:2005 –annexe B.103

Paramètres	Description
loi_fluage	17 : le matériau flue selon la loi de la formulation
loi_module	19 : le module d'Young instantané est constant et égal au module à 28 jours 20 : le module d'Young instantané varie selon la loi de la formulation
loi_retrait	17 : le matériau se rétracte selon la loi de la formulation
para_supp1	module d'Young instantané à 28 jours : valeur Ecm
para_supp2	Sa valeur absolue indique la classe de résistance : 1.0 classe R, 2.0 classe N, 3.0 classe S ; son signe indique si l'on pondère (négatif) ou non (positif) la déformation de fluage et de retrait par le coefficient γ_{lt} de l'article B.105 de l'EN 1992-2:2005.
para_supp3	coefficient de prise en compte de la présence d'aciers passifs, selon le même principe que k_s du BPEL
para_supp4	coefficient k_{rd} de prise en compte de la déformation due au retrait de dessiccation : $\epsilon_{cs} = k_{rd}\epsilon_{cd} + k_{re}\epsilon_{ca}$; par défaut, $k_{rd} = 1.0$ (équation 3.8)
para_supp5	coefficient k_{re} de prise en compte de la déformation due au retrait endogène : $\epsilon_{cs} = k_{rd}\epsilon_{cd} + k_{re}\epsilon_{ca}$; par défaut, $k_{re} = 1.0$ (équation 3.8)
para_supp6	coefficient k_{fd} de prise en compte de la déformation conventionnelle différée par fluage de dessiccation : $\epsilon_{cc}(t, t_0) = (\sigma(t_0)/E_c)(k_{fe}\phi_b(t, t_0) + k_{fd}\phi_d(t, t_0))$; par défaut, $k_{fd} = 1.0$ (équation B.117)
para_supp7	coefficient k_{fe} de prise en compte de la déformation conventionnelle différée par fluage propre : $\epsilon_{cc}(t, t_0) = (\sigma(t_0)/E_c)(k_{fe}\phi_b(t, t_0) + k_{fd}\phi_d(t, t_0))$; par défaut, $k_{fe} = 1.0$ (équation B.117)
para_supp8	coefficient de cinétique de fluage k_{fc} modifiant la loi d'évolution de fluage : $\beta_{bc} = 0.37k_{fc}\exp(2.8f_{cm}(t_0)/f_{ck})$; par défaut, $k_{fc} = 1.0$ (équation B.120)

Tableau B.15 - Lois de l'Eurocode 2 - BHP avec fumée de silice avec des coefficients avancés– EN 1992-2:2005 –annexe B.103

Paramètres	Description
loi_fluage	18 : le matériau flue selon la loi de la formulation
loi_module	19 : le module d'Young instantané est constant et égal au module à 28 jours 20 : le module d'Young instantané varie selon la loi de la formulation
loi_retrait	18 : le matériau se rétracte selon la loi de la formulation
para_supp1	module d'Young instantané à 28 jours : valeur Ecm
para_supp2	Sa valeur absolue indique la classe de résistance : 1.0 classe R, 2.0 classe N, 3.0 classe S ; son signe indique si l'on pondère (négatif) ou non (positif) la déformation de fluage et de retrait par le coefficient γ_t de l'article B.105 de l'EN 1992-2:2005.
para_supp3	coefficient de prise en compte de la présence d'aciers passifs, selon le même principe que k_s du BPEL
para_supp4	coefficient k_{rd} de prise en compte de la déformation due au retrait de dessiccation : $\epsilon_{cs} = k_{rd}\epsilon_{cd} + k_{re}\epsilon_{ca}$; par défaut, $k_{rd} = 1.0$ (équation 3.8)
para_supp5	coefficient k_{re} de prise en compte de la déformation due au retrait endogène : $\epsilon_{cs} = k_{rd}\epsilon_{cd} + k_{re}\epsilon_{ca}$; par défaut, $k_{re} = 1.0$ (équation 3.8)
para_supp6	Coefficient k_{cr} influençant l'évolution du retrait de dessiccation : $\beta_{ds}(t, t_s) = (t - t_s) / ((t - t_s) + 0,04k_{cr}h^{3/2})$; par défaut, $k_{cr} = 1$ (équation 3.10)
para_supp7	coefficient k_f de prise en compte de la déformation conventionnelle différée par fluage : $\epsilon_{cc}(\infty, t_0) = \varphi(\infty, t_0) \cdot (\sigma_c / E_c)$; par défaut, $k_f = 1.0$ (équation 3.6)
para_supp8	coefficient de cinétique de fluage k_{fc} modifiant la loi d'évolution de fluage : $\beta_c(t, t_0) = ((t - t_0) / (\beta_H + t - t_0))^{k_{fc}}$; par défaut, $k_{fc} = 0.3$ (équation B.7)

Tableau B.16 - Loïs de l'Eurocode 2 avec des coefficients avancés – EN 1992-1-1:2004

Annexe C

Exemples de trafics

Cette annexe contient un squelette de guidage, pour établir les données du sous-module TRAFIC, qui utilise ses commandes et leurs options de manière exhaustive, et les trafics prédéfinis correspondant aux options TRAFIC AL, BCP, C1P et E_M1C1_C du module ENV.

C.1 - SQUELETTE DE TRAFIC

```

DEBUT  T_XXXXXX;

$ intitule du TRAFIC rappele sous forme de commentaires

$ -----
$ les valeurs de parametres les plus frequemment utilisees sont
$ (les parametres non mentionnes ont au moins deux valeurs frequentes)

$ pour commande BANDE_CENTRALE
$   type_bande (bande_xxx)          ==> (bande_n_char)

$ pour commande ROUE_VEHICULE
$   type_roue (roue_xxxx)           ==> (roue_cons)
$   type_longueur (longueur_xxxx)   ==> (longueur_impo)
$   lg_min                          ==> 0.00
$   lg_imposee_max                   ==> 1.00
$   lg_imposee_min                   ==> 1.00
$   ponder_f_roue                    ==> 1.00
$   nb_val                           ==> 0

$ pour commande ESSIEU_VEHICULE
$   ponder_f_essi                     ==> 1.00

$ pour commande VEHICULE
$   ponder_f_vehi                     ==> 0.00
$   type_enleve_unif (xxxx_unif)     ==> (laisser_unif)

$ pour commande CONVOI_VEHICULES
$   type_convoi (convoi_inde_xxxx)   ==> (convoi_inde_1)

$ pour commande CONCENTREE
$   type_concentree (vehicule_xxxx)  ==> (vehicule_droi)
$   ponder_f_conc                     ==> 0.00

$ pour commande DENSITE_UNIFORME
$   type_densite (densite_xxxx)      ==> (densite_cons)
$   lg_min                            ==> 0.00
$   lg_imposee_max                     ==> 1.00
$   lg_imposee_min                     ==> 1.00
$   nb_val                             ==> 0

$ pour commande UNIFORME
$   type_uniforme (aires_xxxx)        ==> (aires_cumu)
$   type_longueur (longueur_xxxx)    ==> (longueur_calc)
$   ponder_f_unif                      ==> 0.00

$ pour commande CHARGE_VOIE
$   type_charge (charge_xxxx)        ==> (charge_gene)
$   type_enleve_unif (xxxx_unif)     ==> (laisser_unif)
$   ponder_f_unif                      ==> 0.00
$ -----

$ definition de la longueur chargeable, cas 1
LONGUEUR_CHARGEABLE (longueur_1) SUPPORT;

$ definition de la longueur chargeable, cas 2
<x_zone_inf = >
<x_zone_sup = >
LONGUEUR_CHARGEABLE (longueur_1, x_zone_inf, x_zone_sup);

```

```

$ definition de la largeur chargeable, cas 1
LARGEUR_CHARGEABLE (largeur_1) CIRCULATION CHAUSSEES;

$ definition de la largeur chargeable, cas 2
LARGEUR_CHARGEABLE (largeur_1) CIRCULATION TROTTOIRS;

$ definition de la largeur chargeable, cas 3
<y_zone_inf = >
<y_zone_sup = >
LARGEUR_CHARGEABLE (largeur_1, y_zone_inf, y_zone_sup);

$ definition de la bande centrale, cas 1
BANDE_CENTRALE (bande_1, bande_xxxx) CIRCULATION;

$ definition de la bande centrale, cas 2
<y_bande_inf = >
<y_bande_sup = >
BANDE_CENTRALE (bande_1, bande_xxxx, y_bande_inf, y_bande_sup);

$ definition de la roue de vehicule de type i
<impact_x = >
<impact_y = >
<lg_min = >
<lg_imposee_max = >
<lg_imposee_min = >
<coef_a = >
<ponder_f_roue = >
<nb_val = >
ROUE_VEHICULE (roue_i, roue_xxxx, impact_x, impact_y, longueur_xxxx,
lg_min, lg_imposee_max, lg_imposee_min, coef_a,
ponder_f_roue, nb_val) [L1, Q1, L2, Q2, ..., ...];

$ definition de l'essieu de vehicule de type i
<ponder_f_essie = >
<nb_roues = >
ESSIEU_VEHICULE (essieu_i, ponder_f_essie, nb_roues)
(roue_1, roue_2, ...) (y_roue1, y_roue2, ...);

$ definition du vehicule de type i
<ponder_f_vehi = >
<dist_avant = >
<dist_apres = >
<enleve_avant = >
<enleve_apres = >
<nb_essieux = >
VEHICULE (vehicule_i, ponder_f_vehi, xxxx_unif, dist_avant,
dist_apres, enleve_avant, enleve_apres, nb_essieux,
(essieu_1, essieu_2, ...) (x_essieu1, x_essieu2, ...));

$ definition du convoi de vehicules de type i
<nb_vehicules = >
CONVOI_VEHICULES (convoi_i, convoi_inde_xxxx, pr_inutilise,
nb_vehicules) (vehicule_1, vehicule_2, ...);

$ definition de la charge concentree de type i
<ponder_d_conc = >
<ponder_f_conc = >
<coef_rech = >
CONCENTREE (charge_conc_i, vehicule_xxxx, convoi_i,
ponder_d_conc, ponder_f_conc, coef_rech);

```

```

$ definition de la densite de charge uniforme de type i
<lg_min      = >
<coef_b     = >
<coef_c     = >
<coef_d     = >
<lg_imposee_max = >
<lg_imposee_min = >
<nb_val     = >
DENSITE_UNIFORME (densite_i, densite_xxxx, lg_min, pr_inutilise,
                  coef_b, coef_c, coef_d,
                  lg_imposee_max, lg_imposee_min, nb_val)
                  [l1, q1, l2, q2, ..., ...];

$ definition de la charge uniforme de type i
<ponder_d_unif = >
<ponder_f_unif = >
UNIFORME (charge_unif_i, aires_xxxx, densite_i, longueur_xxxx,
           ponder_d_unif, ponder_f_unif);

$ definition de la charge applicable a une voie de type i
CHARGE_VOIE (charge_i, charge_xxxx,
             charge_conc_i, charge_unif_i, xxx_x_unif);

$ definition des voies
$ -----

$ type de voies 0
VOIES (voies_1, type_voies_0, degres_0);

$ type de voies 1, cas 1
<nb_clas = >
<nb_degr = >
VOIES (voies_1, type_voies_1, degres_xxxx) CIRCULATION VOIES
      (nb_clas) (v0_1, v0_2, ...) (nb_degr)
      (coef_degr1, coef_degr2, ...) $ classe 1
      (coef_degr1, coef_degr2, ...) $ classe 2
      .....;

$ type de voies 1, cas 2
<v0      = >
<v       = >
<nb_clas = >
<nb_degr = >
VOIES (voies_1, type_voies_1, degres_xxxx) CIRCULATION CLASSE
      (v0, v, nb_clas, nb_degr)
      (coef_degr1, coef_degr2, ...) $ classe 1
      (coef_degr1, coef_degr2, ...) $ classe 2
      .....;

$ type de voies 1, cas 3
<v0      = >
<v       = >
<nb_degr = >
VOIES (voies_1, type_voies_1, degres_xxxx, v0, v, nb_degr)
      (coef_degr1, coef_degr2, ...);

$ type de voies 2, cas 1
<nb_lcha = >
<nb_clas = >
<nb_degr = >
VOIES (voies_1, type_voies_2, degres_xxxx) CIRCULATION CLASSE
      (nb_lcha) (lcha_1, lcha_2, ...) (nb_clas, nb_degr)
      (coef_degr1, coef_degr2, ...) $ classe 1
      (coef_degr1, coef_degr2, ...) $ classe 2
      .....;

