

CHAMOA – PSIDP

CHaîne Algorithmique Modulaire Ouvrages d'Art - Programme de calcul des ouvrages de type PSDP



Page laissée blanche intentionnellement

CHAMOA – PSIDP

CHaîne Algorithmique Modulaire

Ouvrages d'Art – Programme de calcul des
ouvrages de type PSIDP

La CHaîne Algorithmique Modulaire Ouvrages d'Art (ChamoA) a été développée sous le pilotage de la DTecITM par :

Gaël Bondonet (Sétra/CTOA)
Julien Cabut (DREIF/DOAT)
Eric Chasco (Cété du Sud-Ouest/DOA)
Renaud Légliise (Cété Nord Picardie/DOA)
Angel-Luis Millan (Sétra/CTOA)
Pierre Paillusseau (Cété du Sud-Ouest/DOA)
Claude Favrel (Cété de l'Est/DOA)

Et validé avec l'appui de :

Jean-Bernard Humeau (Cété de Nantes/DOA)
Benoît Poulin (Cété de Nantes/DOA)
Pierre Perrin (Sétra/CTOA)

L'application est désignée sous le sigle "CHAMOA" pour Chaîne Algorithmique Modulaire de calcul des Ouvrages d'Art. Ce nom et ce sigle ont été déposés à l'Institut National de la Propriété Industrielle dans les classes suivantes :

9 : logiciels (programmes enregistrés)
42 : programmation pour ordinateur.

Toute représentation ou reproduction, intégrale ou partielle de cette documentation et/ou du logiciel, faite sans le consentement du Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire est illicite (loi du 11 mars 1957, alinéa 1er de l'article 40).

Sommaire

Avant-propos	6
Chapitre 1 – Conception générale des ouvrages de type PSIDP	7
Chapitre 2 – Méthode de calcul en application des Eurocodes des ouvrages de type PSIDP	9
1 - Présentation du programme	9
2 - Actions prises en compte	10
3 - Calculs de structure et Modélisation	10
4 - Optimisations	20
5 - Principes de justifications	22
Chapitre 3 – Description des données nécessaires au calcul d'un ouvrage de type PSIDP	29
6 - Description des données	29
7 - Données administratives	30
8 - Géométrie de l'ouvrage.....	31
9 - Charges permanentes	35
10 - Actions variables hors trafic.....	40
11 - Charges d'exploitation	41
12 - Matériaux et critères réglementaires	45
Chapitre 4 – Note de calculs commentée	51
13 - Description de l'exemple d'application d'un ouvrage de type PSIDP	52
14 - Introduction à la note de calculs commentée	62
15 - Fichiers de données bruts	63
16 - Note de calculs commentée.....	66
17 - Fichiers intermédiaires de calcul des efforts	106
Annexes	134
18 - Annexes génériques.....	134
19 - Optimisation d'un câblage filant par l'Algorithme du simplexe	134

Avant-propos

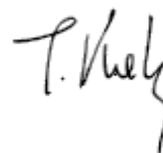
La CHaîne Algorithmique Modulaire Ouvrages d'Art (Chamoa) est destinée à justifier les ouvrages courants conformément aux règles Eurocodes. Ce projet s'inscrit dans la continuité des programmes de ponts types du Sétra qui ont permis de justifier plusieurs milliers d'ouvrages courants depuis les premiers programmes des années 1970.

Compte tenu des fortes modifications apportées par les normes européennes, cette chaîne est entièrement nouvelle.

Cette première version constitue un prototype. A ce titre elle se limite aux ouvrages les plus courants que sont les ponts cadres et portiques de type PICF et PIPO et les ponts dalles de hauteur constante de type PSIDA et PSIDP.

Elle permet de calculer les ouvrages et d'en dimensionner les éléments résistants principaux (ferraillage, précontrainte, optimisation de la géométrie des éléments de structure). Elle fournit les justifications détaillées conformes aux règles de l'Eurocode de toutes les parties de l'ouvrage. Elle ne permet pas, dans cette première version, de proposer des principes détaillés de ferraillage, ce qui fera l'objet de développements ultérieurs, notamment de dessin.

Thierry Kretz



Chef du Centre
des Techniques d'ouvrages d'art
du Sétra

Chapitre 1 – Conception générale des ouvrages de type PSDIP

La conception des ponts types a fait l'objet de nombreuses publications du Sétra depuis la fin des années 1970.

Les versions les plus récentes des guides ont été publiées dans les années 1980, après la parution des règlements aux États Limites (BAEL et BPEL).

Les guides de conception traitent :

- d'une présentation générale (morphologie de la structure, domaine d'emploi) en situant la structure parmi la panoplie des ouvrages courants
- de conception générale, permettant de fixer les options principales de l'ouvrage (implantation, géométrie générale, disposition des appuis, des murs et de leurs fondations, variantes constructives, esthétique).
- de conception détaillée, permettant de fixer les dimensions de détail des différentes parties d'ouvrage, de préciser les options de ferrailage ou de câblage, de faire les choix pour les équipements et superstructures,
- un chapitre sur l'exécution et sur la pathologie de la structure, complète le guide.

Les guides de calcul sont assortis au programme de pont type. La dernière version est le guide associé au programme PSDIP-EL.

Il est encore trop tôt pour connaître l'impact des Eurocodes sur le dimensionnement général des ouvrages. Les règles de prédimensionnement contenues dans les guides de conception peuvent être considérées comme valables.

Pour les ouvrages de type PSDIP les documents suivants pourront être utilisés :

- [1] Ponts dalles - Guide de conception (SETRA - 1989 - F. 8926)
- [2] Dossier pilote Piles et Palées (PP73). (SETRA - 1974)

Chapitre 2 – Méthode de calcul en application des Eurocodes des ouvrages de type PSDIP

1 - Présentation du programme

Le Programme permet le calcul des ponts routes et passerelles aux **Eurocodes de type ponts dalles en béton précontraint**.

- Les ouvrages sont supposés à une seule chaussée (sans terre-plein central) et calculés pour un biais entre 70 et 100 grades.
- Les phases d'exploitation possibles sont :
 - Phase définitive (toujours définie), c'est la phase où l'ouvrage est en service avec son profil en travers final.
 - Phase provisoire (optionnelle), c'est la phase où l'ouvrage peut avoir un profil en travers spécifique et où circulent des charges spécifiques (généralement phase chantier où la structure de l'ouvrage est terminée avec circulation de dumpers sur une chaussée réduite).
 - Phase d'exécution, le cas échéant (mise en tension de câbles par exemple pour un PSDIP).

Le programme calcule les efforts en flexion longitudinale et transversale en travée. Il justifie l'ouvrage en flexion et à l'effort tranchant. Il calcule automatiquement les quantités d'aciers passifs.

Les épaisseurs peuvent être vérifiées ou dimensionnées par le programme.

Les options ou restrictions suivantes peuvent être rencontrées :

- la précontrainte peut être vérifiée ou dimensionnée
- la dalle peut avoir ou non des encorbellements
- le calcul des zones d'about n'est pas traité
- le poinçonnement des appareils d'appuis n'est pas traité

2 - Actions prises en compte

2.1 - Actions permanentes

2.1.1 - Actions communes

Les charges prises en compte sont :

- le poids propre et la précontrainte (le phasage de construction est pris en compte)
- les charges de superstructures (chaussée, étanchéité, trottoir, réseau, bande de chargement, dalles de transition le cas échéant)
- les charges permanentes variables :
 - *Température (dilatation et gradient) : en flexion longitudinale seulement (faute de méthode).*
 - *Retrait, Fluage du béton et Relaxation de la précontrainte).*

2.1.2 - Tassements d'appuis

- Pour les Ponts dalles, il faut tenir compte d'une autre action permanente variable, les tassement d'appuis

Les tassements d'appuis sont décrits par deux types de tassement par ligne d'appui. EN1990 Annexe A2 §A2.2.1 (17)

- les tassements probables T_{pj} de chaque ligne d'appui j
- les tassements aléatoires $\pm T_{aj}$ de chaque ligne d'appui j

Pour prendre en compte le tassement, il faut prendre en compte :

- le tassement probable T_{pj} simultanément de toutes les lignes d'appuis j
- toutes les combinaisons simultanées de tassements aléatoires $\pm T_{aj}$ pour 2 lignes d'appuis j
- Ainsi si on a n appuis, on considère 2 lignes d'appuis distinctes i et $j=i+1$. On prend l'enveloppe de l'effet des tassements de ces 2 appuis ($\pm T_{ai}$; $\pm T_{aj}$) et on balaye l'ensemble des appuis $i=1$ à $n-1$ pour avoir l'enveloppe des tassements aléatoires. En effet on peut se contenter d'étudier 2 appuis successifs car ils donnent les effets les plus défavorables.

2.2 - Charges d'exploitation mobiles

Les charges prises en compte sont celles des Eurocodes et du fascicule 61, titre II. Les charges exceptionnelles D et E de l'Annexe Nationale de l'Eurocode 1991-2 (circulaire 20 juillet 83 sur les transports exceptionnels) peuvent être prises en compte ou peuvent être directement définies par l'utilisateur.

3 - Calculs de structure et Modélisation

3.1 - Modélisation des dalles

Le pont dalle est modélisé selon ses portées biaises avec les caractéristiques de la section droite du tablier, c'est-à-dire normalement à l'axe de circulation de l'ouvrage. Les abouts sont modélisés.

Les appuis sont simples et ponctuels.

La section droite du tablier peut être rectangulaire, avec chanfreins symétriques, avec encorbellements symétriques ou dissymétriques.

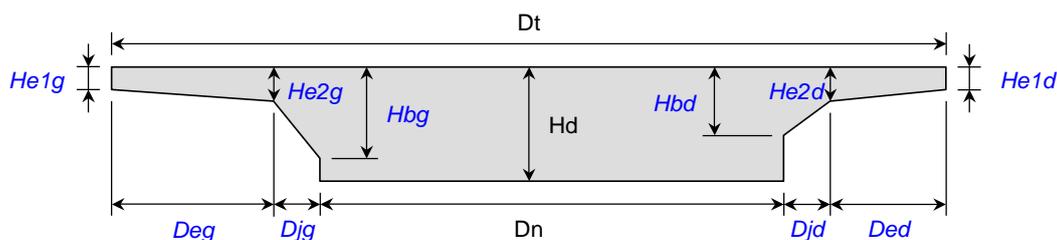


Figure 1 – Description d'une dalle

Pour le PSIDA, la coupe transversale du tablier est constante et peut comporter des encorbellements modérés, qui doivent respecter à droite et à gauche :

- $(Deg+Djg)/Dt \leq 1/6$ et $(Ded+Djd)/Dt \leq 1/6$
- $Deg+Dgj \leq 2.00$ m et $Ded+Dgd \leq 2.00$ m

Pour le PSIDP, on peut accepter des encorbellements plus importants que pour le PSIDA. Les encorbellements doivent respecter à droite et à gauche :

- $(Deg+Djg)/Dt \leq 1/4$ et $(Ded+Djd)/Dt \leq 1/4$

3.2 - Diffusion des charges mobiles

Sur le tablier, les charges mobiles de type camion (non répartie) sont diffusées à travers la chaussée et le remblai et la demi épaisseur du tablier en flexion longitudinale (calcul des coefficients de répartition transversale dans les 2 directions, et uniquement dans la direction longitudinale dans l'analyse structurale ST1) et dans les 2 directions en flexion transversale. Il n'y a pas de limitation de la largeur de diffusion en fonction de la largeur de l'ouvrage.

3.3 - Modélisation des dalles de transition

Les dalles de transition peuvent être prises en compte, les charges d'exploitation appliquées sur l'ouvrage sont alors appliquées aux dalles de transition, celles-ci sont donc dimensionnées en conséquence et le ferrailage peut être plus important que le ferrailage type des anciens dossiers pilotes qui correspondait à un dimensionnement sous charge civiles A et B. Puisque les dalles de transition sont dimensionnées en fonction du niveau de charges, il n'y a pas lieu dans ce cas de faire un calcul avec une dalle de transition fissurée, comme c'est le cas habituellement pour les culées de ponts.

La dalle de transition prend comme référence la chaussée du profil en travers définitif pour définir la largeur de dalle. Les calculs des coefficients de répartition transversale Guyon et les moments transversaux sont fait en tenant compte de la diffusion des charges à travers la chaussée, la couche de forme et la demi épaisseur de la dalle de transition. Pour le calcul ST1 de flexion longitudinale, la diffusion à travers la chaussée seule est prise en compte comme sur l'ensemble du tablier.

3.4 - Tracé de la précontrainte

Le tracé du conduit est supposé donné (valeurs éventuellement fournies en entrée), le tracé de câbles de précontrainte dans le conduit est calculé à partir du tracé du conduit en tenant compte de la différence de diamètres et des rayons de courbures en élévation imposées sur le tracé. Pour le dimensionnement, le tracé du conduit est calculé à partir du tracé du câble et est fourni en sortie.

3.5 - Modélisation des ouvrages avec encorbellements

Pour les traverses des PIPO, PICF, POD, et la plupart des PSIDA, les sections droites des ouvrages sont quasi rectangulaires et chaque travée peut être modélisée sous forme d'une dalle unique isotrope de largeur égale à la largeur totale et de même inertie de flexion globale. Le modèle « Guyon » sera donc constitué d'une dalle isotrope ($\alpha = 1$), avec :

$$\rho_p = \frac{EI}{1-\nu^2} \quad I = \frac{I_{total}}{2b_d}$$

Dans ce cas, la modélisation du dossier **PSIDPEL** consiste à raisonner sur une dalle rectangulaire « équivalente » de même inertie totale et de même épaisseur. Toutefois, aucun détail n'est donné sur le comportement du programme lorsque la dalle équivalente est de largeur très inférieure à la largeur réelle.

En flexion longitudinale, les dalles sont modélisées par des dalles rectangulaires de même largeur et d'inertie équivalente, donc y compris les encorbellements.

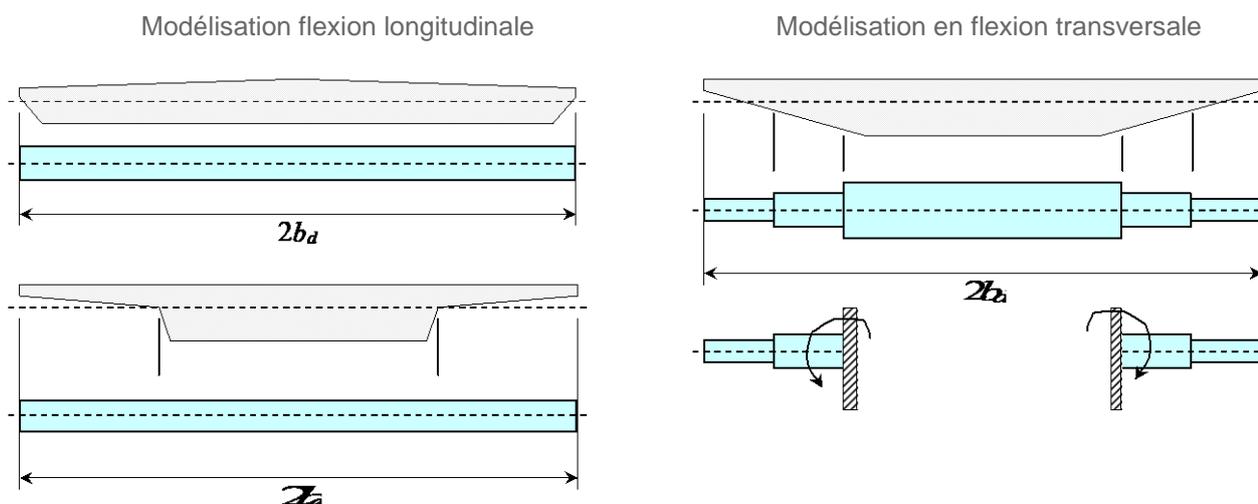


Figure 2 – Modélisation des dalles

En flexion transversale, le composant détermine s'il y a lieu de considérer ou non un encorbellement en fonction de sa géométrie pour les PSIDA et les PSIDP. Lorsque l'encorbellement est suffisamment grand, l'encorbellement est modélisé en un ou plusieurs tronçons, un calcul de flexion transversale est réalisé en supposant que l'encorbellement est encastré et les efforts sont fournis à l'encastrement.

Pour les justifications, il suffit d'appliquer les règles du guide du PSIDP et tenir compte de la hauteur d'encastrement efficace h_c selon la géométrie de l'encorbellement (voir Figure 3), c'est-à-dire que l'on limite la hauteur h au niveau du bandeau en diffusant avec une pente de 1 en vertical et 3 en horizontal à partir de la hauteur h_e au niveau du changement d'angle :

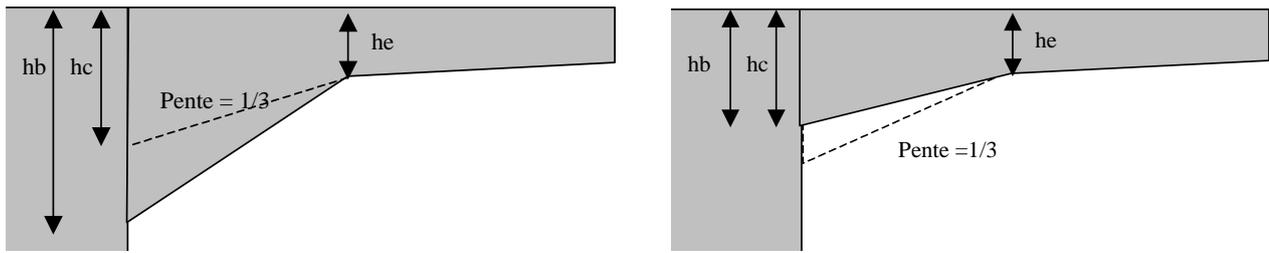


Figure 3 – Hauteur d'encastrement h_c de l'encorbellement prise en compte pour la justification par rapport à la hauteur réelle h_b du bandeau

3.6 - Calcul des efforts dans les directions de ferrailage pour les ouvrages en BA (flexion simple) (Annexe 12A du BPEL)

3.6.1 - Efforts dans les directions de calculs

Le **calcul de la flexion longitudinale** est fait selon la flexion longitudinale biaise géométrique (et non mécanique), avec ST1. Aucune autre correction n'est appliquée du fait du biais réel.

Comme dans les ponts types actuels, pour une position d'étude longitudinale fixée, est calculé l'effet le plus défavorable de la répartition transversale pour chaque point d'étude transversal et pour la charge considérée. Le cumul de l'effet maximum des différentes charges est ensuite effectué permettant de calculer le ferrailage nécessaire correspondant.

Le **calcul de flexion transversale** est fait selon l'annexe 12 du BPEL de la manière simplifiée suivante : le calcul des moments dans les directions des aciers est effectué à partir des moments principaux M_X et M_Y équivalents obtenus directement et définis comme suit :

- M_X est le moment de flexion longitudinale selon la direction biaise géométrique (c'est celui calculé pour la flexion longitudinale avec ST1) .
- M_Y est le moment de Guyon Massonnet défini pour la dalle mécanique équivalente.

Pour le dimensionnement, ce principe est conservé. Le moment M_X maximal et le moment M_Y maximal sont évalués (la position des charges est généralement différente pour l'obtention des 2 maximums), charge par charge, c'est-à-dire LM1, LM2, etc. séparément. Les efforts M_X et M_Y sont le résultat des enveloppes pondérées et combinées des charges permanentes et des charges d'exploitation. Les moments dans la direction des aciers 1 et 2 sont calculés à partir de ces efforts pondérés.

3.6.2 - Application de l'annexe 12 du BPEL

Les justifications des sections en calcul Béton Armé sont conduites après application des formules de l'annexe 12A du BPEL et dossier pilote CED 66 au § 4.2 de la pièce 1.8 qui permettent le calcul des moments avant fissuration M_1, M_2, M_t et après fissuration M_1, M_2, M_b .

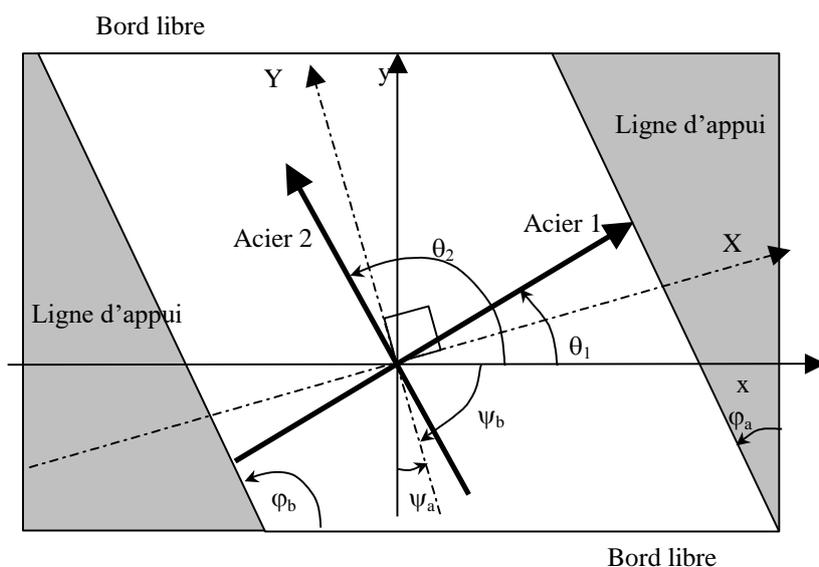


Figure 4 – Représentation conventionnelle avec angles positifs

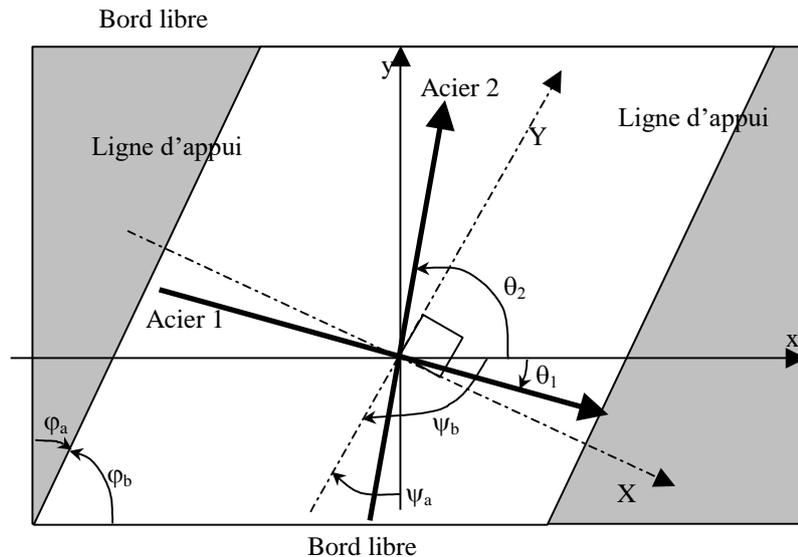


Figure 5 – Application aux cas de Chamoa

- Soit φ_a le biais géométrique de l'axe de la dalle par rapport au bord libre.
- Soit φ_b le biais géométrique des piedsroits par rapport au bord libre. (c'est l'angle φ présenté précédemment)
- Soit ψ_a le biais mécanique des directions principales par rapport à la normale au bord libre
- Soit ψ_b le biais mécanique des directions principales par rapport au bord libre

En général :

Les aciers longitudinaux sont placés soit selon la direction biaisée Ox ($\theta_1=0$), soit selon la direction normale aux lignes d'appui ($\theta_1=\varphi_a$).

Les aciers transversaux sont placés soit selon la direction parallèle aux lignes d'appui ($\theta_2=\pi/2+\varphi_a$), soit selon la normale au bord libre ($\theta_2=\pi/2$).

On peut déterminer à partir du torseur d'efforts (M_{xx}, M_{yy}, M_{xy}) en un point, le torseur dans les directions principales (M_X, M_Y, ψ_b).

$$M_X = \frac{M_{xx} + M_{yy}}{2} + \sqrt{\left(\frac{M_{xx} - M_{yy}}{2}\right)^2 + M_{xy}^2} \quad M_{xx} = M_X \cos^2 \psi_b + M_Y \sin^2 \psi_b$$

$$M_Y = \frac{M_{xx} + M_{yy}}{2} - \sqrt{\left(\frac{M_{xx} - M_{yy}}{2}\right)^2 + M_{xy}^2} \quad M_{yy} = M_X \sin^2 \psi_b + M_Y \cos^2 \psi_b$$

$$tg(2\psi_b) = \frac{2M_{xy}}{M_{xx} - M_{yy}} \quad M_{xy} = (M_X - M_Y) \sin \psi_b \cos \psi_b$$

En pratique ψ_b est obtenu de manière approchée par les équations définies au paragraphe §Biais mécanique.

A partir des torseurs précédents, 2 calculs sont présentés :

- un **calcul des efforts dans les directions 1 et 2 des aciers en supposant le comportement avant fissuration**, on en déduit le torseur (M_{1AVF}, M_{2AVF}, M_t moment de torsion dans la direction β , angle

caractérisant la face tendue du béton avant fissuration supposé dans un état de cisaillement simple, Cf. CED 66).

- un **calcul des efforts dans les directions 1 et 2 des aciers en supposant le comportement après fissuration**, on en déduit le torseur (M_{1APF} , M_{2APF} , M_b moment de torsion dans la direction β , angle caractérisant la face tendue du béton après fissuration supposée dans un état de compression simple, Cf. CED 66).

Pour le calcul avant fissuration, on a :

$$M_{1AVF} = \frac{1}{\sin(\theta_1 - \theta_2)} \left[M_x \sin(\psi_b - \theta_2) \cos(\psi_b - \theta_1) - M_y \sin(\psi_b - \theta_1) \cos(\psi_b - \theta_2) \right]$$

$$M_{2AVF} = \frac{1}{\sin(\theta_1 - \theta_2)} \left[M_y \sin(\psi_b - \theta_2) \cos(\psi_b - \theta_1) - M_x \sin(\psi_b - \theta_1) \cos(\psi_b - \theta_2) \right]$$

$$M_{t\beta} = M_x \sin(\psi_b - \theta_1) \sin(\psi_b - \theta_2) + M_y \cos(\psi_b - \theta_1) \cos(\psi_b - \theta_2)$$

ou

$$M_{1AVF} = \frac{1}{\sin(\theta_1 - \theta_2)} \left[-M_x \cos(\theta_1) \sin(\theta_2) + M_y \sin(\theta_1) \cos(\theta_2) + M_{xy} \cos(\theta_1 + \theta_2) \right]$$

$$M_{2AVF} = \frac{1}{\sin(\theta_1 - \theta_2)} \left[M_x \sin(\theta_1) \cos(\theta_2) - M_y \cos(\theta_1) \sin(\theta_2) - M_{xy} \cos(\theta_1 + \theta_2) \right]$$

$$M_{t\beta} = M_x \sin(\theta_1) \sin(\theta_2) + M_y \cos(\theta_1) \cos(\theta_2) - M_{xy} \sin(\theta_1 + \theta_2)$$

Contrainte de cisaillement en torsion en fonction de l'épaisseur h de la dalle en ce point :

$$\tau_{b\beta} = \frac{6 M_{t\beta}}{h^2}$$

On notera du fait de la résistance du béton à la torsion pure que l'on a alors :

$$M_{1AVF} + M_{2AVF} = M_x + M_y = M_X + M_Y$$

Pour le calcul après fissuration, on a :

$$M_{1APF} = M_{1AVF} + \frac{M_{b\beta}}{2}$$

$$M_{2APF} = M_{2AVF} + \frac{M_{b\beta}}{2}$$

$$\text{Si } \frac{M_{t\beta}}{M_x} > 0, \quad M_{b\beta} = \frac{M_{t\beta}}{\sin^2\left(\frac{\theta_1 - \theta_2}{2}\right)} \quad \text{Si } \frac{M_{t\beta}}{M_x} < 0, \quad M_{b\beta} = -\frac{M_{t\beta}}{\cos^2\left(\frac{\theta_1 - \theta_2}{2}\right)}$$

On notera que l'on a alors :

$$M_{1APF} + M_{2APF} = M_x + M_y + M_{b\beta}$$

Le calcul avant fissuration permet de déterminer les directions optimales pour placer les aciers 1 et 2 à partir des efforts des combinaisons ELS. **Ce paragraphe n'a donc pas pour but de conduire aux calculs des**

justifications à l'ELS, mais simplement de déterminer la direction optimale des aciers et obtenir les efforts pour le calcul ELU suivant. Les résultats du calcul ELU serviront eux à justifier les aciers.

Le placement optimal des aciers est obtenu en minimisant la torsion, soit :

$$M_{t\beta} = 0$$

Les configurations qui permettent de vérifier ce critère sont :

$$\theta_1 = \psi_b; \quad \theta_2 = \psi_b + \frac{\pi}{2} \text{ (armatures disposées selon les directions principales des moments)}$$

en pratique armature longitudinale selon la direction droite ($\theta_1 = \rho_a$).

$$\theta_1 = 0; \quad \text{tg}(\theta_2) = \frac{M_y}{M_{xy}} \text{ (armature longitudinale selon le biais } (\theta_1=0).)$$

Ainsi pour déterminer les aciers transversaux, on retient le calcul après fissuration à l'ELU, celui-ci étant obtenu à partir des efforts ELU avant fissuration avec un coefficient de poisson nul ($\nu = 0$).

3.7 - Prise en compte des efforts pour le calcul des ferrailages pour les ouvrages en BP

Les règles du guide « Ponts Dalles Précontraints d'inertie constante - Programme de calcul PSIDPEL » - SETRA-octobre 1985-p80-81 sont prises en compte pour ramener les efforts des directions de calcul aux directions de ferrailage.

En effet, l'annexe 12 du BPEL ne prend pas de façon appropriée l'effort normal, puisqu'elle détermine l'angle de fissuration avant la fissuration sans tenir compte de l'effort normal, mais l'intègre uniquement après fissuration.

Cette partie s'applique aux aciers transversaux et applique éventuellement une correction aux aciers longitudinaux de la nervure d'un PSIDP dans le cas d'ouvrage à larges encorbellements. Les encorbellements des PSIDP sont eux calculés en Béton armé selon l'annexe 12 du BPEL présentée précédemment.

3.7.1 - Efforts dans les directions de calculs

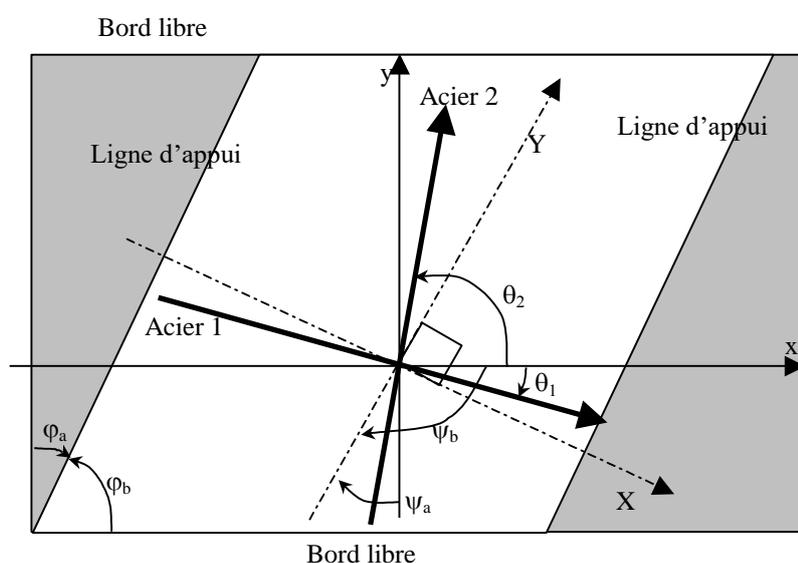


Figure 6 – Définition des directions de ferrailage

Calcul des efforts (M, N) selon chaque direction de calcul pour toutes les phases (Mise en tension, Combinaisons ELS et ELU)

Direction de flexion (perpendiculaire facette)	Moment Flexion	Effort normal
O_x : Longitudinale mécanique	M_x	$N.\sin^2(\psi_b)$
O_y : Transversale mécanique	M_y	$N.\cos^2(\psi_b)$
O_y : Transversale et perpendiculaire au bord libre	$M_x.\cos^2(\psi_b)+M_y.\sin^2(\psi_b)$	0

ψ_b est obtenu de manière approchée par les équations définies au paragraphe § Biais mécanique dans les annexes génériques.

NB: en flexion transversale, les effets maximaux en travée sont obtenus :

Pour la fibre inférieure : N_{\min}

Pour la fibre supérieure : N_{\max}

3.7.2 - Section d'aciers dans les directions de calculs

Les sections d'aciers résultent d'un calcul de béton armé en flexion composée dans chaque direction de calcul , soient :

- A_X est la section d'acier dans la direction OX avec les efforts présentés dans le tableau précédent,
- A_Y est la section d'acier dans la direction OY avec les efforts présentés dans le tableau précédent,
- A_{y0} est la section d'acier dans la direction Oy avec les efforts présentés dans le tableau précédent.

3.7.3 - Section d'aciers dans les directions de ferrailage

A partir des calculs des sections d'acier calculés A_X , A_Y et A_{y0} , les conditions à vérifier sur les aciers dans chaque direction de calcul A_1 (acier longitudinal) et A_2 (transversaux) sont :

- En option 1 (aciers longitudinaux parallèles aux bords libres, transversaux parallèles aux lignes d'appui) :

$$A_2 \sin^2(\varphi_b) \geq A_{y0}$$

$$A_2 \cos^2(\varphi_b - \psi_b) + A_1 \cos^2 \psi_b \geq A_Y$$

$$A_2 \sin^2(\varphi_b - \psi_b) + A_1 \sin^2 \psi_b \geq A_X$$

On calcule les aciers transversaux A_2 en supposant A_1 connu (calcul de flexion longitudinale déjà fait au stade du calcul des aciers transversaux) :

$$A_{2ref} = \max \left(A_{y0} / \sin^2(\varphi_b); \frac{A_Y - A_1 \cos^2 \psi_b}{\cos^2(\varphi_b - \psi_b)} \right)$$

si $\varphi_b \neq \psi_b$, on calcule $A_{2bis} = \min \left(\frac{A_X - A_1 \sin^2 \psi_b}{\sin^2(\varphi_b - \psi_b)}; 2.A_{2ref} \right)$, sinon $A_{2bis} = 2.A_{2ref}$

La quantité d'acier transversaux mis en oeuvre est :

$$A_2 = \max(A_{2bis}; A_{2ref})$$

si $\frac{A_X - A_1 \sin^2 \psi_b}{\sin^2(\varphi_b - \psi_b)} \geq 2.A_{2ref}$, ce qui correspond au fait que $A_2 = \max(A_{2bis} = 2.A_{2ref}; A_{2ref}) = 2.A_{2ref}$ alors

on augmente les aciers longitudinaux selon la quantité d'acier A_2 mise en oeuvre :

$$A_1 = \frac{A_X - 2 * A_{2ref} \sin^2(\varphi_b - \psi_b)}{\sin^2(\psi_b)}$$

- En option 2 (aciers longitudinaux parallèles aux bords libres, transversaux perpendiculaires aux bords libres) :

$$A_2 \sin^2\left(\frac{\pi}{2}\right) \geq A_{y0}$$

$$A_2 \cos^2 \left(\frac{\pi}{2} - \psi_b \right) + A_1 \cos^2 \psi_b \geq A_y$$

$$A_2 \sin^2 \left(\frac{\pi}{2} - \psi_b \right) + A_1 \sin^2 \psi_b \geq A_x$$

On calcule les aciers transversaux A_2 en supposant A_1 connu (calcul de flexion longitudinale déjà fait au stade du calcul des aciers transversaux) :

$$A_{2ref} = \max \left(A_{y0}; \frac{A_y - A_1 \cos^2 \psi_b}{\cos^2 \left(\frac{\pi}{2} - \psi_b \right)} \right)$$

si $\psi_b \neq \frac{\pi}{2}$, on calcule $A_{2bis} = \min \left(\frac{A_x - A_1 \sin^2 \psi_b}{\sin^2 \left(\frac{\pi}{2} - \psi_b \right)}; 2.A_{2ref} \right)$, sinon $A_{2bis} = 2.A_{2ref}$

La quantité d'acier transversaux mis en oeuvre est :

$$A_2 = \max (A_{2bis}; A_{2ref})$$

si $\frac{A_x - A_1 \sin^2 \psi_b}{\sin^2 \left(\frac{\pi}{2} - \psi_b \right)} \geq 2.A_{2ref}$, ce qui correspond au fait que : $A_2 = \max (A_{2bis} = 2.A_{2ref}; A_{2ref}) = 2.A_{2ref}$ alors

on augmente les aciers longitudinaux selon la quantité d'acier A_2 mise en oeuvre :

$$A_1 = \frac{A_x - 2 * A_{2ref} \sin^2 \left(\frac{\pi}{2} - \psi_b \right)}{\sin^2 (\psi_b)}$$

4 - Optimisations

4.1 - Dimensionnement de la précontrainte

Pour les ouvrages de types PSIDP, l'épaisseur H_d de la nervure est supposée fixée et la précontrainte peut être calculée automatiquement (on vérifie que les contraintes en fibre inférieure et supérieure dans le béton ne dépassent les contraintes admissibles pour les différents états limites pour la géométrie spécifiée). L'utilisateur doit simplement définir le système de précontrainte, c'est-à-dire le type de câble (géométrie de la section droite) et les caractéristiques mécaniques de la précontrainte (recul d'ancrage, coefficients de pertes, etc.). Il est possible de définir deux mises en tensions des câbles, ce qui permet de tendre plus tôt la première série de câble, puisque l'effort appliqué sur le béton à cette première mise en tension est plus faible, donc nécessite des caractéristiques de résistance de béton plus faible, permettant de tendre les câbles à un plus jeune âge du béton. Dans ce cas, il faut définir la fraction de câble tendue dans la première phase de mise en tension (généralement 60%). Une annexe traite en détail du calcul de la précontrainte.

On rappelle que les paramètres fondamentaux pour le dimensionnement de la précontrainte sont :

- la hauteur de la nervure : elle permet de gagner du bras de levier, par contre elle augmente le poids propre.
- la mise en œuvre de larges encorbellements pour les ouvrages de portées importantes (>22m) : cela peut permettre d'alléger l'ouvrage.
- la date théorique de mise en tension qui dicte la valeur de contrainte de résistance (compression et traction) dans le béton à atteindre pour la mise en tension. Rappel : la date réelle peut être différente de la date théorique à partir du moment où la résistance dans le béton est supérieure à la résistance théorique de calcul,

et dans une moindre mesure :

- la valeur de mise en tension (cela peut intervenir sur la limitation de la précontrainte à l'ELS caractéristique, en particulier dans la combinaison de Précontrainte minimale à l'infini : dans ce cas, il suffit de réduire dans la même proportion la valeur de mise en tension),
- le fractionnement ou non de la mise en tension.

4.2 - Dimensionnement des encorbellements

Dans le cas où des encorbellements sont présents et de longueurs suffisantes pour être sollicités de manière importante, une optimisation est effectuée si les épaisseurs proposées ne sont pas adaptées. Ce calcul est découplé du calcul de flexion longitudinale puisque l'encorbellement est calculé en béton armé en assimilant l'encorbellement à une dalle encastrée sur un côté et d'inertie variable. La procédure d'optimisation augmente progressivement la hauteur H_e au changement d'angle et impose une pente de 1/3 pour déterminer la hauteur de bandeau H_b sans toutefois dépasser la hauteur de la nervure H_d .

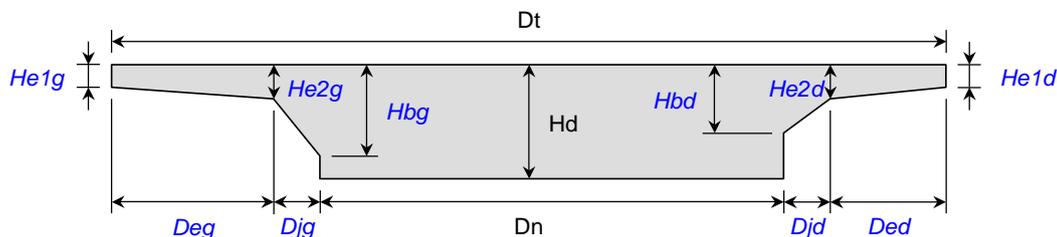


Figure 7 – Coupe transversale des ponts dalles

5 - Principes de justifications

Les justifications de sections sont réalisées à partir des enveloppes d'état limites (voir document Annexes Génériques). Les lois de comportement des matériaux constitutifs des parties d'ouvrage sont prises en compte pour évaluer les grandeurs (efforts résistants, contraintes, déformations, ...) faisant l'objet d'un état limite.

Le principe des vérifications consiste à effectuer les justifications sous sollicitations normales, en flexion longitudinale et en flexion transversale, ainsi que les justifications sous sollicitations tangentes. Les critères de justification sont rappelés pour chaque type d'état limite et pour chaque type de justification.

Le respect de l'ensemble des critères d'état limites permet de dimensionner les sections d'aciers passifs ou actifs dans le mode projecteur.

5.1 - Sollicitations normales

5.1.1 - Flexion longitudinale

Les moments fléchissants et les efforts normaux, issus du calculateur de structure (ST1), servent de base aux justifications sous sollicitations normales. Il est nécessaire de tenir compte de la fissuration du béton, pour les états limites pour lesquels le béton est fissuré, ce qui est réalisé simplement par la prise en compte du décalage des moments fléchissants (voir document Annexes Génériques).

Dimensionnement à la flexion

Pour les dalles précontraintes, le tablier relève des règles de béton précontraint. Les dalles de transitions éventuelles de règles de béton armé.

Béton armé

Chamoia détermine la quantité d'acier nécessaire pour équilibrer les efforts qui sont appliqués à la section (ELS et ELU). Les courbes de matériaux sont définies dans la partie document Annexes Génériques. Le calcul est effectué en section fissurée.

Les sections de dimensionnement prises en compte sont les suivantes :

- Tablier : Largeur droite ($Larg_d$) et épaisseur dalle

Béton précontraint

Chamoa effectue un dimensionnement des aciers passifs à l'ELU et à chacune des dates de phasage. Les dates de dimensionnement sont les suivantes :

- Mise en tension partielle (si la phase existe)
- Mise en tension totale
- Mise en service provisoire (si la phase existe)
- Mise en service définitive
- A l'infini

Même si cela n'est pas spécifié dans l'Eurocode 2, la méthode du retour à zéro est utilisée.

Pour chaque couple d'effort (M, N) appliqué à la section, un second couple d'effort (M_{perm}, N_{perm}) lui est associé. Il s'agit des efforts permanents appliqués à la section relatifs à la même combinaison d'actions. (

$N_{perm} = N$ et $M_{perm} = N_{perm} \times e_p$, avec e_p excentrement de la précontrainte. Ils permettront de déterminer l'état permanent de la section.

Pour chaque cas examiné, on détermine l'état quasi-permanent de la section à la date de vérification donnée. Pour cela, les aciers sont considérés comme élastiques et le béton est considéré comme élastique non fissuré de module $E_{c,eff}(t)$. En fait, cette étape a pour but de déterminer le décalage de déformation entre les câbles de précontrainte et le béton au même niveau au moment de l'injection. La loi contrainte-déformation des aciers de précontrainte peut alors être modifiée en une loi de surtension-déformation.

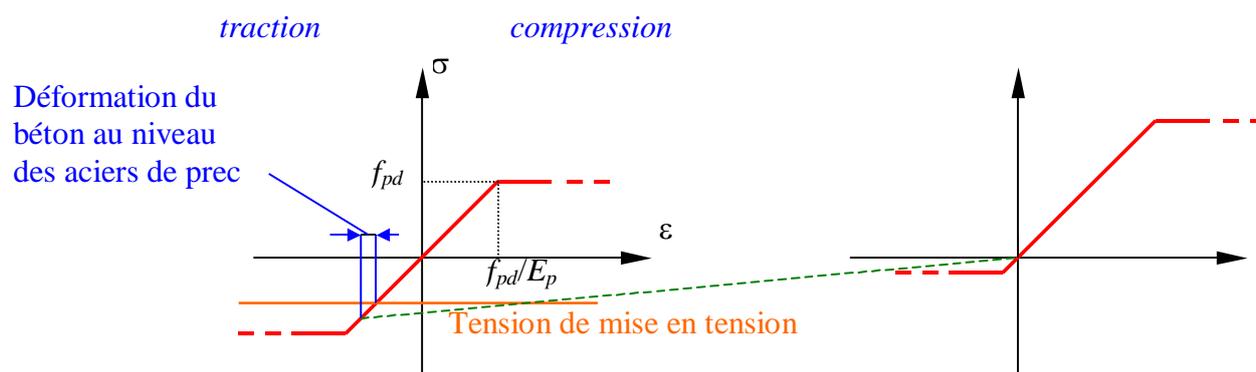


Figure 8 – Diagramme contrainte-déformation et de surtension-déformation de l'acier de précontrainte

La seconde phase est la phase de dimensionnement des aciers passifs. Le béton est alors défini par sa loi contrainte déformation ELU et les aciers actifs par la loi surtension-déformation. Le dimensionnement est ensuite effectué de la même manière que pour une section de béton armé. (Pour plus d'explication, se reporter à l'article 6.3,31 du BPEL).