```

```

$ type de voies 2, cas 2
<nb_lcha = >
<nb_degr = >
VOIES (voies_1, type_voies_2, degres_xxxx)
      (nb_lcha) (lcha_1, lcha_2, ...) (nb_degr)
      (coef_degr1, coef_degr2, ...);

$ type de voies 3, cas 1
<pas = >
<nb_v_max = >
<lvoi_max = >
<nb_clas = >
<nb_degr = >
VOIES (voies_1, type_voies_3, degres_xxxx) CIRCULATION VOIES
      (pas, nb_v_max, lvoi_max, nb_clas, nb_degr)
      (coef_degr1, coef_degr2, ...) $ classe 1
      (coef_degr1, coef_degr2, ...) $ classe 2
      .....;

$ type de voies 3, cas 2
<pas = >
<nb_voies = >
<lvoi_max = >
<nb_clas = >
<nb_degr = >
VOIES (voies_1, type_voies_3, degres_xxxx) CIRCULATION LA_VOIES
      (pas, nb_voies, lvoi_max, nb_clas, nb_degr)
      (coef_degr1, coef_degr2, ...) $ classe 1
      (coef_degr1, coef_degr2, ...) $ classe 2
      .....;

$ type de voies 3, cas 3
<pas = >
<nb_v_max = >
<nb_clas = >
<nb_degr = >
VOIES (voies_1, type_voies_3, degres_xxxx) CIRCULATION NB_VOIES
      (pas, nb_v_max) (lvoi_1, lvoi_2, ...) (nb_clas, nb_degr)
      (coef_degr1, coef_degr2, ...) $ classe 1
      (coef_degr1, coef_degr2, ...) $ classe 2
      .....;

$ type de voies 3, cas 4
<pas = >
<nb_voies = >
<nb_clas = >
<nb_degr = >
VOIES (voies_1, type_voies_3, degres_xxxx) CIRCULATION CLASSE
      (pas, nb_voies) (lvoi_1, lvoi_2, ...) (nb_clas, nb_degr)
      (coef_degr1, coef_degr2, ...) $ classe 1
      (coef_degr1, coef_degr2, ...) $ classe 2
      .....;

$ type de voies 3, cas 5
<pas = >
<nb_voies = >
<nb_degr = >
VOIES (voies_1, type_voies_3, degres_xxxx)
      (pas, nb_voies) (lvoi_1, lvoi_2, ...) (nb_degr)
      (coef_degr1, coef_degr2, ...);

```

```

$ type de voies 4, cas 1
<pas = >
<nb_voies = >
<lvoi_max = >
<nb_clas = >
<nb_degr = >
VOIES (voies_1, type_voies_4, degres_xxxx) CIRCULATION LA_VOIES
      (pas, nb_voies, lvoi_max, nb_clas, nb_degr)
      (coef_degr1, coef_degr2, ...) $ classe 1
      (coef_degr1, coef_degr2, ...) $ classe 2
      .....;

$ type de voies 4, cas 2
<pas = >
<nb_voies = >
<nb_clas = >
<nb_degr = >
VOIES (voies_1, type_voies_4, degres_xxxx) CIRCULATION CLASSE
      (pas, nb_voies) (lvoi_1, lvoi_2, ...) (nb_clas, nb_degr)
      (coef_degr1, coef_degr2, ...) $ classe 1
      (coef_degr1, coef_degr2, ...) $ classe 2
      .....;

$ type de voies 4, cas 3
<pas = >
<nb_voies = >
<nb_degr = >
VOIES (voies_1, type_voies_4, degres_xxxx)
      (pas, nb_voies) (lvoi_1, lvoi_2, ...) (nb_degr)
      (coef_degr1, coef_degr2, ...);

$ type de voies 5, cas 1
<nb_degr = >
VOIES (voies_1, type_voies_5, degres_xxxx) CIRCULATION TROTTOIRS
      (nb_degr)
      (coef_degr1, coef_degr2, ...);

$ type de voies 5, cas 2
<nb_clas = >
<nb_degr = >
VOIES (voies_1, type_voies_5, degres_xxxx) CIRCULATION CHAUSSEES
      (nb_clas, nb_degr)
      (coef_degr1, coef_degr2, ...) $ classe 1
      (coef_degr1, coef_degr2, ...) $ classe 2
      .....;

$ type de voies 5, cas 3
<nb_clas = >
<nb_degr = >
VOIES (voies_1, type_voies_5, degres_xxxx) CIRCULATION VOIES
      (nb_clas, nb_degr)
      (coef_degr1, coef_degr2, ...) $ classe 1
      (coef_degr1, coef_degr2, ...) $ classe 2
      .....;

$ type de voies 5, cas 4
<nb_voies = >
<nb_degr = >
VOIES (voies_1, type_voies_5, degres_xxxx, nb_voies)
      (yvoi_inf1, yvoi_sup1, yvoi_inf2, yvoi_sup2, ..., ...) (nb_degr)
      (coef_degr1, coef_degr2, ...);

```

```

$ type de voies 6, cas 1
<pas1      = >
<pas2      = >
<nb_v_max  = >
<lvoi_max  = >
<nb_clas   = >
<nb_degr   = >
VOIES (voies_1, type_voies_6, degres_xxxx) CIRCULATION VOIES
      (pas1, pas2, nb_v_max, lvoi_max, nb_clas, nb_degr)
      (coef_degr1, coef_degr2, ...) $ classe 1
      (coef_degr1, coef_degr2, ...) $ classe 2
      .....;

$ type de voies 6, cas 2
<pas1      = >
<pas2      = >
<nb_voies  = >
<lvoi_max  = >
<nb_clas   = >
<nb_degr   = >
VOIES (voies_1, type_voies_6, degres_xxxx) CIRCULATION LA_VOIES
      (pas1, pas2, nb_voies, lvoi_max, nb_clas, nb_degr)
      (coef_degr1, coef_degr2, ...) $ classe 1
      (coef_degr1, coef_degr2, ...) $ classe 2
      .....;

$ type de voies 6, cas 3
<pas1      = >
<pas2      = >
<nb_v_max  = >
<nb_clas   = >
<nb_degr   = >
VOIES (voies_1, type_voies_6, degres_xxxx) CIRCULATION NB_VOIES
      (pas1, pas2, nb_v_max) (lvoi_1, lvoi_2, ...) (nb_clas, nb_degr)
      (coef_degr1, coef_degr2, ...) $ classe 1
      (coef_degr1, coef_degr2, ...) $ classe 2
      .....;

$ type de voies 6, cas 4
<pas1      = >
<pas2      = >
<nb_voies  = >
<nb_clas   = >
<nb_degr   = >
VOIES (voies_1, type_voies_6, degres_xxxx) CIRCULATION CLASSE
      (pas1, pas2, nb_voies) (lvoi_1, lvoi_2, ...) (nb_clas, nb_degr)
      (coef_degr1, coef_degr2, ...) $ classe 1
      (coef_degr1, coef_degr2, ...) $ classe 2
      .....;

$ type de voies 6, cas 5
<pas1      = >
<pas2      = >
<nb_voies  = >
<nb_degr   = >
VOIES (voies_1, type_voies_6, degres_xxxx)
      (pas1, pas2, nb_voies) (lvoi_1, lvoi_2, ...) (nb_degr)
      (coef_degr1, coef_degr2, ...);

$ definition des modalites de chargement du trafic
MODALITES (modalites_1, modalites_gene, largeur_1, longueur_1,
           no_inutilise, voies_1, bande_1);

$ definition du trafic
<nb_charges = >
TRAFIC
TRAFIC 'INTITULE DU TRAFIC'
      (trafic_1, modalites_1, nb_charges) (charge_1, charge_2, ...);

FIN;

```

C.2 - CHARGE A(I) DU FASCICULE 61

```
DEBUT T_AL;
$ Fascicule 61 - Titre II du C.P.C. - Charge A(1)

$ definition de la longueur chargeable
LONGUEUR_CHARGEABLE (longueur_1) SUPPORT;

$ definition de la largeur chargeable
LARGEUR_CHARGEABLE (largeur_1) CIRCULATION CHAUSSEES;

$ definition de la bande centrale
BANDE_CENTRALE (bande_1, bande_n_char) CIRCULATION;

$ definition de la densite de charge uniforme de type 1
<lg_min = 0.00>
<coef_b = 0.23>
<coef_c = 36.00>
<coef_d = 12.00>
<lg_imposee_max = 1.00>
<lg_imposee_min = 1.00>
<nb_val = 0>
DENSITE_UNIFORME (densite_1, densite_poly, lg_min, pr_inutilise,
                  coef_b, coef_c, coef_d,
                  lg_imposee_max, lg_imposee_min, nb_val);

$ definition de la charge uniforme de type 1
<ponder_d_unif = 1.00>
<ponder_f_unif = 1.00>
UNIFORME (charge_unif_1, aires_comb, densite_1, longueur_calc,
          ponder_d_unif, ponder_f_unif);

$ definition de la charge applicable a une voie de type 1
CHARGE_VOIE (charge_1, charge_unif,
             no_inutilise, charge_unif_1, laisser_unif);

$ definition des voies
<nb_clas = 3>
<nb_voies_max = 10>
<nb_degr = (nb_voies_max)>
VOIES (voies_1, type_voies_1, degres_g_glob) CIRCULATION VOIES
      (nb_clas) 3.50 3.00 2.75 (nb_degr)
      1.00 1.00 0.90 0.75 6*0.70
      1.00 9*0.90
      0.90 9*0.80;

$ definition des modalites de chargement du trafic
MODALITES (modalites_1, modalites_gene, largeur_1, longueur_1,
          no_inutilise, voies_1, bande_1);

$ definition du trafic
<nb_charges = 1>
TRAFFIC
'FASCICULE 61 - TITRE II DU C.P.C. - CHARGE A(L)'
  (trafic_1, modalites_1, nb_charges, charge_1);

FIN;
```

C.3 - CAMION Bc DU FASCICULE 61

```

DEBUT T_BCP;
$ Fascicule 61 - Titre II du C.P.C. - Charge Bc - sens positif

$ definition de la longueur chargeable
LONGUEUR_CHARGEABLE (longueur_1) SUPPORT;

$ definition de la largeur chargeable
LARGEUR_CHARGEABLE (largeur_1) CIRCULATION CHAUSSEES;

$ definition de la bande centrale
BANDE_CENTRALE (bande_1, bande_n_char) CIRCULATION;

$ definition de la roue de vehicule de type 1
<impact_x = 0.00>
<impact_y = 0.00>
<lg_min = 0.00>
<lg_imposee_max = 1.00>
<lg_imposee_min = 1.00>
<coef_a = 3.00>
<ponder_f_roue = 1.00>
<nb_val = 0>
ROUE_VEHICULE (roue_1, roue_cons, impact_x, impact_y, longueur_impo,
lg_min, lg_imposee_max, lg_imposee_min, coef_a,
ponder_f_roue, nb_val);

$ definition de la roue de vehicule de type 2
<coef_a = 6.00>
ROUE_VEHICULE (roue_2, roue_cons, impact_x, impact_y, longueur_impo,
lg_min, lg_imposee_max, lg_imposee_min, coef_a,
ponder_f_roue, nb_val);

$ definition de l'essieu de vehicule de type 1
<ponder_f_essie = 1.00>
<nb_roues = 2>
<y_roue1 = 0.25>
<y_roue2 = 2.25>
ESSIEU_VEHICULE (essieu_1, ponder_f_essie, nb_roues)
(roue_1, roue_1) (y_roue1, y_roue2);

$ definition de l'essieu de vehicule de type 2
ESSIEU_VEHICULE (essieu_2, ponder_f_essie, nb_roues)
(roue_2, roue_2) (y_roue1, y_roue2);

$ definition du vehicule de type 1
<ponder_f_vehi = 0.00>
<dist_avant = 2.25>
<dist_apres = 2.25>
<enleve_avant = 0.00>
<enleve_apres = 0.00>
<nb_essieux = 3>
<x_essieu1 = 0.00>
<x_essieu2 = 1.50>
<x_essieu3 = 6.00>
VEHICULE (vehicule_1, ponder_f_vehi, laisser_unif, dist_avant,
dist_apres, enleve_avant, enleve_apres, nb_essieux,
(essieu_2, essieu_2, essieu_1)
(x_essieu1, x_essieu2, x_essieu3);

$ definition du convoi de vehicules de type 1
<nb_vehicules = 2>
CONVOI_VEHICULES (convoi_1, convoi_inde_2, pr_inutilise,
nb_vehicules) (vehicule_1, vehicule_1);

```



```
$ definition de la charge concentree de type 1
<ponder_d_conc = 1.00>
<ponder_f_conc = 0.00>
<coef_rech      = 0.50>
CONCENTREE (charge_conc_1, vehicule_cent, convoi_1,
            ponder_d_conc, ponder_f_conc, coef_rech);

$ definition de la charge applicable a une voie de type 1
CHARGE_VOIE (charge_1, charge_conc,
            charge_conc_1, no_inutilise, laisser_unif);

$ definition des voies
<pas1      = 0.50>
<pas2      = 3.00>
<nb_v_max  = 10>
<lvoi_max  = 2.50>
<nb_clas   = 3>
<nb_degr   = (nb_v_max)>
VOIES (voies_1, type_voies_6, degres_glob) CIRCULATION VOIES
      (pas1, pas2, nb_v_max, lvoi_max, nb_clas, nb_degr)
      1.20 1.10 0.95 0.80 6*0.70
                        10*1.00
      1.00                9*0.80;

$ definition des modalites de chargement du trafic
MODALITES (modalites_1, modalites_gene, largeur_1, longueur_1,
            no_inutilise, voies_1, bande_1);

$ definition du trafic
<nb_charges = (nb_v_max)>
TRAFFIC
'FASCICULE 61 - TITRE II DU C.P.C. - CHARGE Bc - SENS POSITIF'
      (trafic_1, modalites_1, nb_charges) (nb_charges)*(charge_1);

FIN;
```

C.4 - CONVOI C1 DE LA CIRCULAIRE 83

```

DEBUT T_C1P;
$ Circulaire R/EG.3 du 20 Juillet 1983 - Convoi C1 - sens positif

$ definition de la longueur chargeable
LONGUEUR_CHARGEABLE (longueur_1) SUPPORT;

$ definition de la largeur chargeable
LARGEUR_CHARGEABLE (largeur_1) CIRCULATION CHAUSSEES;

$ definition de la bande centrale
BANDE_CENTRALE (bande_1, bande_n_char) CIRCULATION;

$ definition de la roue de vehicule de type 1
<impact_x = 0.37>
<impact_y = 0.37>
<lg_min = 0.00>
<lg_imposee_max = 1.00>
<lg_imposee_min = 1.00>
<coef_a = (6.00/2.00)>
<ponder_f_roue = 1.00>
<nb_val = 0>
ROUE_VEHICULE (roue_1, roue_cons, impact_x, impact_y, longueur_impo,
lg_min, lg_imposee_max, lg_imposee_min, coef_a,
ponder_f_roue, nb_val);

$ definition de la roue de vehicule de type 2
<impact_x = 0.37>
<impact_y = (0.37+0.37)>
<coef_a = (12.00/2.00)>
ROUE_VEHICULE (roue_2, roue_cons, impact_x, impact_y, longueur_impo,
lg_min, lg_imposee_max, lg_imposee_min, coef_a,
ponder_f_roue, nb_val);

$ definition de la roue de vehicule de type 3
<impact_x = 0.00>
<impact_y = 0.00>
<coef_a = (12.80/4.00)>
ROUE_VEHICULE (roue_3, roue_cons, impact_x, impact_y, longueur_impo,
lg_min, lg_imposee_max, lg_imposee_min, coef_a,
ponder_f_roue, nb_val);

$ definition de l'essieu de vehicule de type 1
<ponder_f_essi = 1.00>
<nb_roues = 2>
<y_roue1 = 2.00>
<y_roue2 = 4.00>
ESSIEU_VEHICULE (essieu_1, ponder_f_essi, nb_roues)
(roue_1, roue_1) (y_roue1, y_roue2);

$ definition de l'essieu de vehicule de type 2
ESSIEU_VEHICULE (essieu_2, ponder_f_essi, nb_roues)
(roue_2, roue_2) (y_roue1, y_roue2);

$ definition de l'essieu de vehicule de type 3
<nb_roues = 4>
<y_roue1 = 1.28>
<y_roue2 = 2.10>
<y_roue3 = 3.90>
<y_roue4 = 4.72>
ESSIEU_VEHICULE (essieu_3, ponder_f_essi, nb_roues)
(nb_roues)*(roue_3)
(y_roue1, y_roue2, y_roue3, y_roue4);

```

```

$ definition du vehicule de type 1
<ponder_f_vehi = 0.00>
<dist_avant     = 0.00>
<dist_apres    = 0.00>
<enleve_avant  = 0.00>
<enleve_apres  = 0.00>
<nb_essieux    = 8>
<x_essieu1     = 0.00>
<x_essieu2     = 2.75>
<x_essieu3     = 4.10>
<x_essieu4     = 9.10>
<x_essieu5     = (9.10+1.00*1.55)>
<x_essieu6     = (9.10+2.00*1.55)>
<x_essieu7     = (9.10+3.00*1.55)>
<x_essieu8     = (9.10+4.00*1.55)>
VEHICULE (vehicule_1, ponder_f_vehi, laisser_unif, dist_avant,
          dist_apres, enleve_avant, enleve_apres, nb_essieux)
          5*(essieu_3) (essieu_2, essieu_2, essieu_1)
          (x_essieu1, x_essieu2, x_essieu3, x_essieu_4,
           x_essieu5, x_essieu6, x_essieu7, x_essieu_8);

$ definition du convoi de vehicules de type 1
<nb_vehicules = 1>
CONVOI_VEHICULES (convoi_1, convoi_inde_1, pr_inutilise,
                  nb_vehicules, vehicule_1);

$ definition de la charge concentree de type 1
<ponder_d_conc = 1.00>
<ponder_f_conc = 0.00>
<coef_rech     = 0.90>
CONCENTREE (charge_conc_1, vehicule_inte, convoi_1,
            ponder_d_conc, ponder_f_conc, coef_rech);

$ definition de la charge applicable a une voie de type 1
CHARGE_VOIE (charge_1, charge_conc,
             charge_conc_1, no_inutilise, laisser_unif);

$ definition des voies
<nb_clas      = 3>
<nb_chaussees_max = 2>
<nb_degr     = (nb_chaussees_max)>
VOIES (voies_1, type_voies_5, degres_voie) CIRCULATION CHAUSSEES
      (nb_clas, nb_degr) 1.00 0.00 1.00 0.00 1.00 0.00;

$ definition des modalites de chargement du trafic
MODALITES (modalites_1, modalites_gene, largeur_1, longueur_1,
           no_inutilise, voies_1, bande_1);

$ definition du trafic
<nb_charges = (nb_chaussees_max)>
TRAFFIC
'CIRCULAIRE R/EG.3 DU 20 JUILLET 1983 - CONVOI C1 - SENS POSITIF'
  (trafic_1, modalites_1, nb_charges) (nb_charges)*(charge_1);

FIN;

```

C.5 - MODÈLE 1, CLASSE 1 DE L'EUROCODE 1

```

DEBUT E_M1C1_C;
$ Eurocode 1 - Charge routiere - Modele 1 - Classe 1 - caracteristique

$ definition de la longueur chargeable
LONGUEUR_CHARGEABLE (longueur_1) SUPPORT;

$ definition de la largeur chargeable
LARGEUR_CHARGEABLE (largeur_1) CIRCULATION CHAUSSEES;

$ definition de la bande centrale
BANDE_CENTRALE (bande_1, bande_n_char) CIRCULATION;

$ definition de la roue de vehicule de type 1
<impact_x = 0.40>
<impact_y = 0.40>
<lg_min = 0.00>
<lg_imposee_max = 1.00>
<lg_imposee_min = 1.00>
<coef_a = 15.00>
<ponder_f_roue = 1.00>
<nb_val = 0>
ROUE_VEHICULE (roue_1, roue_cons, impact_x, impact_y, longueur_impo,
lg_min, lg_imposee_max, lg_imposee_min, coef_a,
ponder_f_roue, nb_val);

$ definition de l'essieu de vehicule de type 1
<ponder_f_essie = 1.00>
<nb_roues = 2>
<y_roue1 = 0.50>
<y_roue2 = 2.50>
ESSIEU_VEHICULE (essieu_1, ponder_f_essie, nb_roues)
(roue_1, roue_1) (y_roue1, y_roue2);

$ definition du vehicule de type 1
<ponder_f_vehi = 0.00>
<dist_avant = 0.20>
<dist_apres = 0.20>
<enleve_avant = 1.00>
<enleve_apres = 1.00>
<nb_essieux = 2>
<x_essieu1 = 0.00>
<x_essieu2 = 1.20>
VEHICULE (vehicule_1, ponder_f_vehi, laisser_unif, dist_avant,
dist_apres, enleve_avant, enleve_apres, nb_essieux)
(essieu_1, essieu_1) (x_essieu1, x_essieu2);

$ definition du convoi de vehicules de type 1
<nb_vehicules = 1>
CONVOI_VEHICULES (convoi_1, convoi_inde_1, pr_inutilise,
nb_vehicules, vehicule_1);

$ definition de la charge concentree de type 1
<ponder_d_conc = 1.00>
<ponder_f_conc = 0.00>
<coef_rech = 0.90>
CONCENTREE (charge_conc_1, vehicule_droi, convoi_1,
ponder_d_conc, ponder_f_conc, coef_rech);

$ definition de la charge concentree de type 2
<ponder_d_conc = (2.00/3.00)>
CONCENTREE (charge_conc_2, vehicule_droi, convoi_1,
ponder_d_conc, ponder_f_conc, coef_rech);

$ definition de la charge concentree de type 3
<ponder_d_conc = (1.00/3.00)>
CONCENTREE (charge_conc_3, vehicule_droi, convoi_1,
ponder_d_conc, ponder_f_conc, coef_rech);