A l'ELS, seules des vérifications de contraintes dans les matériaux sont effectuées. Les efforts permanents sont appliqués à la section dont le module du béton est le module instantané à la date donnée $E_{cm(t)}$, et les efforts dus aux actions variables sont appliqués à la section dont le module du béton est le module différé (prise en compte du fluage) $E_{c,eff}(t)$. Les contraintes obtenues dans chaque matériau sont alors comparées aux contraintes limites. Le programme signale tout dépassement observé. Le programme n'effectue qu'une simple comparaison des contraintes et signale dans la note de calcul lorsqu'un dépassement est détecté. Les contraintes limites sont fournies au niveau de la description des matériaux (document Annexes Génériques).

Les contraintes sous charges permanentes et les contraintes sous charges variables sont déterminées indépendamment. Elles sont ensuite additionnées pour obtenir les contraintes totales dans chaque matériau.

Section minimale d'armatures pour la limitation de la fissuration

Le dimensionnement de ces aciers répond à l'article 7.3.2 de l'Eurocode 2.

Ces aciers sont calculés uniquement dans les zones tendues à l'ELS quasi-permanent.

Selon l'Eurocode 2, les aciers minimum à mettre en place pour limiter la fissuration doivent être tels que :

$$A_{s,\min} \cdot \sigma_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}$$

Pour ce calcul, les hypothèses suivantes ont été retenues :

- La détermination de A_{ct} , section droite de béton tendu, au moment de l'apparition des fissures, est effectuée sous l'effort normal de l'ELS quasi-permanent, en considérant un béton élastique non fissuré. Le calcul est effectué en section nette.

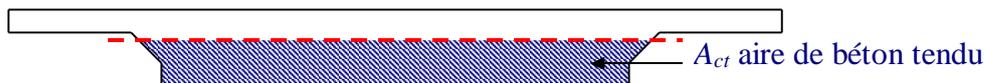


Figure 9 – Détermination de l'aire de béton tendu

$$k_c = 0,4 \left\{ 1 - \frac{\sigma_c}{k_1 \left(\frac{h}{h^*} \right) \cdot f_{ct,eff}} \right\}$$

- h hauteur de la section
- $h^* = h$ si $h < 1,0$ m et $h^* = 1,0$ m sinon,
- $\sigma_c = \frac{N_{ELS,QP}}{A_c}$ avec A_c section brute
- $k = 1,0$ si $h \leq 300$ mm, $k = 0,65$ si $h \geq 800$, les valeurs intermédiaires étant obtenues par interpolation.
- $k_1 = 1,5$ si $N_{ELS,QP}$ est un effort de compression, $k_1 = \frac{2h^*}{3h}$ sinon
- $f_{ct,eff} = \max(f_{ctm}; 2,9)$ en MPa
- $\sigma_s = f_{yk}$

Les autres paramètres intervenant dans le calcul sont déterminés automatiquement. Ils répondent aux prescriptions de l'Eurocode.

Dimensionnement des aciers minimum, de peau et planchers

Section minimale d'armatures tendues

En béton précontraint, conformément à l'article AN 9.2.1.1 de l'annexe nationale, on applique la clause 7.3.2 de l'Eurocode :

$$A_{s,\min} = k_c \cdot k \cdot A_{ct} \frac{f_{ct,eff}}{f_{yk}}$$

Les différents coefficients sont explicités au paragraphe précédent.

Ce calcul n'est effectué que pour des efforts correspondant à un état limite de service caractéristique.

En béton armé, le dimensionnement de ces aciers répond aux articles 9.2.1.1 et 9.3.1.1 de l'Eurocode 2. Selon l'article 9.2.1.1, la section minimale d'armatures tendues est définie de la manière suivante :

$$A_{s,\min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \quad (A_{s,\min} \geq 0,0013 \cdot b_t \cdot d \text{ n'est plus appliqué, voir EN1992-2 AN})$$

b_t étant la largeur moyenne de la zone tendue.

Cette largeur moyenne b_t est déterminée en considérant le béton comme élastique non fissuré. Le calcul est effectué en section nette. Le programme détermine l'aire de béton tendu sous l'application des efforts de l'ELS caractéristique. La valeur de b_t est obtenue en divisant l'aire de béton tendu par la hauteur de béton tendu.

Dimensionnement des aciers de rupture fragile de la précontrainte

Le dimensionnement de ces aciers répond aux articles 6.1 de l'Eurocode 2 partie 2.

Le critère n'est appliqué que si la largeur de la nervure est inférieure à 4m.

Soit n_{tot} le nombre total de câbles présents dans la section

La vérification en flexion doit être effectuée en prenant en compte une précontrainte réduite :

- détermination du nombre n_{cables} de câbles de précontrainte à enlever pour atteindre f_{ctm} sur la fibre tendue sous combinaison fréquente
- calcul des aciers passifs nécessaires pour que le moment résistant ultime accidentel sous précontrainte réduite soit supérieur au moment sous combinaison fréquente diminué de la part des efforts isostatiques de la précontrainte supprimée.

$$M_{res,ELU}(n_{tot} - n_{cables}) > M_{ELS_freq} - M_{iso}(n_{cables})$$

Le calcul effectué ne tient pas compte de la redistribution des sollicitations dans la structure. ($M_{hyper}(n_{cables})$)

Calcul du nombre de câble à supprimer pour atteindre f_{ctm}

Le calcul du nombre de câbles à supprimer pour atteindre f_{ctm} sur la fibre tendue sous combinaison fréquente est effectué en deux phases.

Tout d'abord, un calcul des contraintes dans le béton sous les efforts (M, N) à l'ELS fréquent est effectué sous les hypothèses suivantes :

- Les efforts sont appliqués au centre de gravité de la section brute.
- La section résistante est la section nette (section de béton diminuée des trous des gaines de précontrainte, les aciers passifs ne sont pas pris en compte).

- Le béton est élastique, non fissuré, et son module E_c n'a pas d'influence

Dans un second temps, on détermine sous les mêmes hypothèses les contraintes dans le béton sous les efforts de la précontrainte seule (M_p, N_p). On en déduit alors le nombre de câbles à supprimer pour atteindre f_{ctm} .

$$n_{câbles} = \frac{f_{ctm} + \sigma_{béton}(M, N)}{\sigma_{béton}(M_p, N_p)} \cdot n_{tot}$$

Ce calcul est effectué pour les deux fibres extrêmes d'une même section.

Le calcul des aciers de rupture fragile de la précontrainte est ensuite effectué uniquement dans le cas où

$0 \leq \frac{n_{câbles}}{n_{tot}} \leq 1$. En effet, si $\frac{n_{câbles}}{n_{tot}} \leq 0$, cela signifie qu'il faut rajouter des câbles pour atteindre f_{ctm} sur la fibre

considérée, et si $\frac{n_{câbles}}{n_{tot}} \geq 1$, cela signifie que même si toute la précontrainte est entièrement supprimée, la traction dans le béton restera tout de même acceptable.

Dimensionnement ELU

Les aciers de rupture fragile de la précontrainte sont alors déterminés par un dimensionnement à l'ELU accidentel sous les efforts $M_{ELS_freq} - M_{iso}(n_{câbles})$ et $N_{ELS} - freq \times (n_{tot} - n_{câbles})$.

Ferraillage maximum

La section totale d'armatures passives ne doit pas être supérieure à 4% de la section brute de béton. (Article 9.3.1.1 de l'Eurocode 2).

5.1.2 - Flexion transversale

Dimensionnements effectués

Le programme ChamoA fournit le dimensionnement des aciers transversaux.

- Un calcul par travée et pour les encorbellements lorsqu'ils existent
- Un calcul pour chaque dalle de transition

Seuls les aciers correspondant aux aciers de flexion et les aciers minimum sont calculés. Le calcul des aciers minimum en zones tendues, ainsi que le calcul des aciers de limitation de la fissuration ne sont pas effectués. (Seuls les aciers longitudinaux sont concernés par ces vérifications)

Le programme fournit enfin des quantités d'acier minimum à mettre en place dans chacune des parties d'ouvrage.

Dimensionnement à la flexion

Pour les parties en béton armé, ChamoA effectue un dimensionnement identique à celui effectué en flexion longitudinale. La section est alors soumise aux efforts transversaux issus de l'application de l'annexe 12A. (Cf. 3.6 - Calcul des efforts dans les directions de ferrailage pour les ouvrages en BA (flexion simple) (Annexe 12A du BPEL) ci-dessus).

Ferrailage minimum

Les règles de ferrailage minimum suivantes sont appliquées :

- Chaque section doit au moins être ferrillée avec un ferrailage de peau de $3\text{cm}^2/\text{ml}$ sur chacune des faces.

Ferrailage non sectionnel

Le dimensionnement des aciers a été complété par des règles de ferrailage supplémentaires. Ce ferrailage minimum sera appelé ferrailage non sectionnel. Le calcul de ce ferrailage minimum résulte de l'application des règles suivantes :

tablier

Le ferrailage transversal du tablier et des dalles de transition doit être tel que la quantité d'aciers transversaux d'une fibre est au moins être égale à 20% de la quantité d'acier longitudinaux de la même fibre. (Cf. EC2 9.3.1.1)

$$A_{s,trans,inf} \geq 0,2 \times A_{s,long,inf} \text{ et } A_{s,trans,sup} \geq 0,2 \times A_{s,long,sup}$$

De plus, la quantité d'aciers transversaux en fibre supérieure est au moins égale à 50% de la quantité d'aciers transversaux en fibre inférieure (Règles Sétra).

$$A_{s,trans,sup} \geq 0,5 \times A_{s,trans,inf}$$

5.2 - Sollicitations tangentes

Les justifications sous sollicitations tangentes sont basées sur l'EC2 et le guide de l'EC2 du Sétra.

L'ensemble des éléments de structure sont justifiés (tabliers-dalles, dalles de transition).

Voir document Annexes Génériques

Chapitre 3 – Description des données nécessaires au calcul d'un ouvrage de type PSIDP

6 - Description des données

Ce chapitre décrit l'ensemble des données nécessaires à la définition d'un ouvrage de type PSIDP et aux différents paramètres pilotant les justifications réglementaires selon les Eurocodes.

On y distingue les données géométriques permettant de décrire la structure et la voie portée, les données décrivant les charges permanentes, les actions variables hors trafic et les charges d'exploitation, les données permettant de caractériser les matériaux constitutifs de l'ouvrage ainsi que des paramètres définissant différentes options réglementaires.

Un certain nombre de paramètres fixés par les normes sont pris compte par la chaîne Chamoia, sans que l'utilisateur ait la possibilité de les modifier dans la présente version de Chamoia. Ces paramètres sont décrits en fin de ce chapitre.

6.1 - Généralités et conventions

La description des données est effectuée par blocs de données.

6.1.1 - Conventions de description des données

Mots clés

Les mots clés sont des mots réservés d'une longueur maximale de 35 caractères non accentués. Ils sont insensibles à la casse (interprétés en majuscules) :

TRANS, Trans, trans

Certains mots clés possèdent des synonymes (p. ex. féminin, pluriel).

Valeurs numériques

Les valeurs numériques réelles ou entières sont représentées symboliquement dans la description des données par leur *valeur*. L'écriture est conforme à celle de la plupart des langages de programmation, mais sans distinction entre entiers et réels :

1000, 1000.00, 1.e3, 1.0D3, etc.

Chaînes de caractères

Les chaînes de caractères sont placées entre guillemets ("). Elles peuvent contenir des caractères accentués et des apostrophes (').

6.1.2 - Unités

Les unités sont le mètre (m), le kilo newton (kN) et le méga Pascal (MPa).

Le cas échéant, les unités sont précisées localement.

6.1.3 - Types de données – valeurs par défaut

On utilise les conventions suivantes pour caractériser les données :

- I entier.
- R réel.
- Ch chaîne de caractères.
- SW « commutateur » prenant une seule valeur parmi celles indiquées.
- CHM choix multiple d'un ou plusieurs mots clés à concaténer dans une liste de mots clés.

Choix entre plusieurs paramètres (commutateur)

Les paramètres dont le choix est obligatoire sont notés entre les signes < et > et sont séparés par des virgules :

PROGRAMME < PICF, PIPO, PSIDA, PSIDP >

Lorsqu'une valeur par défaut est proposée pour un tel choix, la commande devient optionnelle et le choix par défaut est rouge et souligné :

(< ABSOLU, RELATIF >)

Paramètres ou valeurs optionnels

À l'intérieur d'une description, les paramètres pouvant ne pas être définis ou pouvant recevoir une valeur par défaut sont écrits entre parenthèses :

RESPONSABLE "Responsable" (TELEPHONE "XXXX")

Lorsqu'une commande ne contient que des paramètres optionnels, elle devient elle-même optionnelle lorsque tous les paramètres prennent leurs valeurs par défaut :

COEFFICIENT (MIN *k1*) (MAX *k2*)

En outre, lorsqu'une commande n'est pas pertinente vis-à-vis d'un problème donné, elle peut être omise même si elle n'est pas explicitement désignée comme optionnelle. Par exemple, le mot clé TROTTOIR n'aura pas à être utilisé si l'ouvrage n'en comporte pas.

Valeurs prédéfinies ou par défaut

La valeur par défaut est aux données non renseignées qui en possèdent une. Les conventions sont les suivantes :

- Les valeurs habituelles ou courantes (par exemple, l'épaisseur des enrobés) sont notées [X.XX].
- Les valeurs recommandées par le Sétra sont notées [X.XX].
- Les valeurs réglementaires sont notées [X.XX].

7 - Données administratives

Ces données administratives permettent d'identifier le calcul informatique et les responsables du Sétra intervenant sur ce calcul. Elle définissent également les voies de rattachement de l'ouvrage.

Identification du calcul

Données :

Programme	SW	PSIDP
"Version"	Ch	Programme V2
"Numero"	Ch	« Numéro » du calcul.
("suffixe")	Ch	Suffixe attaché à une note de calcul.
"jj/mm/aaaa"	Ch	Date de passage du calcul.
"hh.mm.ss"	Ch	Heure de passage du calcul.

Ces données sont automatiquement créés lors de l'exécution du calcul. Elle permettent d'identifier la note de calcul sans ambiguïté

Identification du responsable juridique de la note de calculs.

Données :

"Societe"	Ch	Nom de la société.
"Responsable"	Ch	Personne responsable de la note de calcul.

Identification du responsable de la note de calculs au Sétra.

Données :

"Responsable"	Ch	Ingénieur du Sétra responsable de la note de calcul.
---------------	----	--

Identification de l'ouvrage.

Données :

"Titre"	Ch	Titre figurant sur la page de garde de la note de calculs.
"Voie Portée"	Ch	Indiquer les identifiants des voies portées par l'ouvrage
"Voie Franchie"	Ch	Indiquer les noms des voies ou obstacles franchis.
"Maître d'œuvre"	Ch	Désigner le maître d'œuvre de l'ouvrage.
"Maître d'ouvrage"	Ch	Désigner le maître d'ouvrage de l'opération

8 - Géométrie de l'ouvrage

8.1 - Profil en travers du tablier

Par défaut, il n'existe qu'un seul profil en travers, dit profil « définitif ».

Chamoa permet de définir un profil supplémentaire (dit « provisoire »), correspondant le plus souvent à une phase où l'ouvrage n'est emprunté que par des engins de chantier. Ces deux profils peuvent comporter des dates de mise en service différentes, en revanche, compte tenu de l'incertitude sur la durée effective de la phase provisoire, ils sont tous deux étudiés jusqu'au temps infini.

Ces profils en travers sont des **profils géométriques droits**, indépendants des charges appliquées sur l'ouvrage. Leur largeur totale doit être identique et définit la largeur de la coupe transversale de l'ouvrage.

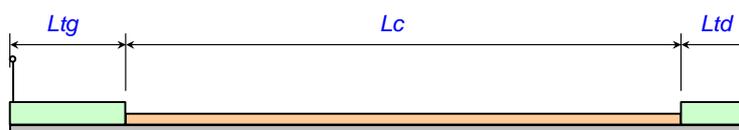


Figure 10 – Profil en travers sans remblai

- Pour chaque profil, il est possible de prendre en compte la présence ou non de remblai sur le tablier.

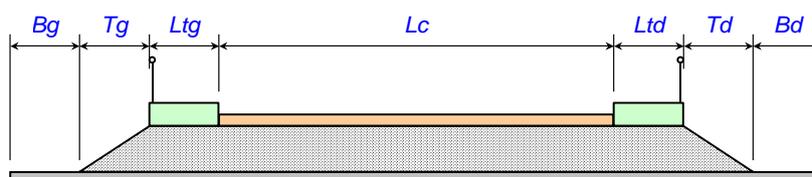


Figure 11 – Profil en travers avec remblai

L'utilisateur doit définir les largeurs des différentes zones, ainsi que les hauteurs et angles de diffusion (utilisation avancée) des charges jusqu'à l'extrados du tablier ou jusqu'au niveau supérieur du remblai lorsque l'ouvrage en comporte un.

Données :

<code>(Profil_trans)</code>	SW	< DEFINITIF , PROVISOIRE >.
<code>("Titre")</code>	Ch	Titre du profil en travers.
<code>(Bg), (Bd)</code>	R	Largeurs respectives des « bermes » gauche et droite si l'ouvrage porte un remblai.
<code>Tg, Td</code>	R	Largeurs respectives des talus gauche et droit.
<code>Ltg, Ltd</code>	R	Largeurs respectives des trottoirs gauche et droit.
<code>Lc</code>	R	Largeur de la chaussée.
<code>(hdif_tg)</code> <code>(hdif_c)</code> <code>(hdif_td)</code>	R (n)	Hauteur de la chaussée ou des trottoirs prise en compte pour diffuser les charges jusqu'à l'extrados du tablier ou jusqu'au niveau supérieur du remblai [0.00] (ne concerne pas les bermes et talus).

Données complémentaires en utilisation extra-réglémentaire :

<code>(beta_tg)</code> <code>(beta_c)</code> <code>(betatd)</code>	R (n)	Angles de diffusion (degrés) des charges correspondant à <code>(hdif_tg)</code> , <code>(hdif_c)</code> , <code>(hdif_td)</code> [45°]
--	-------	--

NOTE 1 : la gauche et la droite du tablier sont définies par rapport à un observateur dont l'axe de visée est orienté suivant les abscisses croissantes de l'axe de l'ouvrage, tel qu'il est défini dans la coupe longitudinale (ordre croissant des appuis).

NOTE 2 : La largeur droite de l'extrados (Dt) est déterminée à partir de la somme de ces largeurs droites. Il est important de contrôler cette donnée.

$$Dt = Bg + Tg + Ltg + Lc + Ltd + Td + Bd$$

NOTE 3 : les épaisseurs de diffusion de chaussée et de trottoirs ne servent pas au calcul des descentes de charges permanentes de chaussée et de trottoir. Ces épaisseurs correspondent à la hauteur à franchir avant d'atteindre l'extrados de la dalle nue. Elles comprennent donc l'étanchéité et l'enrobé pour la chaussée et l'épaisseur de trottoir et l'étanchéité pour les trottoirs. Il vaut mieux sous-estimer ces valeurs pour être sécuritaire (c'est à dire prendre "0" ou l'épaisseur minimale de la couche de chaussée (en général 6 ou 7cm d'enrobé et 1cm d'étanchéité). Les épaisseurs pour les calculs de descentes de charges de chaussée et de trottoirs sont définies dans les superstructures.

8.2 - Bombement de l'extrados

Un bombement de l'extrados peut être défini par un point A, sommet d'une parabole raccordée linéairement à des parties planes gauche et droite. Le bombement est pris en compte en tant que poids et intervient dans la section résistante.

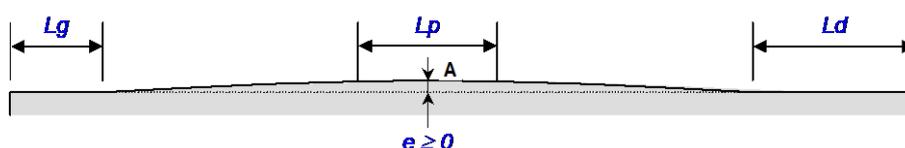


Figure 12 – Bombement de l'extrados

Données :

L_p	R	Largeur totale du raccordement parabolique [0.00].
E	R	Hauteur du bombement [0.00].
L_g, L_d	R	Longueurs des plats gauche et droit, par défaut l'interface propose les largeurs des trottoirs du profil définitif [0.00].

Commentaires :

- Le bombement est pris en compte, tant au niveau du poids que de la résistance, sous forme d'une surépaisseur uniforme sur toute la largeur du tablier et de surface identique.

8.3 - Géométrie en plan

L'ouvrage est supposé rectiligne en plan. Le biais des lignes d'appui est constant et modéré (compris entre 70 et 100 grades).

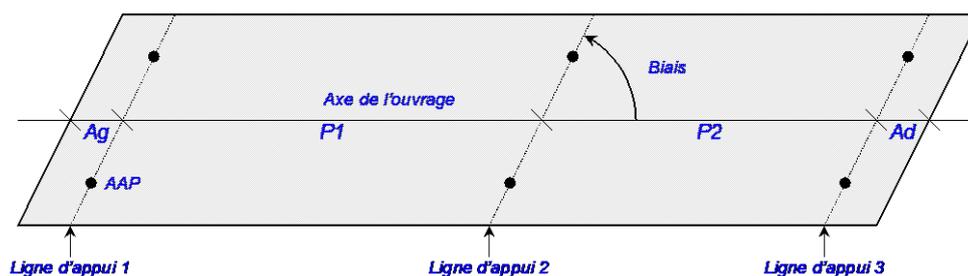


Figure 13 – Géométrie en plan d'un pont dalle

Données :

(Biais)	R	Angle entre les bords libres et les lignes d'appui, en grades [100.00].
---------	---	---

8.4 - Coupe longitudinale du tablier

L'ouvrage est supposé avoir un extradados horizontal. La coupe longitudinale du tablier peut comporter des abouts inégaux. La longueur des abouts et les portées sont mesurées en mètres dans l'axe de l'ouvrage (longueurs biaisées).

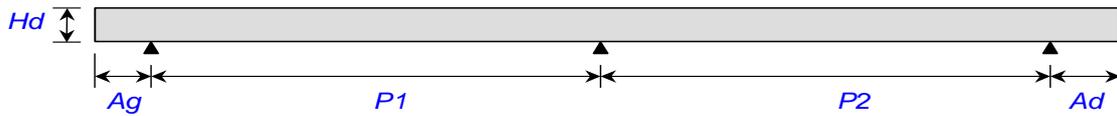


Figure 14 – Coupe longitudinale d'un pont dalle

Données :

Hd	R	Épaisseur de la dalle.
$P1, \dots, Pn$	R	Portées des n travées.
$Ag, (Ad)$	R	Longueur biaisée des abouts gauche et droit, par défaut l'interface proposée : $Ad = Ag$.

8.5 - Coupe transversale du tablier

Quatre options sont proposées :

- Dalle rectangulaire
- Dalle avec chanfreins symétriques.
- Dalle avec encorbellements symétriques.
- Dalle avec encorbellements dissymétriques.

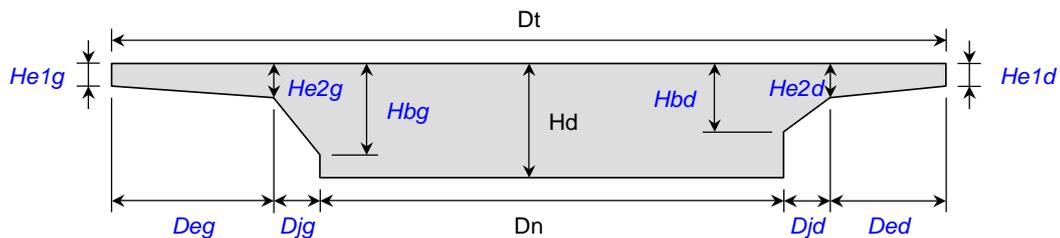


Figure 15 – Coupe transversale de la dalle

- Dt est la largeur du tablier, égale à la largeur du profil en travers.
- Hd est l'épaisseur de la dalle, entrée dans la coupe longitudinale.

Données :

$(He1g), (He1d)$	R	Épaisseur des encorbellements gauche et droit à l'extrémité [0.00].
$(He2g), (He2d)$	R	Épaisseur des encorbellements gauche et droit à l'encastrement [0.00].
$(Deg), (Ded)$	R	Largeur des encorbellements gauche et droit [0.00].
$(Djg), (Djd)$	R	Largeur des joues gauche et droite [0.00].
$(Hbg), (Hbd)$	R	Épaisseur des « bandeaux » gauche et droit [Hd].

$(Optim_Enc)$ SW < MINIMUM, FIXE > Optimisation de l'épaisseur des encorbellements

- Il faut contrôler que :

$$Hd \geq Hb.$$

$$Hd \geq \text{Max}(Hbg, Hbd).$$

Pour le PSIDP, les encorbellements doivent respecter à droite et à gauche :

- $(Deg+Djg)/Dt \leq 1/4$ et $(Ded+Djd)/Dt \leq 1/4$

Commentaires :

- L'option *Optim_Enc* = < MINIMUM, FIXE > signifie que les épaisseurs (*He2g*), (*He2d*) et (*Hbg*), (*Hbd*) sont soit fixes soit augmentables par le programme.

8.6 - Remblais

Le type de remblai à prendre en compte est du type :

- Remblai sur le tablier.

Leurs caractéristiques de poids volumique possèdent toutes des valeurs réglementaires ou conseillées par défaut. Leur modification relève donc d'une utilisation avancée. Elles ne sont pas utilisées dans une commande spécifique mais intégrées dans les commandes relatives à chaque type de remblai.

8.6.1 - Poids volumique des remblais

Données :

<i>(Pv)</i>	R	Poids volumique moyen des remblais [20 kN/m ³].
<i>(k1)</i> , <i>(k2)</i>	R	Coefficients donnant le poids caractéristique minimal et maximal : <ul style="list-style-type: none"> • [1.00] pour les remblais techniques et intérieurs • [0.90], [1.10] pour le remblai sur le tablier.

8.6.2 - Remblai sur le tablier

Le remblai possède une hauteur constante sur le tablier. Les données relatives à ce remblai sont étroitement liées à la définition du « **Profil en travers du tablier** », et auront intérêt, au niveau de l'interface, à être couplées avec la description de ce dernier. Notamment, les données relatives au remblai ne doivent être accessibles que si des zones de type *TALUS* ont été définies. Elles sont à fournir, en fonction des besoins, pour les profils provisoire et définitif.

La présence d'un remblai est très rare pour les ponts dalles (passages de grande faune par exemple).

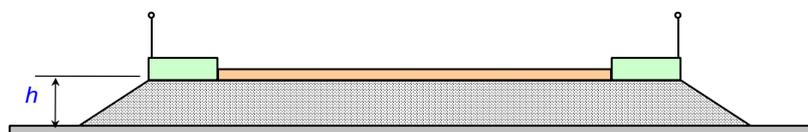


Figure 16 – Remblai sur tablier

La hauteur de remblai sur l'ouvrage est prise en compte également sur les dalles de transition éventuelles

Données :

<i>h</i>	R	Hauteur de remblai sur le tablier [0.00].
----------	---	---

Données complémentaires en utilisation avancée :

<i>(Pv)</i> , <i>(k1)</i> , <i>(k2)</i>	R	<i>Cf</i> . = « Poids volumique des remblais ».
<i>(betadif)</i>	R	Angle de diffusion des charges en degrés [30.00].

9 - Charges permanentes

9.1 - Charges permanentes de superstructures

NOTE : tous les poids sont basés sur le kN et le mètre.

Choix du profil transversal

Données en utilisation standard :

<i>(Profil_trans)</i>	SW	< <u>DEFINITIF</u> , <u>PROVISOIRE</u> >.
-----------------------	----	---

Poids de l'étanchéité, des enrobés et des trottoirs

Pour le calcul des poids, par simplification, on fait les hypothèses suivantes :

- L'étanchéité est supposée concerner toute la largeur du tablier.
- Les enrobés concernent les zones de chaussées.
- Le poids des trottoirs s'exerce uniformément sur toute la largeur de ceux-ci.

En utilisation standard, seules les épaisseurs de chacun des éléments sont requises. En utilisation avancée, il est possible de redéfinir les valeurs par défaut des poids volumiques et des coefficients multiplicateurs k_1 et k_2 donnant respectivement les poids caractéristiques minimal et maximal de chaque élément.

Données en utilisation standard :

(E_{ch})	R	Épaisseur de la chape d'étanchéité [0.03].
(E_{en})	R	Épaisseur des enrobés [0.08].
$E_{trg}, (E_{trd})$	R	Épaisseurs des trottoirs, par défaut l'interface propose : $E_{trd} = E_{trg}$.

Données complémentaires en utilisation extra-réglementaire :

Poids volumiques et coefficients k_1 et k_2 .

$(Pv_{ch}), (k1_{ch}), (k2_{ch})$	R	Chape d'étanchéité	[22.00],	[0.80],	[1.20].
$(Pv_{en}), (k1_{en}), (k2_{en})$	R	Enrobés	[24.00],	[0.80],	[1.40].
$(Pv_{tr}), (k1_{tr}), (k2_{tr})$	R	Trottoirs	[24.00],	[1.00],	[1.00].

Poids des dispositifs de retenue, équipements, canalisations, etc.

Le poids d'un équipement linéaire, peut être pris en compte sur chacun des trottoirs au moyen d'une charge linéique P_{lin} répartie sur une largeur L . L'interface permet de placer la charge dans sa zone par sa distance soit au bord gauche (Y_g), soit au bord droit (Y_d), et vérifie qu'elle ne déborde pas de la zone. On recommence autant de fois qu'il y a d'équipements à définir.

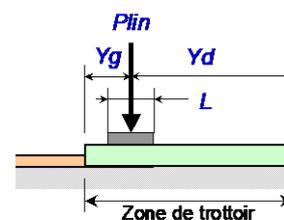


Figure 17 – Équipements des trottoirs

Données en utilisation standard :

<code>("Titre_e")</code>	Ch	Titre ou commentaire sur l'équipement.
<code>Cote</code>	SW	< GAUCHE, DROITE >.
<code>< Yg, Yd ></code>	R	Distance entre le centre de la charge et le côté choisi de la zone.
<code>Plin</code>	R	Poids linéique de l'équipement.
<code>(L)</code>	R	Largeur de l'équipement [0.00].

Données complémentaires en utilisation extra-réglémentaire :

<code>(k1), (k2)</code>	R	Coefficients k_1 et k_2 de l'équipement, [0.95], [1.05].
-------------------------	---	--

9.2 - Dalles de transition

L'interface propose cinq options :

- Dalles de transition symétriques (par défaut).
- Dalles de transition non symétriques.
- Dalle de transition uniquement à gauche.
- Dalle de transition uniquement à droite.
- Pas de dalles de transition.

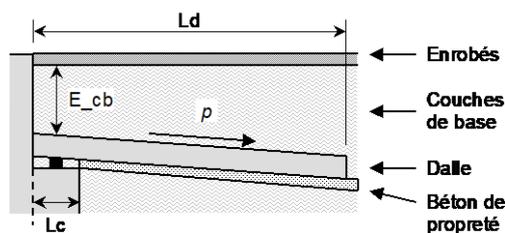


Figure 18 – Dalle de transition

Données en utilisation standard :

Dalles	SW	< <u>TOUTES</u> , GAUCHE, DROITE, AUCUNE >
		Si l'option choisie est <u>AUCUNE</u> , la commande n'est pas exécutée.
Ld	R	Longueur (mesurée // aux bords libres) de la dalle de transition.
Dg, Dd	R	Débord de chaque côté de la chaussée du profil définitif [0.00] : La dalle aura une largeur : $Lc = \text{largeur de la chaussée} + Dg + Dd$.
(p)	R	Pente de la dalle (mesurée // aux bords libres) [0.00]. Exemple : 0,02 = 2%.
(E_en)	R	Épaisseur des enrobés au droit de l'appui [0.08].
E_cb	R	Épaisseur des couches de base au droit de l'appui.
(E_d)	R	Épaisseur de la dalle de transition [0.30].
(E_bp)	R	Épaisseur du béton de propreté [0.10].

Données complémentaires en utilisation extra-réglementaire :

En utilisation avancée, il est possible de modifier les poids volumiques et les coefficients k par défaut :

(Pv_en), (k1_en), (k2_en)	R	Enrobés.	[24.00], [0.80], [1.40].
(Pv_cb), (k1_cb), (k2_cb)	R	Couches de base.	[22.00], [0.95], [1.05].
(Pv_d), (k1_d), (k2_d)	R	Dalle.	[25.00], [0.95], [1.05].
(Pv_bp), (k1_bp), (k2_bp)	R	Béton de propreté.	[22.00], [0.00], [1.05].

Commentaires :

- Dans le calcul, la longueur des dalles de transition est réduite d'un facteur alpha du fait que les dalles de transition reposent directement sur le sol sur une certaine longueur et non sur un appui ponctuel.
- Les hauteurs à prendre en compte se limitent à la hauteur jusqu'à l'extrados du tablier, c'est à dire qu'il ne faut pas rajouter la hauteur de terre sur le tablier qui dépend du profil

9.3 - Remblais sur tablier et Dalles de transition

Le remblai situé sur le tablier est prolongé sur les remblais techniques, qu'il y ait ou non présence de dalles de transition.

9.4 - Appareils d'appuis

Définition des dispositions d'appareils d'appuis par ligne d'appui

Données :

Y_j	$R(n)$	Liste des ordonnées des centres des appareils d'appui suivant l'axe local de la ligne d'appui (0 correspond à la demi-largeur de l'ouvrage, Y_j valeur dans la direction biaise).
H_{AA_i}	R	Hauteur de l'appareil d'appuis (à définir pour chaque ligne d'appuis).
L_{AA_i}	R	Longueur de l'appareil d'appuis (à définir pour chaque ligne d'appuis).
L_{AA_i}	R	Largeur de l'appareil d'appuis (à définir pour chaque ligne d'appuis).
E_{AA_i}	R	Module de Young vertical de l'appareil d'appuis (à définir pour chaque ligne d'appuis) (MPa).

Les appareils d'appuis peuvent être définis par leurs positions par ligne d'appui ou un positionnement peut être proposé à partir du nombre d'appuis indiqué par l'utilisateur. Le calcul des efforts de flexion transversale dans le chevêtre (sur appareils d'appui et entre appareils d'appui) et les réactions d'appuis par appareils d'appuis sont calculés pour chaque ligne d'appui pour les différents Etats Limites.

Si les appareils d'appuis ne sont pas définis, le calcul des efforts dans le chevêtre incorporé n'est pas réalisé.

NB: Le modèle est un modèle simplifié car les appareils d'appuis sont modélisés comme ponctuels et simples, alors qu'en réalité, ils ont une dimension et qu'ils sont élastiques, il faut donc relativiser la valeur des résultats par rapport à la réalité. Pour avoir des résultats beaucoup plus réalistes, il est conseillé d'introduire les souplesses des appareils d'appuis (surtout si on a plus de 2 appareils d'appuis par lignes d'appui), qui viennent lisser considérablement les résultats de flexion dans le chevêtre.

La rigidité verticale K_v des appareils d'appuis en néoprène selon la norme NF EN 1337-3 est :

$$\frac{1}{k_v} = \sum_{j=1}^n \frac{t_j}{A'} \left(\frac{1}{5 \cdot G \cdot S_j^2} + \frac{1}{E_b} \right)$$

Module vertical des appareils d'appuis néoprènes $E=2000\text{MPa}$, en différé et en instantané

Module de cisaillement $G= 0.9\text{MPa}$, en différé et en instantané

Le facteur de forme $S_i = \frac{A'}{L' \cdot t_i}$

Où

- A' est l'aire des frettes,
- L_p le périmètre des frettes
- t_i l'épaisseur d'un feuillet interne
- n est le nombre de feuillets internes

Comme $K_V = \frac{E_v A}{L}$, si on fixe A l'aire en plan de l'appareil d'appui et L son épaisseur, on en déduit le module équivalent à introduire dans chamo $E_V = \frac{K_V L}{A}$

10 - Actions variables hors trafic

10.1 - Effets thermiques

Données en utilisation standard :

("Titre")	Ch	Titre affecté aux effets thermiques.
(T0)	R	Température de référence [10.0 °C].
DTN,exp, DTN,con	R	Variation de température rapide maximum et minimum [0.0], [0.0]. Ces 2 valeurs étant réglementairement positives, l'interface propose (+)DTN,exp et (-)DTN,con, soit une dilatation positive et une contraction négative.
DTM,heat, DTM,cool	R	Gradient thermique positif et négatif [0.0], [0.0]. L'interface propose donc une valeur positive qui tend l'extrados du tablier et une valeur négative qui tend l'intrados du tablier

Commentaires :

- Pour l'instant, la température T0 n'intervient pas dans les calculs (elle pourra intervenir dans le calcul du joint d'expansion), seule l'interface de saisie des données l'utilise pour pré-calculer les variations de températures à prendre en compte dans le calcul conformément à l'Eurocode.
- Le choix du gradient thermique et de la dilatation sont détaillés dans les annexes nationales. L'interface de saisie propose une aide à l'évaluation de ces valeurs.

10.2 - Tassements d'appui

Pour les ponts dalles (PSIDA, PSIDP), cette commande n'est utile que si le nombre de travées est au moins égal à deux.

Données :

("Titre")	Ch	Titre affecté aux tassements.
Tp1, ..., Tpn+1	R	Tassement probable de chaque ligne d'appui [0.00].
Ta1, ..., Tan+1	R	Tassement aléatoire de chaque ligne d'appui [0.00].

Commentaires :

- Les tassements sont comptés positivement VERS LE BAS.
- Les tassements d'appuis sont décrits par deux types de tassement par ligne d'appuis. EN1990 Annexe A2 §A2.2.1 (17) :
 - d'une part le tassement probable T_{pj} simultanément de toutes les lignes d'appuis j
 - d'autre part toutes les combinaisons simultanées de tassements aléatoires $\pm T_{aj}$ pour chacune des lignes d'appuis j

11 - Charges d'exploitation

11.1 - Véhicules généralisés (utilisation avancée)

La définition des charges d'exploitation peut nécessiter de faire appel à des véhicules dits « généralisés », qui doivent avoir été préalablement décrits. Pour respecter cette chronologie, le présent paragraphe traite de la création de ce type de charges. L'interface doit permettre de définir la géométrie et les caractéristiques du véhicule.

On restreint la commande générale du langage de données aux véhicules symétriques par rapport à leur axe et dont chaque essieu est composé de roues identiquement espacées.

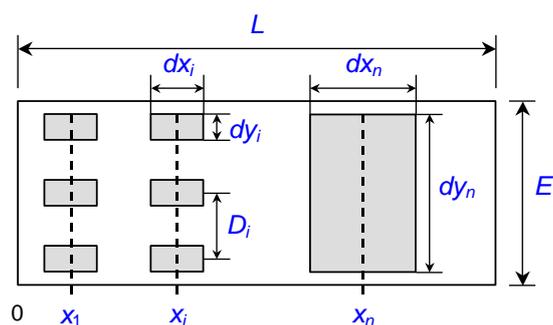


Figure 19 – Véhicule généralisé

Données en utilisation avancée :

<code>nvg</code>	LAB	Numéro produit par l'interface et affecté au véhicule généralisé lors de sa création.
<code>(Titre)</code>	Ch	Titre du véhicule généralisé.
<code>E</code>	R	Largeur d'encombrement du véhicule.
<code>L</code>	R	Longueur d'encombrement du véhicule.
<code>Xi</code>	R (n)	Positions des essieux par rapport à l'avant du véhicule.
<code>Pi, ...</code>	R (n)	<u>Poids de chaque essieu (kN).</u>
<code>dxi, dyi</code>	R (n)	Impacts longitudinaux et transversaux des roues de chaque essieu.
<code>(dyn)</code>	R (n)	Coefficient de majoration dynamique [1.00].
<code>(N)</code>	R (n)	Nombre de roues de l'essieu, par défaut [1].
<code>(D)</code>	R (n)	Seulement si $N > 1$: distance entre axes des roues.

Commentaires :

- Le véhicule généralisé est utilisé dans 2 configurations différentes :
 - soit il sert d'engin de chantier, dans ce cas, il convient en général de définir un coefficient dynamique de 1,5, il sera utilisé en tant que véhicule circulant seul sur l'ouvrage à vitesse rapide en phase d'exploitation provisoire sur un profil de chargement provisoire.
 - soit il modélise un véhicule spécial d'un convoi exceptionnel, il sera alors intégré au groupe de charge LM3. Le poids des essieux fourni par l'utilisateur doit alors intégrer le coefficient d'incertitude (en général 1,1). Si en plus le véhicule se déplace à vitesse rapide, le coefficient dynamique sera pris en compte. L'annexe nationale fixe la valeur du coefficient dynamique à $\delta = 1 + 0,7 / (1 + 0,2 L_{\text{travée}})$. Pour un ouvrage multi-travée, on peut prendre pour simplifier la travée la plus courte. A noter que pour les véhicules prédéfinis dans le programme, un coefficient est calculé travée par travée.

11.2 - Définition des profils de chargement

Pour chaque profil transversal (définitif, provisoire) Les charges de trafic à prendre en compte sont décrites en les appliquant sur un ou plusieurs « profils de chargement », qui ne sont autres qu'une restriction (nulle, partielle, ou totale) des différentes zones chargeables du tablier.

En pratique, la notion de profil de chargement sera masquée à l'utilisateur par l'interface. Celui-ci définira les parties des zones à charger (donc, implicitement, un profil de chargement) puis affectera les charges à appliquer à chacune des zones. Ce processus est répété autant de fois que nécessaire pour définir toutes les charges à prendre en compte.

Restriction des zones de chaussée

La partie chargeable d'une zone de chaussée peut être restreinte de deux manières :

- Définition de bandes neutralisées, non chargeables, à gauche et à droite, qui détermine une zone chargeable fixe.
- Définition d'un axe de roulement et d'un débattement, uniquement applicable à un véhicule ou une seule file de véhicules, qui détermine une zone chargeable variable en fonction du véhicule.



Figure 20 – Bandes neutralisées

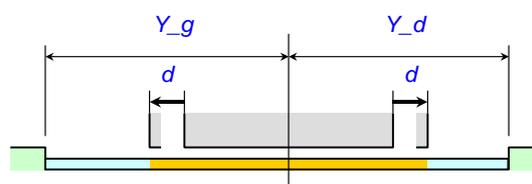


Figure 21 – Axe de roulement et débattement

Restriction des zones de trottoir (utilisation avancée)

La limitation de la zone chargeable s'effectue par des bandes neutralisées à gauche et à droite.



Figure 22 – Restriction des zones de trottoirs

Définition d'un profil de chargement

Chaque profil de chargement est relatif à un profil en travers donné. Les données ci-après sont relatives à une zone du profil, la commande définitive résultant de la concaténation de toutes les zones.

Données :

<code>npc</code>	LAB	Numéro produit par l'interface et affecté au profil lors de sa création.
<code>(Profil_trans)</code>	SW	< DEFINITIF , PROVISOIRE >.
<code>bn_g, bn_d, bn</code>	R	Largeur des bandes neutralisées (non chargeables) à gauche et à droite [0.00].
< <code>Yg, Yd, ()</code> >	R	Distance entre le bord de la chaussée et l'axe de roulement.
<code>d</code>	R	Débattement [0.00].

Données en utilisation avancée :

<code>Trottoir</code>	SW	< TROTTOIR GAUCHE , TROTTOIR DROIT >.
<code>bn_g, bn_d, bn</code>	R	Largeur des bandes neutralisées (non chargeables) à gauche et à droite [0.00].

11.3 - Affectation des charges d'exploitation suivant la réglementation française

On rappelle que lors de l'affectation des charges d'exploitation, un profil de chargement est actif et que l'utilisateur choisit les charges à utiliser sur chacune des zones. Les données concernent donc chaque profil de chargement et chaque zone du profil transversal correspondant.

Données :

<code>npc</code>		Numéro du profil de chargement.
<code>k</code>	LAB	Numéro de véhicule généralisé.
<code>Charges civiles</code>	CHM	(A_DE_L), (BC), (BT), (BR)
<code>Charges de trottoir</code>	CHM	(CHARGE_TROTTOIR_FR) (A_DE_L_PIETONS) (ROUE_ACCIDENTELLE)

Données en utilisation extra-réglementaire :

<code>(classe)</code>	I	< 1, 2, 3 > : classe de la chaussée pour A_DE_L, BC, BT.
<code>psremb</code>	R	Densité de charge de remblai nominale pour les charges civiles [10,0 kN/m ²].

Commentaires :

- La valeur par défaut de la classe dépend de la largeur de la chaussée.