```

```

$ definition de la densite de charge uniforme de type 1
<lg_min          = 0.00>
<coef_b          = 0.90>
<coef_c          = 0.00>
<coef_d          = 0.00>
<lg_imposee_max = 1.00>
<lg_imposee_min = 1.00>
<nb_val          = 0>
DENSITE_UNIFORME (densite_1, densite_cons, lg_min, pr_inutilise,
                 coef_b, coef_c, coef_d,
                 lg_imposee_max, lg_imposee_min, nb_val);

$ definition de la densite de charge uniforme de type 2
<coef_b          = 0.25>
DENSITE_UNIFORME (densite_2, densite_cons, lg_min, pr_inutilise,
                 coef_b, coef_c, coef_d,
                 lg_imposee_max, lg_imposee_min, nb_val);

$ definition de la charge uniforme de type 1
<ponder_d_unif = 1.00>
<ponder_f_unif = 0.00>
UNIFORME (charge_unif_1, aires_cumu, densite_1, longueur_calc,
          ponder_d_unif, ponder_f_unif);

$ definition de la charge uniforme de type 1
UNIFORME (charge_unif_2, aires_cumu, densite_2, longueur_calc,
          ponder_d_unif, ponder_f_unif);

$ definition de la charge applicable a une voie de type 1
CHARGE_VOIE (charge_1, charge_gene,
             charge_conc_1, charge_unif_1, laissser_unif);

$ definition de la charge applicable a une voie de type 2
CHARGE_VOIE (charge_2, charge_gene,
             charge_conc_2, charge_unif_2, laissser_unif);

$ definition de la charge applicable a une voie de type 3
CHARGE_VOIE (charge_3, charge_gene,
             charge_conc_3, charge_unif_2, laissser_unif);

$ definition de la charge applicable a une voie de type 4
CHARGE_VOIE (charge_4, charge_unif,
             no_inutilise, charge_unif_2, laissser_unif);

$ definition des voies
<pas            = 3.00>
<nb_voies       = 3>
<lvoi_max       = 3.00>
<nb_clas       = 3>
<nb_degr       = 4>
VOIES (voies_1, type_voies_4, degres_g_glob) CIRCULATION LA_VOIES
      (pas, nb_voies, lvoi_max, nb_clas, nb_degr)
      4*1.00 4*1.00 4*1.00;

$ definition des modalites de chargement du trafic
MODALITES (modalites_1, modalites_gene, largeur_1, longueur_1,
           no_inutilise, voies_1, bande_1);

$ definition du trafic
<nb_charges     = 4>
TRAFIC
'EUROCODE 1 - CHARGE ROUTIERE - MODELE 1 - CLASSE 1 - CARACTERISTIQUE'
      (trafic_1, modalites_1, nb_charges)
      (charge_1, charge_2, charge_3, charge_4);

FIN;

```

Annexe D

Conseils méthodologiques

Cette annexe sera développée ultérieurement ; se reporter à la partie correspondante de l'ancien Manuel de référence.

Annexe E

Charges ferroviaires

Cette annexe a pour but de présenter la démarche visant à introduire les actions sur les ponts liées au trafic ferroviaire dans le calculateur PCP. Il est important de noter que les modèles de charge définis ci-après proviennent de la réglementation européenne et ne décrivent pas les charges réelles. « Ils ont été sélectionnés afin que leurs effets, les majorations dynamiques étant prises en compte séparément, représentent ceux du trafic réel ». Les actions dues aux circulations ferroviaires sont données pour :

- Les charges verticales statiques : modèles de charge 71, SW/0, SW2, « train à vide »
- Les charges horizontales statiques : force centrifuge, effort de lacet, forces d'accélération et de freinage
- Les charges verticales statiques de fatigue
- Les actions dynamiques dues au passage des trains

Les champs statiques sont implémentés sous formes d'actions du composant trafic de PCP que l'utilisateur peut paramétrer. L'ensemble de ces modèles est rassemblé en un unique fichier : **trafer.don**. Les champs dynamiques sont définis dans des fichiers indépendants qui seront appelés par l'utilisateur.

Les parties E.2 à E.5 sont construites selon un même schéma : *Présentation, Interprétation, Implémentation en données de trafic et Utilisation*. La première section a pour but de rappeler la réglementation concernant le cas de charge. La deuxième s'intéresse à certains points de la norme qui nécessitent une interprétation ou un calcul plus approfondi. La troisième explique la démarche mise en œuvre dans la définition du modèle de trafic, ainsi que le nom du modèle. La section *Utilisation* informe l'utilisateur quant aux éventuels paramètres qu'il doit modifier. La dernière partie présente des exemples d'utilisations concrets pour chacun des modèles de charges évoqués dans les 4 parties précédentes.

E.1 – DOCUMENTS UTILISES

- Eurocode 1 « Actions sur les structures », Partie 2 : « Actions sur les ponts dues au trafic »; NF ZN 1991-2
- Livret 2.01 du Cahier des Prescriptions Communes de la SNCF : « Règles de conception et de calcul des ouvrages en béton, en métal ou mixtes »
- L'Entretroisement des ponts mixtes multipoutres ferroviaires, Yannick Sieffert, 2004, Thèse, INSA de Lyon
- Chapitre 10 de la notice PCP : « Définition de trafics »
- Chapitre 11 de la notice PCP : « Étude dynamique »

E.2 – INFORMATIONS PREALABLES

L'ensemble des trafics définis ci-après se trouvent dans le répertoire "Charges ferroviaires" de l'affaire exemple intitulée **etude_ferrov** :

- trafer.don contient l'ensemble des modèles de charges statiques
- HSLM-A01.don, HSLM-A02.don ... contiennent les modèles de charges pour l'étude dynamique

Ces fichiers n'ont pas vocation à être exécutés par PCP. Les modèles de charges statiques (LM71, SW/0 ...) doivent être copiés dans un fichier trafic.don qui doit se trouver dans le répertoire de l'affaire. Lors de l'appel du modèle de trafic par la commande ACTION du fichier de surcharges (chapitre 9 de la notice de PCP), PCP récupère automatiquement leurs définitions dans le fichier trafic.don situé dans le répertoire de l'affaire.

Par ailleurs, tout appel d'un modèle de trafic ferroviaire nécessite les définitions d'une CHAUSSEE, et d'une ou plusieurs VOIES dans la commande CIRCULATION.

E.3 – CHARGES VERTICALES STATIQUES

E.3.1 – Modèle de charge 71

Présentation

Le modèle de charge 71 représente l'effet statique du chargement vertical dû à un trafic ferroviaire standard. (EC1-2 §6.3.2)

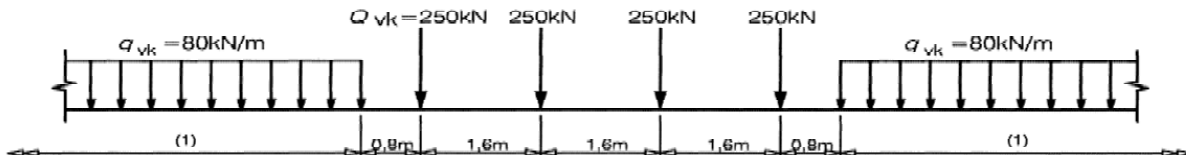


Figure 1 – Modèle de charge 71

Les valeurs caractéristiques de la figure 1 doivent être multipliées par un coefficient α sur les lignes où circule un trafic ferroviaire plus lourd ou plus léger que le trafic ferroviaire normal. Lorsqu'elles sont multipliées par le coefficient α , les charges sont appelées « charges verticales classifiées ». Ce coefficient α doit être choisi parmi les valeurs suivantes :

$$0.75 - 0.83 - 0.91 - 1.00 - 1.10 - 1.21 - 1.33 - 1.46 \text{ (EC1-2 §6.3.2)}$$

Pour les lignes internationales de fret, le coefficient α est pris égal à 1,33. Sur le reste du réseau ferroviaire à écartement standard, le coefficient α est pris égal à 1,00. (EC1-2 Annexe Nationale Clause 6.3.2 (3)).

Le schéma de charges 71 peut être fractionné (CPC, livret 2.1 §1.3.1.2.1).

Répartition longitudinale

D'après le §6.3.6.2 de l'EC1-2, « les charges ponctuelles du modèle de charge 71 [...] peuvent être uniformément réparties dans le sens longitudinal ».

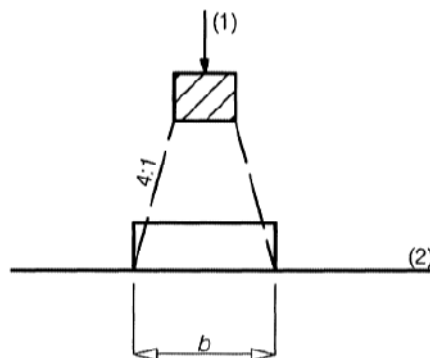


Figure 2 – Répartition longitudinale par la traverse

Répartition transversale

La répartition transversale dépend du type de traverse utilisé sur la voie :

- Traverse monobloc

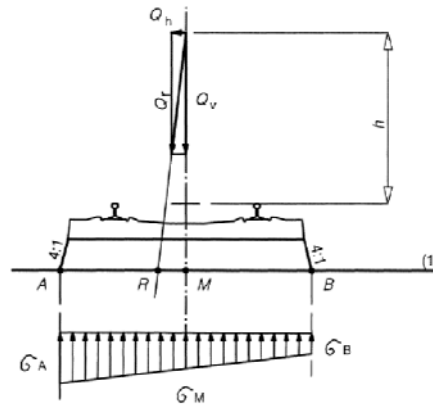


Figure 3 - Répartition des charges par les traverses et le ballast

- Traverse bi-bloc

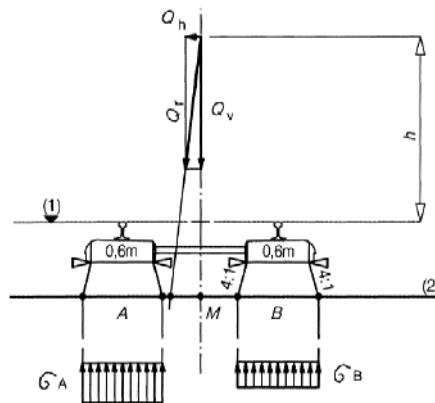
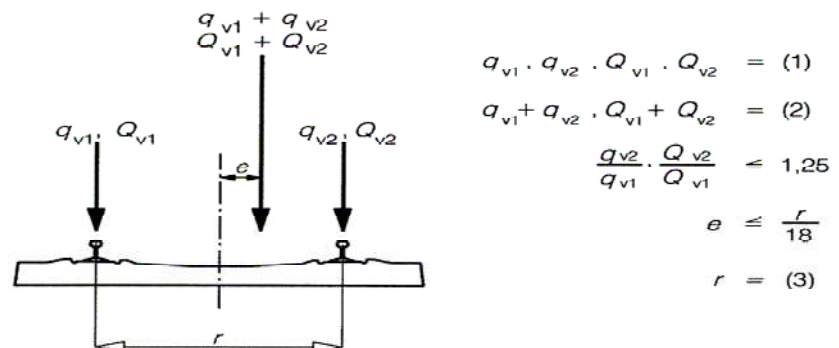


Figure 4 - Répartition des charges par les traverses et le ballast

Excentricité des charges verticales

L'effet du déplacement latéral des charges doit être pris en considération (modèles de charge 71 et SW/0). L'excentricité des charges verticales peut être négligée lorsqu'on considère la fatigue.



Légende

- (1) Charge linéaire uniforme et charges ponctuelles sur chacun des rails, selon le cas
- (2) LM 71 (et SW/0 si nécessaire)
- (3) Distance transversale entre charges de roues

Application

Pour la détermination des effets les plus défavorables résultant de l'application du modèle de charge 71 :

- La charge linéaire uniforme q_{vk} doit être appliquée à une voie sur autant de longueurs que nécessaire ; jusqu'à quatre charges concentrées individuelles Q_{vk} doivent être appliquées en même temps sur une voie
- Pour les structures supportant deux voies, le modèle de charge 71 doit être appliqué à l'une ou l'autre des deux voies, ou aux deux
- Pour les structures supportant trois voies ou plus, le modèle de charge 71 doit être appliqué tour à tour à chacune des voies ou à chaque groupe possible de deux voies ou bien 0,75 LM71 doit être appliqué à trois voies ou plus

Interprétation

La charge linéaire uniforme q_{vk} doit être appliquée à une voie sur autant de longueurs que nécessaire ; jusqu'à quatre charges concentrées individuelles Q_{vk} doivent être appliquées en même temps sur une voie. La réglementation spécifique que le modèle de charge 71 peut être fractionné. Ainsi, si une configuration à 1,2 ou 3 essieux espacés de 1,6m est plus défavorable, c'est celle-ci que l'on choisira. D'autre part, il n'est pas prévu de faire varier le paramètre d'écartement des essieux.

Répartition longitudinale

Les dimensions des traverses sont généralement, à la SNCF, de 2,6 m de long, 25 cm de large et 15 cm d'épaisseur. D'autre part, l'épaisseur du ballast (au travers duquel s'effectue la répartition) est fonction de la charge et de l'intensité du trafic. Le minimum est de 25cm sur les lignes classiques et 45cm sur les lignes à grande vitesse, En pratique, on mesure des épaisseurs sur des ouvrages existants comprises entre 10cm et 1m. On a donc un impact longitudinal des forces ponctuelles qui vaut :

$$0,25 + \frac{\text{épaisseur}_{ballast}}{2}$$

Répartition transversale

- Traverse monobloc : notre modèle ne comporte que des véhicules « à une roue » et la répartition se fait selon une traverse de 2,6 m de largeur :

$$2,6 + \frac{\text{épaisseur}_{ballast}}{2}$$

- Traverse bi-bloc : dans ce cas, notre modèle comporte des véhicules à deux roues et la répartition se fait selon deux blocs de 0,6 m de largeur :

$$0,6 + \frac{\text{épaisseur}_{ballast}}{2}$$

Implémentation en données de trafic

Le trafic se nomme : **T_{TM71}** (T = Trafic ; T=Train ; M71 = Modèle 71).

PCP applique de 0 à 4 charges ponctuelles, espacées de 1,6m, comme l'indique le schéma de l'EC1-2 §6.3.2. Si l'une des charges est favorable, elle n'est pas positionnée, mais son emprise est conservée. On choisit de conserver l'emprise de façon à ce qu'aucune charge uniforme ne soit positionnée par PCP à cet endroit.

La charge uniforme est appliquée « sur autant de longueurs que nécessaire », de façon à obtenir la configuration la plus défavorable. Pour cela, on choisit l'option « aires_cumu » lors de la définition de la charge uniforme dans PCP. Ainsi, toutes les aires du signe défavorable sont intégrées et cumulées globalement, sans considérer les combinaisons d'aires élémentaires. La longueur chargée conventionnelle calculée est la longueur moyenne des aires calculées.

Remarque importante : le coefficient α n'est **jamais** pris en compte dans les calculs. C'est à l'utilisateur d'en tenir compte lorsqu'il détermine ses combinaisons d'actions.

Avec ce premier modèle, il n'est pas possible de tenir compte de l'excentricité des charges verticales, car la charge uniforme s'applique sur toute la largeur de la voie. Un second modèle a donc été défini, où la charge uniforme est approximée par des roues de longueur 1m. Ce trafic se nomme : **T_TM71_2**. Il s'agit alors de définir une voie plus large que le véhicule, et PCP déplace transversalement le trafic afin de trouver la position la plus défavorable.

Utilisation

L'utilisateur doit définir deux paramètres dans le fichier de définition du trafic :

- epais_ball : correspond à l'épaisseur de ballast de la voie. En France, l'épaisseur du ballast dépend de la charge et de l'intensité du trafic. Il est conseillé d'avoir une épaisseur de ballast d'au moins 25cm sur les lignes classiques et 45cm sur les lignes à grande vitesse.
- roues : vaut 1 ou 2. Ce paramètre caractérise la diffusion transversale à travers le ballast. Pour les traverses monobloc, choisir 1. Pour les traverses bi-bloc, choisir 2.

Ces deux paramètres sont déjà présents dans le fichier, mais comment arisés. C'est à l'utilisateur de les définir en fonction du projet.

E.3.2 - Modèle de charge SW/0

Présentation

Le modèle de charge SW/0 représente l'effet statique du chargement vertical dû à un trafic ferroviaire standard sur des poutres continues.

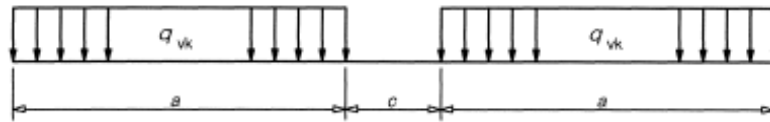


Figure 5 - Modèle de charge SW/0

Avec :

- $q_{vk} = 133 \text{ kN/m}$
- $a = 15,0 \text{ m}$
- $c = 5,3 \text{ m}$

Selon les articles 1.3.1.3 et 1.3.1.5 du livret 2.01 du CPC, le schéma de charges SW/0 ne doit pas être fractionné. L'Eurocode ne donne aucune indication à ce sujet.

Interprétation

Étant donné que le modèle de charge SW/0 n'est pas fractionnable, nous sommes obligés de respecter la longueur d'application des deux charges réparties, ainsi que la distance qui les séparent.

Implémentation en données de trafic

Le trafic se nomme : **T_TSW0**.

Compte tenu des contraintes, nous avons choisi de modéliser ce cas de charge par des roues de véhicules : chaque charge répartie est composée de 15 roues d'une longueur de 1m. La charge inhérente à chacune de ces roues est constante : 133 kN

L'écartement entre les axes des deux roues d'un même essieu correspond à :

$$\text{écartement des rails} + 2 \cdot \left(\frac{\text{largeur d'une roue}}{2} \right) = 1.435 + 2 \cdot \left(\frac{0.1}{2} \right) = 1.535 \text{ m}$$

N.B : en raison du caractère non fractionnable du modèle de charge, il est important de mettre les coefficients de pondération favorables à 1 pour les roues et les essieux. Seul celui du véhicule doit être égal à 0.

Le type de voies choisi est le n°5, car dans notre cas, le nombre de voies est imposé, et leurs positions et largeurs sont connues (pour connaître la définition des différents types de voies, vous pouvez vous référer au paragraphe 10.14 du manuel de PCP, téléchargeable sur le site internet des logiciels d'ouvrages d'art du Sétra).

Utilisation

Aucun paramètre n'est à définir par l'utilisateur.

E.3.3 - Modèle de charge SW/2

Présentation

Le modèle SW/2 est très similaire à SW/0 :

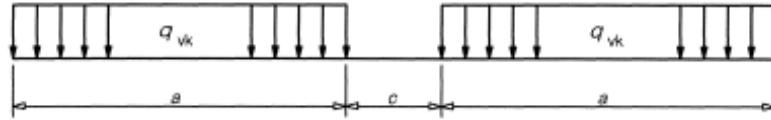


Figure 6 - Modèle de charge SW/2

Avec :

- $q_{vk} = 150 \text{ kN/m}$
- $a = 25,0 \text{ m}$
- $c = 7,0 \text{ m}$

Interprétation

Mêmes remarques que pour SW/0.

Implémentation en données de trafic

Le trafic se nomme : **T_TSW2**.

La charge inhérente à chacune des roues est constante : 150 kN

Utilisation

Aucun paramètre n'est à définir par l'utilisateur.

E.3.4 - Modèle de charge « Train à vide »

Présentation

Certaines vérifications spécifiques font appel à un modèle de charge appelé « train à vide » qui consiste en une charge verticale linéaire uniforme, avec une valeur caractéristique de 10,0 kN/m.

La charge uniforme est appliquée « sur autant de longueurs que nécessaire », de façon à obtenir la configuration la plus défavorable. On choisit l'option « aires_cumu » lors de la définition de la charge uniforme dans PCP. De cette façon, toutes les aires du signe défavorable sont intégrées et cumulées globalement, sans considérer les combinaisons d'aires élémentaires. La longueur chargée conventionnelle calculée est la longueur moyenne des aires calculées.

N.B. : Le modèle de charge « train à vide » ne doit être considéré que pour le calcul de structures supportant une voie unique.

Interprétation

Le modèle de chargement est appliqué tel quel dans trafic.

Implémentation en données de trafic

Le trafic se nomme : **T_TTAV**.

Le modèle est composé d'une charge répartie à densité constante.

Utilisation

Aucun paramètre n'est à définir par l'utilisateur.

E.4 – CHARGES HORIZONTALES STATIQUES

E.4.1 - Force centrifuge

Présentation

Lorsque la voie est en courbe sur tout ou partie de la longueur d'un pont, la force centrifuge et le dévers de la voie doivent être pris en compte.

Il convient de considérer les forces centrifuges comme agissant horizontalement vers l'extérieur, à une hauteur de 1,80m au-dessus du plan de roulement.

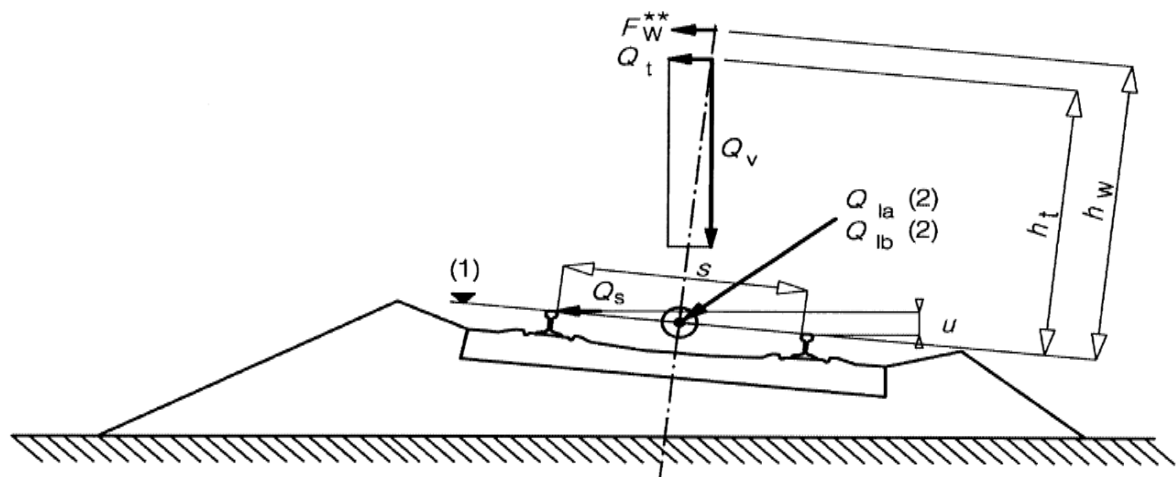


Figure 7 - Symboles et dimensions spécifiques pour les voies ferrées

Pour certains types de trafic, pour les conteneurs sur deux niveaux par exemple, il convient de spécifier une valeur supérieure pour h_t . L'annexe nationale précise qu'il convient de prendre $h_t = 2,00\text{m}$ sur l'ensemble du réseau ferroviaire.