Classe d'ouvrage pour A_DE_L, BC, BT. Par défaut (F. 61 - II, Art. 3) :

$7,00 \leq L_r$	<code>classe = 1</code>
$5,50 < L_r < 7,00$	<code>classe = 2</code>
$L_r \leq 5,50$	<code>classe = 3</code>

Commentaires :

- Les charges BR, CHARGE_TROTTOIR_LOCALE et ROUE_ACCIDENTELLE ne sont prises en compte que dans l'étude de la flexion transversale.
- Lorsque CHARGE_TROTTOIR_FR est spécifiée, la charge uniforme (150 kg/m²) est prise en compte dans l'étude de la flexion longitudinale et la charge locale (450 kg/m²) dans l'étude de la flexion transversale.
- Lorsque A_DE_L_PIETONS est spécifiée, cette charge est prise en compte dans l'étude de la flexion longitudinale et la charge locale (450 kg/m²) dans l'étude de la flexion transversale. En outre, cette charge n'est combinée avec aucune autre charge d'exploitation.

11.4 - Affectation des charges d'exploitation suivant l'Eurocode 1

Le mécanisme est semblable à celui de la réglementation française.

Données :

<i>npc</i>	CHM	Numéro du profil de chargement.
<i>k</i>	LAB	Numéro de véhicule généralisé.
<i>Charges de chaussée</i>	CHM	(LM1) (LM2)
<i>Charges exceptionnelles</i>	CHM	(LM3 <i>NOM_VS_1</i> < <u>LENT</u> , RAPIDE > (SEUL) (NON_FREQUENT)) (LM3_GENERALISE <i>k</i> < <u>LENT</u> , RAPIDE > (SEUL) (NON_FREQUENT))
	...	
<i>NOM_VS</i>	CHM	(CV_C1) (CV_C2) (CV_D2F1) (CV_D3F1) (CV_D3F2) (CV_E2F1) (CV_E3F1) (CV_E3F2) (VS_600_150) (VS_900_150) (VS_1200_150) (VS_1200_200) (VS_1500_150) (VS_1500_200) (VS_1800_150) (VS_1800_200) (VS_2400_200) (VS_2400_240) (VS_2400_200_200) (VS_3000_200) (VS_3000_240) (VS_3000_200_200) (VS_3600_200) (VS_3600_240) (VS_3600_240_240)
<i>Charges militaires</i>	CHM	(MC80), (ME80), (MC120), (ME120)
<i>Charges de trottoir</i>	CHM	(CHARGE_UNIFORME_TROTTOIR), (TS_ACCIDENTEL_TROTTOIR) (CHARGE_PASSERELLE_PIETONS)
<i>Charges de foule</i>	CHM	(LM4)
<i>Charges de chantier</i>	CHM	(CHANTIER_23M3), (CHANTIER_34M3)

Données en utilisation avancée :

(classe) I <1, 2> : classe de trafic de la chaussée.

Commentaires :

- La charge CHARGE_UNIFORME_TROTTOIR est la charge « q_{fk} », elle prend soit la valeur de la charge caractéristique 5kN/m² si la charge de trottoir est seule (c'est-à-dire sans LM1, combinaison gr3), soit la valeur de la charge d'accompagnement du LM1 (3 kN/m²) dans la combinaison gr1a.
- La charge de foule (5kN/m²) sur la chaussée est obtenue avec la charge LM4. Si la charge CHARGE_UNIFORME_TROTTOIR est activée, la charge de 5kN/m² est également activée sur les trottoirs.
- Lorsque CHARGE_PASSERELLE_PIETONS est spécifiée sur les trottoirs, le modèle « q_{fk} » est pris en compte d'une part avec une charge variable entre 2.5 et 5kN/m² dans l'étude de la flexion longitudinale, d'autre part avec une charge de 5kN/m² dans l'étude de la flexion transversale, conformément à l'annexe nationale. En outre, cette charge n'est combinée avec aucune autre charge d'exploitation
-
- Dans le cas du LM3_GENERALISE, le coefficient dynamique est pris égal à celui déclaré pour le véhicule généralisé *k* uniquement si l'option RAPIDE est activée. Sinon, il est pris égal à 1,00.
- Dans le cas du LM3, si l'option NON_FREQUENT est spécifiée, le chargement ne sera pas étudié en valeur fréquente.
- Un véhicule généralisé sur un trottoir est assimilé à un véhicule de service QSERV.
-

11.5 - Respect des profils de chargement selon les charges

Afin de respecter au mieux l'esprit du règlement français et de l'Eurocode 1, certaines charges de chaussée adoptent un comportement particulier vis-à-vis des zones neutralisées définies par les profils de chargement :

- Les charges B_C et B_T respectent les restrictions de chaussée en flexion longitudinale, mais non en flexion transversale, pour laquelle elles se déplacent sur toute la largeur de la chaussée.
- Les charges $LM1$ et $LM2$ se déplacent sur toute la largeur de la chaussée dans tous les cas.
- Pour les charges de type $LM3$, les restrictions de chaussée délimitent le déplacement du véhicule spécial (VS). Le $LM1$ d'accompagnement éventuel se déplace sur toute la largeur de la chaussée.
- Dans tous les autres cas les restrictions de chaussée sont respectées.

12 - Matériaux et critères réglementaires

12.1 - Béton suivant les Eurocodes

On distingue deux types de béton : béton de structure et béton de dalles de transition. En cas d'absence du béton de dalles de transition, celui est pris identique à celui de la structure, sauf s'il s'agit de BHP ($f_{c28} > 50$ Mpa).

Données générales :

(Titre)	Ch	Titre du béton.
f_{ck}	R	Résistance caractéristique à la compression à 28 jours (MPa).
(Loi)	SW	< <u>PARABOLE RECTANGLE</u> , ELASTOPLASTIQUE >

Données complémentaires pour les bétons de structure :

Ciment	SW	< N, R, S > : classe du ciment suivant l'EC 2.
(Silice)	SW	< <u>SANS SILICE</u> , AVEC_SILICE > : ce choix n'est proposé que si $f_{c28} > 50$ MPa. En dessous de cette valeur, le choix implicite est <u>SANS SILICE</u> .
rh	R	Humidité relative de l'environnement ambiant (%).

Données en utilisation extra-réglementaire pour les bétons de structure :

(pv)	R	Poids volumique du béton (kN/m ³) [25,00].
(k1), (k2)	R	Coefficients donnant le poids caractéristique minimal et maximal : [0.97], [1.03].

12.2 - Armatures passives

Définition d'un type d'acier passif

Les types d'acier utilisés de nos jours étant presque toujours standard, cette commande est optionnelle et sera peu utilisée en pratique.

Données en utilisation standard :

(f_{yk})	R	Limite d'élasticité garantie (MPa) [500.00].
(Loi)	SW	< <u>ELASTOPLASTIQUE</u> , BILINEAIRE >

Prise en compte de l'orientation des aciers dans le calcul du dimensionnement des aciers

L'option par défaut des aciers de flexion est l'option parallèle – parallèle (aciers longitudinaux parallèles aux bords libres et aciers transversaux parallèles aux lignes d'appuis). Néanmoins ce choix peut conduire à des quantités d'acier non optimales dans le cas de géométries biaisées et selon le type d'ouvrage. On introduit donc la possibilité de choisir l'orientation des aciers.

Données :

`ORIENTATION_ACIERS` SW < `PARALLELE PARALLELE`, `PARALLELE PERPENDICULAIRE`,
`PERPENDICULAIRE PARALLELE` >

La commande distingue 3 options :

- `PARALLELE PARALLELE` (aciers longitudinaux parallèles aux bords libres et aciers transversaux parallèles aux lignes d'appuis) correspond à l'option par défaut
- `PARALLELE PERPENDICULAIRE` (aciers longitudinaux parallèles aux bords libres et aciers transversaux perpendiculaires aux bords libres), cette option est utile pour les ouvrages PSIDA (ouvrage long et peu large).. Elle à normalement un impact limité sur l'algorithmique de calcul des aciers pour les PSIDP.
- `PERPENDICULAIRE PARALLELE` (aciers longitudinaux perpendiculaires aux lignes d'appuis et aciers transversaux parallèles aux lignes d'appuis), cette option est utile pour les ouvrages PICF ou PIPO larges. Cette option est pour l'instant inactive .

12.3 - Précontrainte

Pour la précontrainte, on définit :

- les caractéristiques mécaniques de l'acier (nuance d'acier)
- le type de câble de précontrainte, c'est à dire sa section (torons et gaine), ses caractéristiques d'adhérence, l'enrobage de la gaine et son mode de mise en tension.
- la valeur de mise en tension
- le tracé de précontrainte et le nombre de câble dans le cas d'une vérification

Définition d'un comportement mécanique d'acier de précontrainte

Données en utilisation standard :

<code>fpk</code>	R	Limite de rupture de l'acier de précontrainte (MPa).
<code>(fp01k)</code>	R	Limite élastique garantie (MPa) <code>[0, 90. fpk]</code> .
<code>rho1000</code>	R	Valeur garantie de la perte par relaxation à 1000 heures. <code>(8% ou 2.5% ou 4%)</code>

Définition d'un type de câble de précontrainte

Données en utilisation standard :

<code>(Procede)</code>	Ch	Nom du procédé de précontrainte.
<code>Ap</code>	R	Section d'acier d'un câble (mm ²).
<code>g</code>	R	Rentrée d'ancrage au moment du relâchement du vérin.
<code>mu, k</code>	R	Coefficients de frottement (Eurocodes).
<code>Mode</code>	SW	< <code>ORIGINE</code> , <code>EXTREMITE</code> , <code>ORIGINE_EXTREMITE</code> , <code>ALTERNE</code> >.
<code>Dgaine</code>	R	Diamètre d'encombrement de la gaine.
<code>(Decal)</code>	R	Décalage entre le centre de gravité des aciers et l'axe de la gaine <code>[0, 11.Dgaine]</code> .
<code>(rmin)</code>	R	Rayon minimum (nécessaire en dimensionnement, sinon, pour vérification du tracé).
<code>(couvs)</code> <code>(couvi)</code>	R	Enrobage supérieur et inférieur des câbles (gaines) <code>[Dgaine]</code> .

Commentaires :

- Le mode `ORIGINE EXTREMITE` fait l'hypothèse que la moitié des câbles est tendue et mode `Origine–Extrémité` et l'autre moitié en mode `Extrémité–Origine` car rien ne garantit que l'ordre réel de mise en tension soit contrôlé sur chantier.
- Le mode `ALTERNE` tend tous les câbles alternativement , mais d'un seul coté par câble
-

- Pour l'enrobage supérieur, si l'ouvrage présente un bombement, l'enrobage est pris à partir de l'extrados sans bombement augmenté de la surépaisseur équivalente du bombement (celle-ci est fournie dans le rappel des données). Dans le cas d'un ouvrage à large encorbellement, lorsque l'on souhaite avoir des câbles positionnés plus haut en extrados, l'utilisateur doit réduire l'enrobage en fibre supérieure.

Données complémentaires en utilisation extra-réglementaire :

Coefficients servant à calculer la valeur caractéristique maximale et minimale de la précontrainte.

(cp1), (cp2) R cp1 = [1.10] cp2 = [0.90] cdp1 = [1.10] cdp2 = [0.90].
(cdp1), (cdp2)

Définition de la précontrainte en vue d'une vérification.

Données en utilisation standard :

L'interface, relativement évoluée, permet à l'utilisateur de définir le plus commodément possible le tracé d'une famille de câbles et retourne :

Nc I Nombre de câbles.
(Z0) R Cote du plan de référence par rapport à l'extrados du tablier [0.00].
(sigmap) R Si différente de la valeur réglementaire par défaut, contrainte de mise en tension (MPa). Rappel : le mode de mise en tension est décrit dans le type de câble.

Commentaires :

- La valeur réglementaire de sigmap vaut $\min(k_1 \cdot f_{pk}, k_2 \cdot f_{0,1k})$, $k_1=0.8$ et $k_2=0.9$ (art 5.10.2.1).

Ainsi que, pour chaque travée :

X1 ... Xn R Abscisses relatives de définition du câble par rapport à la travée.
Z1 ... Zn R Ordonnées correspondantes des points de passage du câble.
Xp1 ... Xpm R Abscisses APPARTENANT à x1 ... xn où la pente du câble est définie.
P1 ... Pm R Pentes correspondantes du câble.

Commentaires :

- Dans le cas où l'ouvrage présente un bombement, la cote de référence est prise égale à la valeur à l'extrados sans tenir compte du bombement, la cote du câble doit être coté par rapport à l'extrados sans tenir compte du bombement.

On peut également imposer l'ordonnée de passage des câbles aux abouts :

(Ze) R Cote du câble aux abouts par rapport à l'extrados du tablier.

```
BLOC Z_ABOUT_CABLES
  < CENTRE_GRAVITE, MI_HAUTEUR, COTE Ze >
FIN
```

Commentaires :

- Les options CENTRE_GRAVITE et MI_HAUTEUR font référence à la dalle de calcul, surépaisseur due au bombement compris.

Définition de la précontrainte en vue d'un dimensionnement automatique.

Seule la donnée sigmap est éventuellement nécessaire. Le bloc « Dates de phasage » indique si nécessaire les dates de première et de deuxième mise en tension. Le bloc décrivant la famille de câbles figure dans le fichier et est vide ou comporte uniquement le mot-clé TENSION :

12.4 - Dates de phasage

Ce module permet de décrire les dates de mises en tension pour la famille de câbles de précontrainte en 1 ou 2 fois (ne concerne que les PSIDP) ainsi que les dates de mise en service provisoire et définitive.

On peut définir une ou deux dates de mise en tension. Lorsque deux dates sont données et qu'il s'agit d'une vérification de la précontrainte, on précise le nombre de câbles mis en tension en première phase.

On peut définir deux dates de mise en service : l'une pour le profil provisoire, s'il existe, l'autre pour le profil définitif.

Dans le cas des ouvrages en béton armé, la date de mise en service n'est nécessaire que si elle est inférieure à 28 jours. Dans le cas des ouvrages en béton précontraint, il peut être nécessaire d'attendre qu'une fraction suffisante des pertes soit acquise avant la mise en service en raison des problèmes de flexion inversée.

Données :

<i>jt</i>	D	Âge théorique du béton en jours à la 1 ^{ère} mise en tension ($3 \leq jt \leq 28$) [7.00].
<i>(n1)</i>	I	Nombre de câbles tendus à la date <i>jt</i> [0] (en cas de vérification).
<i>(Rho)</i>	I	Fraction de câbles tendus à la date <i>jt1</i> [0,60] (en cas de dimensionnement).
<i>(jt2)</i>	D	Âge théorique du béton en jours à la 2 ^{ème} mise en tension ($jt2 \geq jt$), [28.00].
<i>(jsp), (jsd)</i>	D	Agés en jours du béton à la mise en service [28] (BA), [90] (BP).

12.5 - Affectation des matériaux

L'affectation des matériaux est automatique.

En cas de présence de dalles de transition, un béton de dalle de transition, différent du béton de structure, doit avoir été créé.

12.6 - Enrobages

En fonction du type d'ouvrage, l'interface affiche les parties d'ouvrage pertinentes et permet d'affecter à chacune d'elles une épaisseur d'enrobage choisie dans une liste prédéfinie. On notera que les enrobages sont choisis indépendamment du diamètre des aciers, ce qui n'est pas vrai en réalité. Une vérification préalable doit être faite.

Données :

<i>Partie_oa</i>	CHM	(TABLIER < TOUT, EXTRADOS, INTRADOS >), (DALLES_TRANSITION)
<i>enrobage</i>	R	Enrobage (m).

Commentaires :

- Le choix des enrobages est détaillé dans les annexes.

12.7 - Prise en compte forfaitaire de la fatigue

Pour le règlement Eurocode, un critère ELS supplémentaire permet de se dispenser des justifications à la fatigue. En béton armé, ce critère s'applique sur les aciers à l'ELS caractéristique et en béton précontraint le critère s'applique sur le béton en ELS fréquent.

Ce critère est activé par défaut et ne peut être modifié. Il ne donne donc pas lieu à un bloc particulier de données. Pour mémoire, les conditions sont (AN-EN 1992-2 §6.8.1) :

Pour tous les ouvrages

<i>fst</i>	R	Contrainte admissible de l'acier en traction à l'ELS caractéristique [300.00]
<i>kcc</i>	R	Coefficient appliqué à <i>fck</i> et donnant la contrainte admissible en compression à l'ELS caractéristique [0.60]

Données supplémentaires pour les PSIDP

<i>fct</i>	R	Contraintes admissibles du béton en traction à l'ELS fréquent sous Pmoyen sur toute la section [0.00].
------------	---	--

12.8 - Critère de non décompression du béton avec précontrainte adhérente (ouverture de fissure)

Pour le règlement Eurocode (AN-EN 1992-2 §7.3.1 (105)), un critère de non décompression du béton s'applique à l'ELS fréquent pour les sections soumises aux classes d'exposition D ou S (présence de sels ou risque de gel). En pratique, on limite donc à l'ELS fréquent la contrainte de traction du béton à 0.

Données pour les PSIDP

<i>Partie_oa</i>	SW	(< FAUX, VRAI >)
------------------	----	------------------

NB : Normalement ce critère s'applique uniquement en zone d'enrobage sous Pmoyen, dans chamo-p, il est appliqué sur toute la section. Ce critère est couvert par le critère de fatigue forfaitaire tel que défini précédemment. Par défaut, ce critère ne s'applique pas. Bien qu'il soit redondant, ce critère est spécifié pour anticiper toute modification éventuelle d'une des règles de justification, indépendamment des autres.

12.9 - Critères normatifs de contrainte du béton ELS

Données en utilisation extra réglementaire :

Pour tous les ouvrages PIPO, PICF, PSIDA et PSIDP

Le 1er critère modifie la contrainte admissible du béton en compression à l'ELS caractéristique en exploitation pour tenir compte des classes d'environnement (EN 1992-2 §7.2).

Ce 1^{er} critère est couvert par la vérification simplifiée à la fatigue, excepté pour les fondations.

<i>kcc_cara</i>	R	Coefficient appliqué à <i>fck</i> et donnant la contrainte admissible en compression à l'ELS caractéristique [0.60]
-----------------	---	---

Pour les ouvrages PSIDP

Le 2eme critère concerne les PSIDP (EN 1992-1-1 §7.2) : on limite la contrainte de compression à 0,45 *fck* en quasi permanent en service car les calculs sont faits en supposant un fluage linéaire. On pourrait appliquer la limite de 0,6 *fck*, sous réserve d'implémentation du coefficient de fluage non linéaire (EN 1992-1-1 §3.1.4(4)). Pour les PSIDP, le choix est fait de ne pas implémenter ce coefficient de fluage, car la limite à 0,45 *fck* n'est pas dimensionnante.

<i>kcc_fl</i>	R	Coefficient appliqué à <i>fck</i> et donnant la contrainte admissible en compression à l'ELS quasi permanent (fluage linéaire) [0.45]
---------------	---	---

Un 3eme critère modifie la contrainte admissible du béton en compression et en traction à l'ELS quasi permanent en construction.

En compression pour les PSIDP, l'EN1992-1-1 §5.10.2.2(5) impose à la mise en tension de limiter la contrainte de compression dans le béton à $0,6.f_{ck}(t)$ et comme le calcul fait l'hypothèse d'un fluage linéaire, on doit limiter la contrainte dans le béton à $0,45.f_{ck}(t)$.

En traction :

L'article EN 1992-2 §113.3.2(103) et l'AN fixe la contrainte admissible à 1 fois la limite de traction du béton f_{ctm} pour toutes les classes d'exposition.

L'article EN 1992-2 §113.3.2(104) fixe la contrainte admissible à 0 fois la limite de traction du béton f_{ctm} pour les classes d'exposition XD et XS en exploitation pour les PSIDP.

Le SETRA recommande de prendre en général $0,70.f_{ctm}$ sauf s'il y avait des conditions d'exposition plus sévères à la mise en tension.

Pour tous les ouvrages PSIDP

k_{cc_mt} R Coefficient appliqué à $f_{ck}(t)$ et donnant la contrainte admissible en compression à l'ELS quasi permanent en construction [0.45]

k_{ct_mt} R Coefficient appliqué à $f_{ctm}(t)$ et donnant la contrainte admissible en traction à l'ELS quasi permanent en construction [0.70]

12.10 - Critère de contrainte ELS BP additionnel SETRA (Eurocodes)

Il s'agit d'un critère ELS supplémentaire du SETRA pour le béton précontraint sur le béton tendu à l'ELS caractéristique en exploitation. Ce critère n'est pas modifiable par l'utilisateur.

Données en utilisation extra-réglementaire :

k_{ct} R Coefficient appliqué à f_{ctm} donnant les contraintes admissibles [1.00]

12.11 - Critères d'ouverture de fissure ELS

L'ouverture maximale des fissures pour toutes les parties d'ouvrage et pour toutes les combinaisons d'actions à l'ELS fréquent est limitée par AN-EN 1992-2 §7.3.1.

Données :

$Partie_oa$ CHM (TABLIER < TOUT, EXTRADOS, INTRADOS >),
(TABLIER_BP < TOUT, EXTRADOS, INTRADOS >),
(DALLES_TRANSITION)

w_k R Ouverture de fissure maximale aux ELS fréquents (mm) (en pratique 0,3 mm BA ou 0,2 mm BP).

De plus, conformément à l'EN1992-2 §113.3.2(104), toutes les parties d'ouvrage soumises à des limitations d'ouvertures de fissures en fréquent (définis par la règle précédente) sont également soumises à ces mêmes limitations à l'ELS quasi permanent en construction (en particulier à la mise en tension pour les ouvrages BP).

Par ailleurs pour les ouvrages de type PSIDP, il convient de prévoir 2 saisies, une pour le calcul de flexion longitudinale (BP) et l'autre pour le calcul de flexion transversale (BA)

Chapitre 4 – Note de calculs commentée

Le présent chapitre illustre, sur la base d'exemples, les résultats produits par la chaîne Chamoia.

Les jeux de données composant les exemples d'application sont décrits dans un premier temps. Il y est fait référence au chapitre précédent « Description des données nécessaires au calcul d'un ouvrage de type PSDIP », présentant de façon exhaustive l'ensemble des données et options de Chamoia . Pour un type d'ouvrage, plusieurs jeux de données sont nécessaires pour permettre d'illustrer convenablement les possibilités de Chamoia.

Les principes de la note de calcul commentée sont précisés en préambule de la note de calcul commentée proprement dite.

Les fichiers auxiliaires (fichiers de données intermédiaires, fichiers de commande ST1, notes de calculs détaillées) sont également succinctement décrits. Il y est fait référence au chapitre « Application des Eurocodes à la justification des ouvrages » détaillant les méthodes de calculs utilisées par Chamoia ainsi qu'aux nombreuses annexes méthodologiques.

13 - Description de l'exemple d'application d'un ouvrage de type PSIDP

La description des ouvrages destinés à illustrer les sorties (ou notes de calculs) de Chamoia se basent sur le rappel des données et sont donc fournies dans l'ordre du rappel de données.

Pour illustrer les différentes options possibles, trois exemples de PSIDP sont utilisés.

13.1 - Le PSIDP en dalle pleine en mode vérificateur

- comprend un profil provisoire et un profil définitif
- a un remblai sur la dalle pour le profil provisoire
- comprend un profil à chanfreins (encorbellements massifs)
- ne dispose pas de dalle de transition
- supporte des charges de chantier
- vérifie un câblage utilisateur

13.2 - Le PSIDP en dalle pleine en mode projeteur

- comprend un profil provisoire et un profil définitif
- a un remblai sur la dalle pour le profil provisoire
- comprend un profil à chanfreins (encorbellements massifs)
- ne dispose pas de dalle de transition
- supporte des charges de chantier
- dimensionne un câblage

13.3 - Le PSIDP en dalle à larges encorbellements

- comprend un profil provisoire et un profil définitif
- a un remblai sur la dalle pour le profil provisoire
- comprend une dalle à larges encorbellements
- ne dispose pas de dalle de transition
- supporte des charges de chantier
- vérifie un câblage utilisateur avec deux phases de mise en tension

13.4 - Description des jeux de données

13.4.1 - Géométrie et remblais

Deux profils en travers sont définis pour l'ouvrage *en dalle pleine en mode vérificateur*.

- Un profil définitif, comportant une chaussée de 10,00 m bordée de trottoirs de 1,00 m. Les épaisseurs de diffusion de la chaussée et des trottoirs sont de 8 cm (valeur par défaut) et de 25 cm. L'épaisseur de 8 cm correspond à l'épaisseur équivalente de l'ensemble étanchéité + épaisseur minimale d'enrobé.

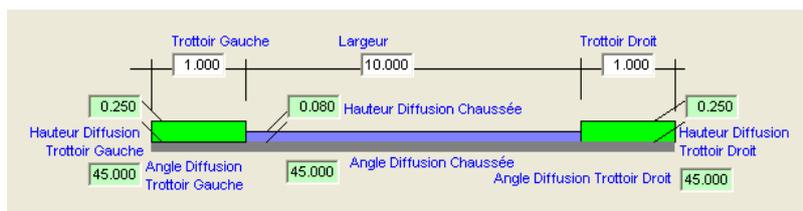


Figure 23 – Profil définitif

- Un profil provisoire comprend une chaussée de 8,00 m sans trottoirs (largeurs nulles). Les épaisseurs de diffusion de la chaussée est de 8 cm (valeur par défaut) et de 0 cm. Dans ce profil provisoire, l'ouvrage supporte un remblai caractérisé par des talus gauche et droit de 1,00 m et des bermes (parties de l'ouvrage ne supportant pas de remblai) de 1,00 m de part et d'autre du talus.

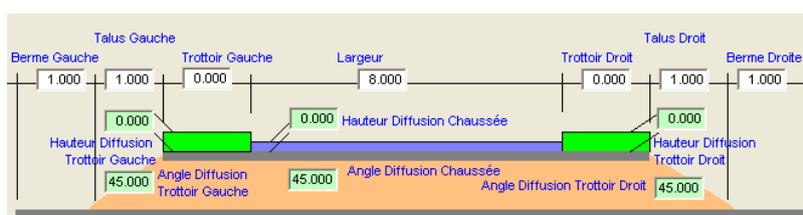


Figure 24 – Profil provisoire

Deux profils en travers sont définis sur l'ouvrage *en dalle pleine en mode projeteur* :

- Un profil définitif, comportant une chaussée de 11,00 m bordée de trottoirs de 0,50 m à gauche et 0,80 m à droite. Les épaisseurs de diffusion de la chaussée et des trottoirs sont de 8 cm (valeur par défaut) et de 20 cm. L'épaisseur de 8 cm correspond à l'épaisseur équivalente de l'ensemble étanchéité + épaisseur minimale d'enrobé.

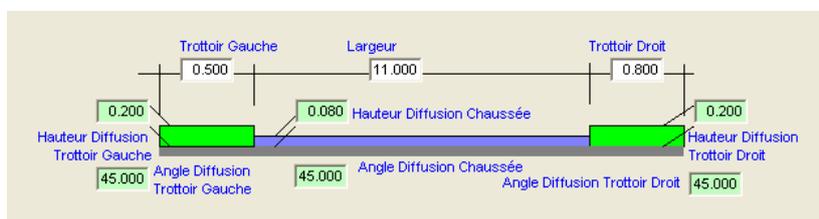


Figure 25 – Profil définitif

- Un profil provisoire comprend une chaussée de 9,00 m bordée de trottoirs de 1,50 m à gauche et 1,80 m à droite. Les épaisseurs de diffusion de la chaussée sont nulles.

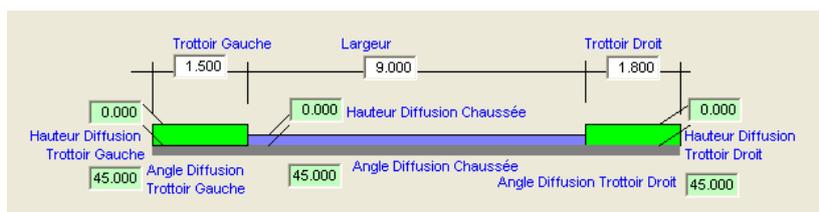


Figure 26 – Profil provisoire

Un seul profil en travers est défini sur l'ouvrage en dalle à larges encorbellements :

- Un profil définitif, comportant une chaussée de 12,00 m bordée de trottoirs de 1,00 m. Les épaisseurs de diffusion de la chaussée et des trottoirs sont de 8 cm (valeur par défaut) et de 25 cm. L'épaisseur de 8 cm correspond à l'épaisseur équivalente de l'ensemble étanchéité + épaisseur minimale d'enrobé.

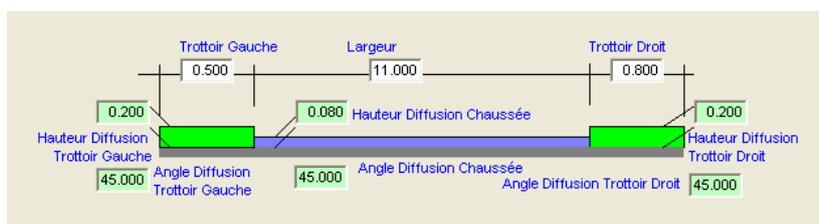


Figure 27 – Profil définitif

Pour tous les cas, la description est complétée par la définition des angles de diffusion des charges à travers la chaussée et les trottoirs. Les valeurs par défaut de 45° sont retenues.

Remarque 1 : La somme des largeurs droites de ces paramètres correspond à la largeur droite de la dalle. Il est donc important de veiller à la validité de ces données.

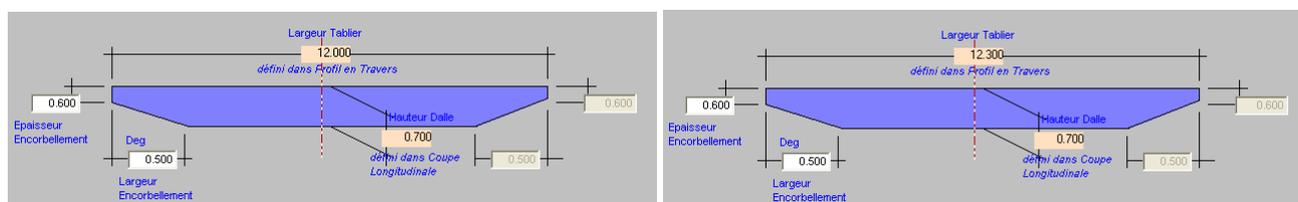
Remarque 2 : Les épaisseurs définies ici sont des épaisseurs de diffusion destinées à étaler les charges. Il est souhaitable de minimiser ces valeurs afin d'obtenir un effet défavorable des actions variables. La prise en compte du poids propre de ces éléments est définie dans le chapitre sur les superstructures, où il est possible de prendre en compte des valeurs caractéristiques minimale et maximale.

Ces caractéristiques sont à définir dans plusieurs séries de données (coupe longitudinale, coupe transversale).

Le biais de l'ouvrage est caractérisé par l'angle (en grades) compris entre les bords libres et la direction des piédroits. L'ouvrage étudié présente un biais de 80 grades.

La géométrie de l'ouvrage est définie par une coupe transversale droite (perpendiculaire aux bords libres) et une coupe longitudinale biaisée (parallèle aux bords libres).

Les deux ouvrages à dalle pleine sont définis sous forme de dalles à chanfreins comme illustré ci-dessous (la largeur de la dalle est déduite des profils en travers). Les dalles ne diffèrent que par leur largeur.



ouvrage en dalle plein en mode vérificateur

ouvrage en dalle pleine en mode projecteur

Figure 28 – Coupe transversale droite de la dalle

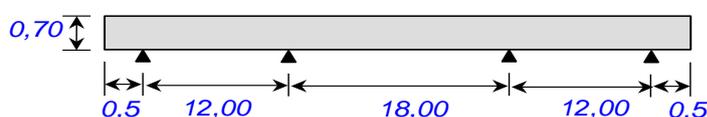


Figure 29 – Coupe longitudinale biaisée de l'ouvrage

L'ouvrage *en dalle à larges encorbellements* a une géométrie plus complexe comme illustré ci-dessous (la largeur de la dalle est déduite des profils en travers). Dans le cas de cet ouvrage, on a opté pour l'optimisation des dimensions de l'encorbellement. Les épaisseurs de l'encorbellement et des bandeaux pourront être augmentées par Chamoia, en tant que de besoin.

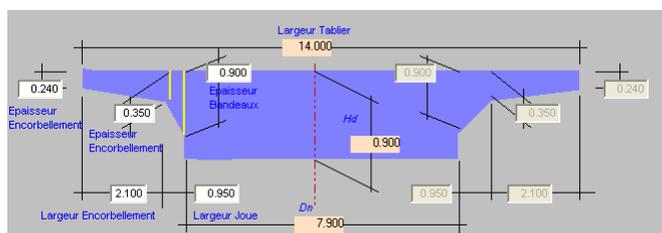


Figure 30 – Coupe transversale droite de l'ouvrage en dalle à larges encorbellements



Figure 31 – Coupe longitudinale biaisée de l'ouvrage

13.4.2 - Dalles de transition

Il est possible de décrire des dalles de transition qui sont alors calculées par Chamoia. Se reporter aux ponts cadres ou portiques

13.4.3 - Superstructures

Les deux *ouvrages à dalle pleine* comprennent des superstructures sous forme de charges d'enrobé et d'étanchéité décrites par leurs épaisseurs (0,08 et 0,03 m pour le profil définitif et de 0,20 et 0,00 m pour le profil provisoire), leurs poids volumiques pris par défaut à 24 kN/m³ et 22 kN/m³ assortis des coefficients de valeurs caractéristiques de 0,80 et 1,40 pour l'enrobé et de 0,80 et 1,20 pour l'étanchéité.

L'ouvrage *à dalle à larges encorbellements* comprend les mêmes superstructures sous forme de charges d'enrobé, d'étanchéité et de trottoirs, décrites par leurs épaisseurs, leurs poids volumiques pris par défaut respectivement à 24 kN/m³, 22 kN/m³ et 24 kN/m³ assortis des coefficients de valeurs caractéristiques de 0,80 et 1,40 pour l'enrobé, 0,80 et 1,20 pour l'étanchéité et 1,00 et 1,00 pour les trottoirs.

On rappelle que l'étanchéité règne sur toute la largeur de la dalle alors que l'enrobé ne règne que sous la chaussée.

13.4.4 - Remblais

Le *remblai sur la dalle* supporté par le profil provisoire des *ouvrages à dalle pleine* est défini par son épaisseur de 0,50 m, son poids volumique (20 kN/m³), les coefficients de valeurs caractéristiques minimale et maximale, pris ici égaux à 0,90 et 1,10 (valeurs par défaut). L'angle de diffusion des charges à travers le remblai est pris égal à 30°.

13.4.5 - Actions variables de température

L'action variable de température comprend une variation linéaire par rapport à une température de référence, ainsi qu'un gradient thermique appliquées à la dalle.

Variation linéaire de température

Nous considérons un ouvrage dans le département de la Gironde (33).

Les températures minimale et maximale de l'air sous abri, issues de l'annexe nationale de l'NF-EN 1991-1-5, valent pour ce département :

$$T_{min} = -15^{\circ}\text{C}$$

$$T_{max} = 40^{\circ}\text{C}$$

La température de référence T_0 est de 10°C (valeur par défaut)

On en déduit les composantes de température uniforme minimale et maximale des ponts.

$$T_{e,min} = T_{min} + 8 = (-15) + 8 = -7^{\circ}\text{C}$$

$$T_{e,max} = T_{max} + 2 = 40 + 2 = 42^{\circ}\text{C}$$

puis :

$$\Delta T_{N,exp} = T_{e,max} - T_0 = 42 - 10 = 32^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{N,con} = T_0 - T_{e,min} = 10 + 7 = 17^{\circ}\text{C}$$

Dans l'exemple de Chamoa, on a pris par simplification 30°C pour la dilatation et de 20°C pour la contraction.

Gradient thermique

Conformément à l'annexe nationale NF-EN 1991-1-5, pour les ponts dalle en béton, (ouvrages de type 3), les valeurs de la composante linéaire de gradient thermique sont les suivantes :

$$\Delta T_{M,heat,0} = 12^{\circ}$$

$$\Delta T_{M,cool,0} = -6^{\circ}$$

Il convient également de tenir compte de l'épaisseur de revêtement par l'intermédiaire du coefficient k_{sur} (Tableau 6.2 NA).

Nous retenons la situation la plus défavorable correspondant à la situation définitive de l'ouvrage sans remblai. Le complexe étanchéité-enrobé de $0,08\text{ m} + 0,03$ d'épaisseur, nous retenons une valeur défavorable de 50 mm de revêtement, conduisant à des coefficients égaux à $1,0$. On a alors :

$$\Delta T_{M,heat} = 1,0 \times 12^{\circ} = 12^{\circ}$$

$$\Delta T_{M,cool} = 1,0 \times (-6^{\circ}) = -6^{\circ}$$

13.4.6 - Tassements

Au droit de chaque appui est défini la valeur du tassement probable (pris égal à 0 dans notre exemple) et la valeur du tassement aléatoire (pris égal à 1 cm) que subira l'appui.

13.4.7 - Charges d'exploitation

La classe de trafic de l'ouvrage est la classe 2.

Les charges d'exploitation prises en compte sur l'ouvrage sont :

- des charges de chantier (véhicule spécifique, tombereaux de 23 et 34 m^3)
- des charges de trafic de l'Eurocode
- un convoi LM3 généralisé correspondant à un convoi exceptionnel de type C2
- des charges de trottoir
- Il convient de désigner les charges réglementaires utilisées, de décrire les charges extra-réglementaires par leur géométrie et les masses à prendre en compte, de les affecter à l'un des deux profils fonctionnels (profil définitif ou profil provisoire) compte tenu d'éventuelles restrictions de circulaire.
- Dans ce but, on décrit dans un premier temps des *profils de chargement* :

Profil 100 : configuration de chantier

Ce profil de chargement 100 est construit à partir du profil provisoire avec neutralisation d'une bande de 1,00 m de part et d'autre de la chaussée. Pour chacun des deux ouvrages à dalle pleine, ce profil 100 diffère par la largeur chargeable L_c (8,00 ou 9,00 m).

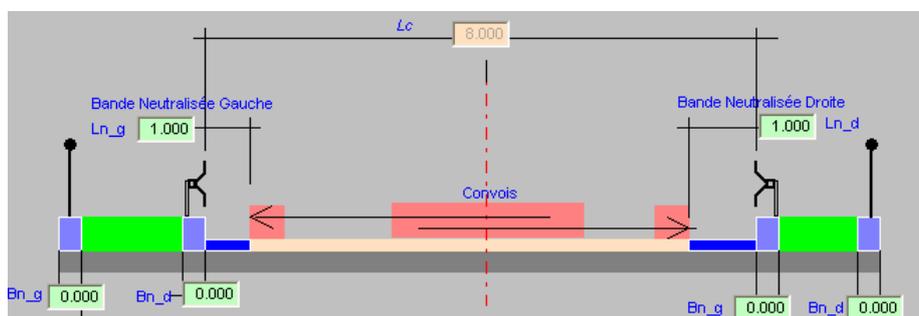


Figure 32 – Profil de chargement 100 associé au profil provisoire ($L_c=8\text{ m}$)

Ce profil de chargement reçoit des charges de chantier constituées d'un véhicule spécifique décrit ci-après et des tombereaux de 23 et 34 m³ de la circulaire delta 70.

Les tombereaux sont des charges prédéfinies dans Chamoia, qui circulent seules sur le profil de chargement à vitesse « rapide ». La prise en compte d'un coefficient de majoration dynamique de 1,5 est effectuée automatiquement lors de l'affectation de la charge au profil de chargement en sélectionnant l'option véhicule "rapide"

Aucune charge n'est affectée aux trottoirs.

Profil 200 : configuration de service

Ce profil de chargement 200 est construit à partir du profil définitif sans modification pour la chaussée. Pour les 3 jeux de données, ce profil de chargement diffère par la largeur chargeable L_c (10,00, 11,00 ou 12,00 m).

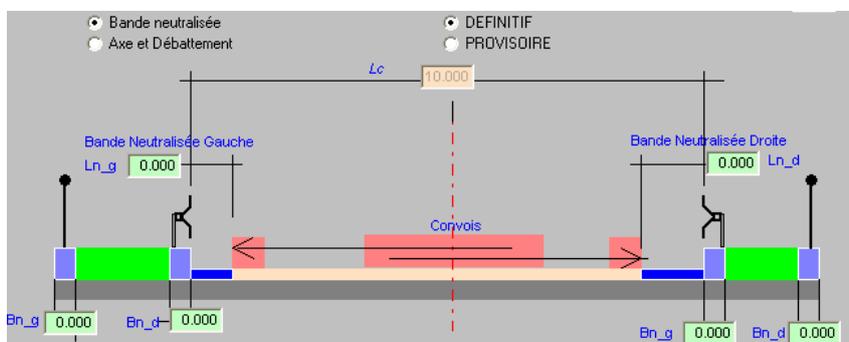


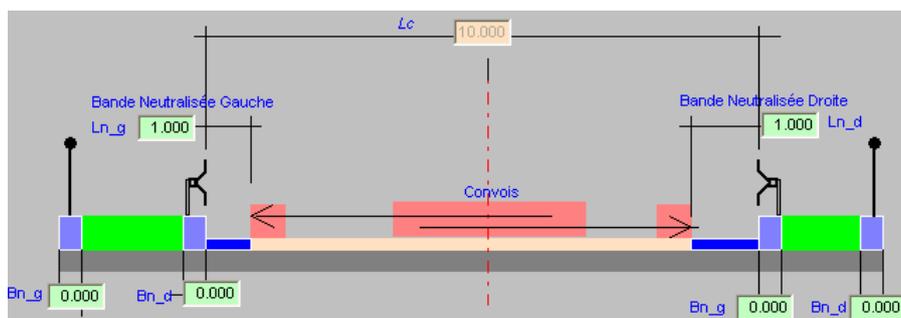
Figure 33 – Profil de chargement 200 associé au profil définitif ($L_c=10\text{ m}$)

Ce profil de chargement reçoit des charges de service suivantes :

- Charges LM1 de l'Eurocode.
- Aucune charge de trottoir.

Profil 300 : configuration réduite de service

Ce profil de chargement 300 est construit à partir du profil définitif avec restriction de chargement sur des bandes latérales de 1,00 m en limite de chaussée. Pour les 3 jeux de données, ce profil de chargement diffère par la largeur chargeable L_c (10,00, 11,00 ou 12,00 m).


 Figure 34 – Profil de chargement 300 associé au profil définitif ($L_c=10\text{ m}$)

Ce profil de chargement reçoit les charges de service suivantes :

- Charges de LM3 généralisée correspondant au convoi C2 (convoi de 120 tonnes).
 - Les options choisies pour ce calcul sont un passage du *convoi seul* et à *vitesse lente (au pas)* (ce qui se traduira par la non prise en compte d'un coefficient de majoration dynamique).
- Aucune charge de trottoir

Véhicule généralisé

Un véhicule généralisé 100 est défini par les caractéristiques suivantes :

Il est affecté d'un coefficient de majoration dynamique de 1,5 (par défaut, la valeur est 1).

Lors de l'affectation de la charge au profil de chargement, l'utilisateur précise les modalités de circulation du convoi, qui est réputé circuler seul et à vitesse « rapide ». Chamoia lui affectera dans ce dernier cas un coefficient de majoration dynamique.

Les masses des différents essieux sont de 50 KN, 50 KN et 15 KN pour une géométrie décrite ci-dessous.

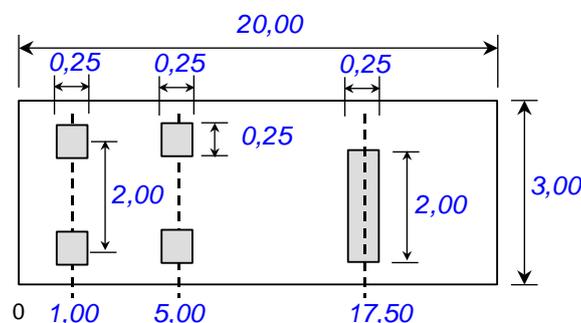


Figure 35 – Géométrie du véhicule spécial

13.4.8 - Précontrainte

La précontrainte est définie par :

- Un matériau : l'acier de précontrainte
- Un type de câbles : Unités ou systèmes de précontraintes
- Un câblage : défini par un tracé, un nombre de câbles et un phasage
- Un phasage en une seule phase pour les deux *ouvrages en dalle pleine* :
 - Age du béton à la première mise en tension : 3 jours
 - En mode vérificateur : Nombre de câbles tendus lors de la première mise en tension : 0

- Age du béton à la deuxième mise en tension : 28 jours
- Age du béton à la mise en service provisoire 28 jours
- Age du béton à la mise en service définitive 90 jours
- Un phasage en deux phase pour l'ouvrage en *dalle à larges encorbellements* :
 - Age du béton à la première mise en tension : 7 jours
 - En mode projeteur, fraction de la précontrainte mise en tension à la première phase : 0,6
 - Age du béton à la deuxième mise en tension : 28 jours
 - Age du béton à la mise en service définitive 90 jours

Dans son mode *projeteur*, ChamoA détermine le câblage. C'est le cas de l'exemple de l'ouvrage en *dalle pleine en mode projeteur*.