La force centrifuge doit toujours être combinée avec la charge verticale de trafic. Elle ne doit pas être multipliée par le coefficient dynamique ϕ_2 .

La valeur caractéristique de la force centrifuge doit être déterminée à l'aide des formules suivantes :

$$\begin{cases} Q_{tk} = \frac{v^2}{g \cdot r} \cdot (f \cdot Q_{vk}) = \frac{V^2}{127 \cdot r} \cdot (f \cdot Q_{vk}) \\ q_{tk} = \frac{v^2}{g \cdot r} \cdot (f \cdot q_{vk}) = \frac{V^2}{127 \cdot r} \cdot (f \cdot q_{vk}) \end{cases}$$

Où :

- Q_{tk}, q_{tk} : valeurs caractéristiques des forces centrifuges
- Q_{vk}, q_{vk} : valeurs caractéristiques des charges verticales
- f : coefficient de réduction
- v : vitesse maximale [m/s]
- V : vitesse maximale [km/h]
- G : accélération de la pesanteur [9.81m/s^2]
- r : rayon de courbure

Dans le cas d'une courbe à rayon variable, des valeurs moyennes appropriées peuvent être retenues pour r.

Pour le modèle de charge 71 (et, le cas échéant, le modèle de charge SW/0) et une vitesse maximale de ligne au point considéré supérieure à 120 km/h, il convient de considérer les cas suivants :

- modèle de charge 71 (et, le cas échéant, le modèle de charge SW/0) avec le coefficient dynamique associé et la force centrifuge pour $V = 120$ km/h, conformément aux équations ci-dessus, avec $f=1$.
- modèle de charge 71 (et, le cas échéant, le modèle de charge SW/0) avec le coefficient dynamique associé et la force centrifuge pour la vitesse maximale V spécifiée, conformément aux équations ci-dessus, la valeur du coefficient f étant donnée par :

$$f = \left[1 - \frac{V-120}{1000} \cdot \left(\frac{814}{V} + 1.75 \right) \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{2.88}{L_f}} \right) \right]$$

Où :

- L_f : longueur d'influence de la partie chargée de la voie en courbe sur le pont, la plus défavorable pour le dimensionnement de l'élément structural considéré [m]
- V : vitesse maximale [km/h]
- $f = 1$: pour $V \leq 120$ km/h ou $L_f \leq 2,88$ m
- $f < 1$: pour 120 km/h $< V \leq 300$ km/h et $L_f > 2.88$ m
- $f_{(V)} = f_{(300)}$: Pour $V > 300$ km/h et $L_f > 2.88$ m

Pour les modèles de charge SW/2 et « train à vide », il convient de retenir une valeur du coefficient de réduction égale à 1,0.

Interprétation

La force centrifuge doit être associée à une charge verticale. Un modèle de trafic a été créé pour chaque charge verticale combinée avec la force centrifuge.

On cherche à déterminer la résultante de la charge verticale (d'un modèle quelconque) et de la force centrifuge. Notons Q la norme de la charge verticale, et C celle de la norme centrifuge. Q désigne aussi bien une charge ponctuelle que répartie.

$$R = \sqrt{\phi_2^2 \cdot Q^2 + C^2} = \sqrt{\phi_2^2 \cdot Q^2 + \left(\frac{V^2}{127 \cdot r} \cdot f \cdot Q \right)^2}$$

Où α désigne le coefficient de classification des charges, V la vitesse maximale sur la ligne, r le rayon de courbure et f le facteur de réduction, qui s'exprime de la façon suivante :

$$f = 1 - \frac{V-120}{1000} \cdot \left(\frac{814}{V} + 1.75 \right) \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{2.88}{L_f}} \right) = 1 - \delta \cdot \beta \cdot \left(1 - \frac{\gamma}{\sqrt{L_f}} \right) = 1 - \delta \cdot \beta + \frac{\delta \cdot \beta \cdot \gamma}{\sqrt{L_f}}$$

Définition du plan de chargement

Le support de charge doit être défini à une hauteur de 2,00m au-dessus du plan de roulement. L'angle d'inclinaison θ de ce repère est calculé pour une force centrifuge maximale, c'est-à-dire avec $f = 1$, de façon à ce que la force résultante soit située sur l'axe Z du repère local. Ce faisant, nous supposons que l'orientation de la résultante ne change pas, seule son intensité varie.

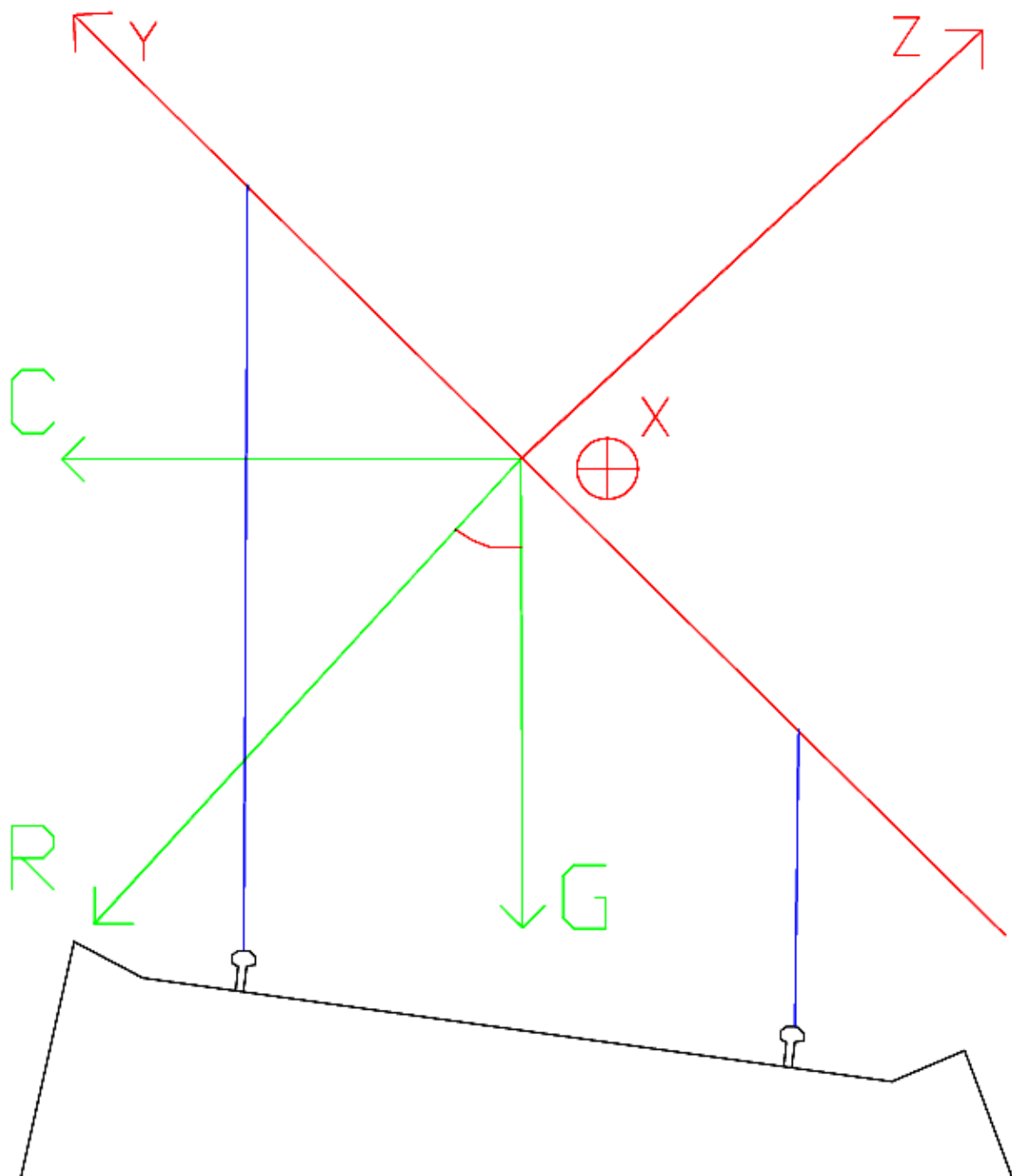


Figure 6 - Définition du plan de chargement pour l'application de la force centrifuge concomitante

Implémentation en données de trafic

Les trafics se nomment :

LM71 avec force centrifuge	T_TM71C
SW/0 avec force centrifuge	T_TSW0C
SW/2 avec force centrifuge	T_TSW2C

Le coefficient de réduction f vaut 1 si $L_f \leq 2,88\text{m}$ ou $V \leq 120 \text{ km/h}$. L'utilisation de la fonction MIN nous permet d'obtenir $f=1$ si l'utilisateur entre une vitesse inférieure à 120km/h.

$$R=Q \cdot \sqrt{\phi_2^2 + \left(\frac{V^2}{127 \cdot r} \cdot \text{MIN} \left(1, 1 - \delta \cdot \beta + \frac{\delta \cdot \beta \cdot \gamma}{\sqrt{L_f}} \right) \right)}$$

Application à LM71

Le fonctionnement du modèle est le même que dans le cas de la simple charge verticale statique. L'intensité de la charge est modifiée par rapport à la charge verticale statique, et le support de charge doit être en concordance avec la définition donnée figure 6.

Cette fois-ci, on choisit l'option « aires_comb » dans la définition de la charge uniforme. De cette façon, toutes les aires de même signe sont intégrées et combinées entre elles, et on recherche la combinaison d'aires produisant l'effet le plus défavorable ; la longueur chargée conventionnelle est recalculée pour chaque combinaison.

Application à SW/0 et SW/2

Comme pour LM71, nous choisissons de calculer la longueur chargée conventionnelle. Toutefois, dans le cas présent, nous n'avons aucune charge uniforme concomitante : le calcul des lignes d'influences est impossible. C'est pourquoi une charge uniforme fictive (dont la valeur est infiniment petite) a été ajoutée au modèle, afin de rendre ce calcul réalisable. Qui plus est, cette charge uniforme a été multipliée par f afin d'obtenir la même dégressivité que pour les charges de roues. Comme pour LM71, on choisit l'option « aires_comb » lors de la définition de la charge uniforme dans PCP.

Remarque : ce choix de modélisation peut poser problème dans le cas d'un ouvrage à travées très courtes. Dans ce cas, l'utilisateur peut supprimer la charge uniforme concomitante et remplacer le paramètre type_longueur de ROUE_VEHICULE par longueur_impo, et entrer sa propre valeur.

Utilisation

L'utilisateur doit modifier les paramètres suivants (les unités sont indiquées entre crochets) :

- epais_ball : épaisseur de la couche de ballast (30cm dans le cas d'une ligne classique, 40cm pour une LGV) [m]
- roues : nombre de roues du modèle. Ce choix s'effectue en fonction des traverses utilisées sur les voies : monobloc : 1 roue; bi-bloc : 2 roues
- coeff_vitesse : vitesse maximale autorisée sur la ligne [km/h]
- longueur_determ : longueur déterminante, définie au §6.4.5.3 de l'EC1-2 [m]
- rayon_courbure : rayon de courbure de la voie [m]

Si la vitesse maximale de la ligne au point d'étude est supérieure à 120 km/h, l'utilisateur doit réaliser une étude supplémentaire pour $V=120\text{km/h}$.

Il faut veiller à définir un plan de chargement en accord avec ce qui est décrit figure 6. Étant donné cette définition, l'utilisateur doit choisir la composante n°3 afin d'obtenir la force gravitaire, et la n°4 pour obtenir la résultante. Pour ne pas tenir compte de la force centrifuge, il suffit de mettre un rayon de courbure infini. Il est toutefois conseillé d'utiliser les trafics définis dans la partie 1 si l'on souhaite ne pas tenir compte de la force centrifuge.

E.4.2 - Forces d'accélération et de freinage

Présentation

Les forces d'accélération et de freinage agissent au niveau supérieur des rails, dans le sens longitudinal de la voie. Elles doivent être considérées comme des charges linéaires uniformes sur la longueur d'influence $L_{a,b}$ de leurs effets pour l'élément structural considéré. La direction des forces d'accélération et de freinage doit tenir compte du (des) sens de déplacement autorisé (s) sur chaque voie.

Les valeurs caractéristiques des forces d'accélération et de freinage doivent être prises égales à :

- Force d'accélération : $Q_{lak} = 33 * L_{a,b} \leq 1000$ kN pour les modèles de charge 71, SW/0, SW/2 et HSLM
- Force de freinage : $Q_{lbk} = 20 * L_{a,b} \leq 6000$ kN pour les modèles de charge 71, SW/0 et HSLM

Les valeurs caractéristiques des forces d'accélération et de freinage ne doivent pas être multipliées par le coefficient ϕ , ni par le coefficient f . Cependant, il convient, pour les modèles de charge 71 et SW/0, de les multiplier par le coefficient a .

D'autre part, l'accélération et le freinage peuvent être négligés pour le modèle de charge « train à vide ».

Interprétation

Le choix a été fait de ne pas associer dans une même définition de trafic les forces d'accélération ou de freinage à un modèle de charges verticales. Ces charges horizontales sont définies séparément.

Implémentation en données de trafic

Ils consistent chacun en une charge répartie dont l'intensité varie en fonction de la longueur chargée conventionnelle. Celle-ci est calculée par PCP en choisissant l'option « longueur_clac » au moment de la définition de la charge uniforme.

Utilisation

Les trafics se nomment : **T_T_ACC** et **T_T_FRE**.

Pour l'accélération, il n'y a aucun paramètre à renseigner par l'utilisateur.

Pour le freinage, l'utilisateur doit compléter la valeur de « coeff_force » en fonction du modèle de charges verticales associé à la force de freinage : 2,0 pour les modèles 71, SW/0 et HSLM et 3,5 pour le modèle SW/2.

E.4.3 - Effort de lacet

Présentation

L'effort de lacet doit être considéré comme une force concentrée agissant horizontalement au niveau supérieur des rails et perpendiculairement à l'axe de la voie. Il doit être appliqué aussi bien dans le cas des voies en alignement que dans celui des voies en courbe. La valeur caractéristique de l'effort de lacet doit être prise égale à $Q_{sk} = 100\text{kN}$. Elle ne doit pas être par le coefficient f . Cependant, il convient de multiplier par le coefficient α , si et seulement si ce dernier est supérieur ou égal à 1. Cet effort de lacet doit toujours être combiné avec une charge verticale de trafic.

Interprétation

Le choix a été fait de ne pas associer dans une même définition de trafic les efforts de lacet à un modèle de charges verticales. Cette charge horizontale est définie séparément. En pratique, les efforts de lacets ne sont généralement utilisés que pour des vérifications locales.

Implémentation en données de trafic

Du point de vue de PCP, cette force ponctuelle est représentée par un véhicule à une seule roue. Il est possible de ramener cette roue avec un impact surfacique non nul à une charge ponctuelle, en choisissant l'option SIMPLIFIEES au moment de l'étude des enveloppes.

Utilisation

Le trafic se nomme **T_T_LAC**.

Aucun paramètre à modifier par l'utilisateur.

E.5 – FATIGUE

Présentation

Tous les éléments structuraux soumis à des variations de contraintes doivent faire l'objet d'une évaluation de l'endommagement dû à la fatigue.

Pour un trafic normal fondé sur les valeurs caractéristiques du modèle de charge 71, incluant le facteur dynamique ϕ , il convient d'effectuer l'évaluation de la fatigue sur la base des combinaisons de trafic du type « trafic standard », « trafic avec essieux de 250kN » ou « trafic léger », selon que la structure supporte un trafic mixte, ou principalement un trafic de marchandises lourd ou encore un trafic voyageurs léger, en fonction des exigences spécifiées. L'annexe D de l'EC1-2 donne des détails sur les trains de service et les combinaisons de trafics considérées ainsi que sur la majoration dynamique à appliquer.

Lorsque la combinaison de trafic ne représente pas le trafic réel (dans certaines situations particulières, par exemple, où un nombre limité de types(s) de véhicules domine les charges de fatigue, ou par un trafic requérant une valeur de ϕ supérieure à l'unité), il convient de spécifier une combinaison de trafic différente.

Chacune des combinaisons est élaborée à partir d'un tonnage de trafic annuel de 25.106 tonnes parcourant le pont sur chaque voie.

Pour les structures supportant plus d'une voie, le chargement de fatigue doit être appliqué à un maximum de deux voies dans les positions les plus défavorables.

Il convient d'évaluer l'endommagement dû à la fatigue sur une durée de vie de l'ouvrage de 100 ans.

Il est également possible de procéder aux vérifications à la fatigue à partir d'une combinaison de trafic particulière.

Il y a lieu de tenir compte des actions verticales du trafic ferroviaire incluant les effets dynamiques et les forces centrifuges pour l'évaluation de la fatigue. Généralement, les actions de lacet et les actions longitudinales du trafic ferroviaire peuvent être négligées pour l'évaluation de la fatigue.

Selon l'annexe D de l'EC1-2, le coefficient dynamique ϕ_2 (préconisé sur l'ensemble du réseau ferroviaire français), appliqué au modèle de charge statique 71 et aux modèles SW/0 et SW/2, représente le chargement extrême à considérer lors de la définition des dispositions constructives des éléments de ponts. Ces coefficients conduiraient à des dispositions inutilement onéreuses s'ils étaient appliqués aux trains réels employés pour évaluer l'endommagement résultant de la fatigue.

Pour tenir compte de l'effet moyen sur une durée de vie de la structure supposée égale à 100 ans, la majoration dynamique correspondant à chaque train réel peut être réduite à :

$$1 + \frac{1}{2} \cdot \left(\phi' + \frac{1}{2} \phi'' \right)$$

expression dans laquelle ϕ' et ϕ'' sont définis ci-après.

Les équations suivantes sont des formes simplifiées d'équations plus générales, mais sont suffisamment précises pour servir au calcul de l'endommagement résultant de la fatigue. Elles

sont valables pour des vitesses maximales autorisées des véhicules inférieures ou égales à 200km/h :

$$\phi' = \frac{K}{1 - K + K^4}$$

Avec :

$$K = \frac{v}{160} \text{ pour } L \leq 20 \text{ m}$$
$$K = \frac{v}{47.16 \cdot L^{0.408}} \text{ pour } L > 20 \text{ m}$$

Et

$$\phi'' = 0.56 \cdot e^{\frac{-L^2}{100}}$$

Où :

- V : vitesse maximale autorisée du convoi [m/s]
- L : longueur déterminante L_ϕ [m] conformément à 6.4.5.3

Comme il a été énoncé précédemment, il convient d'effectuer l'évaluation de la fatigue à partir des combinaisons de trafic « trafic standard », « trafic avec essieux de 250kN », ou « trafic mixte léger », selon que la structure supporte un trafic mixte standard, ou un trafic majoritairement de marchandises lourd ou encore un trafic léger.

Interprétation

L'usage veut, qu'en dimensionnement, on utilise le convoi LM71 uniquement.

Implémentation en données de trafic

Un trafic est créé pour chaque train type défini dans l'annexe D de l'EC1-2.

Utilisation

Les trafics se nomment : **T_TF_T1**, **T_TF_T2**, **T_TF_T3**, ..., **T_TF_T12**.

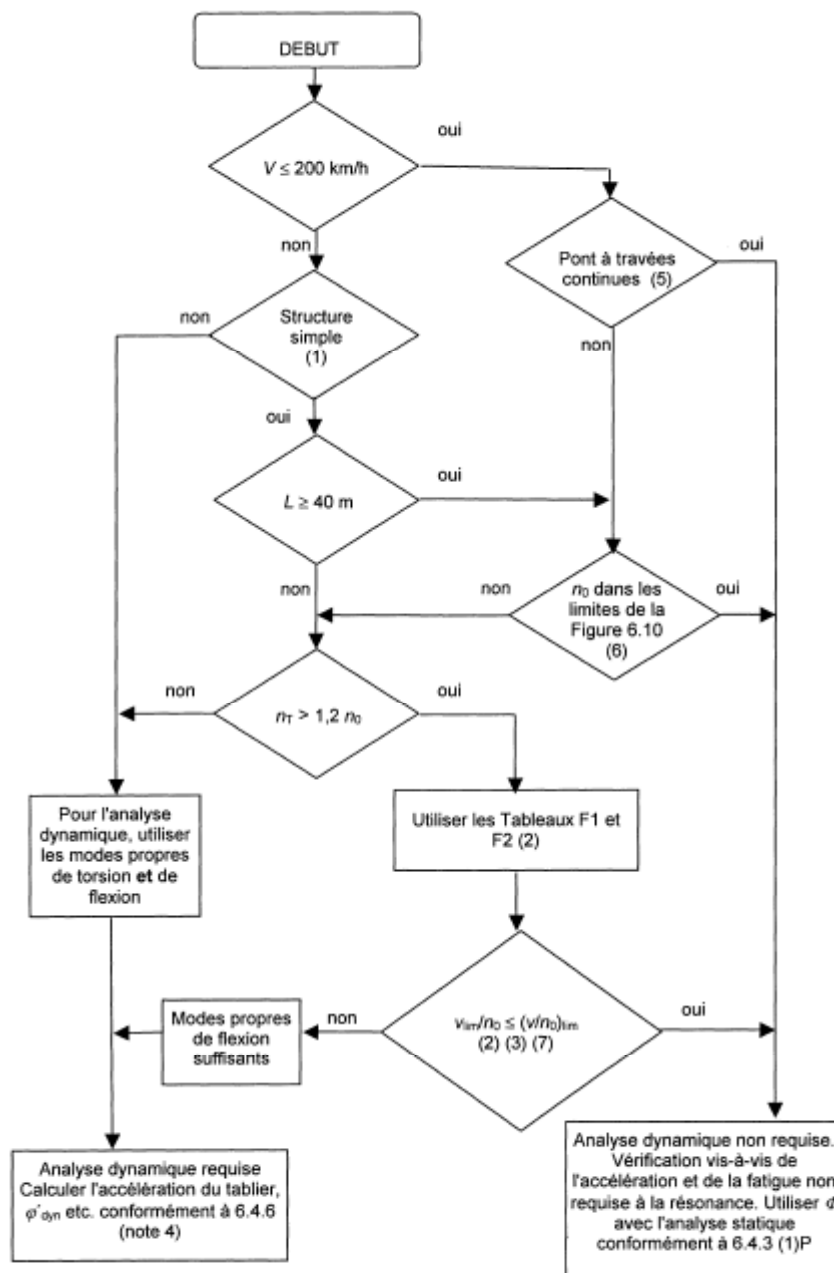
Aucun paramètre à modifier par l'utilisateur.