Dans son mode *vérificateur*, le câblage est défini par l'utilisateur. C'est le cas des exemples de l'ouvrage en *dalle pleine en mode vérificateur* et de l'ouvrage en *dalle à larges encorbellements*. Le paragraphe suivant décrit les câblages utilisateur dans ce mode :

Tracé des câbles de l'ouvrage à dalle pleine en mode vérificateur

Quelques données générales :

- nombre de câbles : 24 câbles de type 12 T 15 super
- plan de référence par rapport à l'extrados : 0,00 : On choisit de définir l'axe des gaines par rapport à l'extrados.
- tension à la mise en tension : la valeur par défaut de 1432 MPa est conservée

En chaque point de définition on fournit

- ordonnée par rapport au plan de référence (dans notre cas, toutes les valeurs sont négatives, tous les points étant situés sous le plan de référence)
- abscisse relative de la section de définition (l'interface permet de définir les points en absolu) dans la travée courante
- pente du câble facultative (attention au signe).

Un seul point de définition est possible à l'about. Pour chaque travée le nombre n'est pas limité.

About gauche											
Abscisse	0.000										
Ordonnée	-0.350										
Travée 1											
Abscisse	0.000	0.050	0.100	0.150	0.200	0.250	0.300	0.350	0.400	0.450	0.500
Ordonnée	-0.356	-0.364	-0.372	-0.380	-0.388	-0.396	-0.404	-0.412	-0.420	-0.428	-0.435
Abscisse	0.550	0.600	0.650	0.700	0.750	0.800	0.850	0.900	0.950	1.000	
Ordonnée	-0.440	-0.441	-0.434	-0.416	-0.385	-0.341	-0.292	-0.246	-0.213	-0.200	
Travée 2											
Abscisse	0.000	0.050	0.100	0.150	0.200	0.250	0.300	0.350	0.400	0.450	0.500
Ordonnée	-0.200	-0.226	-0.286	-0.349	-0.401	-0.439	-0.466	-0.485	-0.501	-0.515	-0.521
Abscisse	0.550	0.600	0.650	0.700	0.750	0.800	0.850	0.900	0.950	1.000	
Ordonnée	-0.515	-0.501	-0.485	-0.466	-0.439	-0.401	-0.349	-0.286	-0.226	-0.200	
Travée 2											
Abscisse	0.000	0.050	0.100	0.150	0.200	0.250	0.300	0.350	0.400	0.450	0.500
Ordonnée	-0.200	-0.213	-0.246	-0.292	-0.341	-0.385	-0.416	-0.434	-0.441	-0.440	-0.435
Abscisse	0.550	0.600	0.650	0.700	0.750	0.800	0.850	0.900	0.950	1.000	
Ordonnée	-0.428	-0.420	-0.412	-0.404	-0.396	-0.388	-0.380	-0.372	-0.364	-0.356	
About droit											

Abscisse	1.000
Ordonnée	-0.35

13.4.9 - Matériaux

Béton

Le béton de structure est caractérisé par les caractéristiques suivantes :

- sa résistance caractéristique : $f_{ck} = 40$ MPa pour les ouvrages à dalle pleine
 $f_{ck} = 35$ MPa pour les ouvrages à larges encorbellements
- humidité relative de l'environnement ambiant : 80 %

et :

- loi de comportement à l'ELU : loi élasto-plastique (qui n'est pas la valeur par défaut)
- poids volumique du béton 25 KN/m³
- coefficients de valeur caractéristique minimale (0,97) pour la dalle pleine et maximale sur le poids propre (1,03)
- coefficients de valeur caractéristique minimale (1,00) pour la dalle à larges et maximale sur le poids propre (1,00) encorbellements

Acier passif

Les valeurs par défaut sont prises en compte :

- limite d'élasticité garantie : $f_{yk} = 500$ MPa
- loi de comportement loi bilinéaire

Acier de précontrainte

Les caractéristiques des armatures sont définies par:

- limite à la rupture garantie : $f_{pk} = 1860$ MPa
- limite élastique : $f_{p,01k} = 1680$ MPa
- relaxation à 1000 heures $\rho_{1000} = 2,5\%$
- loi de comportement loi élasto-plastique

Armatures de précontrainte

Les caractéristiques des câbles utilisés sont définies par:

- section unitaire d'un câble (12 T 15 super) : $A_p = 1800 \text{ mm}^2$
- rentrée d'ancrage (glissement) : $g = 0,006 \text{ m}$
- coefficients de frottement en courbe $\mu = 0,18 \text{ rad}^{-1}$
- déviation angulaire parasite $k = 0,011 \text{ rad.m}^{-1}$
- mode de mise en tension alterné
- diamètre d'encombrement du conduit $0,07 \text{ m}$
- décalage entre le centre de gravité du câble et de la gaine $0,008 \text{ m}$
- rayon de courbure minimum $6,00 \text{ m}$
- enrobage supérieur : $0,07 \text{ m}$
inférieure : $0,07 \text{ m}$

Les coefficients de prise en compte des valeurs caractéristiques minimale et maximale sont pris égaux à 0,90 et 1,10, valeurs par défaut.

Enrobage

Les valeurs suivantes sont utilisées :

dalle	
extrados	intrados
3 cm	3 cm

Ouverture de fissures

Une ouverture de fissure de $3/10^{\text{ème}}$ de millimètres est prise pour toutes les parties d'ouvrages.

14 - Introduction à la note de calculs commentée

Chaque exécution du programme Chamoia produit une note de calcul rassemblant les principaux résultats, condensés et mis en forme. Un certain nombre de résultats intermédiaires ou plus détaillés sont également produits et sont destinés à être consultés dans un format électronique.

Les paragraphes qui suivent sont destinés à commenter les résultats fournis au regard des justifications prescrites par les Eurocodes et leur application dans le cadre restrictif du programme Chamoia, conformément au chapitre 2 du présent document.

Ils sont fournis dans l'ordre de la note de calculs, correspondant au déroulement logique du calcul.

Les extraits des notes de calcul sont reproduits dans la police de caractères non proportionnels suivante sur 132 colonnes pour constituer la note de calculs commentée.

-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8-----9-----0-----1-----2-----3--

NOTE DE CALCUL COMMENTEE TAILLE 6.5 : On peut conserver la marge de gauche à 2 cm, on n'a qu'1,5 cm à droite, ce qui est acceptable

```
Le résultat 1 dans la barre n°1 est : 0.000
Le résultat 2 dans la barre n°1 est : 0.000 [1]
Le résultat 3 dans la barre n°1 est : 0.000 [2]
```

Afin de baliser des commentaires particuliers explicitant certains résultats, des repères numériques sont insérés à proximité des données à commenter.

Chaque extrait de note de calcul est suivi d'une plage de commentaires donnant des informations générales sur la séquence de résultats ou des informations particulières à certains résultats en regard des repères prévus à cet effet.

Ces commentaires sont fournis dans la police de caractère courante du présent document.

[1] : le résultat 2 nécessite les commentaires suivants ...

[2] : le résultat 3 nécessite les commentaires suivants ...

La note de calcul commentée vise à illustrer le plus grand nombre d'options possible de la chaîne Chamoia, tout en correspondant à un cas plausible.

Dans certains cas, lorsque des options incompatibles entre elles sont possibles, des jeux de données différents ont pu être utilisés, afin d'illustrer ou de commenter les résultats obtenus pour chaque option.

15 - Fichiers de données bruts

Les fichiers suivants sont les fichiers textes générés par l'interface de saisie des données d'ouvrage et qui serviront à l'exécution des calculs (c'est l'équivalent des anciens bordereaux de données des calculs de ponts types). Ceux-ci seront transmis au SETRA avec le rappel des données que génère également l'interface de saisie. Généralement le fichier porte le nom du type d'ouvrage suivi d'une chaîne de caractère et de l'extension ".txt". Ils sont composés de BLOCS correspondant aux différents éléments nécessaires au calcul de l'ouvrage. Par extension, on appelle aussi par facilité ce fichier, le fichier "BLOC". Ce fichier est complet et valide pour un calcul lorsque le rappel des données (fichier texte du même nom suivi de l'extension _RAP.txt) a été effectué via l'interface et ne mentionne aucune erreur.

15.1 - PSIDP sans encorbellement

```
BLOC PROGRAMME PSIDP
VERSION_IHM "v2"
CALCUL "0100" SUFFIXE "0"
DATE "20/11/08" HEURE "10:20:14"
FIN

BLOC COMMANDITAIRE
SOCIETE "XXX"
RESPONSABLE "YYY"
FIN

BLOC SETRA
RESPONSABLE "Non connu."
FIN

BLOC OUVRAGE "PSIDP verification 1 Mise en tension "
VOIE_PORTEE "Non connue."
VOIE_FRANCHIE "Non connue."
MAITRE_OEUVRE "Non connu."
MAITRE_OUVRAGE "Non connu."
FIN

BLOC PROFIL_TRANSVERSAL DEFINITIF "Profil transversal PSIDA definitif"
TROTTOIR GAUCHE LARGEUR 1.000 HAUTEUR_DIFF 0.25 BETA_DIFF 45.000
CHAUSSEE LARGEUR 10.000 HAUTEUR_DIFF 0.08 BETA_DIFF 45.000
TROTTOIR DROIT LARGEUR 1.000 HAUTEUR_DIFF 0.25 BETA_DIFF 45.000
FIN

BLOC PROFIL_TRANSVERSAL PROVISoire "Profil transversal PSIDA en phase de chantier"
BERME GAUCHE LARGEUR 1.000
TALUS GAUCHE LARGEUR 1.000
CHAUSSEE LARGEUR 8.000
TALUS DROIT LARGEUR 1.000
BERME DROIT LARGEUR 1.000
FIN
```

```

BLOC COUPE_LONGITUDINALE
PORTEES 12.000 18.000 12.000
H_DALLE 0.700
ABOUT GAUCHE 0.500 DROIT 0.500
FIN

BLOC COUPE_TRANSVERSALE
OPTION CHANFREINS SYMETRIQUES
ENCORBELLEMENTS H ENCASTREMENT 0.600
BANDEAUX LARGEUR 0.500
FIN

BLOC GEOMETRIE_EN_PLAN
BIAS 80.000
FIN

BLOC PROFIL_CHARGEMENT 100
PROFIL_TRANSVERSAL PROVISoire
CHAUSSEE BANDE_NEUTRALISEE TOUTES 1
FIN

BLOC PROFIL_CHARGEMENT 200
PROFIL_TRANSVERSAL DEFINITIF
CHAUSSEE BANDE_NEUTRALISEE TOUTES 0
FIN

BLOC PROFIL_CHARGEMENT 300
PROFIL_TRANSVERSAL DEFINITIF
CHAUSSEE BANDE_NEUTRALISEE GAUCHE 1 DROITE 1
FIN

BLOC VEHICULE_GENERALISE 100 "100 - Véhicule Généralisé Chantier"
LONGUEUR 20.00 LARGEUR 3.00 MAJORATION_DYNAMIQUE 1.50
ESSIEU XL 1.00 POIDS 50.00 N_ROUES 2 E_ROUES 2.00 IMPACT_LONG 0.25 IMPACT_TRANS 0.25
ESSIEU XL 5.00 POIDS 50.00 N_ROUES 2 E_ROUES 2.00 IMPACT_LONG 0.25 IMPACT_TRANS 0.25
ESSIEU XL 17.50 POIDS 15.00 IMPACT_LONG 0.25 IMPACT_TRANS 2.0
FIN

BLOC AFFECTATION_CHARGES PROFIL_CHARGEMENT 100 REGLEMENT_EUROCODES
CHAUSSEE CLASSE 2
LM3_GENERALISE 100 SEUL RAPIDE CHANTIER_23_M3 CHANTIER_34_M3
TROTTOIR TOUS
FIN

BLOC AFFECTATION_CHARGES PROFIL_CHARGEMENT 200 REGLEMENT_EUROCODES
CHAUSSEE CLASSE 2
LM1
TROTTOIR TOUS
FIN

BLOC AFFECTATION_CHARGES PROFIL_CHARGEMENT 300 REGLEMENT_EUROCODES
CHAUSSEE CLASSE 2
LM3 CV_C2 LENT
TROTTOIR TOUS
FIN

BLOC SUPERSTRUCTURES DEFINITIF
ETANCHEITE EPAISSEUR 0.030 POIDS_VOL 22.000 K_MIN 0.800 K_MAX 1.200
ENROBES EPAISSEUR 0.080 POIDS_VOL 24.000 K_MIN 0.800 K_MAX 1.400
TROTTOIR GAUCHE EPAISSEUR 0.000 POIDS_VOL 24.000 K_MIN 1.000 K_MAX 1.000
TROTTOIR DROIT EPAISSEUR 0.000 POIDS_VOL 24.000 K_MIN 1.000 K_MAX 1.000
FIN

BLOC SUPERSTRUCTURES PROVISoire
ETANCHEITE EPAISSEUR 0.000
ENROBES EPAISSEUR 0.200
TROTTOIR GAUCHE EPAISSEUR 0.000
TROTTOIR DROIT EPAISSEUR 0.000
FIN

BLOC REMBLAI_TABLIER PROVISoire
HAUTEUR 0.500 MARSTON 0
FIN

BLOC EFFET_THERMIQUE "Effet thermique en phase Définitive"
UNIFORME_RAPIDE MAX 30.00 MIN -20.00
GRADIENT POSITIF 12.00 NEGATIF -6.00
FIN

BLOC TASSEMENTS "Tassements des Appuis"
APPUI 1 PROBABLE 0.00 ALEATOIRE 0.01
APPUI 2 PROBABLE 0.00 ALEATOIRE 0.01
APPUI 3 PROBABLE 0.00 ALEATOIRE 0.01
APPUI 4 PROBABLE 0.00 ALEATOIRE 0.01
FIN

BLOC BETON_STRUCTURE ""
FCK 40.00 CIMENT R SANS_SILICE RH 80
POIDS_VOL 25.00 K_MIN 0.97 K_MAX 1.03
FIN

BLOC ACIER_PASSIF
LIMITE_ELASTIQUE 500.00 LOI_ELU ELASTOPLASTIQUE
FIN

BLOC ACIER_PRECONTRAINTTE
LIMITE_RUPTURE 1860.00 LIMITE_ELASTIQUE 1680.00 RHO_1000 2.5
FIN

```

```

BLOC CABLE PRECONTRAINT "Freyssinet"
SECTION 1800.000
PERTES RECU 0.006 COEFF_MU 0.180 COEFF_K 0.011 TENSION ALTERNE
GAINÉ DIAMETRE 0.070 DECALAGE 0.008 RAYON MINIMUM 6.000
ENROBAGE SUPERIEUR 0.070 INFERIEUR 0.070
FIN

BLOC FAMILLE_CABLES
NOMBRE_CABLES 24
TENSION 1432.00
PLAN_REFERENCE 0.0
ABOUT_GAUCHE_Z -0.35
TRAVÉE 1
XL 0.000 0.050 0.100 0.150 0.200 0.250 0.300 0.350 0.400 0.450 0.500 0.550 0.600 0.650 0.700 0.750 0.800 0.850
0.900 0.950 1.000
Z -0.356 -0.364 -0.372 -0.380 -0.388 -0.396 -0.404 -0.412 -0.420 -0.428 -0.435 -0.440 -0.441 -0.434 -0.416 -
0.385 -0.341 -0.292 -0.246 -0.213 -0.200
TRAVÉE 2
XL 0.000 0.050 0.100 0.150 0.200 0.250 0.300 0.350 0.400 0.450 0.500 0.550 0.600 0.650 0.700 0.750 0.800 0.850
0.900 0.950 1.000
Z -0.200 -0.226 -0.286 -0.349 -0.401 -0.439 -0.466 -0.485 -0.501 -0.515 -0.521 -0.515 -0.501 -0.485 -0.466 -
0.439 -0.401 -0.349 -0.286 -0.226 -0.200
TRAVÉE 3
XL 0.000 0.050 0.100 0.150 0.200 0.250 0.300 0.350 0.400 0.450 0.500 0.550 0.600 0.650 0.700 0.750 0.800 0.850
0.900 0.950 1.000
Z -0.200 -0.213 -0.246 -0.292 -0.341 -0.385 -0.416 -0.434 -0.441 -0.440 -0.435 -0.428 -0.420 -0.412 -0.404 -
0.396 -0.388 -0.380 -0.372 -0.364 -0.356
ABOUT_DROIT_Z -0.35
FIN

BLOC DATES_DE_PHASAGE
MISE_EN_TENSION_TOTALE 28
MISE_EN_SERVICE_PROVISOIRE 28
MISE_EN_SERVICE_DEFINITIVE 90
FIN

BLOC ENROBAGES_BA
TABLIER_EXTRADOS 0.03
TABLIER_INTRADOS 0.03
FIN

BLOC OUVERTURES_FISSURES
TABLIER_BP_TOUT 0.2
TABLIER_TOUT 0.3
FIN
    
```

15.2 - PSIDP avec large encorbellement

```

BLOC PROGRAMME PSIDP
  VERSION_IHM "v2"
  CALCUL "0101" SUFFIXE "A"
  DATE "20/11/08" HEURE "10:20:23"
FIN

BLOC COMMANDITAIRE
  SOCIETE "XXX"
  RESPONSABLE "YYY"
FIN

BLOC SETRA
  RESPONSABLE "Non connu."
FIN

BLOC OUVRAGE "PSIDP large encorbellement 2 Mise en tension Dimensionnement"
  VOIE_PORTEE "Non connue."
  VOIE_FRANCHIE "Non connue."
  MAITRE_OEUVRE "Non connu."
  MAITRE_OUVRAGE "Non connu."
FIN

BLOC PROFIL_TRANSVERSAL_DEFINITIF "Profil transversal PSIDA definitif"
  TROTTOIR GAUCHE LARGEUR 1.000 HAUTEUR_DIFF 0.25 BETA_DIFF 45.000
  CHAUSSEE LARGEUR 12.000 HAUTEUR_DIFF 0.08 BETA_DIFF 45.000
  TROTTOIR DROIT LARGEUR 1.000 HAUTEUR_DIFF 0.25 BETA_DIFF 45.000
FIN

BLOC COUPE_LONGITUDINALE
  PORTEES 17.500 27.000 17.500
  H_DALLE 0.900
  ABOUT GAUCHE 0.700 DROIT 0.700
FIN

BLOC COUPE_TRANSVERSALE
  OPTION ENCORBELLEMENTS SYMETRIQUES
  ENCORBELLEMENT_H_EXTREMITE 0.240 H_ENCASTREMENT 0.350 LARGEUR 2.100
  BANDEAUX HAUTEUR 0.900 LARGEUR 0.950
  HAUTEURS_ENCORBELLEMENTS MINIMUM
FIN

BLOC GEOMETRIE_EN_PLAN
  BIAIS 80.000
FIN

BLOC PROFIL_CHARGEMENT 200
  PROFIL_TRANSVERSAL_DEFINITIF
FIN

```

16 - Note de calculs commentée

On présente dans cette partie l'édition des principaux résultats une fois le calcul exécuté. Les résultats fournis à l'utilisateur sont restitués sous la forme d'un projet lié à l'ouvrage calculé : chaque projet est constitué d'une part par cette note de calcul principale qui constitue une synthèse de l'ensemble des calculs, et par ailleurs, pour avoir des informations plus détaillées sur les résultats, l'ensemble des fichiers de calculs et de résultats intermédiaires fournis par les différents modules de calculs est également disponible.

16.1 - Rappel des données

Le rappel des données est le 1^{er} élément présenté dans la note de synthèse et correspond à l'édition des données telles que définies par l'utilisateur. Ce fichier est produit également par l'interface de saisie pour que l'utilisateur vérifie que les données correspondent bien à ce qu'il souhaite faire avant de demander un calcul au SETRA.

16.1.1 - PSIDP sans encorbellement

```

PROGRAMME PSIDP

  Version IHM : v2
  Calcul      : 0100
  Suffixe     : 0
  Date       : 20/11/08
  Heure      : 10:20:14

COMMANDITAIRE :

  Societe    : XXX

```

Responsable : YYY

SETRA :

Responsable : Non connu.

OUVRAGE : PSIDP verification 1 Mise en tension

Voie portee : Non connue.
 Voie franchie : Non connue.
 Maitre d'oeuvre : Non connu.
 Maitre d'ouvrage : Non connu.

COUPE LONGITUDINALE :

Epaisseur de la dalle : 0.700

About gauche : 0.500
 Travee 1 : 12.000
 Travee 2 : 18.000
 Travee 3 : 12.000
 About droit : 0.500

PROFIL TRANSVERSAL PROVISOIRE : Profil transversal PSIDA en phase de chantier

Berne gauche : 1.000
 Talus gauche : 1.000
 Chaussée : 8.000 H Diff : 0.000 Beta : 45.000
 Talus droit : 1.000
 Berne droite : 1.000

PROFIL TRANSVERSAL DEFINITIF : Profil transversal PSIDA definitif

Trottoir gauche : 1.000 H Diff : 0.250 Beta : 45.000
 Chaussée : 10.000 H Diff : 0.080 Beta : 45.000
 Trottoir droit : 1.000 H Diff : 0.250 Beta : 45.000

LARGEUR DU TABLIER : 12.000

COUPE TRANSVERSALE AVEC CHANFREINS SYMETRIQUES

Hauteur au bord : 0.600
 Largeur de la joue : 0.500

CARACTERISTIQUES DE LA DALLE CALCULEES PAR LE PROGRAMME (BOMBEMENT COMPRIS) :

Aire : 8.35000000
 Inertie : 0.33792831
 V : 0.34810379
 W : 0.35189621
 Rendement : 0.33038077
 Perimetre a l'air : 13.21980390

GEOMETRIE EN PLAN :

Biais : 80.00

REMBLAI SUR LE TABLIER EN PHASE PROVISOIRE :

Hauteur : 0.500
 Coeff. R de Marston : 0.000
 Angle de diffusion : 30.000
 Poids volumique : 20.000
 Coefficient k min : 0.900
 Coefficient k max : 1.100
 Coeff. K de Marston : 1.000 (calcule par le programme)

SUPERSTRUCTURES PROVISOIRES :

Enrobes : E : 0.200 Pv : 24.00 k1 : 0.800 k2 : 1.400

SUPERSTRUCTURES DEFINITIVES :

Chape : E : 0.030 Pv : 22.00 k1 : 0.800 k2 : 1.200
 Enrobes : E : 0.080 Pv : 24.00 k1 : 0.800 k2 : 1.400
 Trottoir gauche : E : 0.000 Pv : 24.00 k1 : 1.000 k2 : 1.000
 Trottoir droit : E : 0.000 Pv : 24.00 k1 : 1.000 k2 : 1.000

BETON DE STRUCTURE :

Resistance a 28 j : 40.00
 Loi ELU : Loi parabole-rectangle
 Classe du ciment : Ciment R
 Silice : NON
 Humidite relative : 80.000
 Poids volumique : 25.000
 Coefficient k min : 0.970
 Coefficient k max : 1.030

ACIERS PASSIFS :

Limite elastique : 500.00
 Loi ELU : Loi elastoplastique

ACIERS ACTIFS :

Limite de rupture : 1860.00
 Limite elastique : 1680.00

Rho_1000 (%) : 2.50
 Loi ELU : Loi elastoplastique

CABLES DE PRECONTRAINTE : Freyssinet

Section (mm2) : 1800.00
 Recul d'ancrage : 0.0060
 Coefficient MU : 0.1800
 Coefficient K : 0.0110
 Mise en tension : alternee
 Diametre de gaine : 0.070
 Decalage cable-gaine : 0.0080
 Rayon minimum : 6.000
 Enrobage superieur : 0.070
 Enrobage inferieur : 0.070
 C. P max (tension) : 1.100
 C. P max (pertes) : 1.100
 C. P min (tension) : 0.900
 C. P min (pertes) : 0.900

FAMILLE DE CABLES DE PRECONTRAINTE :

Nombre de cables : 24
 Contrainte de mise en tension : 1432.00

Trace de la gaine par travees, cote de reference : 0.0000

Travee Xrel Z Pente

Travee	Xrel	Z	Pente
Ab. G		-0.35000	
1	0.00000	-0.35600	
1	0.05000	-0.36400	
1	0.10000	-0.37200	
1	0.15000	-0.38000	
1	0.20000	-0.38800	
1	0.25000	-0.39600	
1	0.30000	-0.40400	
1	0.35000	-0.41200	
1	0.40000	-0.42000	
1	0.45000	-0.42800	
1	0.50000	-0.43500	
1	0.55000	-0.44000	
1	0.60000	-0.44100	
1	0.65000	-0.43400	
1	0.70000	-0.41600	
1	0.75000	-0.38500	
1	0.80000	-0.34100	
1	0.85000	-0.29200	
1	0.90000	-0.24600	
1	0.95000	-0.21300	
1	1.00000	-0.20000	
2	0.00000	-0.20000	
2	0.05000	-0.22600	
2	0.10000	-0.28600	
2	0.15000	-0.34900	
2	0.20000	-0.40100	
2	0.25000	-0.43900	
2	0.30000	-0.46600	
2	0.35000	-0.48500	
2	0.40000	-0.50100	
2	0.45000	-0.51500	
2	0.50000	-0.52100	
2	0.55000	-0.51500	
2	0.60000	-0.50100	
2	0.65000	-0.48500	
2	0.70000	-0.46600	
2	0.75000	-0.43900	
2	0.80000	-0.40100	
2	0.85000	-0.34900	
2	0.90000	-0.28600	
2	0.95000	-0.22600	
2	1.00000	-0.20000	
3	0.00000	-0.20000	
3	0.05000	-0.21300	
3	0.10000	-0.24600	
3	0.15000	-0.29200	
3	0.20000	-0.34100	
3	0.25000	-0.38500	
3	0.30000	-0.41600	
3	0.35000	-0.43400	
3	0.40000	-0.44100	
3	0.45000	-0.44000	
3	0.50000	-0.43500	
3	0.55000	-0.42800	
3	0.60000	-0.42000	
3	0.65000	-0.41200	
3	0.70000	-0.40400	
3	0.75000	-0.39600	
3	0.80000	-0.38800	
3	0.85000	-0.38000	
3	0.90000	-0.37200	
3	0.95000	-0.36400	
3	1.00000	-0.35600	
Ab. D		-0.35000	

- Trace de l'axe du cable par rapport au CDG :

X Z

0.0000 -0.00190
 0.5000 -0.00783
 1.7000 -0.02207
 2.9000 -0.03630
 4.1000 -0.05054
 5.3000 -0.06478
 6.5000 -0.07890
 7.7000 -0.08490
 8.9000 -0.05990
 10.1000 0.01210
 11.3000 0.09410
 12.5000 0.14010
 14.3000 0.06060
 16.1000 -0.04490
 17.9000 -0.10990
 19.7000 -0.14490
 21.5000 -0.16490
 23.3000 -0.14490
 25.1000 -0.10990
 26.9000 -0.04490
 28.7000 0.06060
 30.5000 0.14010
 31.7000 0.09410
 32.9000 0.01210
 34.1000 -0.05990
 35.3000 -0.08490
 36.5000 -0.07890
 37.7000 -0.06478
 38.9000 -0.05054
 40.1000 -0.03630
 41.3000 -0.02207
 42.5000 -0.00783
 43.0000 -0.00190

ENROBAGES :

Tablier : 0.030 m

OUVERTURES DES FISSURES :

Tablier : 0.30 mm
 Tablier (BP) : 0.20 mm

LIMITATION DES CONTRAINTES AUX ELS

Compression max. dans le beton aux ELS caracteristiques kcc : 0.600000
 Compression max. dans le beton aux ELS caracteristiques (fatigue) kcc : 0.600000
 Traction max. dans le beton aux ELS frequents (fatigue) kct : 0.000000
 Compression max. dans le beton aux ELS quasi permanents (fluage) kcc : 0.450000
 Verification du critere de non decompression aux ELS frequents (BP) : NON
 Critere Setra de traction max. dans le beton aux ELS caracteristiques kct : 1.000000
 Compression max. dans le beton a la mise en tension (fluage) kcc : 0.450000
 Traction max. dans le beton a la mise en tension kct : 0.700000

DATES DE PHASAGE :

Deuxieme mise en tension : 28.0 jours
 Mise en service provisoire : 28.0 jours
 Mise en service definitif : 90.0 jours

EFFETS THERMIQUES : Effet thermique en phase Définitive

Temperature de reference : 10.0
 Variation uniforme rapide max. : 30.0
 Variation uniforme rapide min. : -20.0
 Gradient positif : 12.0
 Gradient negatif : -6.0

TASSEMENTS : Tassements des Appuis

Appui PROBABLE ALEATOIRE

1	0.000	0.010
2	0.000	0.010
3	0.000	0.010
4	0.000	0.010

VEHICULES GENERALISES :

-> Vehicule : 100 100 - Véhicule Généralisé Chantier

Largeur : 3.000
 Longueur : 20.000
 Coefficient dynamique : 1.500

	Xi	Poids	Nombre roues	Dist. Roues	Impact Long.	Impact Trans.
Essieu : 1	1.000	50.00	2	2.000	0.250	0.250
Essieu : 2	5.000	50.00	2	2.000	0.250	0.250
Essieu : 3	17.500	15.00	1	0.000	0.250	2.000

PROFILS DE CHARGEMENT :

Profil en !----- Chaussée -----! !-- Trott. G --! !-- Trott. D --!
 Numero travers Bn G Bn D Axe d Bn G Bn D Bn G Bn D

100	PROVISOIRE	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
200	DEFINITIF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
300	DEFINITIF	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000

AFFECTATION DES CHARGES :

- > Affectation : 1 Profil de chargement : 100 reglement EUROCODES
Classe chaussée : 2
Chaussée : Modele de charges LM3 generalise VS 100 SEUL RAPIDE
Camion de chantier 23 m3
Camion de chantier 34 m3
- > Affectation : 2 Profil de chargement : 200 reglement EUROCODES
Classe chaussée : 2
Chaussée : Modele de charges LM1
- > Affectation : 3 Profil de chargement : 300 reglement EUROCODES
Classe chaussée : 2
Chaussée : Modele de charges LM3 VS Vehicule R/EG C2 LENT

MODIFICATIONS EXTRA-REGLEMENTAIRES : AUCUNE

16.1.2 - PSIDP avec large encorbellement

PROGRAMME PSIDP

Version IHM : v2
 Calcul : 0101
 Suffixe : A
 Date : 20/11/08
 Heure : 10:20:23

COMMANDITAIRE :

Societe : XXX
 Responsable : YYY

SETRA :

Responsable : Non connu.

OUVRAGE : PSIDP large encorbellement 2 Mise en tension Dimensionnement

Voie portee : Non connue.
 Voie franchie : Non connue.
 Maitre d'oeuvre : Non connu.
 Maitre d'ouvrage : Non connu.

COUPE LONGITUDINALE :

Epaisseur de la dalle : 0.900

 About gauche : 0.700
 Travee 1 : 17.500
 Travee 2 : 27.000
 Travee 3 : 17.500
 About droit : 0.700

PROFIL TRANSVERSAL DEFINITIF : Profil transversal PSIDA definitif

Trottoir gauche : 1.000 H Diff : 0.250 Beta : 45.000
 Chaussee : 12.000 H Diff : 0.080 Beta : 45.000
 Trottoir droit : 1.000 H Diff : 0.250 Beta : 45.000

LARGEUR DU TABLIER : 14.000

COUPE TRANSVERSALE AVEC ENCORBELLEMENTS SYMETRIQUES

Hauteur au bord : 0.240
 Hauteur a l'encastrement : 0.350 AUGMENTABLE
 Largeur de l'encorbellement : 2.100
 Largeur de la joue : 0.950
 Hauteur du bandeau : 0.900 AUGMENTABLE

CARACTERISTIQUES DE LA DALLE CALCULEES PAR LE PROGRAMME (BOMBEMENT COMPRIS) :

Aire : 9.53650000
 Inertie : 0.64362877
 V : 0.39631014
 W : 0.50368986
 Rendement : 0.33810224
 Perimetre a l'air : 14.78120780

GEOMETRIE EN PLAN :

Biais : 80.00

SUPERSTRUCTURES DEFINITIVES :

Chape : E : 0.030 Pv : 22.00 k1 : 0.800 k2 : 1.200
 Enrobes : E : 0.080 Pv : 24.00 k1 : 0.800 k2 : 1.400
 Trottoir gauche : E : 0.100 Pv : 24.00 k1 : 1.000 k2 : 1.000
 Trottoir droit : E : 0.100 Pv : 24.00 k1 : 1.000 k2 : 1.000

BETON DE STRUCTURE : Beton 35 MPa

Resistance a 28 j : 40.00
 Loi ELU : Loi parabole-rectangle
 Classe du ciment : Ciment N
 Silice : NON
 Humidite relative : 80.000
 Poids volumique : 25.000
 Coefficient k min : 1.000
 Coefficient k max : 1.000

ACIERS PASSIFS :

Limite elastique : 500.00
 Loi ELU : Loi elastoplastique

ACIERS ACTIFS :

Limite de rupture : 1860.00
 Limite elastique : 1680.00
 Rho_1000 (%) : 2.50
 Loi ELU : Loi elastoplastique

CABLES DE PRECONTRAINTTE : Freyssinet 12T13

Section (mm²) : 1800.00
 Recul d'ancrage : 0.0060
 Coefficient MU : 0.1800
 Coefficient K : 0.0110
 Mise en tension : alternee
 Diametre de gaine : 0.070
 Decalage cable-gaine : 0.0000
 Rayon minimum : 4.000
 Enrobage superieur : 0.050
 Enrobage inferieur : 0.050
 C. P max (tension) : 1.100
 C. P max (pertes) : 1.100
 C. P min (tension) : 0.900
 C. P min (pertes) : 0.900

FAMILLE DE CABLES DE PRECONTRAINTE :

Dimensionnement automatique
 Contrainte de mise en tension : 1432.00

ENROBAGES :

Tablier : 0.030 m

OUVERTURES DES FISSURES :

Tablier : 0.30 mm
 Tablier (BP) : 0.20 mm

LIMITATION DES CONTRAINTES AUX ELS

Compression max. dans le beton aux ELS caracteristiques kcc : 0.600000
 Compression max. dans le beton aux ELS caracteristiques (fatigue) kcc : 0.600000
 Traction max. dans le beton aux ELS frequents (fatigue) kct : 0.000000
 Compression max. dans le beton aux ELS quasi permanents (fluage) kcc : 0.450000
 Verification du critere de non decompression aux ELS frequents (BP) : NON
 Critere Setra de traction max. dans le beton aux ELS caracteristiques kct : 1.000000
 Compression max. dans le beton a la mise en tension (fluage) kcc : 0.450000
 Traction max. dans le beton a la mise en tension kct : 0.700000

DATES DE PHASAGE :

Premiere mise en tension : 7.0 jours
 Deuxieme mise en tension : 28.0 jours
 Mise en service provisoire : 90.0 jours
 Mise en service definitif : 90.0 jours

EFFETS THERMIQUES : Effet thermique en phase Définitive

Temperature de reference : 10.0
 Variation uniforme rapide max. : 30.0
 Variation uniforme rapide min. : -20.0
 Gradient positif : 12.0
 Gradient negatif : -6.0

TASSEMENTS : Tassements des Appuis

Appui PROBABLE ALEATOIRE

1	0.000	0.010
2	0.000	0.010
3	0.000	0.010
4	0.000	0.010

PROFILS DE CHARGEMENT :

Numero	Profil en travers	!----- Chaussée -----!				!-- Trott. G --!		!-- Trott. D --!	
		Bn G	Bn D	Axe	d	Bn G	Bn D	Bn G	Bn D
200	DEFINITIF	0.000	0.000			0.000	0.000	0.000	0.000
300	DEFINITIF	1.000	1.000			0.000	0.000	0.000	0.000

AFFECTATION DES CHARGES :

-> Affectation : 1 Profil de chargement : 200 reglement EUROCODES

Classe chaussée : 2
 Chaussée : Modele de charges LM1

-> Affectation : 2 Profil de chargement : 300 reglement EUROCODES

Classe chaussée : 2
 Chaussée : Modele de charges LM3 VS Vehicule R/EG C2 LENT

MODIFICATIONS EXTRA-REGLEMENTAIRES : AUCUNE

16.2 - Synthèse de résultats de flexion longitudinale

16.2.1 - PSIDP sans encorbellement

Travée équivalente

CARACTERISTIQUES EQUIVALENTES

- NOTE : la largeur equivalente Be n'est utilisée que pour le calcul du biais mécanique

Barre	M1 [1]	M2 [2]	x1 [3]	x2 [4]	L [5]	Le [6]	EIe [7]	Be [8]	Psi [9]
TRAVEE_1	0.0000	7912.0	0.0000	10.6813	12.0000	10.6813	0.1190E+08	11.8226	84.6473
TRAVEE_2	18692.	18692.	2.3958	15.6042	18.0000	13.2085	0.1190E+08	11.8226	88.5725
TRAVEE_3	7912.1	0.0000	1.3187	12.0000	12.0000	10.6813	0.1190E+08	11.8226	84.6473

Ce tableau récapitule le calcul de la travée équivalente conformément à l'annexe (méthode de calcul) selon la méthode des moments.

Les fichiers de données et de résultats ST1 correspondant sont fournis en 17.1 - Fichiers pour le calcul de la portée équivalente en fin du chapitre 4.

La note de calcul principale fournit pour la traverse supérieure:

- [1] Moment sous une charge p uniforme coté droit de la traverse
- [2] Moment sous une charge uniforme coté gauche de la traverse
- [3] Abscisse de moment nul sous la charge "p" coté droit
- [4] Abscisse de moment nul sous la charge "p" coté gauche
- [5] Longueur biaise géométrique de la traverse d'axe en axe des piédroits
- [6] Longueur biaise isostatique équivalente de la traverse
- [7] Rigidité équivalente de la traverse (flèche identique)

$$I_e = \frac{5}{384} \frac{p \cdot L_0^4}{E f_h}$$

- [8] Largeur de la dalle rectangulaire équivalente telle que :

$$I_{tot} = \frac{Be \cdot H_d^3}{12} \text{ où } H_d \text{ est la hauteur de la nervure et } I_{tot} \text{ l'inertie totale de la section}$$

- [9] Biais mécanique :

$$\begin{cases} \psi = \varphi & \text{si } \eta \geq 2 \\ \psi = \varphi + \left(\frac{\pi}{2} - \varphi \right) \left(1 - \frac{\eta}{2} \right)^2 & \text{si } \eta < 2 \end{cases}$$

$$\eta = \frac{\text{largeur biaise géométrique}}{\text{longueur biaise géométrique}} = \frac{2b_b}{L_{0b}} \Leftrightarrow \eta = \frac{\text{largeur droite géométrique}}{\text{longueur droite géométrique}} = \frac{2b_d}{L_{0d}}$$

Les coefficients de répartition transversale Guyon sont fournis dans le fichier intermédiaire (17.2 - Fichiers des facteurs de coefficients transversaux Guyon en fin de chapitre 4). Ce fichier fournit les coefficients de répartition transversale pour différentes fibres transversales sur le profil de l'ouvrage par type de charge.

Le fichier de calcul ST1 est fourni en 17.3 - Fichiers pour le calcul de la flexion longitudinale, en fin de chapitre 4, celui-ci détaille les différents cas de charges permanentes et d'exploitation, et les combinaisons détaillées.

Effets des charges permanentes

EFFORTS DUS A LA PRECONTRAINTE

- Efforts normaux extrêmes [1]

Barre	Abscisse	M. Tension totale	M. service profil PRV	M. service profil DEF	T infini profil PRV	T infini profil DEF
-------	----------	----------------------	--------------------------	--------------------------	------------------------	------------------------

[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
ABOUT_G	0.000	Min 48170. Max 58874.	47508. 58066.	46252. 56530.	42266. 51659.	42266. 51658.
... Lignes supprimées ...						
TRAVEE_1	0.000	Min 48251. Max 58973.	47585. 58159.	46329. 56624.	42339. 51747.	42333. 51741.
... Lignes supprimées ...						
TRAVEE_2	0.000	Min 50521. Max 61747.	49548. 60559.	48246. 58968.	44083. 53879.	43873. 53623.
... Lignes supprimées ...						
EFFORTS DUS A LA PRECONTRAINTE						
- Moments flechissants extremes [1]						
Barre	Abscisse	M. Tension totale	M. service profil PRV	M. service profil DEF	T infini profil PRV	T infini profil DEF
[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
... Lignes supprimées ...						
TRAVEE_1	6.600	Min 3000.1 Max 3666.8	2955.0 3611.7	2869.7 3507.5	2615.1 3196.3	2616.3 3197.7
... Lignes supprimées ...						
TRAVEE_2	0.000	Min -10886. Max -8906.6	-10684. -8741.8	-10412. -8518.8	-9524.5 -7792.8	-9480.2 -7756.5
... Lignes supprimées ...						
TRAVEE_3	0.000	Min -10884. Max -8905.0	-10682. -8740.0	-10409. -8516.5	-9521.8 -7790.6	-9477.7 -7754.5
... Lignes supprimées ...						

Ces tableaux récapitulent les efforts de flexion longitudinale sous la précontrainte **seule** pour l'ensemble des sections des différentes parties d'ouvrages. La note de calcul principale fournit :

- [1] Efforts extrêmes : moment ou effort normal.
- [2] Partie d'ouvrage étudiée
- [3] Abscisse absolue le long de la partie d'ouvrage
- [4] Mise en tension
- [5] Mise en service profil provisoire
- [6] Mise en service profil définitif
- [7] Infini en service profil provisoire
- [8] Infini en service profil définitif

PROFIL PROVISOIRE [1]: EFFORTS DUS AUX CHARGES PERMANENTES [2]

- Moments flechissants extremes [3]

Barre [4]	Abscisse [5]	Poids propre [6]	Super- structures [7]	Enveloppe ch. perm. [8]
ABOUT_G	0.000	Min 0.0000 Max 0.0000	0.0000 0.0000	0.0000 0.0000

...
Lignes supprimées

TRAVEE_1	0.000	Min 25.311 Max 26.877	13.965 19.095	39.276 45.972
TRAVEE_1	0.600	Min -449.52 Max -423.34	-319.37 -233.57	-768.89 -656.91
TRAVEE_1	1.200	Min -848.51 Max -799.09	-602.84 -440.89	-1451.4 -1240.0
TRAVEE_1	1.800	Min -1170.1 Max -1101.9	-831.32 -607.98	-2001.4 -1709.9
TRAVEE_1	2.400	Min -1414.3 Max -1331.9	-1004.8 -734.86	-2419.1 -2066.8
TRAVEE_1	3.000	Min -1581.1 Max -1489.0	-1123.3 -821.52	-2704.4 -2310.5
TRAVEE_1	3.600	Min -1670.4 Max -1573.1	-1186.8 -867.96	-2857.2 -2441.1
TRAVEE_1	4.200	Min -1682.4 Max -1584.4	-1195.3 -874.18	-2877.7 -2458.6
TRAVEE_1	4.800	Min -1617.0 Max -1522.8	-1148.8 -840.18	-2765.8 -2363.0
TRAVEE_1	5.400	Min -1474.1 Max -1388.3	-1047.3 -765.96	-2521.5 -2154.2
TRAVEE_1	6.000	Min -1253.9 Max -1180.9	-890.86 -651.52	-2144.8 -1832.4
TRAVEE_1	6.600	Min -956.25 Max -900.54	-679.39 -496.86	-1635.6 -1397.4
TRAVEE_1	7.200	Min -581.20 Max -547.34	-412.92 -301.99	-994.12 -849.33
TRAVEE_1	7.800	Min -128.74 Max -121.24	-91.465 -66.892	-220.20 -188.13
TRAVEE_1	8.400	Min 377.76 Max 401.12	208.42 284.99	586.18 686.11
TRAVEE_1	9.000	Min 949.65 Max 1008.4	523.96 716.43	1473.6 1724.8
TRAVEE_1	9.600	Min 1594.4 Max 1693.1	879.71 1202.9	2474.1 2895.9
TRAVEE_1	10.200	Min 2312.1 Max 2455.1	1275.7 1744.3	3587.8 4199.4
TRAVEE_1	10.800	Min 3102.7 Max 3294.6	1711.9 2340.7	4814.6 5635.3
TRAVEE_1	11.400	Min 3966.2 Max 4211.5	2188.3 2992.1	6154.4 7203.6
TRAVEE_1	12.000	Min 4902.5 Max 5205.8	2704.9 3698.5	7607.4 8904.3
TRAVEE_2	0.000	Min 4902.5 Max 5205.8	2704.9 3698.6	7607.4 8904.3

...
Lignes supprimées

TRAVEE_2	8.100	Min -3415.1 Max -3216.2	-2426.4 -1774.5	-5841.5 -4990.7
TRAVEE_2	9.000	Min -3502.2 Max -3298.2	-2488.2 -1819.7	-5990.4 -5118.0
TRAVEE_2	9.900	Min -3415.1 Max -3216.2	-2426.4 -1774.5	-5841.5 -4990.7

...
Lignes supprimées

TRAVEE_3	0.000	Min 4902.5 Max 5205.8	2704.9 3698.6	7607.4 8904.3
----------	-------	--------------------------	------------------	------------------

...
Lignes supprimées

ABOUT_D	0.000	Min 25.311 Max 26.877	13.965 19.095	39.276 45.972
---------	-------	--------------------------	------------------	------------------

...
Lignes supprimées

PROFIL DEFINITIF [1]: EFFORTS DUS AUX CHARGES PERMANENTES

PROFIL DEFINITIF : EFFORTS DUS AUX CHARGES PERMANENTES

- Moments flechissants extremes

Barre	Abscisse	Poids propre	Super- structures	Enveloppe ch. perm.
-------	----------	-----------------	----------------------	------------------------

...
Lignes supprimées

TRAVEE_1	0.000	Min 25.311 Max 26.877	2.7120 4.5480	28.023 31.425
----------	-------	--------------------------	------------------	------------------

...
Lignes supprimées

Ces tableaux récapitulent les efforts de flexion longitudinale des charges permanentes **sans précontrainte** pour l'ensemble des sections des différentes parties d'ouvrages. A noter que trois études sont menées en examinant les concomitances en prenant comme pivot soit le moment, soit l'effort tranchant, soit l'effort normal.

- [1] 2 profils possibles: profil définitif (phase d'exploitation finale de l'ouvrage sur profil en travers définitif) et profil provisoire (phase d'exploitation avec engin de chantier sur profil en travers provisoire). Le profil définitif est toujours défini.
- [2] Les efforts sont les charges permanentes pondérés .
- [3] La note de synthèse récapitule uniquement les moments extrêmes (maximum et minimum) des différentes charges permanentes.
- [4] Partie d'ouvrage étudiée
- [5] Abscisse absolue le long de la partie d'ouvrage
- [6] Effets du poids propre (l'ouvrage est phasé en construction)
- [7] Effets des superstructures
- [8] Effets enveloppe des charges permanentes sans précontrainte = [6]+[7]

Effets aux ELS

PROFIL PROVISOIRE : EFFORTS A L'ELS FREQUENT [1]

- Moments fléchissants extrêmes

- Moments fléchissants extrêmes

Tassements aléatoires RHO 1 : 0.000 [2]
 Enveloppe thermique PSI 1 : 0.600 [4]
 Enveloppe thermique PSI 2 : 0.500 [5]

Barre	Abscisse	Enveloppe ch. perm.	Tassements probables	Enveloppe thermique	Q frequent compat.T	Q frequent incompat.T	ELS frequ. hors prec.
[7]	[8]	[9]	[10]	[12]	[13]	[14]	[16]

...
 Lignes supprimées
 ...

TRAVEE_1	0.000 Min	39.276	0.0000	0.0000	-.92537E-01	0.0000	39.183
	Max	45.972	0.0000	0.0000	106.48	0.0000	152.45

...
 Lignes supprimées
 ...

TRAVEE_2	0.000 Min	7607.4	0.0000	-2354.2	-295.92	0.0000	6134.4
	Max	8904.3	0.0000	1177.1	2381.8	0.0000	11875.

...
 Lignes supprimées
 ...

PROFIL DEFINITIF : EFFORTS A L'ELS FREQUENT

- Moments flechissants extremes

Tassements aléatoires RHO 1 : 0.000
 Enveloppe thermique PSI 1 : 0.600
 Enveloppe thermique PSI 2 : 0.500

Barre	Abscisse	Enveloppe ch. perm.	Tassements probables	Enveloppe thermique	Q frequent compat.T	Q frequent incompat.T	ELS frequ. hors prec.
-------	----------	---------------------	----------------------	---------------------	---------------------	-----------------------	-----------------------

...
 Lignes supprimées
 ...

TRAVEE_1	0.000 Min	28.023	0.0000	0.0000	-.11391	0.0000	27.909
	Max	31.425	0.0000	0.0000	100.48	0.0000	131.90

...
 Lignes supprimées
 ...

PROFIL PROVISOIRE : EFFORTS A L'ELS CARACTERISTIQUE

- Moments flechissants extremes

Tassements aleatoires RHO 0 : 1.000 [3]
 Enveloppe thermique PSI 0 : 0.600 [6]

Barre	Abscisse	Enveloppe ch. perm.	Tassements probables	Tassements aleatoires	Enveloppe thermique	Q caract. compat.T	Q caract. incompat.T	Q combinaison	ELS caract. hors prec.
[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]	[15]	[16]

...
 Lignes supprimées
 ...

TRAVEE_1	0.000 Min	39.276	0.0000	0.0000	0.0000	-.92537E-01	0.0000	0.0000	39.183
	Max	45.972	0.0000	0.0000	0.0000	106.48	0.0000	0.0000	152.45

...
 Lignes supprimées
 ...

PROFIL DEFINITIF : EFFORTS A L'ELS CARACTERISTIQUE

- Moments flechissants extremes

Tassements aleatoires RHO 0 : 1.000
 Enveloppe thermique PSI 0 : 0.600

Barre	Abscisse	Enveloppe ch. perm.	Tassements probables	Tassements aleatoires	Enveloppe thermique	Q caract. compat.T	Q caract. incompat.T	Q combinaison	ELS caract. hors prec.
-------	----------	---------------------	----------------------	-----------------------	---------------------	--------------------	----------------------	---------------	------------------------

...
 Lignes supprimées
 ...

TRAVEE_1	0.000 Min	28.023	0.0000	0.0000	0.0000	-.13707	0.0000	-.94665E-01	27.886
	Max	31.425	0.0000	0.0000	0.0000	132.76	0.0000	97.863	164.18

...
 Lignes supprimées
 ...

Ces tableaux récapitulent les efforts de flexion longitudinale pour :

[1] États Limites de Service fréquents ou caractéristiques

- [2] Coefficient de combinaison des valeurs fréquentes de tassement aléatoire T_a
- [3] Coefficient de combinaison (en caractéristiques) de tassement aléatoire T_a
- [4] Coefficient de combinaison des valeurs fréquentes de l'effet thermique T_p .
- [5] Coefficient de combinaison des valeurs quasi permanentes de l'effet thermique T_k .
- [6] Coefficient de combinaison (en caractéristiques) de l'effet thermique T_k .
- [7] Partie d'ouvrage étudiée
- [8] Abscisse absolue le long de la partie d'ouvrage
- [9] Enveloppes ELS des effets des charges permanentes G_k
- [10] Tassements d'appuis probable T_p
- [11] Tassements d'appuis aléatoire T_a
- [12] Enveloppes ELS des effets thermiques T_k
- [13] Enveloppes ELS des effets des charges d'exploitation Q_k compatibles avec la température T_k (LM1,...)
- [14] Enveloppes ELS des effets des charges d'exploitation Q_k incompatibles avec la température T_k (LM2)
- [15] Enveloppes ELS des effets des charges d'exploitation Q_k de combinaison pour l'ELS caractéristique des autres effets (Par exemple en accompagnement de la température T_k)
- [16] Enveloppes ELS totales hors précontrainte
 - fréquent ([9]+[10]+max(psi1*[12],psi2*[12]+[13]);[14])
 - caractéristique ([9]+[10]+[11]+max([12]+[15],psi2*[12]+[13]);[14])

Effets aux ELU

PROFIL PROVISOIRE : EFFORTS A L'ELU FONDAMENTAL [1]

- Moments flechissants extremes [2]

Charges permanentes	GAMMA	:	1.350	[3]		
Tassements probables	GAMMA * DZETA	:	0.000	[4]		
Tassements aleatoires	GAMMA * DZETA	:	0.000	[5]		
Enveloppe thermique	GAMMA * DZETA	:	0.000	[6]		
Enveloppe thermique	GAMMA * DZETA * PSI 0	:	0.000	[7]		
Q combinaison	GAMMA	:	1.350	[8]		

Barre	Abscisse		Enveloppe ch. perm.	Q ultime compat.T	Q ultime incompat.T	Q combinaison	ELU fond. hors prec.
[9]	[10]		[11]	[12]	[13]	[14]	[15]
...							
TRAVEE_1	0.000	Min	39.276	-.12005	0.0000	0.0000	39.156
		Max	45.972	139.25	0.0000	0.0000	201.32

PROFIL PROVISOIRE : EFFORTS A L'ELU FONDAMENTAL

- Efforts tranchants extremes [2]

Charges permanentes	GAMMA	:	1.350
Enveloppe thermique	GAMMA * DZETA	:	0.000
Enveloppe thermique	GAMMA * DZETA * PSI 0	:	0.000
Q combinaison	GAMMA	:	1.350

Barre	Abscisse		Enveloppe ch. perm.	Q ultime compat.T	Q ultime incompat.T	Q combinaison	ELU fond. hors prec.
...							
TRAVEE_1	0.000	Min	1254.6	-221.26	0.0000	0.0000	1033.3
		Max	1468.4	1243.2	0.0000	0.0000	3225.6

PROFIL DEFINITIF : EFFORTS A L'ELU FONDAMENTAL

- Moments flechissants extremes

...
Lignes supprimées
...

PROFIL DEFINITIF : EFFORTS A L'ELU FONDAMENTAL

- Efforts tranchants extremes

...
Lignes supprimées
...

Ces tableaux récapitulent les efforts de flexion longitudinale pour :

- [1] État Limite Ultime Fondamental
- [2] Études des moments fléchissants extrêmes et des efforts tranchants extrêmes.
- [3] Coefficient de combinaison ELU des tassements probables T_p .
- [4] Coefficient de combinaison ELU des tassements aléatoires T_a .
- [5] PSI_0 (0,6) : Coefficient de combinaison fréquente de l'effet thermique T_k
- [6] Coefficient GAMMA (1,5) de combinaison ELU de l'effet thermique T_k et prise en compte DZETA (0) du thermique à l'ELU
- [7] PSI_0 (0,6) : Coefficient de combinaison fréquente de l'effet thermique T_k
- [8] Coefficient GAMMA (=1,35) de combinaison ELU de l'effet des charges d'exploitation Q_k
- [9] Partie d'ouvrage
- [10] Abscisse d'étude le long de la partie d'ouvrage
- [11] Enveloppes ELU des effets des charges permanentes G_k
- [12] Enveloppes ELU des effets des charges d'exploitation Q_k compatibles avec la température T_k (LM1,...)

16.2.2 - Dimensionnement automatique PSIDP avec large encorbellement

En plus des résultats présentés sans larges encorbellements, on a pour un dimensionnement de précontrainte le tracé du câble :

RESULTATS DE LA RECHERCHE AUTOMATIQUE DE LA PRECONTRAINTE

- Contrainte de mise en tension (MPa) : 1432.00
- Nombre de cables : 27
- 17 cables mis en tension a : 7.00 (jours)
- 10 cables mis en tension a : 28.00 (jours)

- Traces du cable et de la gaine

LES COTES SONT DONNEES PAR RAPPORT A L'EXTRADOS REEL (SANS TENIR COMPTE DU BOMBEMENT)
SUREPAISSEUR EQUIVALENTE AU BOMBEMENT : 0.0000

LA COLONNE H GAINE DONNE LA DISTANCE ENTRE LE NU DE LA GAINE ET L'INTRADOS (FOND DE COFFRAGE)

	x	z cable	z gaine	R cable	R gaine	H gaine
	0.0000	-0.396309	-0.396309	10000.00	10000.00	0.4687
	0.3500	-0.401308	-0.401308	10000.00	10000.00	0.4637
APPUI	0.7000	-0.406306	-0.406306	10000.00	10000.00	0.4587
	1.5750	-0.418792	-0.418792	10000.00	10000.00	0.4462
	2.4500	-0.431256	-0.431256	10000.00	10000.00	0.4337
	3.3250	-0.443687	-0.443687	10000.00	10000.00	0.4213
	4.2000	-0.456072	-0.456072	10000.00	10000.00	0.4089
	5.0750	-0.468374	-0.468374	1759.49	1759.49	0.3966
	5.9500	-0.480186	-0.480186	640.86	640.86	0.3848
	6.8250	-0.490819	-0.490819	410.06	410.06	0.3742
	7.7000	-0.499573	-0.499573	293.63	293.63	0.3654
	8.5750	-0.505750	-0.505750	242.03	242.03	0.3592
	9.4500	-0.508635	-0.508635	170.35	170.35	0.3564
	10.3250	-0.506828	-0.506828	109.27	109.27	0.3582
	11.2000	-0.498045	-0.498045	81.96	81.96	0.3670
	12.0750	-0.479939	-0.479939	66.23	66.23	0.3851
	12.9500	-0.450166	-0.450166	53.08	53.08	0.4148
	13.8250	-0.406397	-0.406397	52.03	52.03	0.4586
	14.7000	-0.349827	-0.349827	217.53	217.53	0.5152
	15.5750	-0.289511	-0.289511	-121.27	-121.27	0.5755
	16.4500	-0.235565	-0.235565	-46.42	-46.42	0.6294
	17.3250	-0.198108	-0.198108	-28.73	-28.73	0.6669
APPUI	18.2000	-0.187259	-0.187259	-20.94	-20.94	0.6777
	19.5500	-0.232465	-0.232465	-41.74	-41.74	0.6325
	...					
	<i>Lignes supprimées</i>					
	...					
APPUI	62.7000	-0.406306	-0.406306	10000.00	10000.00	0.4587
	63.0500	-0.401308	-0.401308	10000.00	10000.00	0.4637
	63.4000	-0.396309	-0.396309	-10000.00	-10000.00	0.4687 ...

16.2.3 - Coefficient de transmission et allongement à la mise en tension

Cas du PSIDP sans encorbellement:

CONTRAINTES DANS UN CABLE APRES PERTES PAR FROTTEMENT ET REcul D'ANCRAGE AVEC PLUSIEURS HYPOTHESES DE MISE EN TENSION

- Contrainte de mise en tension : 1432.00000
- Recul d'ancrage : 0.600000000E-02
- Coefficient de frottement μ : 0.180000000
- Deviation angulaire parasite k : 0.110000000E-01
- Coefficient de transmission : 0.829514892
- Deviation angulaire totale : 0.565412317

	x	ORIGINE SEULE	EXTREMITE SEULE	ORIGINE EXTREMITE	EXTREMITE ORIGINE
	0.0000	1292.426	1187.865	1292.426	1292.426
	0.2500	1293.066	1188.454	1293.066	1293.066
APPUI	0.5000	1293.707	1189.042	1293.707	1293.707
	1.1000	1295.245	1190.456	1295.245	1295.245
	1.7000	1296.786	1191.873	1296.786	1296.786
	2.3000	1298.330	1193.292	1298.330	1298.330
	2.9000	1299.875	1194.712	1299.875	1299.875
	3.5000	1301.433	1196.143	1301.433	1301.433
	4.1000	1303.025	1197.606	1303.025	1303.025
	4.7000	1304.656	1199.105	1304.656	1304.656
	5.3000	1306.332	1200.646	1306.332	1306.332
	5.9000	1308.025	1202.202	1308.025	1308.025
	6.5000	1309.874	1203.901	1309.874	1309.874
	7.1000	1312.316	1206.146	1312.316	1312.316
	7.7000	1315.571	1209.138	1315.571	1315.571
	8.3000	1319.590	1212.831	1319.590	1319.590
	8.9000	1324.459	1217.306	1324.459	1324.459
	9.5000	1329.904	1222.311	1329.904	1329.904
	10.1000	1333.996	1226.072	1333.996	1333.996
	10.7000	1336.181	1228.080	1336.181	1336.181
	11.3000	1340.660	1232.196	1340.660	1340.660
	11.9000	1347.845	1238.788	1347.845	1347.845
APPUI	12.5000	1357.736	1247.891	1357.736	1357.736
	13.4000	1349.440	1260.560	1349.440	1349.440
	14.3000	1342.096	1267.438	1342.096	1342.096
	15.2000	1337.499	1271.794	1337.499	1337.499
	16.1000	1329.469	1279.476	1329.469	1329.469
	17.0000	1322.173	1286.536	1322.173	1322.173
	17.9000	1316.778	1291.807	1316.778	1316.778
	18.8000	1312.818	1295.704	1312.818	1312.818
	19.7000	1309.617	1298.871	1309.617	1309.617
	20.6000	1306.734	1301.736	1306.736	1306.736
	21.5000	1304.233	1304.233	1304.233	1304.233
	22.4000	1301.736	1306.736	1306.736	1306.736
	23.3000	1298.871	1309.617	1309.617	1309.617
	24.2000	1295.704	1312.818	1312.818	1312.818
	25.1000	1291.807	1316.778	1316.778	1316.778
	26.0000	1286.536	1322.173	1322.173	1322.173
	26.9000	1279.476	1329.469	1329.469	1329.469
	27.8000	1271.794	1337.499	1337.499	1337.499
	28.7000	1267.438	1342.096	1342.096	1342.096
	29.6000	1260.560	1349.440	1349.440	1349.440
APPUI	30.5000	1247.891	1357.736	1357.736	1357.736
	31.1000	1238.788	1347.845	1347.845	1347.845
	31.7000	1232.196	1340.660	1340.660	1340.660
	32.3000	1228.080	1336.181	1336.181	1336.181
	32.9000	1226.072	1333.996	1333.996	1333.996
	33.5000	1222.311	1329.904	1329.904	1329.904
	34.1000	1217.306	1324.459	1324.459	1324.459
	34.7000	1212.831	1319.590	1319.590	1319.590
	35.3000	1209.138	1315.571	1315.571	1315.571
	35.9000	1206.146	1312.316	1312.316	1312.316
	36.5000	1203.901	1309.874	1309.874	1309.874
	37.1000	1202.202	1308.025	1308.025	1308.025
	37.7000	1200.646	1306.332	1306.332	1306.332
	38.3000	1199.105	1304.656	1304.656	1304.656
	38.9000	1197.606	1303.025	1303.025	1303.025
	39.5000	1196.143	1301.433	1301.433	1301.433
	40.1000	1194.712	1299.875	1299.875	1299.875
	40.7000	1193.292	1298.330	1298.330	1298.330
	41.3000	1191.873	1296.786	1296.786	1296.786
	41.9000	1190.456	1295.245	1295.245	1295.245
APPUI	42.5000	1189.042	1293.707	1293.707	1293.707
	42.7500	1188.454	1293.066	1293.066	1293.066
	43.0000	1187.865	1292.426	1292.426	1292.426
Allongement MT		0.28813	0.28813	0.30292	0.30292

16.3 - Flexion transversale de la nervure

Cas du PSIDP sans encorbellement:

MOMENTS FLECHISSANTS ET EFFORTS NORMAUX CONCOMITANTS CALCULES SUIVANT LE DOSSIER PSIDP-EL

- Mxp : moment principal longitudinal (direction du biais mecanique)
- Myp : moment principal transversal (direction du biais mecanique)
- Myd : moment transversal perpendiculaire aux cables

[1]	[2]	[3]	[4]		
TRAVEE_1	CARA	MT_TOTALE	PSI	84.647	
[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]
MXp	Min	-179.49	N	4759.5	"ELS mise en tension : T = MT_TOT"
Myp	Min	-56.683	N	287.90	"ELS mise en tension : T = MT_TOT"
Myd	Min	-63.688	N	0.0000	"ELS mise en tension : T = MT_TOT"
MXp	Max	-44.577	N	3894.2	"ELS mise en tension : T = MT_TOT"
Myp	Max	0.0000	N	235.56	"ELS mise en tension : T = MT_TOT"
Myd	Max	-2.5426	N	0.0000	"ELS mise en tension : T = MT_TOT"
TRAVEE_1	ULTI	MT_TOTALE	PSI	84.647	
MXp	Min	-128.75	N	4759.5	"ELU mise en tension : T = MT_TOT"
Myp	Min	-14.061	N	287.90	"ELU mise en tension : T = MT_TOT"
Myd	Min	-20.602	N	0.0000	"ELU mise en tension : T = MT_TOT"
MXp	Max	-78.111	N	3894.2	"ELU mise en tension : T = MT_TOT"
Myp	Max	0.0000	N	235.56	"ELU mise en tension : T = MT_TOT"
Myd	Max	-4.4554	N	0.0000	"ELU mise en tension : T = MT_TOT"
TRAVEE_1	CARA	PROVISOIRE	PSI	84.647	
MXp	Min	-181.58	N	4688.2	"Chantier 34 m3 caracteristique AFF 1 profil PRV"
Myp	Min	-20.311	N	283.58	"LM3 VS generalise 100 caracteristique AFF 1 profil PRV"
Myd	Min	-29.510	N	0.0000	"Chantier 34 m3 caracteristique AFF 1 profil PRV"
MXp	Max	244.86	N	3412.1	"Chantier 34 m3 caracteristique AFF 1 profil PRV"
Myp	Max	101.70	N	206.40	"Chantier 23 m3 caracteristique AFF 1 profil PRV"
Myd	Max	109.48	N	0.0000	"Chantier 23 m3 caracteristique AFF 1 profil PRV"
TRAVEE_1	FREQ	PROVISOIRE	PSI	84.647	
MXp	Min	-181.58	N	4688.2	"Chantier 34 m3 frequent AFF 1 profil PRV"
Myp	Min	-20.311	N	283.58	"LM3 VS generalise 100 frequent AFF 1 profil PRV"
Myd	Min	-29.510	N	0.0000	"Chantier 34 m3 frequent AFF 1 profil PRV"
MXp	Max	244.86	N	3412.1	"Chantier 34 m3 frequent AFF 1 profil PRV"
Myp	Max	101.70	N	206.40	"Chantier 23 m3 frequent AFF 1 profil PRV"
Myd	Max	109.48	N	0.0000	"Chantier 23 m3 frequent AFF 1 profil PRV"
TRAVEE_1	ULTI	PROVISOIRE	PSI	84.647	
MXp	Min	-159.11	N	4688.2	"Chantier 34 m3 ultime AFF 1 profil PRV"
Myp	Min	-24.144	N	283.58	"Chantier 34 m3 ultime AFF 1 profil PRV"
Myd	Min	-31.842	N	0.0000	"Chantier 34 m3 ultime AFF 1 profil PRV"
MXp	Max	310.06	N	3412.1	"Chantier 34 m3 ultime AFF 1 profil PRV"
Myp	Max	80.073	N	206.40	"Chantier 23 m3 ultime AFF 1 profil PRV"
Myd	Max	92.580	N	0.0000	"Chantier 23 m3 ultime AFF 1 profil PRV"
TRAVEE_1	CARA	DEFINITIF	PSI	84.647	
MXp	Min	-263.81	N	4564.1	"LM3 VS R/EG C2 caracteristique AFF 3 profil DEF"
Myp	Min	-56.959	N	276.08	"LM1 et trottoirs (grla) caracteristique AFF 2 profil DEF"
Myd	Min	-68.728	N	0.0000	"LM1 et trottoirs (grla) caracteristique AFF 2 profil DEF"
MXp	Max	308.93	N	3408.4	"LM1 et trottoirs (grla) caracteristique AFF 2 profil DEF"
Myp	Max	86.528	N	206.18	"LM1 et trottoirs (grla) caracteristique AFF 2 profil DEF"
Myd	Max	99.214	N	0.0000	"LM1 et trottoirs (grla) caracteristique AFF 2 profil DEF"
TRAVEE_1	FREQ	DEFINITIF	PSI	84.647	
MXp	Min	-255.17	N	4564.1	"LM3 VS R/EG C2 frequent AFF 3 profil DEF"
Myp	Min	-53.425	N	276.08	"LM1 et trottoirs (grla) frequent AFF 2 profil DEF"
Myd	Min	-63.192	N	0.0000	"LM1 et trottoirs (grla) frequent AFF 2 profil DEF"
MXp	Max	238.71	N	3408.4	"LM3 VS R/EG C2 frequent AFF 3 profil DEF"
Myp	Max	75.992	N	206.18	"LM3 VS R/EG C2 frequent AFF 3 profil DEF"
Myd	Max	85.274	N	0.0000	"LM3 VS R/EG C2 frequent AFF 3 profil DEF"
TRAVEE_1	ULTI	DEFINITIF	PSI	84.647	
MXp	Min	-255.21	N	4564.1	"LM3 VS R/EG C2 ultime AFF 3 profil DEF"
Myp	Min	-58.323	N	276.08	"LM1 et trottoirs (grla) ultime AFF 2 profil DEF"
Myd	Min	-69.284	N	0.0000	"LM1 et trottoirs (grla) ultime AFF 2 profil DEF"
MXp	Max	384.53	N	3408.4	"LM1 et trottoirs (grla) ultime AFF 2 profil DEF"
Myp	Max	77.876	N	206.18	"LM1 et trottoirs (grla) ultime AFF 2 profil DEF"
Myd	Max	95.367	N	0.0000	"LM1 et trottoirs (grla) ultime AFF 2 profil DEF"

...
Lignes supprimées
...

Ce tableau récapitule les efforts de flexion transversale dans la direction des aciers en travée au ml en application de l'annexe du guide PSIDP-EL :

- [1] Partie d'ouvrage : travée
- [2] Combinaison.
- [3] Type de mise en tension partielle ou totale
- [4] Biais mécanique (grade)
- [5] Moment de calcul: M_{xp} longitudinal , M_{yp} transversal, M_{yd} perpendiculaire au câble
- [6] Effet maximum ou minimum
- [7] Valeur de l'effet.
- [8] Effort normal N
- [9] Valeur de l'effet
- [10] Intitulé de la combinaison dimensionnante

A noter que les efforts de flexion transversale de Guyon sont fournis dans les fichiers intermédiaires (Cf. 17.4 - Fichiers des efforts de flexion transversale Guyon dans la nervure, en fin du chapitre 4) tandis que les efforts de flexion longitudinale sont ceux issus du calcul de flexion ST1 telle que présentés dans la note de synthèse. Des valeurs plus détaillées sont fournies dans les fichiers bruts de sortie de ST1 de type "*_STM.txt"(concomitance au moment de flexion extrêmes).

On notera que les efforts de flexion longitudinale issus de ST1 sont surévalués car ils sont calculés dans la direction biaisée géométrique et non dans la direction biaisée mécanique, ce qui tend à surévaluer pour les ponts biais l'effort de flexion transversale dans la direction des aciers transversaux. Par ailleurs, les efforts des fibres les plus sollicitées sont issus de la flexion longitudinale et transversale est retenue alors qu'il ne s'agit pas du même point d'étude (seulement même abscisse longitudinale). Ce calcul est donc adéquat pour dimensionner un ouvrage, mais sévère pour une vérification d'un ouvrage existant.

16.4 - Flexion transversale d'un encorbellement

Dans le cas du PSIDP à large encorbellement, les calculs des aciers de flexion transversales sont fait selon l'annexe 12 du BPEL:

```
MOMENTS FLECHISSANTS MY EXTREMES APRES FISSURATION CALCULES SUIVANT L'ANNEXE 12 DU BPEL
ENCORB_D  CARA Min  -243.60  "LM1 et trottoirs (grla) caracteristique AFF 1 profil DEF"
ENCORB_D  CARA Max   0.0000  ""
ENCORB_D  FREQ Min  -193.30  "LM1 et trottoirs (grla) frequent AFF 1 profil DEF"
ENCORB_D  FREQ Max   0.0000  ""
ENCORB_D  ULTI Min  -317.31  "LM1 et trottoirs (grla) ultime AFF 1 profil DEF"
ENCORB_D  ULTI Max   0.0000  ""
ENCORB_G  CARA Min  -243.60  "LM1 et trottoirs (grla) caracteristique AFF 1 profil DEF"
ENCORB_G  CARA Max   0.0000  ""
ENCORB_G  FREQ Min  -193.30  "LM1 et trottoirs (grla) frequent AFF 1 profil DEF"
ENCORB_G  FREQ Max   0.0000  ""
ENCORB_G  ULTI Min  -317.31  "LM1 et trottoirs (grla) ultime AFF 1 profil DEF"
ENCORB_G  ULTI Max   0.0000  ""
```

On se reportera au paragraphe "Calcul des efforts dans les directions de ferrailage pour les ouvrages en BA (flexion simple) (Annexe 12A du BPEL)" du document méthodologique pour le calcul du moment dans la direction des aciers.

16.5 - Flèches à vide

Cas du PSIDP sans encorbellement:

FLECHES A VIDE A L'INFINI (LES FLECHES RELATIVES SONT LES FLECHES PAR RAPPORT A LA DROITE JOIGNANT LES DEUX APPUIS ENCADRANTS)

(LE PROFIL PROVISOIRE EST DONNE POUR INFORMATION)

Barre	Abscisse [2]	PROFIL DEFINITIF [1]		PROFIL PROVISOIRE [1]	
		Fleches absolues [3]	Fleches relatives [4]	Fleches absolues [3]	Fleches relatives [4]
TRAVEE_1	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
TRAVEE_1	0.600	0.0003	0.0003	0.0000	0.0000
TRAVEE_1	1.200	0.0005	0.0005	0.0001	0.0001
TRAVEE_1	1.800	0.0008	0.0008	0.0002	0.0002
TRAVEE_1	2.400	0.0011	0.0011	0.0003	0.0003
TRAVEE_1	3.000	0.0014	0.0014	0.0005	0.0005
TRAVEE_1	3.600	0.0017	0.0017	0.0007	0.0007
TRAVEE_1	4.200	0.0020	0.0020	0.0010	0.0010
TRAVEE_1	4.800	0.0022	0.0022	0.0012	0.0012
TRAVEE_1	5.400	0.0025	0.0025	0.0016	0.0016
TRAVEE_1	6.000	0.0027	0.0027	0.0018	0.0018
TRAVEE_1	6.600	0.0027	0.0027	0.0020	0.0020
TRAVEE_1	7.200	0.0027	0.0027	0.0022	0.0022
TRAVEE_1	7.800	0.0025	0.0025	0.0021	0.0021
TRAVEE_1	8.400	0.0022	0.0022	0.0020	0.0020
TRAVEE_1	9.000	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017
TRAVEE_1	9.600	0.0012	0.0012	0.0013	0.0013
TRAVEE_1	10.200	0.0007	0.0007	0.0009	0.0009
TRAVEE_1	10.800	0.0003	0.0003	0.0006	0.0006
TRAVEE_1	11.400	0.0001	0.0001	0.0002	0.0002
TRAVEE_1	12.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
TRAVEE_2	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
TRAVEE_2	0.900	0.0003	0.0003	-0.0002	-0.0002
TRAVEE_2	1.800	0.0010	0.0010	-0.0002	-0.0002
TRAVEE_2	2.700	0.0021	0.0021	0.0001	0.0001
TRAVEE_2	3.600	0.0034	0.0034	0.0005	0.0005
TRAVEE_2	4.500	0.0048	0.0048	0.0009	0.0009
TRAVEE_2	5.400	0.0060	0.0060	0.0013	0.0013
TRAVEE_2	6.300	0.0070	0.0070	0.0017	0.0017
TRAVEE_2	7.200	0.0078	0.0078	0.0020	0.0020
TRAVEE_2	8.100	0.0083	0.0083	0.0022	0.0022
TRAVEE_2	9.000	0.0084	0.0084	0.0022	0.0022
TRAVEE_2	9.900	0.0083	0.0083	0.0022	0.0022
TRAVEE_2	10.800	0.0078	0.0078	0.0020	0.0020
TRAVEE_2	11.700	0.0070	0.0070	0.0017	0.0017
TRAVEE_2	12.600	0.0060	0.0060	0.0013	0.0013
TRAVEE_2	13.500	0.0048	0.0048	0.0009	0.0009
TRAVEE_2	14.400	0.0035	0.0035	0.0005	0.0005
TRAVEE_2	15.300	0.0021	0.0021	0.0001	0.0001
TRAVEE_2	16.200	0.0010	0.0010	-0.0002	-0.0002
TRAVEE_2	17.100	0.0003	0.0003	-0.0002	-0.0002
TRAVEE_2	18.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
TRAVEE_3	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
...					
Lignes supprimées					
...					

Ce tableau récapitule les flèches moyennes (nominales) de la traverse sous charges permanentes :

- [1] Profil de circulation provisoire ou définitif
- [2] Abscisse longitudinale absolue.
- [3] Flèche absolue
- [4] Flèche relative

16.6 - Réactions et rotations par ligne d'appuis

Cas du PSIDP sans encochement:

PROFIL PROVISOIRE [1]: REACTIONS ET ROTATIONS (MILLI-RADIANS) EXTREMES DU TABLIER SUR CHAQUE LIGNE D'APPUIS
 Les charges permanentes incluent la precontrainte caractéristique entre la mise en service et l'infini

- ELS QUASI PERMANENT [2]

		Charges permanentes		Thermique quasi perm.	
		Fy	Rz	Fy	Rz
		[3]	[4]	[3]	[4]
APPUI_1	Min	1699.0	-3.0576	-50.291	-.15824
	Max	2025.8	-1.8900	100.58	0.31648
APPUI_2	Min	5845.3	-1.3410	-100.58	-.11868
	Max	6964.8	-.19373	50.291	0.59341E-01
APPUI_3	Min	5844.0	0.19402	-100.58	-.59341E-01
	Max	6964.1	1.3407	50.291	0.11868
APPUI_4	Min	1699.4	1.8925	-50.291	-.31648
	Max	2026.4	3.0622	100.58	0.15824

- ELS FREQUENT

		Charges permanentes		Thermique quasi perm.		23M3-34M3		LM3 VS rapides	
		Fy	Rz	Fy	Rz	Fy	Rz	Fy	Rz
APPUI_1	Min	1699.0	-3.0576	-50.291	-.15824	-140.08	-.45205	-19.098	-.78348E-01
	Max	2025.8	-1.8900	100.58	0.31648	805.26	0.27537	116.15	0.37549E-01
APPUI_2	Min	5845.3	-1.3410	-100.58	-.11868	-73.605	-.55075	-12.887	-.75101E-01
	Max	6964.8	-.19373	50.291	0.59341E-01	1266.3	0.31620	149.63	0.55342E-01
APPUI_3	Min	5844.0	0.19402	-100.58	-.59341E-01	-73.605	-.31621	-12.887	-.55344E-01
	Max	6964.1	1.3407	50.291	0.11868	1266.3	0.55072	149.63	0.75097E-01
APPUI_4	Min	1699.4	1.8925	-50.291	-.31648	-140.08	-.27537	-19.098	-.37549E-01
	Max	2026.4	3.0622	100.58	0.15824	792.81	0.45205	114.68	0.78348E-01

- ELS CARACTERISTIQUE

		Charges permanentes		Thermique frequent		23M3-34M3		LM3 VS rapides	
		Fy	Rz	Fy	Rz	Fy	Rz	Fy	Rz
APPUI_1	Min	1604.9	-5.2493	-60.350	-.18989	-140.08	-.45205	-19.098	-.78348E-01
	Max	2120.0	0.30174	120.70	0.37978	805.26	0.27537	116.15	0.37549E-01
APPUI_2	Min	5625.6	-1.9576	-120.70	-.14242	-73.605	-.55075	-12.887	-.75101E-01
	Max	7184.6	0.42287	60.350	0.71209E-01	1266.3	0.31620	149.63	0.55342E-01
APPUI_3	Min	5624.3	-.42259	-120.70	-.71209E-01	-73.605	-.31621	-12.887	-.55344E-01
	Max	7183.8	1.9573	60.350	0.14242	1266.3	0.55072	149.63	0.75097E-01
APPUI_4	Min	1605.2	-.29923	-60.350	-.37978	-140.08	-.27537	-19.098	-.37549E-01
	Max	2120.5	5.2539	120.70	0.18989	792.81	0.45205	114.68	0.78348E-01

- ELU FONDAMENTAL

		Charges permanentes		Thermique combinaison		23M3-34M3		LM3 VS rapides	
		Fy	Rz	Fy	Rz	Fy	Rz	Fy	Rz
APPUI_1	Min	1711.7	-3.8207	0.0000	0.0000	-189.11	-.61027	-25.782	-.10577
	Max	2666.1	-1.9001	0.0000	0.0000	1087.1	0.37174	156.80	0.50692E-01
APPUI_2	Min	5859.5	-2.1034	0.0000	0.0000	-99.366	-.74351	-17.397	-.10139
	Max	9429.7	-.37400	0.0000	0.0000	1709.5	0.42687	202.00	0.74711E-01
APPUI_3	Min	5858.3	0.37426	0.0000	0.0000	-99.366	-.42689	-17.397	-.74714E-01
	Max	9428.8	2.1030	0.0000	0.0000	1709.5	0.74347	202.00	0.10138
APPUI_4	Min	1712.0	1.9024	0.0000	0.0000	-189.11	-.37174	-25.782	-.50692E-01
	Max	2666.6	3.8248	0.0000	0.0000	1070.3	0.61027	154.81	0.10577

Ce tableau récapitule les réactions et les rotations par ligne d'appuis des composantes de charges permanentes et variables nécessaire au calcul des lignes d'appuis:

- [1] Profil provisoire ou définitif
- [2] Combinaison d'Etat limite
- [3] Réaction par lignes d'appui
- [4] Rotations par lignes d'appui

16.7 - Déplacements horizontaux des effets différés des lignes d'appuis

Ce tableau récapitule les déplacements obtenus par les effets différés seuls (retrait et fluage uniquement) selon les lignes d'appuis en supposant l'appui 1 étant l'appui fixe et les autres appuis étant libres.

- [1] Profil provisoire ou définitif
- [2] Ligne d'appui
- [3] Déplacement horizontal de l'ouvrage par rapport à la 1ere ligne d'appui

DEPLACEMENTS HORIZONTAUX DU TABLIER SUR APPUIS ENTRE LE DECOFFRAGE ET L'INFINI (RETRAIT ET FLUAGE SEULS)

Profil [1] [2]	Provisoire [3]	Définitif [3]
APPUI_1	0.0000	0.0000
APPUI_2	-.51463E-02	-.51373E-02
APPUI_3	-.12960E-01	-.12923E-01
APPUI_4	-.18100E-01	-.18054E-01

16.8 - Vérinage d'une ligne d'appui

Ce tableau récapitule les sollicitations de flexion longitudinale sous l'effet du verinage d'une ligne d'appui de 1cm.

- [1] Travée concernée
- [2] Abscisse absolue le long de la travée concernée
- [3] Ligne d'appui verinée

MOMENTS FLECHISSANTS DANS LE TABLIER ENGENDRES PAR UN VERINAGE D'APPUI DE 1 CM (MODULE INSTANTANE)

Barre [1]	Abscisse [2]	APPUI_1 [3]	APPUI_2 [3]	APPUI_3 [3]	APPUI_4 [3]
TRAVEE_1	0.000	-.91632E-10	-.50022E-11	0.68212E-12	-.22737E-12
TRAVEE_1	0.600	-55.879	104.31	-65.192	16.764
TRAVEE_1	1.200	-111.76	208.62	-130.38	33.528
TRAVEE_1	1.800	-167.64	312.92	-195.58	50.291
TRAVEE_1	2.400	-223.52	417.23	-260.77	67.055
TRAVEE_1	3.000	-279.40	521.54	-325.96	83.819
TRAVEE_1	3.600	-335.28	625.85	-391.15	100.58
TRAVEE_1	4.200	-391.15	730.16	-456.35	117.35
TRAVEE_1	4.800	-447.03	834.46	-521.54	134.11
TRAVEE_1	5.400	-502.91	938.77	-586.73	150.87
TRAVEE_1	6.000	-558.79	1043.1	-651.92	167.64
TRAVEE_1	6.600	-614.67	1147.4	-717.12	184.40
TRAVEE_1	7.200	-670.55	1251.7	-782.31	201.17
TRAVEE_1	7.800	-726.43	1356.0	-847.50	217.93
TRAVEE_1	8.400	-782.31	1460.3	-912.69	234.69
TRAVEE_1	9.000	-838.19	1564.6	-977.89	251.46
TRAVEE_1	9.600	-894.07	1668.9	-1043.1	268.22
TRAVEE_1	10.200	-949.95	1773.2	-1108.3	284.98
TRAVEE_1	10.800	-1005.8	1877.5	-1173.5	301.75
TRAVEE_1	11.400	-1061.7	1981.9	-1238.7	318.51
TRAVEE_1	12.000	-1117.6	2086.2	-1303.8	335.28
TRAVEE_2	0.000	-1117.6	2086.2	-1303.8	335.28
TRAVEE_2	0.900	-1044.9	1916.7	-1134.3	262.63
TRAVEE_2	1.800	-972.30	1747.2	-964.85	189.99
TRAVEE_2	2.700	-899.66	1577.7	-795.35	117.35
TRAVEE_2	3.600	-827.01	1408.2	-625.85	44.703
TRAVEE_2	4.500	-754.37	1238.7	-456.35	-27.940
TRAVEE_2	5.400	-681.73	1069.2	-286.85	-100.58
TRAVEE_2	6.300	-609.08	899.66	-117.35	-173.23
TRAVEE_2	7.200	-536.44	730.16	52.154	-245.87
TRAVEE_2	8.100	-463.80	560.66	221.65	-318.51
TRAVEE_2	9.000	-391.15	391.15	391.15	-391.15
TRAVEE_2	9.900	-318.51	221.65	560.66	-463.80

...
Lignes supprimées
...

16.9 - Déplacements horizontaux des effets différés des lignes d'appuis

Ce tableau récapitule les déplacements obtenus par les effets différés seuls (retrait et fluage uniquement) selon les lignes d'appuis en supposant l'appui 1 étant l'appui fixe et les autres appuis étant libres.

- [1] Profil provisoire ou définitif
- [2] Ligne d'appui
- [3] Déplacement horizontal de l'ouvrage par rapport à la 1ere ligne d'appui

DEPLACEMENTS HORIZONTAUX DU TABLIER SUR APPUIS ENTRE LE DECOFFRAGE ET L'INFINI (RETRAIT ET FLUAGE SEULS)

Profil [1] [2]	Provisoire [3]	Définitif [3]
APPUI_1	0.0000	0.0000
APPUI_2	-.51463E-02	-.51373E-02
APPUI_3	-.12960E-01	-.12923E-01
APPUI_4	-.18100E-01	-.18054E-01

16.10 - Lignes d'influence pour les calculs d'épreuves

Ce tableau récapitule les ligne d'influence des moments de flexion longitudinale (sans facteur de répartition transversale).

- [1] Travée concernée
- [2] Abscisse absolue le long de la travée concernée
- [3] Section d'étude concernée :mi travée ou appui

LIGNES D'INFLUENCE DES MOMENTS FLECHISSANTS EN MILIEU DE TRAVEES

Barre [1]	Abscisse [2]	Mi travée 1 [3]	Mi travée 2 [3]	Mi travée 3 [3]
TRAVEE_1	0.000	0.47692E-09	0.33384E-09	-.14308E-09
TRAVEE_1	0.600	-.23423	0.46038E-01	-.19731E-01
TRAVEE_1	1.200	-.46945	0.91385E-01	-.39165E-01
TRAVEE_1	1.800	-.70665	0.13535	-.58005E-01
TRAVEE_1	2.400	-.94681	0.17723	-.75956E-01
TRAVEE_1	3.000	-1.1909	0.21635	-.92720E-01
TRAVEE_1	3.600	-1.4400	0.25200	-.10800
TRAVEE_1	4.200	-1.6950	0.28350	-.12150
TRAVEE_1	4.800	-1.9569	0.31015	-.13292
TRAVEE_1	5.400	-2.2268	0.33127	-.14197
TRAVEE_1	6.000	-2.5055	0.34615	-.14835
TRAVEE_1	6.600	-2.1941	0.35412	-.15176
TRAVEE_1	7.200	-1.8936	0.35446	-.15191
TRAVEE_1	7.800	-1.6050	0.34650	-.14850
TRAVEE_1	8.400	-1.3292	0.32954	-.14123
TRAVEE_1	9.000	-1.0673	0.30288	-.12981
TRAVEE_1	9.600	-.82022	0.26585	-.11393
TRAVEE_1	10.200	-.58896	0.21773	-.93313E-01
TRAVEE_1	10.800	-.37451	0.15785	-.67648E-01
TRAVEE_1	11.400	-.17786	0.85500E-01	-.36643E-01
TRAVEE_1	12.000	-.33635E-05	0.18458E-05	-.79065E-06
TRAVEE_2	0.000	-.89025E-09	-.33384E-09	0.55641E-09
TRAVEE_2	0.900	0.23043	-.15404	0.65534E-01
TRAVEE_2	1.800	0.41924	-.33923	0.14153
TRAVEE_2	2.700	0.56934	-.55558	0.22509
TRAVEE_2	3.600	0.68360	-.80308	0.31332
TRAVEE_2	4.500	0.76494	-1.0817	0.40333
TRAVEE_2	5.400	0.81623	-1.3915	0.49223
TRAVEE_2	6.300	0.84037	-1.7325	0.57713
TRAVEE_2	7.200	0.84026	-2.1046	0.65512
TRAVEE_2	8.100	0.81879	-2.5079	0.72333
TRAVEE_2	9.000	0.77885	-2.9423	0.77885
TRAVEE_2	9.900	0.72333	-2.5079	0.81879
TRAVEE_2	10.800	0.65512	-2.1046	0.84026
TRAVEE_2	11.700	0.57713	-1.7325	0.84037
TRAVEE_2	12.600	0.49223	-1.3915	0.81623
TRAVEE_2	13.500	0.40333	-1.0817	0.76494
TRAVEE_2	14.400	0.31332	-.80308	0.68360
TRAVEE_2	15.300	0.22509	-.55558	0.56934
TRAVEE_2	16.200	0.14153	-.33923	0.41924
TRAVEE_2	17.100	0.65534E-01	-.15404	0.23043
TRAVEE_2	18.000	0.11874E-05	-.27696E-05	0.50431E-05

```

...
Lignes supprimées
...
LIGNES D'INFLUENCE DES MOMENTS FLECHISSANTS SUR APPUIS

Barre   Abscisse   - Appui 2 -   - Appui 3 -
TRAVEE_1  0.000   0.95384E-09  -.28615E-09
TRAVEE_1  0.600   0.13154      -.39462E-01
TRAVEE_1  1.200   0.26110     -.78330E-01
TRAVEE_1  1.800   0.38670     -.11601
TRAVEE_1  2.400   0.50637     -.15191
TRAVEE_1  3.000   0.61813     -.18544
TRAVEE_1  3.600   0.72000     -.21600
TRAVEE_1  4.200   0.81000     -.24300
TRAVEE_1  4.800   0.88615     -.26585
TRAVEE_1  5.400   0.94648     -.28395
TRAVEE_1  6.000   0.98901     -.29670
TRAVEE_1  6.600   1.0118      -.30353
TRAVEE_1  7.200   1.0127      -.30382
TRAVEE_1  7.800   0.99000     -.29700
TRAVEE_1  8.400   0.94154     -.28246
TRAVEE_1  9.000   0.86538     -.25962
TRAVEE_1  9.600   0.75956     -.22787
TRAVEE_1  10.200  0.62209     -.18663
TRAVEE_1  10.800  0.45099     -.13530
TRAVEE_1  11.400  0.24429     -.73286E-01
TRAVEE_1  12.000  0.52729E-05 -.15813E-05

TRAVEE_2  0.000  -.17805E-08  0.11128E-08
TRAVEE_2  0.900   0.46085     0.13107
TRAVEE_2  1.800   0.83848     0.28305
TRAVEE_2  2.700   1.1387      0.45017
TRAVEE_2  3.600   1.3672     0.62664
TRAVEE_2  4.500   1.5299     0.80666
TRAVEE_2  5.400   1.6325     0.98446
TRAVEE_2  6.300   1.6807     1.1543
TRAVEE_2  7.200   1.6805     1.3102
TRAVEE_2  8.100   1.6376     1.4467
TRAVEE_2  9.000   1.5577     1.5577
TRAVEE_2  9.900   1.4467     1.6376
TRAVEE_2  10.800  1.3102     1.6805
TRAVEE_2  11.700  1.1543     1.6807
TRAVEE_2  12.600  0.98446    1.6325
TRAVEE_2  13.500  0.80666    1.5299
TRAVEE_2  14.400  0.62664    1.3672
TRAVEE_2  15.300  0.45017    1.1387
TRAVEE_2  16.200  0.28305    0.83848
TRAVEE_2  17.100  0.13107    0.46085
TRAVEE_2  18.000  0.23747E-05 0.10086E-04

...
Lignes supprimées
...