E.6 – DYNAMIQUE

Présentation

Une analyse statique doit être réalisée avec les modèles de charge LM71, SW/0 et SW/2 (et éventuellement le modèle de charge « train à vide »). Les résultats doivent être multipliés par le coefficient dynamique f_2 (qui est le coefficient dynamique applicable selon l'annexe nationale), et si nécessaire, le coefficient a .

Il s'agit ensuite de déterminer, à l'aide de l'organigramme fourni par l'EC1-2, si une analyse dynamique est nécessaire :



S'il s'avère qu'une analyse dynamique est nécessaire :

1. Les cas de charge additionnels pour l'analyse dynamique doivent être conformes au §6.4.6.1.2 de l'EC1-2.

Le §6.4.6.1.2 de l'EC1-2 stipule que « l'analyse dynamique doit être effectuée en utilisant les charges indiquées en 6.4.6.1.1 (1) et (2) et, le cas échéant, 6.4.6.1.1 (7). »

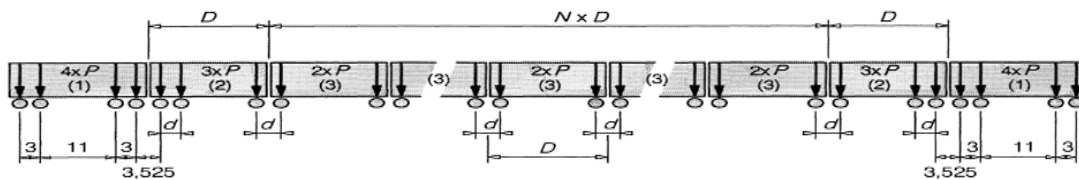
Selon 6.4.6.1.1 (1) : « l'analyse dynamique doit être effectuée en utilisant les valeurs caractéristiques des charges de trains réels spécifiées. Le choix des trains réels doit prendre en compte chacune des compositions de train autorisées ou envisagées pour chaque type de train à grande vitesse admis à, ou prévu pour, circuler sur l'ouvrage à des vitesses supérieures à 200km/h. »

Le paragraphe 6.4.6.1.1 (2) précise que l'analyse dynamique « doit également être effectuée à l'aide du modèle de charge HSLM sur les ponts conçus pour des lignes internationales lorsque des critères européens d'interopérabilité à grande vitesse sont applicables. »

Sur ces deux paragraphes, l'Annexe Nationale précise qu'en « l'absence d'indications de trains réels à prendre en compte pour l'analyse dynamique dans le cadre du projet individuel, il est conseillé d'effectuer cette analyse à l'aide du modèle de charge HSLM ». Qui plus est, il est « recommandé d'utiliser le modèle de charge HSLM, même en l'absence de critère d'interopérabilité pour la ligne concernée. »

Modèle HSLM-A

Le modèle de charge HSLM-A est défini de la façon suivante :



Légende

- (1) Motrice (motrice de tête et motrice de queue identiques)
- (2) Voiture d'extrémité (voiture de tête et voiture de queue identiques)
- (3) Voiture intermédiaire

Train représentatif	Nombre de voitures intermédiaires <i>N</i>	Longueur des voitures <i>D</i> [m]	Distance entre axes des essieux d'un bogie <i>σ</i> [m]	Force ponctuelle <i>P</i> [kN]
A1	18	18	2,0	170
A2	17	19	3,5	200
A3	16	20	2,0	180
A4	15	21	3,0	190
A5	14	22	2,0	170
A6	13	23	2,0	180
A7	13	24	2,0	190
A8	12	25	2,5	190
A9	11	26	2,0	210
A10	11	27	2,0	210

Figure 7 – Modèle HSLM-A

Modèle HSLM-B

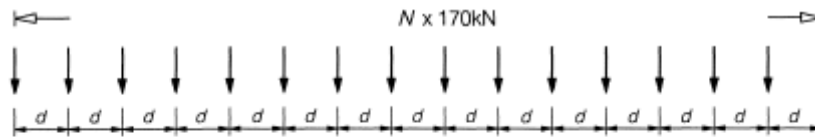
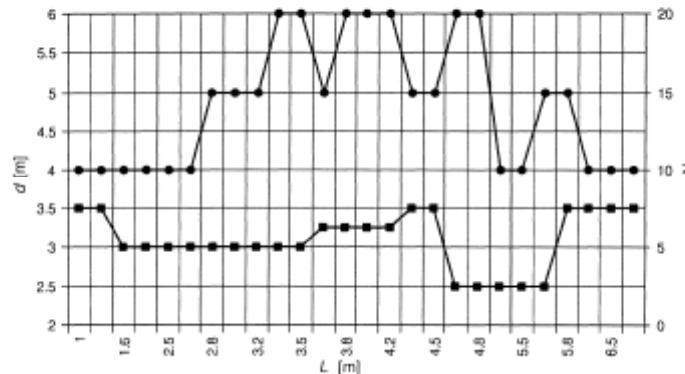


Figure 6.13 — HSLM-B



Il convient d'appliquer soit le modèle HSLM-A, soit le modèle HSLM- B en fonction des

Configuration de la structure	Portée	
	$L < 7$ m	$L \geq 7$ m
Travée sur appuis simples ^{a)}	HSLM-B ^{b)}	HSLM-A ^{c)}
Ouvrage continu ^{a)} ou Ouvrage complexe ^{a)}	HSLM-A Trains A1 à A10 compris ^{d)}	HSLM-A Trains A1 à A10 compris ^{d)}

a) Valable pour les ponts dont le comportement est assimilable à celui d'une poutre droite (sens longitudinal) ou d'une simple plaque, sur appuis fixes, avec effets de biais négligeables.
b) Pour les travées sur appui simples d'une portée inférieure à 7 m, l'analyse peut se faire en utilisant un train représentatif critique unique du modèle HSLM-B, tel qu'indiqué en 6.4.6.1.1(5).
c) Pour les travées sur appuis simples d'une portée supérieure ou égale à 7 m, l'analyse dynamique peut se faire en utilisant un train représentatif critique unique du modèle HSLM-A, comme indiqué à l'annexe E (ou bien on peut utiliser les trains représentatifs A1 à A10 inclus).
d) Il convient d'utiliser tous les trains A1 à A10 pour le calcul.
e) Tout ouvrage ne satisfaisant pas les critères de la Note a ci-dessus. Par exemple : ouvrage biais, ouvrage avec comportement en torsion significatif, ouvrage à poutres latérales avec modes de vibration du tablier et des poutres principales significatifs etc. De plus, il convient d'utiliser également HSLM-B pour les structures complexes avec modes de vibrations du tablier significatifs (ouvrages à poutres latérales à tabliers minces, par exemple).

NOTE L'Annexe Nationale ou le projet individuel peut spécifier des exigences complémentaires concernant l'application des modèles HSLM-A et HSLM-B aux ouvrages continus et aux ouvrages complexes.

critères du tableau suivant :

- l'accélération de pointe maximale du tablier doit être vérifiée conformément au §6.4.6.5 de l'EC1-2

Les résultats de l'analyse dynamique doivent être comparés aux résultats de l'analyse statique, multipliés par le coefficient dynamique. Les valeurs les plus défavorables doivent être utilisées pour le calcul du pont

Une vérification doit être effectuée comme indiqué au §6.4.6.6 de l'EC1-2 de manière à assurer que la charge de fatigue additionnelle aux grandes vitesses et à la résonance est couverte par la considération des contraintes dérivées des résultats de l'analyse statique multipliés par le coefficient dynamique ϕ .

Il convient de calculer tous les ponts pour lesquels la vitesse maximale de ligne au point considéré est supérieure à 200km/h ou qui nécessitent une analyse dynamique, pour les valeurs caractéristiques du modèle de charge 71 (et, si nécessaire, le modèle de charge SW/0) ou pour les charges verticales dites classifiées.

Dans le cas des trains de voyageurs, la prise en compte des effets dynamiques est valable pour des vitesses maximales autorisées du véhicule allant jusqu'à 350km/h.

Interprétation

Lorsqu'une analyse dynamique est nécessaire, l'utilisateur doit appliquer, en plus des charges de trains réels spécifiées par le projet, systématiquement le modèle de charge HSLM.

Toutefois, les analyses dynamiques ne sont généralement pas faites avec plus d'une voie chargée, compte tenu de la faiblesse de la probabilité d'occurrence et de phasage défavorable des signaux.

Pour ce qui est des trains réels, il est d'usage de remplacer les charges d'essieu ponctuelles par 3 charges espacées de 60cm (distance qui correspond à l'intervalle entre deux traverses), avec respectivement 25 %, 50 % et 25 % de la charge.

Implémentation en données de trafic

Un modèle de charge a été défini pour chacun des trains représentatifs. La commande ACTION DETERMINISTE a été utilisée.

Pour décrire les modèles de charge nécessaires pour réaliser une analyse dynamique, la pseudo-programmation a été utilisée.

Utilisation

Lorsque l'utilisateur souhaite faire appel à ces modèles, il est indispensable que le fichier appelant (fichier de surcharges) soit rédigé en pseudo-programmation (se référer au paragraphe correspondant dans le chapitre 2 de la notice de PCP), et non pas en langage natif.

Pour appeler l'un de ces modèles de charges, il suffit d'utiliser la commande LIRE. Le fichier de données devra se trouver dans le répertoire de l'affaire. Ils se nomment : **HSLM-A1.don**, **HSLM-A2.don**, **HSLM-A3.don**, ..., **HSLM-A10.don** et **HSLM-B.don**.

L'utilisateur doit impérativement définir les paramètres suivants dans le fichier appelant, et les positionner avant l'appel du fichier de données contenant le train représentatif :

- vitesse : vitesse maximale autorisée au point d'étude
- vit : 1,20*vitesse
- sens : sens de circulation du convoi ferroviaire. Prend la valeur 1 si le train circule dans le sens des abscisses croissantes, et -1 s'il circule dans le sens des abscisses décroissantes
- no_supp : numéro du support de charges
- pos_trans : positionnement transversal du modèle de charge

Si plusieurs modèles de train sont appelés dans un même fichier de définition de charges dynamiques, ces paramètres devront être définis juste avant l'appel du modèle, et ce pour chaque modèle (voir l'exemple dans la partie E.6).

Pour le modèle HSLM-B, l'utilisateur doit définir une variable nommée « portée » (en plus des variables définies précédemment) dont la valeur correspondra à la portée de l'ouvrage. Ainsi, le modèle de charge HSLM-B est généré automatiquement en fonction de ces informations.

E.7 – EXEMPLES D'UTILISATION

Voir l'affaire «*etude_ferrov*» (présente dans le répertoire affaires de PCP) pour un exemple complet de l'utilisation des charges ferroviaires.

Annexe F

Bibliographie

Les documents répertoriés ici sont présents dans le dossier « notice » du répertoire de PCP.

Conseils_methodologiques.pdf

Extrait de l'ancienne notice présentant des exemples d'affaires.

Dynamique_spectrale.pdf

Présentation méthodologique d'un calcul dynamique spectral au séisme et au vent.

Hypotheses_methodes.pdf

Extrait de l'ancienne notice présentant les hypothèses et les méthodes de calcul.

Plaquette.pdf

Plaquette du logiciel PCP présentant ses possibilités.

Resal_pcp.pdf

Document présentant le calcul automatique de correction d'effort tranchant par effet RESAL dans PCP.

these_pcp_florent_robert.pdf

Robert, F. (1999). Contribution à l'analyse non linéaire géométrique et matérielle des ossatures spatiales en Génie civil : Application aux ouvrages d'art. Thèse : génie civil. 250p.

Vent_turbulent_theorie.pdf

Notice scientifique présentant la théorie spectrale du calcul au vent turbulent.