```

Ce tableau récapitule les ligne d'influence des réactions d'appuis (sans facteur de répartition transversale).

- [1] Travée concernée
- [2] Abscisse absolue le long de la travée concernée
- [3] Ligne d'appui concernée

```

LIGNES D'INFLUENCE DES REACTIONS D'APPUIS

Barre   Abscisse   - Appui 1 -   - Appui 2 -   - Appui 3 -   - Appui 4 -
  [1]     [2]       [3]           [3]           [3]           [3]
TRAVEE_1  0.000   1.0000   0.14837E-09  -.92734E-10  0.23846E-10
TRAVEE_1  0.600   0.93904  0.70462E-01  -.12788E-01  0.32885E-02
TRAVEE_1  1.200   0.87824  0.14062     -.25385E-01  0.65275E-02
TRAVEE_1  1.800   0.81777  0.21015     -.37596E-01  0.96676E-02
TRAVEE_1  2.400   0.75780  0.27877     -.49231E-01  0.12659E-01
TRAVEE_1  3.000   0.69849  0.34615     -.60096E-01  0.15453E-01
TRAVEE_1  3.600   0.64000  0.41200     -.70000E-01  0.18000E-01
TRAVEE_1  4.200   0.58250  0.47600     -.78750E-01  0.20250E-01
TRAVEE_1  4.800   0.52615  0.53785     -.86154E-01  0.22154E-01
TRAVEE_1  5.400   0.47113  0.59723     -.92019E-01  0.23662E-01
TRAVEE_1  6.000   0.41758  0.65385     -.96154E-01  0.24725E-01
TRAVEE_1  6.600   0.36569  0.70738     -.98365E-01  0.25294E-01
TRAVEE_1  7.200   0.31560  0.75754     -.98462E-01  0.25319E-01
TRAVEE_1  7.800   0.26750  0.80400     -.96250E-01  0.24750E-01
TRAVEE_1  8.400   0.22154  0.84646     -.91538E-01  0.23538E-01
TRAVEE_1  9.000   0.17788  0.88462     -.84135E-01  0.21635E-01
TRAVEE_1  9.600   0.13670  0.91815     -.73846E-01  0.18989E-01
TRAVEE_1  10.200  0.98159E-01 0.94677     -.60481E-01  0.15552E-01
TRAVEE_1  10.800  0.62418E-01 0.97015     -.43846E-01  0.11275E-01
TRAVEE_1  11.400  0.29643E-01 0.98800     -.23750E-01  0.61071E-02
TRAVEE_1  12.000  0.56059E-06 1.0000     -.51257E-06  0.13178E-06

TRAVEE_2  0.000   0.14837E-09 1.0000     0.25347E-09  -.92734E-10
TRAVEE_2  0.900  -.38405E-01 1.0067     0.42601E-01  -.10922E-01
TRAVEE_2  1.800  -.69874E-01 1.0007     0.92731E-01  -.23588E-01
TRAVEE_2  2.700  -.94889E-01 0.98314    0.14926     -.37514E-01
TRAVEE_2  3.600  -.11393    0.95508    0.21108     -.52220E-01
TRAVEE_2  4.500  -.12749    0.91767    0.27704     -.67222E-01

```

TRAVEE_2	5.400	-.13604	0.87204	0.34604	-.82038E-01
TRAVEE_2	6.300	-.14006	0.81931	0.41694	-.96188E-01
TRAVEE_2	7.200	-.14004	0.76062	0.48862	-.10919
TRAVEE_2	8.100	-.13646	0.69707	0.55995	-.12055
TRAVEE_2	9.000	-.12981	0.62981	0.62981	-.12981
TRAVEE_2	9.900	-.12055	0.55995	0.69707	-.13646
TRAVEE_2	10.800	-.10919	0.48862	0.76062	-.14004
TRAVEE_2	11.700	-.96188E-01	0.41694	0.81931	-.14006
TRAVEE_2	12.600	-.82038E-01	0.34604	0.87204	-.13604
TRAVEE_2	13.500	-.67222E-01	0.27704	0.91767	-.12749
TRAVEE_2	14.400	-.52220E-01	0.21108	0.95508	-.11393
TRAVEE_2	15.300	-.37514E-01	0.14926	0.98314	-.94889E-01
TRAVEE_2	16.200	-.23588E-01	0.92731E-01	1.0007	-.69874E-01
TRAVEE_2	17.100	-.10922E-01	0.42601E-01	1.0067	-.38405E-01
TRAVEE_2	18.000	-.19790E-06	0.76949E-06	1.0000	-.84051E-06
...					
Lignes supprimées					
...					

Ce tableau récapitule les ligne d'influence des fleches à mi travée (sans facteur de répartition transversale).

LIGNES D'INFLUENCE DE LA FLECHE (POSITIVE VERS LE HAUT) A MI-TRAVEES

Barre	Abscisse	Mi travée 1	Mi travée 2	Mi travée 3
TRAVEE_1	0.000	0.35640E-14	-.11079E-14	0.21103E-15
TRAVEE_1	0.600	0.34400E-06	-.15278E-06	0.29101E-07
TRAVEE_1	1.200	0.68060E-06	-.30327E-06	0.57765E-07
TRAVEE_1	1.800	0.10024E-05	-.44916E-06	0.85554E-07
TRAVEE_1	2.400	0.13021E-05	-.58815E-06	0.11203E-06
TRAVEE_1	3.000	0.15722E-05	-.71796E-06	0.13675E-06
TRAVEE_1	3.600	0.18053E-05	-.83628E-06	0.15929E-06
TRAVEE_1	4.200	0.19941E-05	-.94082E-06	0.17920E-06
TRAVEE_1	4.800	0.21311E-05	-.10293E-05	0.19605E-06
TRAVEE_1	5.400	0.22091E-05	-.10993E-05	0.20940E-06
TRAVEE_1	6.000	0.22205E-05	-.11487E-05	0.21881E-06
TRAVEE_1	6.600	0.21609E-05	-.11752E-05	0.22384E-06
TRAVEE_1	7.200	0.20378E-05	-.11763E-05	0.22406E-06
TRAVEE_1	7.800	0.18614E-05	-.11499E-05	0.21903E-06
TRAVEE_1	8.400	0.16419E-05	-.10936E-05	0.20830E-06
TRAVEE_1	9.000	0.13898E-05	-.10051E-05	0.19146E-06
TRAVEE_1	9.600	0.11154E-05	-.88223E-06	0.16804E-06
TRAVEE_1	10.200	0.82884E-06	-.72256E-06	0.13763E-06
TRAVEE_1	10.800	0.54057E-06	-.52382E-06	0.99776E-07
TRAVEE_1	11.400	0.26085E-06	-.28374E-06	0.54045E-07
TRAVEE_1	12.000	0.49652E-11	-.61212E-11	0.11661E-11
TRAVEE_2	0.000	0.55805E-14	0.53753E-14	-.82066E-15
TRAVEE_2	0.900	-.33986E-06	0.50621E-06	-.96658E-07
TRAVEE_2	1.800	-.61835E-06	0.10859E-05	-.20874E-06
TRAVEE_2	2.700	-.83973E-06	0.17093E-05	-.33199E-06
TRAVEE_2	3.600	-.10083E-05	0.23465E-05	-.46212E-06
TRAVEE_2	4.500	-.11282E-05	0.29676E-05	-.59488E-06
TRAVEE_2	5.400	-.12039E-05	0.35427E-05	-.72600E-06
TRAVEE_2	6.300	-.12395E-05	0.40420E-05	-.85121E-06
TRAVEE_2	7.200	-.12393E-05	0.44357E-05	-.96625E-06
TRAVEE_2	8.100	-.12077E-05	0.46937E-05	-.10668E-05
TRAVEE_2	9.000	-.11487E-05	0.47864E-05	-.11487E-05
TRAVEE_2	9.900	-.10668E-05	0.46937E-05	-.12077E-05
TRAVEE_2	10.800	-.96625E-06	0.44357E-05	-.12393E-05
TRAVEE_2	11.700	-.85121E-06	0.40420E-05	-.12395E-05
TRAVEE_2	12.600	-.72600E-06	0.35427E-05	-.12039E-05
TRAVEE_2	13.500	-.59488E-06	0.29676E-05	-.11282E-05
TRAVEE_2	14.400	-.46212E-06	0.23465E-05	-.10083E-05
TRAVEE_2	15.300	-.33199E-06	0.17093E-05	-.83973E-06
TRAVEE_2	16.200	-.20874E-06	0.10859E-05	-.61835E-06
TRAVEE_2	17.100	-.96658E-07	0.50621E-06	-.33986E-06
TRAVEE_2	18.000	-.17513E-11	0.91953E-11	-.74338E-11

16.11 - Justification sous sollicitations normales

Cette partie de la note de calcul n'est commentée que pour l'exemple du *PSIDP en dalle à larges encorbellements*.

16.11.1 - Nature des justifications

 Justifications des Sections (Contraintes Normales) : Calcul des aciers passifs

Le calcul des aciers passifs est effectuée pour toutes les sections de l'ouvrage
 et pour la largeur totale de l'ouvrage

Les résultats sont donnés de la manière suivante :

- flex : aciers passifs issus du dimensionnement en flexion à l'ELU
- fiss : aciers de fragilité liés à limitation de la fissuration
 aciers calculés selon l'EC2 art. 7.3.2 :
 * $A_{s,min} = k_c \cdot k_{fcteff} \cdot A_{ct} / \sigma_{s,s}$, à l'ELS quasi permanent
 Ce calcul n'est pas effectué dans le cas où on interdit la traction dans le béton à l'ELS quasi permanent (critère ELS BP SETRA)
- minten : aciers passifs de fragilité dans les zones tendues à l'ELS caractéristique
 aciers calculés selon l'EC2 art. 9.2.1.1 et 9.3.1.1
 BA :
 * $a_{smin} = 0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d / f_{yk}$

 BP : AN 9.2.1.1 => 7.3.2
 * $a_{smin} = k_c \cdot k_{fcteff} \cdot A_{ct} / f_{yk}$
 Ce calcul n'est pas effectué dans le cas où on interdit la traction dans le béton à l'ELS caractéristique (critère ELS BP SETRA)
- ruprec : aciers de rupture fragile de la précontrainte
 On détermine la part n des câbles à enlever pour atteindre la traction f_{ctm} dans le béton à l'ELS fréquent
 Dimensionnement la section à l'ELU de la manière suivante
 * efforts appliqués : $M = M_{els_freq} - n \cdot M_{prec}$ et $N = N_{els_freq} - n \cdot N_{prec}$
 * section de précontrainte multipliée par $1-n$
- min : aciers minimum
 * aciers minimum sur chaque face : $3\text{cm}^2/\text{ml}$ et $0,1\%A_c$

 Rmq : prévoir une section minimale de $5\text{cm}^2/\text{ml}$ si la partie d'ouvrage se situe en classe XD ou XS
- non sec: aciers correspondant au ferrailage non sectionnel
 * $A_{s,trans} \geq 0,2 \times A_{s,long}$

Ce paragraphe constitue un rappel des justifications effectuées par le programme : Cf. paragraphe 5.1.1 - Flexion longitudinale du chapitre 2 (méthode de calcul).

La note de calcul principale fournit les quantités d'aciers passifs nécessaires à la résistance de la section sous les combinaisons d'actions correspondantes aux états limites ultimes (combinaisons fondamentale et accidentelle) et aux états limites de service (combinaisons quasi-permanentes, fréquentes et caractéristiques), pour les profils provisoire et définitif.

16.11.2 - Aciers passifs longitudinaux

 Calcul des aciers passifs longitudinaux

La présence de "dep" en fin de ligne signifie qu'il y a un dépassement de contraintes admissibles à l'ELS. La Section est à redimensionner

Sections d'aciers de l'about de gauche :

 largeur extrados : 14.00 m [1]
 largeur intrados : 7.90 m

section	[3]	[4]	[5]	[6]	[2] aciers supérieurs					[11]	[2] aciers inférieurs					ml !
					[7]	[8]	[9]	[10]	min		total	ml !	flex	fiss	minten	
barre abs !	flex	fiss	minten	ruprec	min	total	ml !	flex	fiss	minten	ruprec	min	total	ml !		
ABOUT_G	0.00 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.0	0.0	27.7	27.7	3.5 !
ABOUT_G	0.50 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.0	0.0	27.7	27.7	3.5 !
ABOUT_G	1.00 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.0	0.0	27.7	27.7	3.5 !

Sections d'aciers de la travée 1 :

 largeur extrados : 14.00 m
 largeur intrados : 7.90 m

section	barre	abs !	flex	fiss	aciers supérieurs					ml !	flex	fiss	aciers inférieurs					ml !
					minten	ruprec	min	total	ml !				flex	fiss	minten	ruprec	min	
barre	abs !	flex	fiss	minten	ruprec	min	total	ml !	flex	fiss	minten	ruprec	min	total	ml !			

TRAVEE_1	0.00 !	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.0	0.0	27.7	27.7	3.5 !
TRAVEE_1	0.05 !	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.0	0.0	27.7	27.7	3.5 !
TRAVEE_1	0.10 !	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.0	0.0	27.7	27.7	3.5 !
TRAVEE_1	0.15 !	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.0	0.0	27.7	27.7	3.5 !
TRAVEE_1	0.20 !	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.4	0.0	27.7	27.7	3.5 !
TRAVEE_1	0.25 !	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.8	0.0	27.7	27.7	3.5 !
TRAVEE_1	0.30 !	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	1.0	0.0	27.7	27.7	3.5 !
TRAVEE_1	0.35 !	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	1.1	0.0	27.7	27.7	3.5 !
TRAVEE_1	0.40 !	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	1.0	0.0	27.7	27.7	3.5 !
TRAVEE_1	0.45 !	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.8	0.0	27.7	27.7	3.5 !
TRAVEE_1	0.50 !	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.6	0.0	27.7	27.7	3.5 !
TRAVEE_1	0.55 !	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.2	0.0	27.7	27.7	3.5 !
TRAVEE_1	0.60 !	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.0	0.0	27.7	27.7	3.5 !
TRAVEE_1	0.65 !	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.0	0.0	27.7	27.7	3.5 !
TRAVEE_1	0.70 !	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.0	0.0	27.7	27.7	3.5 !
TRAVEE_1	0.75 !	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.0	0.0	27.7	27.7	3.5 !
TRAVEE_1	0.80 !	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.0	0.0	27.7	27.7	3.5 !
TRAVEE_1	0.85 !	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.0	0.0	27.7	27.7	3.5 !
TRAVEE_1	0.90 !	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.0	0.0	27.7	27.7	3.5 !
TRAVEE_1	0.95 !	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.0	0.0	27.7	27.7	3.5 !
TRAVEE_1	1.00 !	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.7	0.0	27.7	27.7	3.5 !

Sections d aciers de la travée 2 :

largeur extradados : 14.00 m [1]

largeur intrados : 7.90 m

section	barre	abs !	flex	fiss	aciers superieurs				ml !	flex	fiss	aciers inferieurs				ml !
					minten	ruprec	min	total				minten	ruprec	min	total	
TRAVEE_2	0.00 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.7	0.0	27.7	27.7	3.5 !
TRAVEE_2	0.05 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.0	0.0	27.7	27.7	3.5 !
TRAVEE_2	0.10 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.1	0.0	27.7	27.7	3.5 !
TRAVEE_2	0.15 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.1	0.0	27.7	27.7	3.5 !
TRAVEE_2	0.20 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.2	0.0	27.7	27.7	3.5 !
TRAVEE_2	0.25 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.4	0.0	27.7	27.7	3.5 !
TRAVEE_2	0.30 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.6	0.0	27.7	27.7	3.5 !
TRAVEE_2	0.35 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.8	0.0	27.7	27.7	3.5 !
TRAVEE_2	0.40 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.9	0.0	27.7	27.7	3.5 !
TRAVEE_2	0.45 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	1.0	0.0	27.7	27.7	3.5 !
TRAVEE_2	0.50 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	1.0	0.0	27.7	27.7	3.5 !
TRAVEE_2	0.55 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	1.0	0.0	27.7	27.7	3.5 !
TRAVEE_2	0.60 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.9	0.0	27.7	27.7	3.5 !
TRAVEE_2	0.65 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.8	0.0	27.7	27.7	3.5 !
TRAVEE_2	0.70 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.7	0.0	27.7	27.7	3.5 !
TRAVEE_2	0.75 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.5	0.0	27.7	27.7	3.5 !
TRAVEE_2	0.80 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.3	0.0	27.7	27.7	3.5 !
TRAVEE_2	0.85 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.1	0.0	27.7	27.7	3.5 !
TRAVEE_2	0.90 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.1	0.0	27.7	27.7	3.5 !
TRAVEE_2	0.95 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.0	0.0	27.7	27.7	3.5 !
TRAVEE_2	1.00 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.8	0.0	27.7	27.7	3.5 !

Sections d aciers de la travée 3 :

largeur extradados : 14.00 m [1]

largeur intrados : 7.90 m

section	barre	abs !	flex	fiss	aciers superieurs						ml !	flex	fiss	aciers inferieurs				ml !
					minten	ruprec	min	total	[7]	[8]				[9]	[10]	[11]	minten	
TRAVEE_3	0.00 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.8	0.0	27.7	27.7	3.5 !		
TRAVEE_3	0.05 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.0	0.0	27.7	27.7	3.5 !		
TRAVEE_3	0.10 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.0	0.0	27.7	27.7	3.5 !		
TRAVEE_3	0.15 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.0	0.0	27.7	27.7	3.5 !		
TRAVEE_3	0.20 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.0	0.0	27.7	27.7	3.5 !		
TRAVEE_3	0.25 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.0	0.0	27.7	27.7	3.5 !		
TRAVEE_3	0.30 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.0	0.0	27.7	27.7	3.5 !		
TRAVEE_3	0.35 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.0	0.0	27.7	27.7	3.5 !		
TRAVEE_3	0.40 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.0	0.0	27.7	27.7	3.5 !		
TRAVEE_3	0.45 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.2	0.0	27.7	27.7	3.5 !		
TRAVEE_3	0.50 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.6	0.0	27.7	27.7	3.5 !		
TRAVEE_3	0.55 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.9	0.0	27.7	27.7	3.5 !		
TRAVEE_3	0.60 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	1.1	0.0	27.7	27.7	3.5 !		
TRAVEE_3	0.65 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	1.2	0.0	27.7	27.7	3.5 !		
TRAVEE_3	0.70 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	1.2	0.0	27.7	27.7	3.5 !		
TRAVEE_3	0.75 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.9	0.0	27.7	27.7	3.5 !		
TRAVEE_3	0.80 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.4	0.0	27.7	27.7	3.5 !		
TRAVEE_3	0.85 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.0	0.0	27.7	27.7	3.5 !		
TRAVEE_3	0.90 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.0	0.0	27.7	27.7	3.5 !		
TRAVEE_3	0.95 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.0	0.0	27.7	27.7	3.5 !		
TRAVEE_3	1.00 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.0	0.0	27.7	27.7	3.5 !		

Sections d aciers de l about de droite :

largeur extradados : 14.00 m

largeur intrados : 7.90 m

section	barre	abs !	flex	fiss	aciers superieurs				ml !	flex	fiss	aciers inferieurs				ml !
					minten	ruprec	min	total				minten	ruprec	min	total	
ABOUT_D	0.00 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.0	0.0	27.7	27.7	3.5 !
ABOUT_D	0.50 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.0	0.0	27.7	27.7	3.5 !
ABOUT_D	1.00 !	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	49.0	3.5 !	0.0	0.0	0.0	0.0	27.7	27.7	3.5 !

La note de calcul principale fournit les quantités d'aciers nécessaires longitudinaux pour chacune des sections de calcul.

- [1] Largeur de la section : Le programme prend en compte la section exacte du tablier corrigée par une surépaisseur au niveau de l'extrados afin de prendre en compte le bombement. Il fournit des quantités d'aciers pour la section totale. Les quantités d'aciers par mètre linéaire sont obtenues en divisant les sections d'aciers totales par la largeur. Dans le cas des sections de tabliers, le programme fournit les largeurs au niveau de l'intrados (largeur de la nervure) et de l'extrados (largeur complète), qui sont différentes lorsque la dalle n'est pas de profil rectangulaire.
- [2] nappe d'aciers calculés
- [3] barre : Partie d'ouvrage de la section de calcul
- [4] abs : Abscisse relative de la section d'étude par rapport à l'origine de la barre
- [5] flex : Quantité d'aciers de calcul correspondant à la résistance en flexion de la section
- [6] fiss : Quantité d'aciers minimum de limitation de la fissuration. Seuls les aciers tendus à l'ELS quasi-permanent sont soumis à cette vérification. Le programme détermine l'état de contrainte des fibres extrêmes de la section sous chaque couple d'effort ($M_{ELS,perm}$, $N_{ELS,perm}$). Pour chaque fibre tendue, le programme détermine ensuite la valeur de moment M tel que la contrainte sur la fibre tendue soit égale à f_{ctm} (avec $N = N_{ELS,perm}$), puis en déduit l'aire de béton tendu A_{ct} sous (M, N). La quantité d'acier minimum de fissuration est ensuite déterminée grâce à la formule suivante :
- $$A_{s,min} \cdot \sigma_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} \quad (\text{Cf. 5.1.1 - Flexion longitudinale du chapitre 2})$$
- [7] minten : quantité d'aciers minimum dans la section située en zone tendue à l'ELS. Seuls les aciers tendus à l'ELS caractéristique sont soumis à cette vérification. Le programme détermine l'aire de béton tendu sous ($M_{ELS,cara}$, $N_{ELS,cara}$), puis en déduit la largeur moyenne de la section de béton tendue, et enfin détermine la quantité d'acier minimum par l'application des formules suivantes :
- $$A_{s,min} = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / f_{yk}$$
- [8] ruprec : quantité d'acier minimum liée à la rupture fragile de la précontrainte. Ces aciers sont dimensionnés selon l'article 6.1 de l'eurocode 2 partie 2.
- [9] min : quantité d'acier minimum. Les sections d'aciers minimum proposées par le programme correspondent à une section de 3 cm²/ml de largeur. Dans le cas où le béton serait de classe XD ou XS, le projeteur prévoira une quantité minimum supérieure correspondant à 5 cm²/ml de largeur.
- [10] total : Aciers à mettre en place. Cette quantité correspond au maximum de toutes les quantités d'aciers calculées précédemment.
- [11] ml/ : quantité d'aciers à mettre en place divisée par la largeur de la section. Cf. [1]

Exemple numérique

Pour illustrer la séquence de calcul, on s'intéresse à la section à mi-travée (section d'abscisse 0,5 de la travée 2). La section est dans notre cas une section avec chanfreins symétriques de 12 m de largeur et de 70 cm de hauteur (pas de bombement défini).

Le programme détermine, dans un premier temps, les aciers *nécessaires à la résistance de la section*, sous chacune des combinaisons d'action considérée. Dans notre cas, on obtient pour la section entière :

- Acier supérieur : 0,0 cm²
- Acier inférieur : 0,0 cm²

Aciers de limitation de la fissuration : Le programme effectue ce dimensionnement pour chaque couple d'effort correspondant à un ELS quasi-permanent. Dans le cas de l'exemple, sous chaque couple d'efforts correspondant à un ELS quasi-permanent, le tablier reste entièrement comprimé. Aucun acier de limitation de la fissuration n'est alors nécessaire.

Aciers minimum tendus : Ces aciers ne sont nécessaires sur une fibre de la section que si cette fibre est susceptible d'être tendue à l'ELS caractéristique. Chaque couple d'efforts correspondant à un ELS caractéristique est traité indépendamment. Dans le cas de l'exemple, on s'intéressera au cas dimensionnant, à savoir le couple d'efforts $M_{ELS,CARA} = 8,14$ MN.m, et $N_{ELS,CARA} = 46,39$ MN.

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \quad (\text{et} \quad A_{s,min} \leq 0,0013 \cdot b_t \cdot d \quad \text{ce dernier critère n'est plus appliqué}) \text{ avec,}$$

- $f_{ctm} = 3,51$ MPa pour un béton C40 / 50
- $f_{yk} = 500$ MPa
- $d = 0,87$ m (enrobage de 3 cm)
- b_t largeur moyenne du béton tendu. Sous ($M_{ELS,CARA}$, $N_{ELS,CARA}$), on détermine l'aire de béton tendu, qui est ensuite divisée par la hauteur de béton tendu. On obtient dans le cas de l'exemple $b_t = 8,11$ m
- Au total,

$$\left. \begin{aligned} - \quad 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d &= 0,26 \times \frac{3,51}{500} \times 8,11 \times 0,87 = 128,7 \text{ cm}^2 \\ - \quad 0,0013 \cdot b_t \cdot d &= 0,0013 \times 8,11 \times 0,87 = 91,7 \text{ cm}^2 \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{dans le cas d'une dalle.} \\ A_{s,min,ten} = 128,7 \text{ cm}^2 \end{array}$$

(Le coefficient 1.2 n est plus appliqué dans chamo)

Aciers de rupture fragile de la précontrainte :

Pour illustrer la séquence de calcul, on s'intéresse à la section d'abscisse 0,25 de la travée 2. On s'intéresse uniquement au cas de charge dimensionnant.

La section à une épaisseur de $h = 90$ cm. La section de précontrainte totale est de $A_p = 468$ cm². (288 cm² en première phase puis 180 cm² en seconde phase)

À la date « infini », on a

$M_{ELS,req} = -3,61$ MN.m et $N_{ELS,req} = 57,76$ MN, dont :

- $M_{ELS,req} = -1,84$ MN.m et $N_{ELS,req} = 57,76$ MN pour les charges permanentes.
- $M_{ELS,req} = -1,77$ MN.m et $N_{ELS,req} = 0,0$ MN pour les surcharges.

On obtient alors les contraintes suivantes dans le béton :

- En fibre supérieure : $\sigma_{bet,sup} = 3,83$ MPa

- En fibre inférieure : $\sigma_{bet,inf} = 8,89 \text{ MPa}$

Les efforts isostatiques de la précontrainte sont les suivants :

- $M_{preq} = -8,53 \text{ MN.m}$ et $N_{preq} = 57,76 \text{ MN}$ pour les charges permanentes.

Les contraintes obtenues sous l'application des efforts isostatiques de précontrainte sont les suivantes :

- En fibre supérieure : $\sigma_{bet,sup,prec} = -0,8 \text{ MPa}$
- En fibre inférieure : $\sigma_{bet,inf,prec} = 15,65 \text{ MPa}$

Pour déterminer si des aciers de rupture fragile de précontrainte sont nécessaires, on regarde quelle est la part n de la précontrainte à enlever, afin d'obtenir une contrainte de traction égale à f_{ctm} dans le béton. Pour un béton C40/50, $f_{ctm} = 3,51 \text{ MPa}$.

$$n = \frac{\sigma_{bet} - f_{ctm}}{\sigma_{bet,prec}}$$

Ce calcul est effectué indépendamment pour la fibre supérieure, et la fibre inférieure.

Dans le cas de l'exemple, on obtient :

- $n_{sup} = -914 \%$ → Il est nécessaire de rajouter de la précontrainte pour obtenir une traction égale à f_{ctm} au niveau de la fibre supérieure du béton. Aucun acier n'est nécessaire.
- $n_{inf} = 97 \%$ → Si 93,1 % des câbles de précontraintes sont supprimés, on atteint f_{ctm} au niveau de la fibre inférieure de la section de béton. Des aciers peuvent être nécessaires.

On dimensionne alors les aciers passifs nécessaires pour que la section résiste aux efforts suivants :

$$M = M_{ELS,freq} - 0,97 \times M_{preq} = 4,69 \text{ MN.m} \text{ et } N = N_{ELS,freq} - 0,97 \times N_{preq} = 1,54 \text{ MN}$$

, considéré comme étant des efforts d'un ELU accidentel.

La section de précontrainte est diminuée : $A_{prec} = (1 - n_{inf}) \times A_p = (1 - 0,97) \times 468 = 7,67 \text{ cm}^2$

La quantité d'aciers passifs nécessaires alors obtenue est de 88,01 cm².

Aciers minimum : Ces aciers correspondent à 3 cm² par mètre de largeur de la section soit 36 cm² en fibre supérieure et 33 cm² en fibre inférieure.

L'ouvrage de l'exemple ne possède pas de dalles de transition. Dans le cas contraire, le programme fournit les aciers nécessaires. (exemple ne correspondant pas à l'ouvrage étudié)

Sections d aciers de la dalle de transition de droite :

 largeur de la dalle de transition de droite : 11.40 m

section	aciers superieurs						aciers inferieurs						
	abs	flex	fiss	minten	min	total	/ml	flex	fiss	minten	min	total	/ml
DDT_D	0.00	0.0	0.0	0.0	34.2	34.2	3.0	0.0	0.0	85.8	34.2	85.8	7.5
DDT_D	0.50	0.0	0.0	0.0	34.2	34.2	3.0	107.2	56.9	85.8	34.2	107.2	9.4
DDT_D	1.00	0.0	0.0	0.0	34.2	34.2	3.0	0.0	56.9	85.8	34.2	85.8	7.5

16.11.3 - Aciers passifs transversaux

Calcul des aciers passifs transversaux

Sections d aciers transversaux dans le tablier :

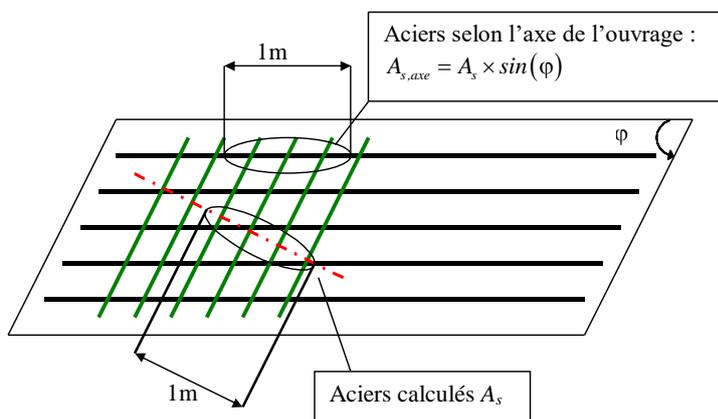
Quantité d aciers calculée pour 1 ml dans la direction perpendiculaire aux aciers
pour avoir la quantité par ml selon l axe de l ouvrage , multiplier par 0.9511 [12]

Le calcul de aciers transversaux peut amener à revoir la quantité d acier longitudinaux
Dans ce cas, la quantité d aciers longitudinaux à prévoir est précisée dans la colonne As_long

section	!	aciers superieurs						!	aciers inferieurs					!	
		[13]	[14]	[15]	[16]	[17]	[18]		Asx	Asy	Asy0	Al As_trans	As_long		
barre	!	Asx	Asy	Asy0	Al	As_trans	As_long	!	Asx	Asy	Asy0	Al	As_trans	As_long	!
TRAVEE_1	!	3.0	3.0	3.0	3.5	4.0	3.5	!	3.0	5.6	8.3	3.5	8.6	3.5	!
TRAVEE_2	!	3.0	3.0	3.0	3.5	3.1	3.5	!	3.0	10.4	11.8	19.2	12.0	19.2	!
TRAVEE_3	!	3.0	3.0	3.0	3.5	4.0	3.5	!	3.0	5.8	8.5	3.5	8.8	3.5	!

[12] Le programme se limitant au cas des ouvrages peu biaux, les aciers transversaux du tablier sont orientés dans la direction parallèle aux lignes d'appui. Les efforts transversaux donnés précédemment (Cf. 16.3 - Flexion transversale de la nervure) ont été déterminés dans cette direction.

La quantité d'aciers transversaux calculée par le programme correspond donc à la quantité d'aciers qu'il est nécessaire de mettre en place sur une largeur de 1m suivant la direction perpendiculaire aux lignes d'appui (largeur de 1m suivant coupe en rouge).



La quantité d'aciers par mètre linéaire selon l'axe de l'ouvrage peut être obtenue en multipliant la quantité d'acier fournie par $\sin(\varphi)$. (Ce point ne sert qu'au cacul des volumes finaux, à ne pas confondre avec le dimensionnement des aciers qui est fait selon l'annexe 12 A du BPEL et les compléments décrits dans l'annexe générique).

Le programme fournit une valeur par travée, ainsi qu'une valeur pour les encorbellements (s'ils existent).

Exemple numérique

Dans l'exemple, avec $\varphi = 80$ grades : $\sin(\varphi) = 0,9511$. Le programme fournit une valeur par travée, ainsi qu'une valeur pour les encorbellements (s'ils existent)

Le calcul des aciers transversaux dans le tablier est effectué conformément à la partie méthode de calcul 3.14. Le programme effectue un dimensionnement par travée.

[13] A_{sx} : Section d'acier dans la direction OX

[14] A_{sy} : Section d'acier dans la direction OY

[15] A_{sy0} : Section d'acier dans la direction Oy

[16] A_1 : Section d'aciers longitudinaux issue du dimensionnement effectué en phase précédente. Un unique calcul est effectué par travée : La section d'acier considéré est la section la plus faible rencontrée sur la travée.

[17] A_{s_trans} : Acier transversaux à mettre en place (par mètre linéaire perpendiculairement à la direction des aciers). Ils sont issus du calcul suivant :

$$A_{2ref} = \max \left(A_{y0} / \sin^2(\psi_b); \frac{A_x - A_1 \cos^2 \psi_b}{\cos^2(\varphi_b - \psi_b)} \right)$$

$$\text{si } \varphi_b \neq \psi_b, \text{ on calcul } A_{2bis} = \min \left(\frac{A_x - A_1 \sin^2 \psi_b}{\sin^2(\varphi_b - \psi_b)}; 2 \cdot A_{ref} \right)$$

$$\left. \vphantom{\begin{matrix} A_{2ref} \\ A_{2bis} \end{matrix}} \right\} A_2 = \max(A_{2ref}, A_{2bis})$$

[18] A_{s_long} : Quantité d'aciers longitudinaux. Si la quantité fournie est supérieure à celle fournie dans la phase de calcul en flexion longitudinale, celle-ci doit être augmentée. Cette quantité est issue du calcul suivant :

$$A_{s_long} = A_1 = \frac{A_x - 2 \times A_{2ref} \sin^2(\varphi_b - \psi_b)}{\sin^2(\psi_b)}$$

Exemple numérique

Pour illustrer la séquence de calcul, on s'intéresse aux aciers transversaux de la travée 2.

Pour cette travée, on a $\psi_b = 92,599$ grades et $\varphi_b = 80$ grades

Le programme détermine dans un premier temps les efforts aciers nécessaires dans les trois directions de calcul. On obtient

- $A_{x,sup} = 3 \text{ cm}^2 / \text{ m}$ et $A_{x,inf} = 3 \text{ cm}^2 / \text{ m}$
- $A_{y,sup} = 3 \text{ cm}^2 / \text{ m}$ et $A_{y,inf} = 10,4 \text{ cm}^2 / \text{ m}$
- $A_{y0,sup} = 3 \text{ cm}^2 / \text{ m}$ et $A_{y0,inf} = 11,8 \text{ cm}^2 / \text{ m}$

Le dimensionnement longitudinal à fourni les quantités minimum d'aciers longitudinaux suivantes :

$$A_{s,long,sup} = 3,0 \text{ cm}^2 / \text{ m} = A_{1,sup} \quad \text{et} \quad A_{s,long,inf} = 19,2 \text{ cm}^2 / \text{ m} = A_{1,inf}$$

On calcul A_{2ref}

- En fibre supérieure : $A_{2ref} = \max \left(3 / \sin^2(92,599); \frac{3 - 3 \times \cos^2(92,599)}{\cos^2(80 - 92,599)} \right) = 3,1 \text{ cm}^2 / \text{ m}$
- En fibre inférieure : $A_{2ref} = \max \left(11,8 / \sin^2(92,599); \frac{10,4 - 19,2 \times \cos^2(92,599)}{\cos^2(80 - 92,599)} \right) = 12,0 \text{ cm}^2 / \text{ m}$

$\varphi_b \neq \psi_b$, donc on calcul A_{2bis} .

- En fibre supérieure : $A_{2bis} = \min \left(\frac{3 - 3 \sin^2(92,599)}{\sin^2(80 - 92,599)}; 2 \times 3,08 \right) = 1,04 \text{ cm}^2 / \text{ m}$

$$- \text{ En fibre inférieure : } A_{2bis} = \min \left(\frac{3 - 19,2 \times \sin^2(92,599)}{\sin^2(80 - 92,599)} ; 2 \times 3,08 \right) = 0,0 \text{ cm}^2 / \text{ m}$$

On a $A_{2bis} < 2 \times A_{2ref}$, On obtient donc :

- En fibre supérieure : $A_2 = 3,1 \text{ cm}^2 / \text{ m}$
- En fibre inférieure : $A_2 = 12,0 \text{ cm}^2 / \text{ m}$
-

Sections d aciers transversaux dans les encorbellements:

section	!	aciers superieurs						!	aciers inferieurs						!		
		[19] abs	flex	[20] fiss	minten	min	non sec		[21] total	flex	fiss	minten	min	non sec		total	
ENCORB_G	!	13.7				3.0	0.0	13.7	!	0.0				3.0	0.0	3.0	!
ENCORB_D	!	13.7				3.0	0.0	13.7	!	0.0				3.0	0.0	3.0	!

Le programme fournit la quantité d'acier à mettre en œuvre sur chaque encorbellement s'ils existent.

- [19] abs : sans objet : Les aciers transversaux sont identiques sur toute la largeur de l'ouvrage.
- [20] fiss et min ten : Ces quantités d'acier minimum ne concernent pas les aciers transversaux
- [21] non sec : quantité d'aciers minimum correspondant aux règles de ferrailage non sectionnel. Pas de règles pour les encorbellement.

S'il existe des dalles de transition, le calcul effectué est identique à celui effectué pour le tablier. (exemple ne correspondant pas à l'ouvrage étudié)

Calcul des contraintes à l ELS :

MT partielle ELS quasi-permanent [22]

contraintes limites

section	!	aciersup		acierinf		betonsup		betoninf		precl		prec2	
		min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
[23]	!	-200.00	*****	-200.00	*****	-2.00	13.22	-2.00	13.22	-1432.20	0.00	-1432.20	0.00

La presence d etoile (**) signifie qu il n y a pas de contrainte limite reglementaire a l etat limite considere

contraintes calculées

section	!	aciersup		acierinf		betonsup		betoninf		precl		prec2	
		min	max	min	max								
[24] ABOUT_G 0.00	!	0.00	0.00	0.00	0.00	2.28	2.78	4.66	5.70	-1346.77	-1101.91	0.00	0.00
ABOUT_G 0.50	!	0.00	0.00	0.00	0.00	2.21	2.70	4.75	5.81	-1347.26	-1102.29	0.00	0.00
ABOUT_G 1.00	!	0.00	0.00	0.00	0.00	2.12	2.60	4.87	5.94	-1347.71	-1102.67	0.00	0.00
TRAVEE_1 0.00	!	0.00	0.00	0.00	0.00	2.12	2.60	4.87	5.94	-1348.54	-1103.37	0.00	0.00
TRAVEE_1 0.05	!	0.00	0.00	0.00	0.00	2.76	3.22	4.05	5.27	-1350.52	-1105.00	0.00	0.00
TRAVEE_1 0.10	!	0.00	0.00	0.00	0.00	3.29	3.73	3.37	4.74	-1352.88	-1106.91	0.00	0.00
...													
Lignes supprimées													
TRAVEE_1 0.90	!	0.00	0.00	0.00	0.00	2.71	6.31	1.64	4.46	-1408.09	-1152.08	0.00	0.00
TRAVEE_1 0.95	!	0.00	0.00	0.00	0.00	2.07	5.94	2.12	5.27	-1409.44	-1153.16	0.00	0.00
TRAVEE_1 1.00	!	0.00	0.00	0.00	0.00	0.92	4.95	3.37	6.74	-1409.65	-1153.33	0.00	0.00
TRAVEE_2 0.00	!	0.00	0.00	0.00	0.00	0.92	4.95	3.37	6.74	-1409.34	-1153.09	0.00	0.00
TRAVEE_2 0.05	!	0.00	0.00	0.00	0.00	2.63	6.48	1.41	4.55	-1407.15	-1151.32	0.00	0.00
TRAVEE_2 0.10	!	0.00	0.00	0.00	0.00	3.25	6.74	1.08	3.75	-1405.35	-1149.83	0.00	0.00
...													
Lignes supprimées													
TRAVEE_2 0.90	!	0.00	0.00	0.00	0.00	3.25	6.74	1.08	3.75	-1405.35	-1149.83	0.00	0.00
TRAVEE_2 0.95	!	0.00	0.00	0.00	0.00	2.63	6.48	1.41	4.55	-1407.15	-1151.32	0.00	0.00
TRAVEE_2 1.00	!	0.00	0.00	0.00	0.00	0.92	4.95	3.37	6.74	-1409.06	-1152.85	0.00	0.00
TRAVEE_3 0.00	!	0.00	0.00	0.00	0.00	0.92	4.95	3.37	6.74	-1409.34	-1153.09	0.00	0.00
TRAVEE_3 0.05	!	0.00	0.00	0.00	0.00	2.07	5.94	2.12	5.27	-1409.44	-1153.16	0.00	0.00
TRAVEE_3 0.10	!	0.00	0.00	0.00	0.00	2.71	6.31	1.64	4.46	-1408.09	-1152.08	0.00	0.00
...													
Lignes supprimées													
TRAVEE_3 0.90	!	0.00	0.00	0.00	0.00	3.29	3.73	3.37	4.74	-1352.88	-1106.91	0.00	0.00
TRAVEE_3 0.95	!	0.00	0.00	0.00	0.00	2.76	3.22	4.05	5.27	-1350.52	-1105.00	0.00	0.00

TRAVEE_3	1.00	!	0.00	0.00	0.00	0.00	2.12	2.61	4.87	5.94	-1349.38	-1104.03	0.00	0.00
ABOUT_D	0.00	!	0.00	0.00	0.00	0.00	2.12	2.60	4.87	5.94	-1348.54	-1103.37	0.00	0.00
ABOUT_D	0.50	!	0.00	0.00	0.00	0.00	2.21	2.70	4.75	5.81	-1347.26	-1102.29	0.00	0.00
ABOUT_D	1.00	!	0.00	0.00	0.00	0.00	2.28	2.78	4.66	5.70	-1346.77	-1101.91	0.00	0.00

[22] Date et état limite de calcul

[23] Le programme fournit les contraintes limites maximum et minimum acceptées dans chaque matériaux. Des étoiles (***) sont fournies lorsqu'il n'existe pas de contrainte réglementaire. Pour obtenir les contraintes limites, se reporter à la partie méthode de calcul 7.1.

[24] Pour chaque état limite, et à chaque date de vérification, le programme fournit les contraintes maximum et minimum obtenues dans les différents matériaux.

Exemple numérique

On se limite au cas présenté ci-dessus. Il s'agit des résultats relatifs à la combinaison ELS quasi-permanent, à la date de mise en tension partielle.

Aciers passifs : Pour les aciers, selon la partie 7.1.2 du document méthode de calcul, en construction, la traction dans les aciers est limitée à 1000 fois l'ouverture de fissure. Dans cet exemple, l'ouverture de fissure du tablier (dans le sens longitudinal) est limitée à 0,2 mm. La traction dans les aciers est donc limitée à 200 MPa. En compression, les aciers passifs ne sont pas réglementairement limités.

Béton : On a $f_{ck} = 40$ MPa. A la mise en tension partielle, on a $t = 7$ jours, donc $f_{ck}(7) = 29,38$ MPa et $f_{ctm}(7) = 2,86$ MPa.

La compression dans le béton est limitée à $0,45 \times f_{ck}(t) = 13,2$ MPa, selon le critère en compression défini en 7.9 dans le bordereau de données.

La traction est limitée à $0,7 \times f_{ctm}(t) = 2,0$ MPa selon le critère en traction défini en 7.9 dans le bordereau de données.

Aciers de précontrainte : Selon le critère défini dans la partie 7.9

En construction, la contrainte dans les câbles de précontrainte est limitée à $\min(0,77 f_{pk}; 0,87 f_{p01k})$.

Dans l'exemple, on a $f_{pk} = 1860$ MPa, et donc $f_{p01k} = 1674$ MPa. La contrainte maximum en traction acceptée dans les aciers de précontrainte est donc de 1432,2 MPa.

16.11.4 - Ratios d'aciers passifs hors étriers

Ce tableau fournit un récapitulatif simplifié des quantités d'aciers cumulées (longitudinales et transversales) par partie d'ouvrage :

- [1] Volume de béton.
- [2] Quantité d'acier
- [3] Ratio d'acier

Calcul des ratios d aciers passifs (hors étriers)

	[1]		[2]			[3]	
partie d ouvr	volume beton (m3)	!	acier long (Kg)	!	acier trans (Kg)	!	ratio (Kg/m3)
TRAVEE1	166.89	!	947.68	!	3199.29	!	24.85
TRAVEE2	257.49	!	1462.14	!	5406.83	!	26.68
TRAVEE3	166.89	!	947.68	!	3226.97	!	25.01
ABOUT_G	6.68	!	54.15	!	127.97	!	27.28
ABOUT_D	6.68	!	54.15	!	129.08	!	27.45

16.11.5 - Récapitulatifs des contraintes ELS dans les matériaux selon les différents états limites

Ce tableau fournit un récapitulatif des contraintes admissibles et appliquées dans les différentes parties d'ouvrage selon les différents Etats Limites pour le calcul à l'Etat Limite de Service :

- [1] Etat limite.
- [2] Matériau
- [3] Contrainte admissible (** signifie qu'il n'y a pas de limites)
- [4] Partie d'ouvrage
- [5] Contrainte appliquée

Calcul des contraintes à l ELS :

MT partielle Pmax ELS quasi-permanent [1]

contraintes limites

section	!	[2] min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
[3] !		-200.00*****		-200.00*****		-2.00	13.22	-2.00	13.22*****		0.00*****		0.00

La presence d etoile (**) signifie qu il n y a pas de contrainte limite reglementaire a l etat limite considere
[1]

contraintes calculées

section	!	[4] min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
[5] !		0.00	0.00	0.00	0.00	4.29	4.29	4.29	4.29	-1337.09	-1337.09	0.00	0.00
ABOUT_G 0.50	!	0.00	0.00	0.00	0.00	4.16	4.16	4.46	4.46	-1337.55	-1337.55	0.00	0.00
ABOUT_G 1.00	!	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	4.01	4.66	4.66	-1338.01	-1338.01	0.00	0.00
TRAVEE_1 0.00	!	0.00	0.00	0.00	0.00	4.01	4.01	4.66	4.66	-1338.82	-1338.82	0.00	0.00
TRAVEE_1 0.05	!	0.00	0.00	0.00	0.00	4.41	4.55	3.99	4.16	-1340.72	-1340.72	0.00	0.00
TRAVEE_1 0.10	!	0.00	0.00	0.00	0.00	4.71	4.97	3.47	3.80	-1342.97	-1342.97	0.00	0.00
TRAVEE_1 0.15	!	0.00	0.00	0.00	0.00	4.89	5.28	3.09	3.58	-1345.16	-1345.16	0.00	0.00
TRAVEE_1 0.20	!	0.00	0.00	0.00	0.00	4.97	5.47	2.86	3.50	-1347.35	-1347.35	0.00	0.00
TRAVEE_1 0.25	!	0.00	0.00	0.00	0.00	4.94	5.55	2.77	3.56	-1349.58	-1349.58	0.00	0.00
TRAVEE_1 0.30	!	0.00	0.00	0.00	0.00	4.81	5.53	2.82	3.73	-1351.96	-1351.96	0.00	0.00
TRAVEE_1 0.35	!	0.00	0.00	0.00	0.00	4.61	5.42	2.98	4.01	-1354.54	-1354.54	0.00	0.00
TRAVEE_1 0.40	!	0.00	0.00	0.00	0.00	4.34	5.24	3.23	4.37	-1357.35	-1357.35	0.00	0.00
TRAVEE_1 0.45	!	0.00	0.00	0.00	0.00	4.03	5.02	3.54	4.79	-1360.42	-1360.42	0.00	0.00
TRAVEE_1 0.50	!	0.00	0.00	0.00	0.00	3.70	4.76	3.89	5.24	-1363.95	-1363.95	0.00	0.00
TRAVEE_1 0.55	!	0.00	0.00	0.00	0.00	3.38	4.51	4.24	5.68	-1368.10	-1368.10	0.00	0.00
TRAVEE_1 0.60	!	0.00	0.00	0.00	0.00	3.13	4.33	4.51	6.02	-1372.94	-1372.94	0.00	0.00
TRAVEE_1 0.65	!	0.00	0.00	0.00	0.00	3.02	4.27	4.61	6.21	-1378.40	-1378.40	0.00	0.00
TRAVEE_1 0.70	!	0.00	0.00	0.00	0.00	3.06	4.46	4.42	6.19	-1384.05	-1384.05	0.00	0.00
TRAVEE_1 0.75	!	0.00	0.00	0.00	0.00	3.35	4.90	3.90	5.87	-1388.95	-1388.95	0.00	0.00
TRAVEE_1 0.80	!	0.00	0.00	0.00	0.00	3.83	5.53	3.11	5.28	-1391.99	-1391.99	0.00	0.00
TRAVEE_1 0.85	!	0.00	0.00	0.00	0.00	4.28	6.15	2.33	4.71	-1392.71	-1392.71	0.00	0.00
TRAVEE_1 0.90	!	0.00	0.00	0.00	0.00	4.44	6.48	1.90	4.50	-1391.54	-1391.54	0.00	0.00
TRAVEE_1 0.95	!	0.00	0.00	0.00	0.00	4.05	6.27	2.16	4.98	-1389.67	-1389.67	0.00	0.00
TRAVEE_1 1.00	!	0.00	0.00	0.00	0.00	2.97	5.37	3.30	6.35	-1388.76	-1388.76	0.00	0.00
TRAVEE_2 0.00	!	0.00	0.00	0.00	0.00	2.96	5.36	3.30	6.35	-1388.14	-1388.14	0.00	0.00
TRAVEE_2 0.05	!	0.00	0.00	0.00	0.00	4.36	6.61	1.71	4.57	-1387.48	-1387.48	0.00	0.00
TRAVEE_2 0.10	!	0.00	0.00	0.00	0.00	4.46	6.57	1.78	4.46	-1390.00	-1390.00	0.00	0.00
TRAVEE_2 0.15	!	0.00	0.00	0.00	0.00	4.29	6.28	2.17	4.70	-1392.48	-1392.48	0.00	0.00
TRAVEE_2 0.20	!	0.00	0.00	0.00	0.00	4.25	6.21	2.25	4.75	-1392.61	-1392.61	0.00	0.00
TRAVEE_2 0.25	!	0.00	0.00	0.00	0.00	4.11	6.17	2.30	4.91	-1390.85	-1390.85	0.00	0.00
TRAVEE_2 0.30	!	0.00	0.00	0.00	0.00	3.76	5.89	2.63	5.33	-1387.91	-1387.91	0.00	0.00
TRAVEE_2 0.35	!	0.00	0.00	0.00	0.00	3.31	5.49	3.11	5.88	-1384.48	-1384.48	0.00	0.00
TRAVEE_2 0.40	!	0.00	0.00	0.00	0.00	2.95	5.17	3.49	6.32	-1381.31	-1381.31	0.00	0.00

...
Lignes supprimées
...

16.12 - Justifications sous sollicitations tangentes

Ces pages restituent les résultats des justifications sous sollicitations tangentes.

Ces résultats sont présentés sur l'exemple de PSIDP en dalle pleine en mode vérificateur

JUSTIFICATIONS SOUS SOLLICITATIONS TANGENTES (UNITES KN, M ET DEGRES)

 Enveloppe des états limites ultimes de combinaison fondamentale et accidentelle

Abs	Ved	Ned	Vrdc	Vrdmax	Vrds	teta	Asw/s min	Asw/s cal	Asw/s final	n° env	Titre enveloppe	
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	
Barre n° 10 ABOUT GAUCHE												
bw= 11.160 z_ut= 0.567												
0.00	749.7	51422.0	8696.1	36098.1	6960.0	21.8	112.9	12.2	112.9	3670	ELU	fondamental : T = MS profil DEF
0.25	957.7	51422.0	8696.1	36098.1	6960.0	21.8	112.9	15.5	112.9	3670	ELU	fondamental : T = MS profil DEF
0.50	1244.7	52801.0	8696.1	36279.7	6960.0	21.8	112.9	20.2	112.9	3660	ELU	fondamental : T = MS profil PRV
Barre n° 1 TRAVEE 1												
bw= 11.160 z_ut= 0.567												
0.00	2840.4	47058.0	8696.1	35523.4	6960.0	21.8	112.9	46.1	112.9	3680	ELU	fondamental : T = INFINI profil PRV
0.60	2444.8	47052.0	8696.1	35522.6	6960.0	21.8	112.9	39.7	112.9	3690	ELU	fondamental : T = INFINI profil DEF
1.20	2103.6	47104.0	8696.1	35529.4	6960.0	21.8	112.9	34.1	112.9	3690	ELU	fondamental : T = INFINI profil DEF
1.80	1765.7	47157.0	8696.1	35536.4	6960.0	21.8	112.9	28.6	112.9	3690	ELU	fondamental : T = INFINI profil DEF
2.40	1431.6	47206.0	8696.1	35542.8	6960.0	21.8	112.9	23.2	112.9	3690	ELU	fondamental : T = INFINI profil DEF
3.00	1101.5	47255.0	8696.1	35549.3	6960.0	21.8	112.9	17.9	112.9	3690	ELU	fondamental : T = INFINI profil DEF
3.60	895.8	51777.0	8696.1	36144.9	6960.0	21.8	112.9	14.5	112.9	3670	ELU	fondamental : T = MS profil DEF
4.20	1171.8	51826.0	8696.1	36151.3	6960.0	21.8	112.9	19.0	112.9	3670	ELU	fondamental : T = MS profil DEF
4.80	1491.3	51870.0	8696.1	36157.1	6960.0	21.8	112.9	24.2	112.9	3670	ELU	fondamental : T = MS profil DEF
5.40	1811.1	51915.0	8696.1	36163.0	6960.0	21.8	112.9	29.4	112.9	3670	ELU	fondamental : T = MS profil DEF
6.00	2003.4	53473.0	8696.1	36368.2	6960.0	21.8	112.9	32.5	112.9	3660	ELU	fondamental : T = MS profil PRV
6.60	2207.3	53567.0	8696.1	36380.6	6960.0	21.8	112.9	35.8	112.9	3660	ELU	fondamental : T = MS profil PRV
7.20	1956.7	47714.0	8696.1	35609.8	6960.0	21.8	112.9	31.7	112.9	3680	ELU	fondamental : T = INFINI profil PRV
7.80	1712.8	47869.0	8696.1	35630.2	6960.0	21.8	112.9	27.8	112.9	3680	ELU	fondamental : T = INFINI profil PRV
8.40	1566.9	52621.0	8696.1	36256.0	6960.0	21.8	112.9	25.4	112.9	3670	ELU	fondamental : T = MS profil DEF
9.00	2397.3	52804.0	8696.1	36280.1	6960.0	21.8	112.9	38.9	112.9	3670	ELU	fondamental : T = MS profil DEF
9.60	2422.3	52898.0	8696.1	36292.5	6960.0	21.8	112.9	39.3	112.9	3670	ELU	fondamental : T = MS profil DEF
10.20	2454.6	52991.0	8696.1	36304.7	6960.0	21.8	112.9	39.8	112.9	3670	ELU	fondamental : T = MS profil DEF
10.80	1909.8	48665.0	8696.1	35735.0	6960.0	21.8	112.9	31.0	112.9	3680	ELU	fondamental : T = INFINI profil PRV
11.40	3005.6	48863.0	8696.1	35761.1	6960.0	21.8	112.9	48.8	112.9	3680	ELU	fondamental : T = INFINI profil PRV
12.00	3393.4	48863.0	8696.1	35761.1	6960.0	21.8	112.9	55.1	112.9	3680	ELU	fondamental : T = INFINI profil PRV
Barre n° 2 TRAVEE 2												
bw= 11.160 z ut= 0.567												
0.00	6416.0	55269.0	8696.1	36604.8	6960.0	21.8	112.9	104.1	112.9	3660	ELU	fondamental : T = MS profil PRV
0.90	3378.8	49120.0	8696.1	35794.9	6960.0	21.8	112.9	54.8	112.9	3680	ELU	fondamental : T = INFINI profil PRV
1.80	1927.5	49139.0	8696.1	35797.4	6960.0	21.8	112.9	31.3	112.9	3680	ELU	fondamental : T = INFINI profil PRV
2.70	1912.4	53862.0	8696.1	36419.5	6960.0	21.8	112.9	31.0	112.9	3670	ELU	fondamental : T = MS profil DEF
3.60	1583.4	53910.0	8696.1	36425.8	6960.0	21.8	112.9	25.7	112.9	3670	ELU	fondamental : T = MS profil DEF
4.50	1487.9	49265.0	8696.1	35814.0	6960.0	21.8	112.9	24.1	112.9	3680	ELU	fondamental : T = INFINI profil PRV
5.40	1428.3	49251.0	8696.1	35812.2	6960.0	21.8	112.9	23.2	112.9	3680	ELU	fondamental : T = INFINI profil PRV
6.30	1199.3	49230.0	8696.1	35809.4	6960.0	21.8	112.9	19.5	112.9	3680	ELU	fondamental : T = INFINI profil PRV
7.20	1066.0	53716.0	8696.1	36400.2	6960.0	21.8	112.9	17.3	112.9	3670	ELU	fondamental : T = MS profil DEF
8.10	1109.9	53664.0	8696.1	36393.4	6960.0	21.8	112.9	18.0	112.9	3670	ELU	fondamental : T = MS profil DEF
9.00	838.9	53644.0	8696.1	36390.7	6960.0	21.8	112.9	13.6	112.9	3670	ELU	fondamental : T = MS profil DEF
9.90	1109.7	53663.0	8696.1	36393.2	6960.0	21.8	112.9	18.0	112.9	3670	ELU	fondamental : T = MS profil DEF
10.80	1065.8	53715.0	8696.1	36400.1	6960.0	21.8	112.9	17.3	112.9	3670	ELU	fondamental : T = MS profil DEF
11.70	1199.5	49229.0	8696.1	35809.3	6960.0	21.8	112.9	19.5	112.9	3680	ELU	fondamental : T = INFINI profil PRV
12.60	1428.5	49250.0	8696.1	35812.0	6960.0	21.8	112.9	23.2	112.9	3680	ELU	fondamental : T = INFINI profil PRV
... Lignes supprimées ...												

NOTA : [17]

REGLES GENERALES

* Tous les elements de structure sont assimiles a des poutres

* Les sections de cadres ou d'etriers mis en oeuvre devront respecter les dispositions suivantes :

- espacement longitudinal sl,max = 0.75*d [EC-2-1-1 paragraphe 9.3.2(4)]

- espacement transversal st,max = 1.50*d [EC-2-1-1 paragraphe 9.3.2(5)]

Ce tableau récapitule les résultats des justifications sous sollicitations tangentes, conformément au paragraphe 5.2 - Sollicitations tangentes du chapitre 2 (méthode de calcul).

ESTIMATION DU POIDS D'ACIER D'EFFORT TRANCHANT

LE POIDS D'ACIER SERA SUPERIEUR A LA VALEUR SUIVANTE :

Pmin_ET = 2421. kg

partie d'ouv	longueur barre(m)	Volume de beton de la barre(m3)	quantite etriers (kg)	ratio (kg/m3)
ABOUT GAUC	0.5	4.2	28.1	6.7
TRAVEE 1	12.0	100.2	675.5	6.7
TRAVEE 2	18.0	150.3	1013.3	6.7
TRAVEE 3	12.0	100.2	675.5	6.7
ABOUT DROI	0.5	4.2	28.1	6.7
total		359.0	2420.6	6.7

Ce paragraphe donne une estimation du poids d'acier d'effort tranchant obtenu à partir de la section requise au m² et non des sections réelles.

La note de calcul principale fournit l'enveloppe des états limites ultimes (combinaisons fondamentale et accidentelle pour les profils provisoire et définitif), l'enveloppe étant basée sur la section de calcul (A_{sw}/s cal). Les notes de calculs auxiliaires comprennent un tableau de ce type pour chacune des enveloppes d'état limite ultime prises en compte.

Chaque ligne fournit les résultats pour une section d'étude de la barre considérée dont il est rappelé le numéro et le nom de la barre [13] et [14], la largeur nette de la barre et le bras de levier du couple élastique [15] et [16].

[1] Abscisse de la section d'étude par rapport à l'origine de la barre

[2] Effort tranchant de calcul V_{Ed} : Il s'agit de l'effort tranchant réduit, tenant compte de l'inclinaison des câbles de précontrainte

[3] Effort normal concomitant à l'effort tranchant de calcul N_{Ed}

[4] Effort résistant du béton seul (sans armature passive)

$$V_{Rd,c} = (v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \quad [\text{EC2-1-1 Expr. (6.2.b)}]$$

[5] Effort résistant des bielles pour l'inclinaison θ choisie par Chamoia

$$V_{Rd,max} = a_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_j \cdot f_{cd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) / (1 + \cot^2 \theta) \quad [\text{EC2-1-1 Expr. (6.14)}]$$

[6] Effort résistant des armatures pour l'inclinaison θ choisie par Chamoia

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha \quad [\text{EC2-1-1 Expr. (6.13)}]$$

[7] Angle optimal θ d'inclinaison de la bielle (angle le plus faible possible).

L'angle minimal θ_{\min} d'inclinaison de la bielle est tel que $\cot \theta_{\min} = 2,5$ ou $1,5$, correspondant à $21,8^\circ$ ou $33,7^\circ$.

- Si $\theta > \theta_{\min}$, il a été possible de déterminer l'angle optimal qui minimise la section d'acier utile, et qui est tel que $V_{Rd,max}(\theta) = V_{Ed}$. Dans un tel cas, les bielles sont sollicitées à leur limite.
- Si $\theta = \theta_{\min}$, la limitation réglementaire de l'inclinaison des bielles ne permet pas de les solliciter au maximum et on constate que $V_{Rd,max}(\theta_{\min}) < V_{Ed}$, ce qui est courant pour les dalles dont la largeur « d'âme » b_w est très importante.

[8] Section minimale d'acier d'effort lorsqu'elle est requise (en cm²/m pour toute la largeur b_w)

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq (0,08 \sqrt{f_{ck}}) / f_{yk} \cdot b_w \cdot \sin \alpha \quad [\text{EC2-1-1 9.2.2}]$$

[9] Section de calcul résultant de l'inclinaison θ équilibrant l'effort tranchant de calcul V_{Ed} (en cm²/m pour toute la largeur b_w)

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{Ed}}{z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha} \quad \text{tirée de } [\text{EC2-1-1 Expr. (6.13)}]$$

[10] Section à retenir (en cm²/m pour toute la largeur b_w)

- si $V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$, aucune armature d'effort tranchant n'est mise en œuvre dans le cas des dalles, le ferrailage minimum [7] est requis dans le cas des poutres (pieux et barrettes dans le cadre de Chamoia pour les PIPO).

- si $V_{Ed} > V_{Rd,c}$, le ferrailage à mettre en œuvre est le maximum de la section de calcul [8] et du ferrailage minimum [7].

[11], [12] Numéro et libellé de l'enveloppe conduisant au ferrailage de calcul maximal [8]

[15] La largeur prise en compte est la largeur de la section d'étude au niveau du centre de gravité.

[17] Les règles sur les espacements et sur les diamètres à utiliser, qui devront être utilisées pour constituer les ferrillages, sont rappelées par parties d'ouvrage.

Exemple numérique :

Les efforts sont calculés pour la pleine largeur des barres. Il s'agit de la largeur droite pour la dalle du tablier et les dalles de transition éventuelles. Les largeurs sont évaluées au droit du centre de gravité de la section brute.

La dalle est une dalle chanfreinée. Son centre de gravité est très proche de la demi-épaisseur de la dalle. La largeur brute est donc ici égale à la largeur de l'extrados soit 12,00 m.

La largeur nette se déduit de la largeur brute de la manière suivante :

N_c = nombre de câbles de précontrainte : 24 câbles 12 T 15 super

\varnothing = diamètre de la gaine : 0,07 m

$$b_w = b_0 - N_c \cdot \frac{\varnothing}{2} \quad \text{si } N_c \cdot \varnothing > \frac{b_w}{8}$$

$$b_0 = 12,00 \text{ m} < \frac{17 N_c \cdot \varnothing_w}{2} = \frac{17 \times 24 \times 0,07}{2} = 14,28 \text{ m} : \text{vérifié}$$

$$\Rightarrow b_w = b_0 - N_c \cdot \frac{\varnothing}{2} = 12,00 - \frac{24 \times 0,07}{2} = 11,16 \text{ m}$$

Remarque : On considère ainsi que les câbles se situent à proximité du centre de gravité, ce qui n'est pas le cas dans les zones déterminantes que sont les zones d'appui.

Pour illustrer cette séquence de calcul, on s'intéresse à la section de l'appui intermédiaire central (section d'abscisse 0 de la barre 2 TRAVÉE 2) dont les résultats ont été encadrés en bleu.

On a :

$$b_w = 11,16 \text{ m}$$

$$h = 0,70 \text{ m}$$

$$d = 0,9 \times h = 0,630 \text{ m}$$

$$z = 0,9 \times d = 0,9 \times 0,630 = 0,567 \text{ m}$$

$V_{Ed} = 6416,0 \text{ kN}$ [2] ; $N_{Ed} = 55269 \text{ kN}$ [3], obtenus à l'ELU fondamental [12]. L'effort normal correspond à l'effort normal de précontrainte à la phase considérée (Mise en service pour le profil provisoire).

Calcul de l'effort résistant du béton seul :

$$V_{Rd,c} = (v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \quad \text{[EC2-1-1 Expr.(6.2.b)]}$$

$$A_c = 12,00 \times 0,7 - 0,5 \times 0,1 = 8,35 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_C} < 0,2 \cdot f_{cd}$$

$$\frac{N_{Ed}}{A_C} = \frac{55,269}{8,35} = 6,61 \text{ MPa}$$

$$0,2 \cdot f_{cd} = 0,2 \times 26,66 = 5,33 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cp} = 5,33 \text{ MPa}$$

$$k = \min \left(2; 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \right) = \min \left(2; 1 + \sqrt{\frac{200}{630}} \right) = 1,56$$

$$v_{\min} = \frac{0,053}{\gamma_C} (k)^{\frac{3}{2}} \cdot (f_{ck})^{\frac{1}{2}} = \frac{0,053}{1,5} (1,56)^{\frac{3}{2}} (40)^{\frac{1}{2}} = 0,435$$

$$V_{Rd,c} = (v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = (0,435 + 0,15 \times 5,33) \times 11,16 \times 0,63 = 8,69 \text{ MN} = 86961 \text{ kN} \quad [4]$$

*NB : Les valeurs indiquées de $V_{Rd,c}$ dans le présent exemple ne tiennent pas compte des dernières versions de l'Annexe Nationale (calcul de v_{\min} modifié)

On recherche l'inclinaison optimale des bielles qui est solution de l'équation en $t = \cot \theta_0$:

$$V_{Ed} t^2 - a \cdot t + (V_{Ed} - a \cdot \cot \alpha) = 0 \text{ soit, pour } \alpha = \frac{\pi}{2} \Rightarrow \cot \alpha = 0$$

$$V_{Ed} t^2 - a \cdot t + V_{Ed} = 0$$

avec $a = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}$

et $\alpha_{cw} = (1 + \sigma_{cp} / f_{cd}) = (1 + 6,61 / 26,66) = 1,2479$, pour des contraintes faibles,

en effet $f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} f_{cf}}{\gamma_c} = \frac{1 \times 40}{1,5} = 26,66 \text{ MPa}$

$$\sigma_{cp} = 6,61 \text{ MPa} \leq 0,25 f_{cd} = 0,25 \times 26,66 = 6,665 \text{ MPa} \quad (1)$$

$$v_1 = v = 0,6 (1 - f_{ck} / 250) = 0,6 (1 - 40 / 250) = 0,504$$

d'où : $a = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} = 1,2479 \times 11,16 \times 0,567 \times 0,504 \times 26,66 = 106,1$

$$6,3839 t^2 - 106,03 \cdot t + 6,3839 = 0$$

$$\Rightarrow t = 16,55 \Rightarrow \theta_0 = 3,46^\circ < \text{arc cot}(2,5) = 21,8^\circ$$

L'angle d'inclinaison minimal de $21,8^\circ$ [8] doit être retenu.

L'effort résistant des bielles pour cette inclinaison vaut alors :

$$V_{Rd,max} = a_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) / (1 + \cot^2 \theta) \quad [\text{EC2-1-1 Expr. (6.14)}]$$

$$V_{Rd,max} = a \cdot (\cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta) = 106,1 \times 2,5 / (1 + 2,5^2) = 36,604 \text{ MN} = \boxed{36604 \text{ kN}} \quad [5]$$

La section de calcul résultant de l'inclinaison θ équilibrant l'effort tranchant de calcul V_{Ed} vaut :

¹ Attention, dans cette expression, σ_{cp} ne doit pas être plafonnée à $0,2 f_{cd}$

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{Ed}}{z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha} = \frac{6,416}{0,567 \times 500 / 1,15 \times (2,5 + 0) \times 1} = 0,01041,$$

soit $\boxed{104,1 \text{ cm}^2 / \text{m}}$ [9] correspondant à :

Cette section est inférieure à la section minimale donnée par :

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq (0,08 \sqrt{f_{ck}}) / f_{yk} \cdot b_w \cdot \sin \alpha = (0,08 \sqrt{40}) / 500 \times 11,16 \times 1 = 0,01129 \text{ [8]}$$

Pour la section de 112,0 cm²,

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha = V_{Ed} = 6,960 \text{ MN}$$

On constate que $V_{Rd,max} = 36604 > V_{Ed} = 6416$. OK.

17 - Fichiers intermédiaires de calcul des efforts

17.1 - Fichiers pour le calcul de la portée équivalente

Cas du PSIDP sans encorbellement:

Fichier en Entrée (*_PEQ.st1)

```

OPTION PLANE
SORTIE '..\Projets\PSIDP_0100_0\Module_2\PSIDP_0100_0_PEQ.txt' non pagine

# NOEUDS
NOEUD 10 0.000000 0.000000 # Noeud about gauche
NOEUD 1 0.500000 0.000000 # Noeud gauche travee 1
NOEUD 2 12.500000 0.000000 # Noeud gauche travee 2
NOEUD 3 30.500000 0.000000 # Noeud gauche travee 3
NOEUD 4 42.500000 0.000000 # Noeud droit travee 3
NOEUD 21 43.000000 0.000000 # Noeud about droit

# APPUIS
APPUI 1 NOEUD 1 DX DY # Appui gauche travee 1
APPUI 2 NOEUD 2 DY # Appui gauche travee 2
APPUI 3 NOEUD 3 DY # Appui gauche travee 3
APPUI 4 NOEUD 4 DY # Appui droit travee 3

# BARRES
BARRE 10 DE 10 A 1 # About gauche
BARRE 1 DE 1 A 2 # Travee 1
BARRE 2 DE 2 A 3 # Travee 2
BARRE 3 DE 3 A 4 # Travee 3
BARRE 20 DE 4 A 21 # About droit

# CARACTERISTIQUES MECANIQUES
PROPRIETES 10 SX 8.35000000 IZ 0.33792831 VY 0.34810379 WY 0.35189621
PROPRIETES 1 SX 8.35000000 IZ 0.33792831 VY 0.34810379 WY 0.35189621
PROPRIETES 2 SX 8.35000000 IZ 0.33792831 VY 0.34810379 WY 0.35189621
PROPRIETES 3 SX 8.35000000 IZ 0.33792831 VY 0.34810379 WY 0.35189621
PROPRIETES 20 SX 8.35000000 IZ 0.33792831 VY 0.34810379 WY 0.35189621

# DEFINITION DES POINTS D'ETUDE
ETUDE EFFORT DEPLA
1 SECTION 0.00 A 1.00 PAS 0.02000000 RELATIF # Travee 1
2 SECTION 0.00 A 1.00 PAS 0.02000000 RELATIF # Travee 2
3 SECTION 0.00 A 1.00 PAS 0.02000000 RELATIF # Travee 3
FIN

# DEFINITION DES BETONS
# Beton pour etudes de phasage et court terme : TABLIER

MATERIAU 10 'Beton pour etudes de phasage et court terme : TABLIER'
E EC2 KNM2 FCK 40.000000
RO 25.000000
TEMP 0.10000000E-04
RETRAIT EC2
RH 80.000000
    
```

```

RM_EC 1263.2563
CIMENT R
FIN

# Beton pour etude long terme : TABLIER

MATERIAU 11 'Beton pour etude long terme : TABLIER'
E 11740154.
RO 25.000000
TEMP 0.10000000E-04
FIN

# AFFECTATION DU BETON - COURT TERME OU PHASAGE

CONS 1, 2, 3, 10, 20 MATERIAU 10 # Tablier

# CHARGES UNIFORMES POUR LE CALCUL DES PORTEES EQUIVALENTES

CHARGE 20 'Charge uniforme travee 1 (portees equivalentes)'
BARRES 1 UNIFORME FY 1000.00
FIN

CHARGE 30 'Charge uniforme travee 2 (portees equivalentes)'
BARRES 2 UNIFORME FY 1000.00
FIN

CHARGE 40 'Charge uniforme travee 3 (portees equivalentes)'
BARRES 3 UNIFORME FY 1000.00
FIN

EXEC CHARGES 20, 30, 40

# EDITION DES RESULTATS

RESULTATS
CHARGE 20 BARRE 1 EFFORT DEPLA
CHARGE 30 BARRE 2 EFFORT DEPLA
CHARGE 40 BARRE 3 EFFORT DEPLA
FIN
    
```

Fichier en Sortie:

```

--- RESULTATS DU CHARGEMENT : 20 ---

Titre : Charge uniforme travee 1 (portees equivalentes)

Barre Abscisse N Ty Mz
1 0.000 0.0000 -5340.7 0.14843E-08
1 0.240 0.0000 -5100.7 1253.0
...
Lignes supprimées
...
1 10.320 0.0000 4979.3 1864.4
1 10.560 0.0000 5219.3 640.56
1 10.800 0.0000 5459.3 -640.88
1 11.040 0.0000 5699.3 -1979.9
1 11.280 0.0000 5939.3 -3376.6
1 11.520 0.0000 6179.3 -4830.8
1 11.760 0.0000 6419.3 -6342.6
1 12.000 0.0000 6659.3 -7912.0

Barre Abscisse Dx Dy Rz
1 0.000 0.0000 0.46738E-10 0.47199E-02
1 0.240 0.0000 0.11317E-02 0.47071E-02
...
Lignes supprimées
...
1 5.040 0.0000 0.16473E-01 0.81352E-03
1 5.280 0.0000 0.16633E-01 0.52632E-03
1 5.520 0.0000 0.16725E-01 0.23883E-03
1 5.760 0.0000 0.16748E-01 -.47791E-04
1 6.000 0.0000 0.16702E-01 -.33239E-03
1 6.240 0.0000 0.16589E-01 -.61379E-03
...
Lignes supprimées
...
1 12.000 0.0000 0.40747E-07 -.33903E-02

--- RESULTATS DU CHARGEMENT : 30 ---

Titre : Charge uniforme travee 2 (portees equivalentes)

Barre Abscisse N Ty Mz
2 0.000 0.0000 -9000.0 -18692.
2 0.360 0.0000 -8640.0 -15517.
2 0.720 0.0000 -8280.0 -12472.
2 1.080 0.0000 -7920.0 -9555.5
2 1.440 0.0000 -7560.0 -6769.1
2 1.800 0.0000 -7200.0 -4112.3
2 2.160 0.0000 -6840.0 -1585.1
2 2.520 0.0000 -6480.0 812.49
2 2.880 0.0000 -6120.0 3080.5
...
Lignes supprimées
...
    
```

2	15.120	0.0000	6120.0	3080.5
2	15.480	0.0000	6480.0	812.49
2	15.840	0.0000	6840.0	-1585.1
2	16.200	0.0000	7200.0	-4112.3
2	16.560	0.0000	7560.0	-6769.1
2	16.920	0.0000	7920.0	-9555.5
2	17.280	0.0000	8280.0	-12472.
2	17.640	0.0000	8640.0	-15517.
2	18.000	0.0000	9000.0	-18692.
Barre	Abscisse	Dx	Dy	Rz
2	0.000	0.0000	0.92395E-10	0.62821E-02
...				
<i>Lignes supprimées</i>				
...				
2	8.280	0.0000	0.50764E-01	0.13140E-02
2	8.640	0.0000	0.51120E-01	0.65896E-03
2	9.000	0.0000	0.51238E-01	-.97772E-16
2	9.360	0.0000	0.51120E-01	-.65896E-03
...				
<i>Lignes supprimées</i>				
...				

17.2 - Fichiers des facteurs de coefficients transversaux Guyon

Cas du PSIDP sans encoorbellement (fichier *_KM.txt):

```

...
Lignes supprimées
...

--- RESULTATS DE LA SURCHARGE : 4380 ---

Titre : LMI caracteristique AFF 2 profil DEF
ABOUT_G   Y   0.0000   1.5000   3.0000   4.5000   6.0000   7.5000   9.0000   10.500   12.000
            1.3213   1.2866   1.2394   1.1757   1.1359   1.1755   1.2394   1.2866   1.3213
TRAVEE_1   Y   0.0000   1.5000   3.0000   4.5000   6.0000   7.5000   9.0000   10.500   12.000
            1.3213   1.2866   1.2394   1.1757   1.1359   1.1755   1.2394   1.2866   1.3213
TRAVEE_2   Y   0.0000   1.5000   3.0000   4.5000   6.0000   7.5000   9.0000   10.500   12.000
            1.2643   1.2304   1.1875   1.1303   1.0972   1.1317   1.1876   1.2304   1.2643
TRAVEE_3   Y   0.0000   1.5000   3.0000   4.5000   6.0000   7.5000   9.0000   10.500   12.000
            1.3213   1.2866   1.2394   1.1757   1.1359   1.1755   1.2394   1.2866   1.3213
ABOUT_D   Y   0.0000   1.5000   3.0000   4.5000   6.0000   7.5000   9.0000   10.500   12.000
            1.3213   1.2866   1.2394   1.1757   1.1359   1.1755   1.2394   1.2866   1.3213

--- RESULTATS DE LA SURCHARGE : 4390 ---

Titre : LMI frequent AFF 2 profil DEF
ABOUT_G   Y   0.0000   1.5000   3.0000   4.5000   6.0000   7.5000   9.0000   10.500   12.000
            1.3321   1.2971   1.2490   1.1863   1.1424   1.1849   1.2491   1.2971   1.3321
TRAVEE_1   Y   0.0000   1.5000   3.0000   4.5000   6.0000   7.5000   9.0000   10.500   12.000
            1.3321   1.2971   1.2490   1.1863   1.1424   1.1849   1.2491   1.2971   1.3321
TRAVEE_2   Y   0.0000   1.5000   3.0000   4.5000   6.0000   7.5000   9.0000   10.500   12.000
            1.2751   1.2411   1.1974   1.1407   1.1041   1.1408   1.1974   1.2411   1.2751
TRAVEE_3   Y   0.0000   1.5000   3.0000   4.5000   6.0000   7.5000   9.0000   10.500   12.000
            1.3321   1.2971   1.2490   1.1863   1.1424   1.1849   1.2491   1.2971   1.3321
ABOUT_D   Y   0.0000   1.5000   3.0000   4.5000   6.0000   7.5000   9.0000   10.500   12.000
            1.3321   1.2971   1.2490   1.1863   1.1424   1.1849   1.2491   1.2971   1.3321

--- RESULTATS DE LA SURCHARGE : 4400 ---

Titre : LMI ultime AFF 2 profil DEF
ABOUT_G   Y   0.0000   1.5000   3.0000   4.5000   6.0000   7.5000   9.0000   10.500   12.000
            1.2597   1.2495   1.2124   1.1510   1.1208   1.1518   1.2124   1.2495   1.2597
TRAVEE_1   Y   0.0000   1.5000   3.0000   4.5000   6.0000   7.5000   9.0000   10.500   12.000
            1.2597   1.2495   1.2124   1.1510   1.1208   1.1518   1.2124   1.2495   1.2597
TRAVEE_2   Y   0.0000   1.5000   3.0000   4.5000   6.0000   7.5000   9.0000   10.500   12.000
            1.2085   1.1954   1.1633   1.1137   1.0875   1.1139   1.1633   1.1954   1.2085
TRAVEE_3   Y   0.0000   1.5000   3.0000   4.5000   6.0000   7.5000   9.0000   10.500   12.000
            1.2597   1.2495   1.2124   1.1510   1.1208   1.1518   1.2124   1.2495   1.2597
ABOUT_D   Y   0.0000   1.5000   3.0000   4.5000   6.0000   7.5000   9.0000   10.500   12.000
            1.2597   1.2495   1.2124   1.1510   1.1208   1.1518   1.2124   1.2495   1.2597

...
Lignes supprimées
...

```

NB : On rappelle que les coefficients Guyon ne sont pas exactement les coefficients Guyon des anciens programmes de ponts types aux règles françaises, puisqu'ils sont ici le rapport entre l'effet maximum produit par « j » files de chaussée chargées sur l'effet moyen lorsque toutes les files sont chargées. Dans les anciens programmes, le coefficient guyon est obtenu entre l'effet maximal d'un chargement pour « j » files chargées sur l'effet moyen toujours pour « j » files chargées.

17.3 - Fichiers pour le calcul de la flexion longitudinale

Cas du PSIDP sans encorbellement (fichier *_STM.txt : pivot en flexion M):

```

OPTION PLANE
SORTIE '..\Projets\PSIDP_0100_0\Fichiers_Echanges\PSIDP_0100_0_STM.txt' non pagine

# NOEUDS
NOEUD 10 0.000000 0.000000 # Noeud about gauche
NOEUD 1 0.500000 0.000000 # Noeud gauche travee 1
NOEUD 2 12.500000 0.000000 # Noeud gauche travee 2
NOEUD 3 30.500000 0.000000 # Noeud gauche travee 3
NOEUD 4 42.500000 0.000000 # Noeud droit travee 3
NOEUD 21 43.000000 0.000000 # Noeud about droit

# APPUIS
APPUI 1 NOEUD 1 DX DY # Appui gauche travee 1
APPUI 2 NOEUD 2 DY # Appui gauche travee 2
APPUI 3 NOEUD 3 DY # Appui gauche travee 3
APPUI 4 NOEUD 4 DY # Appui droit travee 3

# BARRES
BARRE 10 DE 10 A 1 # About gauche
BARRE 1 DE 1 A 2 # Travee 1
BARRE 2 DE 2 A 3 # Travee 2
BARRE 3 DE 3 A 4 # Travee 3
BARRE 20 DE 4 A 21 # About droit

# CARACTERISTIQUES MECANIQUES
PROPRIETES 10 SX 8.35000000 IZ 0.33792831 VY 0.34810379 WY 0.35189621
PROPRIETES 1 SX 8.35000000 IZ 0.33792831 VY 0.34810379 WY 0.35189621
PROPRIETES 2 SX 8.35000000 IZ 0.33792831 VY 0.34810379 WY 0.35189621
PROPRIETES 3 SX 8.35000000 IZ 0.33792831 VY 0.34810379 WY 0.35189621
PROPRIETES 20 SX 8.35000000 IZ 0.33792831 VY 0.34810379 WY 0.35189621

# DEFINITION DES POINTS D'ETUDE
ETUDE EFFORT DEPLA
10 SECTION 0.00 A 1.00 PAS 0.50000000 RELATIF # About gauche
1 SECTION 0.00 A 1.00 PAS 0.05000000 RELATIF # Travee 1
2 SECTION 0.00 A 1.00 PAS 0.05000000 RELATIF # Travee 2
3 SECTION 0.00 A 1.00 PAS 0.05000000 RELATIF # Travee 3
20 SECTION 0.00 A 1.00 PAS 0.50000000 RELATIF # About droit
FIN

# DEFINITION DES BETONS
# Beton pour etudes de phasage et court terme : TABLIER
MATERIAU 10 'Beton pour etudes de phasage et court terme : TABLIER'
E EC2 KNM2 FCK 40.000000
RO 25.000000
TEMP 0.10000000E-04
FLUAGE EC2
RETRAIT EC2
RH 80.000000
RM_EC 1263.2563
CIMENT R
FIN

# Beton pour etude long terme : TABLIER
MATERIAU 11 'Beton pour etude long terme : TABLIER'
E 11740154.
RO 25.000000
TEMP 0.10000000E-04
FIN

# DEFINITION DE LA PRECONTRAINTE
# Precontrainte 1 cable avec pertes
PRECONTRAINTE 1 'Freyssinet AVEC PERTES'
SECTION 0.18000000E-02
TENSION 1432000.0
E 0.19500000E+09
RECU 0.60000000E-02
PERTE F 0.18000000 PHI 0.19800000E-02
RG 1860000.0 R1000 2.5000000
FIN

# Precontrainte 1 cable sans pertes
PRECONTRAINTE 2 'Freyssinet SANS PERTES'
SECTION 0.18000000E-02
TENSION 1432000.0
E 0.19500000E+09
FIN

# DEFINITION DES CABLES REELS

```

```

Pair = -1

FAIRE i = 1 A 24
  <<
  CABLE i
    PRECONTRAINTE 1 # Precontrainte avec pertes

    BARRES 10, 1, 2, 3, 20

    SI(Pair < 0) TENSION OR
    SI(Pair > 0) TENSION EX
    TRACE INTERIEUR
      X 0.000000 Y -0.1896208E-02
      X 0.500000 Y -0.7828411E-02
      X 1.700000 Y -0.2206570E-01
      X 2.900000 Y -0.3630299E-01
      X 4.100000 Y -0.5054028E-01
      X 5.300000 Y -0.6477756E-01
      X 6.500000 Y -0.7889621E-01
      X 7.700000 Y -0.8489621E-01
      X 8.900000 Y -0.5989621E-01
      X 10.10000 Y 0.1210379E-01
      X 11.30000 Y 0.9410379E-01
      X 12.50000 Y 0.1401038
      X 14.30000 Y 0.6060379E-01
      X 16.10000 Y -0.4489621E-01
      X 17.90000 Y -0.1098962
      X 19.70000 Y -0.1448962
      X 21.50000 Y -0.1648962
      X 23.30000 Y -0.1448962
      X 25.10000 Y -0.1098962
      X 26.90000 Y -0.4489621E-01
      X 28.70000 Y 0.6060379E-01
      X 30.50000 Y 0.1401038
      X 31.70000 Y 0.9410379E-01
      X 32.90000 Y 0.1210379E-01
      X 34.10000 Y -0.5989621E-01
      X 35.30000 Y -0.8489621E-01
      X 36.50000 Y -0.7889621E-01
      X 37.70000 Y -0.6477756E-01
      X 38.90000 Y -0.5054028E-01
      X 40.10000 Y -0.3630299E-01
      X 41.30000 Y -0.2206570E-01
      X 42.50000 Y -0.7828411E-02
      X 43.00000 Y -0.1896208E-02

    FIN

  Pair = -Pair
  >>

```

```

# DEFINITION DES CABLES SANS PERTES

CABLE 1000
PRECONTRAINTE 2 SIMUL 24 # Precontrainte sans pertes

BARRES 10, 1, 2, 3, 20

TENSION OR EX
TRACE INTERIEUR
  X 0.000000 Y -0.1896208E-02
  X 0.500000 Y -0.7828411E-02
  X 1.700000 Y -0.2206570E-01
  X 2.900000 Y -0.3630299E-01
  X 4.100000 Y -0.5054028E-01
  X 5.300000 Y -0.6477756E-01
  X 6.500000 Y -0.7889621E-01
  X 7.700000 Y -0.8489621E-01
  X 8.900000 Y -0.5989621E-01
  X 10.10000 Y 0.1210379E-01
  X 11.30000 Y 0.9410379E-01
  X 12.50000 Y 0.1401038
  X 14.30000 Y 0.6060379E-01
  X 16.10000 Y -0.4489621E-01
  X 17.90000 Y -0.1098962
  X 19.70000 Y -0.1448962
  X 21.50000 Y -0.1648962
  X 23.30000 Y -0.1448962
  X 25.10000 Y -0.1098962
  X 26.90000 Y -0.4489621E-01
  X 28.70000 Y 0.6060379E-01
  X 30.50000 Y 0.1401038
  X 31.70000 Y 0.9410379E-01
  X 32.90000 Y 0.1210379E-01
  X 34.10000 Y -0.5989621E-01
  X 35.30000 Y -0.8489621E-01
  X 36.50000 Y -0.7889621E-01
  X 37.70000 Y -0.6477756E-01
  X 38.90000 Y -0.5054028E-01
  X 40.10000 Y -0.3630299E-01
  X 41.30000 Y -0.2206570E-01
  X 42.50000 Y -0.7828411E-02
  X 43.00000 Y -0.1896208E-02

FIN

```

```

# AFFECTATION DU BETON - COURT TERME OU PHASAGE

CONS 1, 2, 3, 10, 20 MATERIAU 10 # Tablier

```

```

# MISE EN TENSION TOTALE DES CABLES SANS PERTES

PHASAGE 250 'Tension des cables sans aucune perte : T = MT_TOT'
DATE 28.00 # Date de mise en tension totale
ACTIVER APPUIS 1, 2, 3, 4
ACTIVER BARRES 10, 1, 2, 3, 20 AGE 28.00
TENDRE CABLE 1000 INJECTE
FIN PHASAGE

EXEC PHASAGE 250

# MISE EN TENSION TOTALE

PHASAGE 280 'Mise en tension totale : T = MT_TOT'
DATE 28.00 # Date de mise en tension totale
ACTIVER APPUIS 1, 2, 3, 4
ACTIVER BARRES 10, 1, 2, 3, 20 AGE 28.00
CHARGE POIDS PROPRE 10, 1, 2, 3, 20
TENDRE CABLE 01 INJECTE
TENDRE CABLE 02 INJECTE
TENDRE CABLE 03 INJECTE
TENDRE CABLE 04 INJECTE
TENDRE CABLE 05 INJECTE
TENDRE CABLE 06 INJECTE
TENDRE CABLE 07 INJECTE
TENDRE CABLE 08 INJECTE
TENDRE CABLE 09 INJECTE
TENDRE CABLE 10 INJECTE
TENDRE CABLE 11 INJECTE
TENDRE CABLE 12 INJECTE
TENDRE CABLE 13 INJECTE
TENDRE CABLE 14 INJECTE
TENDRE CABLE 15 INJECTE
TENDRE CABLE 16 INJECTE
TENDRE CABLE 17 INJECTE
TENDRE CABLE 18 INJECTE
TENDRE CABLE 19 INJECTE
TENDRE CABLE 20 INJECTE
TENDRE CABLE 21 INJECTE
TENDRE CABLE 22 INJECTE
TENDRE CABLE 23 INJECTE
TENDRE CABLE 24 INJECTE
FIN PHASAGE

EXEC PHASAGE 280

# CHARGES DE POIDS PROPRE

CHARGE 210 'Poids propre ossature seule pour precontrainte'
POIDS PROPRE 10, 1, 2, 3, 20
FIN

EXEC CHARGES 210

CHARGE 220 'Pose des superstructures pour precontrainte profil PRV'
BARRES 10, 1, 2, 3, 20 UNIFORME FY -128.400
FIN

EXEC CHARGES 220

CHARGE 230 'Pose des superstructures pour precontrainte profil DEF'
BARRES 10, 1, 2, 3, 20 UNIFORME FY -27.1200
FIN

EXEC CHARGES 230

# MISE EN SERVICE PROVISOIRE

PHASAGE 290 'Mise en service : T = MS profil PRV'
SUITE PHASAGE 280 # Mise en tension totale : T = MT_TOT
DATE 28.00 # Date de mise en service provisoire
CHARGE # Pose des superstructures provisoires
BARRES 10, 1, 2, 3, 20 UNIFORME FY -128.400
FIN
FIN PHASAGE

EXEC PHASAGE 290

# MISE EN SERVICE DEFINITIF

PHASAGE 300 'Mise en service : T = MS profil DEF'
SUITE PHASAGE 290 # Mise en service : T = MS profil PRV
DATE 90.00 # Date de mise en service definitif
CHARGE # Depose des superstructures provisoires
BARRES 10, 1, 2, 3, 20 UNIFORME FY 128.400
FIN
CHARGE # Pose des superstructures definitives
BARRES 10, 1, 2, 3, 20 UNIFORME FY -27.1200
FIN
FIN PHASAGE

EXEC PHASAGE 300

# EVOLUTION A L'INFINI DU PROFIL PROVISOIRE

PHASAGE 310 'Evolution : T = INFINI profil PRV'
SUITE PHASAGE 290 # Mise en service : T = MS profil PRV

```

```

DATE      128.00
DATE      328.00
DATE      1028.00
DATE      3028.00
DATE      10028.00
DATE      30028.00
FIN PHASAGE

EXEC PHASAGE 310

# EVOLUTION A L'INFINI DU PROFIL DEFINITIF

PHASAGE 320 'Evolution : T = INFINI profil DEF'
SUITE PHASAGE 300 # Mise en service : T = MS profil DEF
DATE      190.00
DATE      390.00
DATE      1090.00
DATE      3090.00
DATE      10090.00
DATE      30090.00
FIN PHASAGE

EXEC PHASAGE 320

# PRECONTRAINTES MOYENNE ET CARACTERISTIQUE

# Mise en tension totale

COMB      410 'Pertes moyennes : T = MT_TOT'
PHASAGE 280 1.000000 # Mise en tension totale : T = MT_TOT
PHASAGE 250 -1.000000 # Tension des cables sans aucune perte : T = MT_TOT
CHARGE 210 -1.000000 # Poids propre ossature seule pour precontrainte
FIN

COMB      420 'Prec. moyenne : T = MT_TOT'
PHASAGE 250 1.000000 # Tension des cables sans aucune perte : T = MT_TOT
COMB 410 1.000000 # Pertes moyennes : T = MT_TOT
FIN

COMB      440 'Prec. cara. max. : T = MT_TOT'
PHASAGE 250 1.100000 # Tension des cables sans aucune perte : T = MT_TOT
COMB 410 1.100000 # Pertes moyennes : T = MT_TOT
FIN

COMB      450 'Prec. cara. min. : T = MT_TOT'
PHASAGE 250 0.900000 # Tension des cables sans aucune perte : T = MT_TOT
COMB 410 0.900000 # Pertes moyennes : T = MT_TOT
FIN

ENV      460 'Enveloppe prec. cara. : T = MT_TOT'
EFFORT MZ
REAC MZ
COMB 440 # Prec. cara. max. : T = MT_TOT
COMB 450 # Prec. cara. min. : T = MT_TOT
FIN

# Mise en service provisoire

COMB      470 'Pertes moyennes : T = MS profil PRV'
PHASAGE 290 1.000000 # Mise en service : T = MS profil PRV
PHASAGE 250 -1.000000 # Tension des cables sans aucune perte : T = MT_TOT
CHARGE 210 -1.000000 # Poids propre ossature seule pour precontrainte
CHARGE 220 -1.000000 # Pose des superstructures pour precontrainte profil PRV
FIN

COMB      490 'Prec. moyenne : T = MS profil PRV'
PHASAGE 250 1.000000 # Tension des cables sans aucune perte : T = MT_TOT
COMB 470 1.000000 # Pertes moyennes : T = MS profil PRV
FIN

COMB      530 'Prec. cara. max. : T = MS profil PRV'
PHASAGE 250 1.100000 # Tension des cables sans aucune perte : T = MT_TOT
COMB 470 1.100000 # Pertes moyennes : T = MS profil PRV
FIN

COMB      550 'Prec. cara. min. : T = MS profil PRV'
PHASAGE 250 0.900000 # Tension des cables sans aucune perte : T = MT_TOT
COMB 470 0.900000 # Pertes moyennes : T = MS profil PRV
FIN

ENV      570 'Enveloppe prec. cara. : T = MS profil PRV'
EFFORT MZ
REAC MZ
COMB 530 # Prec. cara. max. : T = MS profil PRV
COMB 550 # Prec. cara. min. : T = MS profil PRV
FIN

# Mise en service definitif

COMB      480 'Pertes moyennes : T = MS profil DEF'
PHASAGE 300 1.000000 # Mise en service : T = MS profil DEF
PHASAGE 250 -1.000000 # Tension des cables sans aucune perte : T = MT_TOT
CHARGE 210 -1.000000 # Poids propre ossature seule pour precontrainte
CHARGE 230 -1.000000 # Pose des superstructures pour precontrainte profil DEF
FIN

COMB      500 'Prec. moyenne : T = MS profil DEF'
PHASAGE 250 1.000000 # Tension des cables sans aucune perte : T = MT_TOT

```

```

COMB      480      1.000000      # Pertes moyennes : T = MS profil DEF
FIN

COMB      540      'Prec. cara. max. : T = MS profil DEF'
PHASAGE   250      1.100000      # Tension des cables sans aucune perte : T = MT_TOT
COMB      480      1.100000      # Pertes moyennes : T = MS profil DEF
FIN

COMB      560      'Prec. cara. min. : T = MS profil DEF'
PHASAGE   250      0.900000      # Tension des cables sans aucune perte : T = MT_TOT
COMB      480      0.900000      # Pertes moyennes : T = MS profil DEF
FIN

ENV      580      'Enveloppe prec. cara. : T = MS profil DEF'
EFFORT MZ
REAC     MZ
COMB     540      # Prec. cara. max. : T = MS profil DEF
COMB     560      # Prec. cara. min. : T = MS profil DEF
FIN

# Profil provisoire T = INFINI

COMB      590      'Pertes moyennes : T = INFINI profil PRV'
PHASAGE   310      1.000000      # Evolution : T = INFINI profil PRV
PHASAGE   250      -1.000000     # Tension des cables sans aucune perte : T = MT_TOT
CHARGE    210      -1.000000     # Poids propre ossature seule pour precontrainte
CHARGE    220      -1.000000     # Pose des superstructures pour precontrainte profil PRV
FIN

COMB      610      'Prec. moyenne : T = INFINI profil PRV'
PHASAGE   250      1.000000      # Tension des cables sans aucune perte : T = MT_TOT
COMB     590      1.000000      # Pertes moyennes : T = INFINI profil PRV
FIN

COMB      650      'Prec. cara. max. : T = INFINI profil PRV'
PHASAGE   250      1.100000      # Tension des cables sans aucune perte : T = MT_TOT
COMB     590      1.100000      # Pertes moyennes : T = INFINI profil PRV
FIN

COMB      670      'Prec. cara. min. : T = INFINI profil PRV'
PHASAGE   250      0.900000      # Tension des cables sans aucune perte : T = MT_TOT
COMB     590      0.900000      # Pertes moyennes : T = INFINI profil PRV
FIN

ENV      690      'Enveloppe prec. cara. : T = INFINI profil PRV'
EFFORT MZ
REAC     MZ
COMB     650      # Prec. cara. max. : T = INFINI profil PRV
COMB     670      # Prec. cara. min. : T = INFINI profil PRV
FIN

# Profil definitif T = INFINI

COMB      600      'Pertes moyennes : T = INFINI profil DEF'
PHASAGE   320      1.000000      # Evolution : T = INFINI profil DEF
PHASAGE   250      -1.000000     # Tension des cables sans aucune perte : T = MT_TOT
CHARGE    210      -1.000000     # Poids propre ossature seule pour precontrainte
CHARGE    230      -1.000000     # Pose des superstructures pour precontrainte profil DEF
FIN

COMB      620      'Prec. moyenne : T = INFINI profil DEF'
PHASAGE   250      1.000000      # Tension des cables sans aucune perte : T = MT_TOT
COMB     600      1.000000      # Pertes moyennes : T = INFINI profil DEF
FIN

COMB      660      'Prec. cara. max. : T = INFINI profil DEF'
PHASAGE   250      1.100000      # Tension des cables sans aucune perte : T = MT_TOT
COMB     600      1.100000      # Pertes moyennes : T = INFINI profil DEF
FIN

COMB      680      'Prec. cara. min. : T = INFINI profil DEF'
PHASAGE   250      0.900000      # Tension des cables sans aucune perte : T = MT_TOT
COMB     600      0.900000      # Pertes moyennes : T = INFINI profil DEF
FIN

ENV      700      'Enveloppe prec. cara. : T = INFINI profil DEF'
EFFORT MZ
REAC     MZ
COMB     660      # Prec. cara. max. : T = INFINI profil DEF
COMB     680      # Prec. cara. min. : T = INFINI profil DEF
FIN

# AFFECTATION DU BETON - LONG TERME

CONS 1, 2, 3, 10, 20  MATERIAU 11  # Tablier

# CHARGE NULLE

CHARGE    10      'Charge nulle'
TEMP TOUTES UNI 0.00
FIN

EXEC CHARGES 10

# POIDS PROPRE OSSATURE SEULE

PHASAGE   710      'Poids propre ossature seule'
ACTIVER APPUIS 1, 2, 3, 4

```

```

    ACTIVER BARRES 10, 1, 2, 3, 20
    CHARGE POIDS PROPRE 10, 1, 2, 3, 20
FIN PHASAGE

EXEC PHASAGE 710

ENV      730 COMB 'Enveloppe poids propre min/max ossature seule'
    EFFORT MZ
    REAC   MZ
    PHASAGE 710    0.970000    1.030000 # Poids propre ossature seule
FIN

# SUPERSTRUCTURES

# Superstructures provisoires

# Coefficient de Marston calcule :    1.000000

CHARGE   790      'Remblai sur le tablier profil PRV'
    BARRES 10, 1, 2, 3, 20 UNIFORME FY -90.0000
FIN

CHARGE   750      'Chape sur tablier profil PRV'
    BARRES 10, 1, 2, 3, 20 UNIFORME FY  0.00000
FIN

CHARGE   830      'Enrobes sur tablier profil PRV'
    BARRES 10, 1, 2, 3, 20 UNIFORME FY -38.4000
FIN

CHARGE   870      'Trottoir gauche profil PRV'
    BARRES 10, 1, 2, 3, 20 UNIFORME FY  0.00000
FIN

CHARGE   910      'Trottoir droit profil PRV'
    BARRES 10, 1, 2, 3, 20 UNIFORME FY  0.00000
FIN

EXEC CHARGES 790, 750, 830, 870, 910

# Enveloppes avec superstructures provisoires

ENV      2020 COMB 'Enveloppe superstructures profil PRV'
    EFFORT MZ
    REAC   MZ
    CHARGE 790    0.900000    1.100000 # Remblai sur le tablier profil PRV
    CHARGE 750    0.800000    1.200000 # Chape sur tablier profil PRV
    CHARGE 830    0.800000    1.400000 # Enrobes sur tablier profil PRV
    CHARGE 870    1.000000    1.000000 # Trottoir gauche profil PRV
    CHARGE 910    1.000000    1.000000 # Trottoir droit profil PRV
FIN

# Action nominale avec superstructures provisoires

COMB     2040      'Action nominale superstructures profil PRV'
    CHARGE 790      # Remblai sur le tablier profil PRV
    CHARGE 750      # Chape sur tablier profil PRV
    CHARGE 830      # Enrobes sur tablier profil PRV
    CHARGE 870      # Trottoir gauche profil PRV
    CHARGE 910      # Trottoir droit profil PRV
FIN

# Superstructures definitives

CHARGE   800      'Remblai sur le tablier profil DEF'
    BARRES 10, 1, 2, 3, 20 UNIFORME FY  0.00000
FIN

CHARGE   760      'Chape sur tablier profil DEF'
    BARRES 10, 1, 2, 3, 20 UNIFORME FY -7.92000
FIN

CHARGE   840      'Enrobes sur tablier profil DEF'
    BARRES 10, 1, 2, 3, 20 UNIFORME FY -19.2000
FIN

CHARGE   880      'Trottoir gauche profil DEF'
    BARRES 10, 1, 2, 3, 20 UNIFORME FY  0.00000
FIN

CHARGE   920      'Trottoir droit profil DEF'
    BARRES 10, 1, 2, 3, 20 UNIFORME FY  0.00000
FIN

EXEC CHARGES 800, 760, 840, 880, 920

# Enveloppes avec superstructures definitives

ENV      2030 COMB 'Enveloppe superstructures profil DEF'
    EFFORT MZ
    REAC   MZ
    CHARGE 800    0.900000    1.100000 # Remblai sur le tablier profil DEF
    CHARGE 760    0.800000    1.200000 # Chape sur tablier profil DEF
    CHARGE 840    0.800000    1.400000 # Enrobes sur tablier profil DEF
    CHARGE 880    1.000000    1.000000 # Trottoir gauche profil DEF
    CHARGE 920    1.000000    1.000000 # Trottoir droit profil DEF
FIN

```

```

# Action nominale avec superstructures definitives

COMB      2050      'Action nominale superstructures profil DEF'
  CHARGE   800      # Remblai sur le tablier profil DEF
  CHARGE   760      # Chape sur tablier profil DEF
  CHARGE   840      # Enrobes sur tablier profil DEF
  CHARGE   880      # Trottoir gauche profil DEF
  CHARGE   920      # Trottoir droit profil DEF
FIN

# ENVELOPPES POIDS PROPRE ET SUPERSTRUCTURES

ENV      2060 COMB 'Enveloppe poids propre + superstructures (+ remblais) profil PRV'
  EFFORT MZ
  REAC MZ
  ENV      730      # Enveloppe poids propre min/max ossature seule
  ENV      2020     # Enveloppe superstructures profil PRV
FIN

ENV      2070 COMB 'Enveloppe poids propre + superstructures (+ remblais) profil DEF'
  EFFORT MZ
  REAC MZ
  ENV      730      # Enveloppe poids propre min/max ossature seule
  ENV      2030     # Enveloppe superstructures profil DEF
FIN

# TASSEMENTS D'APPUIS

# Charges de tassements probables

CHARGE   2120      'Tassement probable appui 1'
  APPUI    1 DY     0.000000
FIN

CHARGE   2130      'Tassement probable appui 2'
  APPUI    2 DY     0.000000
FIN

CHARGE   2140      'Tassement probable appui 3'
  APPUI    3 DY     0.000000
FIN

CHARGE   2150      'Tassement probable appui 4'
  APPUI    4 DY     0.000000
FIN

EXEC CHARGES 2120, 2130, 2140, 2150

# Tassements probables

COMB      2190      'Tassements probables'
  CHARGE   2120     # Tassement probable appui 1
  CHARGE   2130     # Tassement probable appui 2
  CHARGE   2140     # Tassement probable appui 3
  CHARGE   2150     # Tassement probable appui 4
FIN

# Charges de tassements aleatoires

CHARGE   2200      'Tassement aleatoire appui 1'
  APPUI    1 DY    -0.010000
FIN

CHARGE   2210      'Tassement aleatoire appui 2'
  APPUI    2 DY    -0.010000
FIN

CHARGE   2220      'Tassement aleatoire appui 3'
  APPUI    3 DY    -0.010000
FIN

CHARGE   2230      'Tassement aleatoire appui 4'
  APPUI    4 DY    -0.010000
FIN

EXEC CHARGES 2200, 2210, 2220, 2230

# Enveloppes des tassements aleatoires de 2 appuis

ENV      2270 COMB 'Tassements aleatoires 1 - 2'
  EFFORT MZ
  REAC MZ
  CHARGE   2200     1.000000 -1.000000 # Tassement aleatoire appui 1
  CHARGE   2210     1.000000 -1.000000 # Tassement aleatoire appui 2
FIN

ENV      2280 COMB 'Tassements aleatoires 2 - 3'
  EFFORT MZ
  REAC MZ
  CHARGE   2210     1.000000 -1.000000 # Tassement aleatoire appui 2
  CHARGE   2220     1.000000 -1.000000 # Tassement aleatoire appui 3
FIN

ENV      2290 COMB 'Tassements aleatoires 3 - 4'
  EFFORT MZ
  REAC MZ
  CHARGE   2220     1.000000 -1.000000 # Tassement aleatoire appui 3
  CHARGE   2230     1.000000 -1.000000 # Tassement aleatoire appui 4

```

```

FIN
# Enveloppe des tassements aleatoires
ENV      2330      'Enveloppe tassements aleatoires'
  EFFORT MZ
  REAC   MZ
  ENV    2270      # Tassements aleatoires 1 - 2
  ENV    2280      # Tassements aleatoires 2 - 3
  ENV    2290      # Tassements aleatoires 3 - 4
FIN
# AFFECTATION DU BETON - COURT TERME OU PHASAGE
  CONS 1, 2, 3, 10, 20  MATERIAU 10 # Tablier
# EFFETS THERMIQUES
# Charges de gradient thermique positif et negatif
CHARGE  2340      'Gradient thermique positif'
  TEMP 10, 1, 2, 3, 20  GY  12.000000
FIN
CHARGE  2350      'Gradient thermique negatif'
  TEMP 10, 1, 2, 3, 20  GY  -6.000000
FIN
# Charges de dilatation thermique positive et negative
CHARGE  2360      'Dilatation thermique positive'
  TEMP 10, 1, 2, 3, 20  UNI  30.000000
FIN
CHARGE  2370      'Dilatation thermique negative'
  TEMP 10, 1, 2, 3, 20  UNI -20.000000
FIN
EXEC CHARGES 2340, 2350, 2360, 2370
# Enveloppe gradient seul
ENV      2380      'Enveloppe gradient thermique seul'
  EFFORT MZ
  REAC   MZ
  CHARGE 2340      # Gradient thermique positif
  CHARGE 2350      # Gradient thermique negatif
FIN
# Enveloppe dilatation seule
ENV      2390      'Enveloppe dilatation thermique seule'
  EFFORT MZ
  REAC   MZ
  CHARGE 2360      # Dilatation thermique positive
  CHARGE 2370      # Dilatation thermique negative
FIN
# Enveloppe gradient-dilatation, gradient principal
ENV      2400 COMB 'Enveloppe thermique Tk - gradient principal'
  EFFORT MZ
  REAC   MZ
  ENV    2380      1.000000      # Enveloppe gradient thermique seul
  ENV    2390      0.350000      # Enveloppe dilatation thermique seule
FIN
# Enveloppe gradient-dilatation, dilatation principale
ENV      2410 COMB 'Enveloppe thermique Tk - dilatation principale'
  EFFORT MZ
  REAC   MZ
  ENV    2380      0.750000      # Enveloppe gradient thermique seul
  ENV    2390      1.000000      # Enveloppe dilatation thermique seule
FIN
# Enveloppe thermique Tk totale
ENV      2420      'Enveloppe thermique Tk totale'
  EFFORT MZ
  REAC   MZ
  ENV    2400      1.000000      # Enveloppe thermique Tk - gradient principal
  ENV    2410      1.000000      # Enveloppe thermique Tk - dilatation principale
FIN
# VEHICULES GENERALISES UTILISATEUR
CONVOI 100 '100 - Véhicule Généralisé Chantier'
  MAX_CAM 1
  MAX_FILE 1
  LARG      3.000
  LONG      20.000
  COEFF TRANS 1.000
  ESSIEU
  1 XL      1.000 POIDS  50.000 YL -1.000,  1.000 IMPACT  0.250  0.250
  2 XL      5.000 POIDS  50.000 YL -1.000,  1.000 IMPACT  0.250  0.250
  3 XL      17.500 POIDS 15.000 YL  0.000 IMPACT  0.250  2.000
FIN

```

```
# VEHICULES GENERALISES STANDARD

CONVOI 1009 'Engin de chantier 23 m3'
MAX_CAM 1
MAX_FILE 1
LARG 4.000
LONG 13.500
COEFF TRANS 1.000
ESSIEU
1 XL 3.000 POIDS 326.967 YL -1.000, 1.000 IMPACT 0.600 0.600
2 XL 10.500 POIDS 457.735 YL -1.000, 1.000 IMPACT 0.600 0.600
FIN

CONVOI 1019 'Engin de chantier 34 m3'
MAX_CAM 1
MAX_FILE 1
LARG 4.000
LONG 15.500
COEFF TRANS 1.000
ESSIEU
1 XL 3.000 POIDS 490.500 YL -1.200, 1.200 IMPACT 0.600 0.600
2 XL 12.500 POIDS 490.500 YL -1.200, 1.200 IMPACT 0.600 0.600
FIN

CONVOI 1029 'Essieu TS accidentel trottoir sens longitudinal'
MAX_CAM 1
MAX_FILE 1
LARG 2.400
LONG 0.400
COEFF TRANS 1.000
ESSIEU
1 XL 0.200 POIDS 200.000 YL -1.000, 1.000 IMPACT 0.400 0.400
FIN

CONVOI 1039 'Essieu TS accidentel trottoir sens transversal'
MAX_CAM 1
MAX_FILE 1
LARG 1.000
LONG 2.400
COEFF TRANS 1.000
ESSIEU
1 XL 0.200 POIDS 100.000 YL 0.000 IMPACT 0.400 0.400
2 XL 2.200 POIDS 100.000 YL 0.000 IMPACT 0.400 0.400
FIN
```

CHARGE : LM3 VS generalise 100 caracteristique AFF 1 profil PRV

TABLIER

CLASSE TRAFIC 2

ZONE_TRANS

1 LARG 8.000 # Chaussee

BARRES 10, 1, 2, 3, 20

LDIF 0.6387

REP_TRANS

KBARRE 10 KTRANS 1.88018 # Dyn : 1.50000 K : 1.25345

KBARRE 1 KTRANS 1.88018 # Dyn : 1.50000 K : 1.25345

KBARRE 2 KTRANS 1.77572 # Dyn : 1.50000 K : 1.18381

KBARRE 3 KTRANS 1.88018 # Dyn : 1.50000 K : 1.25345

KBARRE 20 KTRANS 1.88018 # Dyn : 1.50000 K : 1.25345

FIN

SURCH 4290 'LM3 VS generalise 100 caracteristique AFF 1 profil PRV'

EFFORT MZ

REAC MZ

LM3 100 ZONEVS 1 YVS 1.0000 7.0000 ABS POND 1.000000

LM1 AUCUN

ZONE 1

FIN

EXEC SURCH 4290

CHARGE : LM3 VS generalise 100 frequent AFF 1 profil PRV

TABLIER

CLASSE TRAFIC 2

ZONE_TRANS

1 LARG 8.000 # Chaussee

BARRES 10, 1, 2, 3, 20

LDIF 0.6387

REP_TRANS

KBARRE 10 KTRANS 1.88018 # Dyn : 1.50000 K : 1.25345

KBARRE 1 KTRANS 1.88018 # Dyn : 1.50000 K : 1.25345

KBARRE 2 KTRANS 1.77572 # Dyn : 1.50000 K : 1.18381

KBARRE 3 KTRANS 1.88018 # Dyn : 1.50000 K : 1.25345

KBARRE 20 KTRANS 1.88018 # Dyn : 1.50000 K : 1.25345

```

FIN
SURCH 4300 'LM3 VS generalise 100 frequent AFF 1 profil PRV'
EFFORT MZ
REAC MZ
LM3 100 ZONEVS 1 YVS 1.0000 7.0000 ABS POND 1.000000
LM1 AUCUN
ZONE 1
FIN
EXEC SURCH 4300

```

CHARGE : LM3 VS generalise 100 ultime AFF 1 profil PRV

```

TABLIER
CLASSE TRAFIC 2
ZONE_TRANS
1 LARG 8.000 # Chaussee
BARRES 10, 1, 2, 3, 20
LDIF 0.6387
REP_TRANS
KBARRE 10 KTRANS 1.81229 # Dyn : 1.50000 K : 1.20819
KBARRE 1 KTRANS 1.81229 # Dyn : 1.50000 K : 1.20819
KBARRE 2 KTRANS 1.72346 # Dyn : 1.50000 K : 1.14897
KBARRE 3 KTRANS 1.81229 # Dyn : 1.50000 K : 1.20819
KBARRE 20 KTRANS 1.81229 # Dyn : 1.50000 K : 1.20819

```

FIN

```

SURCH 4310 'LM3 VS generalise 100 ultime AFF 1 profil PRV'
EFFORT MZ
REAC MZ
LM3 100 ZONEVS 1 YVS 1.0000 7.0000 ABS POND 1.000000
LM1 AUCUN
POND 1.350000 # Gamma Q : 1.35
ZONE 1
FIN
EXEC SURCH 4310

```

CHARGE : Chantier 23 m3 caracteristique AFF 1 profil PRV

```

TABLIER
CLASSE TRAFIC 2
ZONE_TRANS
1 LARG 6.000 # Chaussee
BARRES 10, 1, 2, 3, 20
LDIF 0.6387
REP_TRANS
KBARRE 10 KTRANS 1.99364 # Dyn : 1.50000 K : 1.32909
KBARRE 1 KTRANS 1.99364 # Dyn : 1.50000 K : 1.32909
KBARRE 2 KTRANS 1.88586 # Dyn : 1.50000 K : 1.25724
KBARRE 3 KTRANS 1.99364 # Dyn : 1.50000 K : 1.32909
KBARRE 20 KTRANS 1.99364 # Dyn : 1.50000 K : 1.32909

```

FIN

```

SURCH 4320 'Chantier 23 m3 caracteristique AFF 1 profil PRV'
EFFORT MZ
REAC MZ
CONVOI 1009
ZONE 1
FIN
EXEC SURCH 4320

```

...
Lignes supprimées
...

CHARGE : LM1 caracteristique AFF 2 profil DEF

```

TABLIER
CLASSE TRAFIC 2
ZONE_TRANS
1 LARG 10.000 # Chaussee
BARRES 10, 1, 2, 3, 20
LDIF 0.4300
REP_TRANS
KBARRE 10 KTRANS 1.32130 # Dyn : 1.00000 K : 1.32130
KBARRE 1 KTRANS 1.32130 # Dyn : 1.00000 K : 1.32130
KBARRE 2 KTRANS 1.26427 # Dyn : 1.00000 K : 1.26427
KBARRE 3 KTRANS 1.32130 # Dyn : 1.00000 K : 1.32130

```

```

KBARRE 20 KTRANS 1.32130 # Dyn : 1.00000 K : 1.32130

FIN

SURCH 4380 'LM1 caracteristique AFF 2 profil DEF'
EFFORT MZ
REAC MZ
LM1 CARA
ZONE 1
FIN

EXEC SURCH 4380

# CHARGE : LM1 frequent AFF 2 profil DEF

TABLIER

CLASSE TRAFIC 2

ZONE_TRANS
1 LARG 10.000 # Chaussee

BARRES 10, 1, 2, 3, 20

LDIF 0.4300

REP_TRANS
KBARRE 10 KTRANS 1.33214 # Dyn : 1.00000 K : 1.33214
KBARRE 1 KTRANS 1.33214 # Dyn : 1.00000 K : 1.33214
KBARRE 2 KTRANS 1.27510 # Dyn : 1.00000 K : 1.27510
KBARRE 3 KTRANS 1.33214 # Dyn : 1.00000 K : 1.33214
KBARRE 20 KTRANS 1.33214 # Dyn : 1.00000 K : 1.33214

FIN

SURCH 4390 'LM1 frequent AFF 2 profil DEF'
EFFORT MZ
REAC MZ
LM1 FREQ
ZONE 1
FIN

EXEC SURCH 4390

# CHARGE : LM1 ultime AFF 2 profil DEF

TABLIER

CLASSE TRAFIC 2

ZONE_TRANS
1 LARG 10.000 # Chaussee

BARRES 10, 1, 2, 3, 20

LDIF 0.4300

REP_TRANS
KBARRE 10 KTRANS 1.25971 # Dyn : 1.00000 K : 1.25971
KBARRE 1 KTRANS 1.25971 # Dyn : 1.00000 K : 1.25971
KBARRE 2 KTRANS 1.20855 # Dyn : 1.00000 K : 1.20855
KBARRE 3 KTRANS 1.25971 # Dyn : 1.00000 K : 1.25971
KBARRE 20 KTRANS 1.25971 # Dyn : 1.00000 K : 1.25971

FIN

SURCH 4400 'LM1 ultime AFF 2 profil DEF'
EFFORT MZ
REAC MZ
LM1 CARA
POND 1.350000 # Gamma Q : 1.35
ZONE 1
FIN

EXEC SURCH 4400

...
Lignes supprimées
...

# CHARGE : LM1 et trottoirs (grla) caracteristique AFF 2 profil DEF

ENV 4440 COMB 'LM1 et trottoirs (grla) caracteristique AFF 2 profil DEF'
EFFORT MZ
REAC MZ
SURCH 4380 # LM1 caracteristique AFF 2 profil DEF
FIN

# CHARGE : LM1 et trottoirs (grla) frequent AFF 2 profil DEF

ENV 4450 COMB 'LM1 et trottoirs (grla) frequent AFF 2 profil DEF'
EFFORT MZ
REAC MZ
SURCH 4390 # LM1 frequent AFF 2 profil DEF
FIN

# CHARGE : LM1 et trottoirs (grla) combinaison AFF 2 profil DEF

```

```

ENV      4460 COMB 'LM1 et trottoirs (grla) combinaison AFF 2 profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
SURCH   4390          # LM1 frequent AFF 2 profil DEF
FIN

# CHARGE : LM1 et trottoirs (grla) ultime AFF 2 profil DEF

ENV      4470 COMB 'LM1 et trottoirs (grla) ultime AFF 2 profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
SURCH   4400          # LM1 ultime AFF 2 profil DEF
FIN

# ENVELOPPES DES CHARGES D'EXPLOITATION, PROFIL PROVISOIRE

ENV      2450      'Enveloppe Q frequentes compatibles avec T profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
SURCH   4300          # LM3 VS generalise 100 frequent AFF 1 profil PRV
ENV      4330          # Chantier 23 m3 frequent AFF 1 profil PRV
ENV      4360          # Chantier 34 m3 frequent AFF 1 profil PRV
FIN

ENV      2470      'Enveloppe Q frequentes incompatibles avec T profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
CHARGE  10           # Charge nulle
FIN

ENV      2490      'Enveloppe Q caracteristiques compatibles avec T profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
SURCH   4290          # LM3 VS generalise 100 caracteristique AFF 1 profil PRV
SURCH   4320          # Chantier 23 m3 caracteristique AFF 1 profil PRV
SURCH   4350          # Chantier 34 m3 caracteristique AFF 1 profil PRV
FIN

ENV      2510      'Enveloppe Q caracteristiques incompatibles avec T profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
CHARGE  10           # Charge nulle
FIN

ENV      2530      'Enveloppe Q combinaison profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
CHARGE  10           # Charge nulle
FIN

ENV      2550      'Enveloppe Q ultimes compatibles avec T profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
SURCH   4310          # LM3 VS generalise 100 ultime AFF 1 profil PRV
SURCH   4340          # Chantier 23 m3 ultime AFF 1 profil PRV
SURCH   4370          # Chantier 34 m3 ultime AFF 1 profil PRV
FIN

ENV      2570      'Enveloppe Q ultimes incompatibles avec T profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
CHARGE  10           # Charge nulle
FIN

ENV      2590      'Enveloppe Q accidentelles profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
CHARGE  10           # Charge nulle
FIN

# ENVELOPPES DES CHARGES D'EXPLOITATION, PROFIL DEFINITIF

ENV      2460      'Enveloppe Q frequentes compatibles avec T profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
SURCH   4420          # LM3 VS R/EG C2 frequent AFF 3 profil DEF
ENV      4450          # LM1 et trottoirs (grla) frequent AFF 2 profil DEF
FIN

ENV      2480      'Enveloppe Q frequentes incompatibles avec T profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
CHARGE  10           # Charge nulle
FIN

ENV      2500      'Enveloppe Q caracteristiques compatibles avec T profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
SURCH   4410          # LM3 VS R/EG C2 caracteristique AFF 3 profil DEF
ENV      4440          # LM1 et trottoirs (grla) caracteristique AFF 2 profil DEF
FIN

ENV      2520      'Enveloppe Q caracteristiques incompatibles avec T profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
CHARGE  10           # Charge nulle
FIN

```

```

ENV      2540      'Enveloppe Q combinaison profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      4460      # LM1 et trottoirs (grla) combinaison AFF 2 profil DEF
FIN

ENV      2560      'Enveloppe Q ultimes compatibles avec T profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
SURCH   4430      # LM3 VS R/EG C2 ultime AFF 3 profil DEF
ENV      4470      # LM1 et trottoirs (grla) ultime AFF 2 profil DEF
FIN

ENV      2580      'Enveloppe Q ultimes incompatibles avec T profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
CHARGE   10      # Charge nulle
FIN

ENV      2600      'Enveloppe Q accidentelles profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
CHARGE   10      # Charge nulle
FIN

# ENVELOPPES PREDEFINIES, PROFIL PROVISOIRE

ENV      3870      'Engins de chantier frequent profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      4330      # Chantier 23 m3 frequent AFF 1 profil PRV
ENV      4360      # Chantier 34 m3 frequent AFF 1 profil PRV
FIN

ENV      3850      'Engins de chantier caracteristique profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
SURCH   4320      # Chantier 23 m3 caracteristique AFF 1 profil PRV
SURCH   4350      # Chantier 34 m3 caracteristique AFF 1 profil PRV
FIN

ENV      3890      'Engins de chantier ultime profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
SURCH   4340      # Chantier 23 m3 ultime AFF 1 profil PRV
SURCH   4370      # Chantier 34 m3 ultime AFF 1 profil PRV
FIN

ENV      3390      'LM3 VS seul frequent profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
SURCH   4300      # LM3 VS generalise 100 frequent AFF 1 profil PRV
FIN

ENV      3410      'LM3 VS seul caracteristique profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
SURCH   4290      # LM3 VS generalise 100 caracteristique AFF 1 profil PRV
FIN

ENV      3430      'LM3 VS seul ultime profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
SURCH   4310      # LM3 VS generalise 100 ultime AFF 1 profil PRV
FIN

# ENVELOPPES PREDEFINIES, PROFIL DEFINITIF

ENV      3260      'LM1 et trottoirs (grla) frequent profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      4450      # LM1 et trottoirs (grla) frequent AFF 2 profil DEF
FIN

ENV      3280      'LM1 et trottoirs (grla) caracteristique profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      4440      # LM1 et trottoirs (grla) caracteristique AFF 2 profil DEF
FIN

ENV      3300      'LM1 et trottoirs (grla) combinaison profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      4460      # LM1 et trottoirs (grla) combinaison AFF 2 profil DEF
FIN

ENV      3320      'LM1 et trottoirs (grla) ultime profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      4470      # LM1 et trottoirs (grla) ultime AFF 2 profil DEF
FIN

ENV      3460      'LM3 avec LM1 frequent profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
SURCH   4420      # LM3 VS R/EG C2 frequent AFF 3 profil DEF
FIN

```

```

ENV      3480      'LM3 avec LM1 caracteristique profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
SURCH   4410      # LM3 VS R/EG C2 caracteristique AFF 3 profil DEF
FIN

ENV      3500      'LM3 avec LM1 ultime profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
SURCH   4430      # LM3 VS R/EG C2 ultime AFF 3 profil DEF
FIN

# COMBINAISONS RELATIVES AUX ETATS LIMITES

# ELS quasi permanent

ENV      2610 COMB 'ELS quasi permanent sans prec. profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      2060      1.000000      # Enveloppe poids propre + superstructures (+ remblais) profil PRV
COMB    2190      1.000000      # Tassements probables
ENV      2330      0.000000      0.000000 # Enveloppe tassements aleatoires
ENV      2420      0.000000      0.500000 # Enveloppe thermique Tk totale
FIN

ENV      2620 COMB 'ELS quasi permanent sans prec. profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      2070      1.000000      # Enveloppe poids propre + superstructures (+ remblais) profil DEF
COMB    2190      1.000000      # Tassements probables
ENV      2330      0.000000      0.000000 # Enveloppe tassements aleatoires
ENV      2420      0.000000      0.500000 # Enveloppe thermique Tk totale
FIN

# ELS frequent Q principal compatible avec T accompagnement

ENV      2630 COMB 'ELS frequent sans prec. Q base T oui profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      2060      1.000000      # Enveloppe poids propre + superstructures (+ remblais) profil PRV
COMB    2190      1.000000      # Tassements probables
ENV      2330      0.000000      0.000000 # Enveloppe tassements aleatoires
ENV      2420      0.000000      0.500000 # Enveloppe thermique Tk totale
ENV      2450      0.000000      1.000000 # Enveloppe Q frequentes compatibles avec T profil PRV
FIN

ENV      2640 COMB 'ELS frequent sans prec. Q base T oui profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      2070      1.000000      # Enveloppe poids propre + superstructures (+ remblais) profil DEF
COMB    2190      1.000000      # Tassements probables
ENV      2330      0.000000      0.000000 # Enveloppe tassements aleatoires
ENV      2420      0.000000      0.500000 # Enveloppe thermique Tk totale
ENV      2460      0.000000      1.000000 # Enveloppe Q frequentes compatibles avec T profil DEF
FIN

# ELS frequent Q principal incompatible avec T accompagnement

ENV      2650 COMB 'ELS frequent sans prec. Q base T non profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      2060      1.000000      # Enveloppe poids propre + superstructures (+ remblais) profil PRV
COMB    2190      1.000000      # Tassements probables
ENV      2330      0.000000      0.000000 # Enveloppe tassements aleatoires
ENV      2470      0.000000      1.000000 # Enveloppe Q frequentes incompatibles avec T profil PRV
FIN

ENV      2660 COMB 'ELS frequent sans prec. Q base T non profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      2070      1.000000      # Enveloppe poids propre + superstructures (+ remblais) profil DEF
COMB    2190      1.000000      # Tassements probables
ENV      2330      0.000000      0.000000 # Enveloppe tassements aleatoires
ENV      2480      0.000000      1.000000 # Enveloppe Q frequentes incompatibles avec T profil DEF
FIN

# ELS frequent T principal

ENV      2670 COMB 'ELS frequent sans prec. T base profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      2060      1.000000      # Enveloppe poids propre + superstructures (+ remblais) profil PRV
COMB    2190      1.000000      # Tassements probables
ENV      2330      0.000000      0.000000 # Enveloppe tassements aleatoires
ENV      2420      0.000000      0.600000 # Enveloppe thermique Tk totale
FIN

ENV      2680 COMB 'ELS frequent sans prec. T base profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      2070      1.000000      # Enveloppe poids propre + superstructures (+ remblais) profil DEF
COMB    2190      1.000000      # Tassements probables
ENV      2330      0.000000      0.000000 # Enveloppe tassements aleatoires
ENV      2420      0.000000      0.600000 # Enveloppe thermique Tk totale
FIN

# ELS frequent enveloppe

```

```

ENV      2690      'ELS frequent sans prec. profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      2630      # ELS frequent sans prec. Q base T oui profil PRV
ENV      2650      # ELS frequent sans prec. Q base T non profil PRV
ENV      2670      # ELS frequent sans prec. T base profil PRV
FIN

ENV      2700      'ELS frequent sans prec. profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      2640      # ELS frequent sans prec. Q base T oui profil DEF
ENV      2660      # ELS frequent sans prec. Q base T non profil DEF
ENV      2680      # ELS frequent sans prec. T base profil DEF
FIN

# ELS caracteristique Q principal compatible avec T accompagnement

ENV      2710 COMB 'ELS caracteristique sans prec. Q base T oui profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      2060      1.000000      # Enveloppe poids propre + superstructures (+ remblais) profil PRV
COMB    2190      1.000000      # Tassements probables
ENV      2330      0.000000      1.000000 # Enveloppe tassements aleatoires
ENV      2420      0.000000      0.600000 # Enveloppe thermique Tk totale
ENV      2490      0.000000      1.000000 # Enveloppe Q caracteristiques compatibles avec T profil PRV
FIN

ENV      2720 COMB 'ELS caracteristique sans prec. Q base T oui profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      2070      1.000000      # Enveloppe poids propre + superstructures (+ remblais) profil DEF
COMB    2190      1.000000      # Tassements probables
ENV      2330      0.000000      1.000000 # Enveloppe tassements aleatoires
ENV      2420      0.000000      0.600000 # Enveloppe thermique Tk totale
ENV      2500      0.000000      1.000000 # Enveloppe Q caracteristiques compatibles avec T profil DEF
FIN

# ELS caracteristique Q principal incompatible avec T accompagnement

ENV      2730 COMB 'ELS caracteristique sans prec. Q base T non profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      2060      1.000000      # Enveloppe poids propre + superstructures (+ remblais) profil PRV
COMB    2190      1.000000      # Tassements probables
ENV      2330      0.000000      1.000000 # Enveloppe tassements aleatoires
ENV      2510      0.000000      1.000000 # Enveloppe Q caracteristiques incompatibles avec T profil PRV
FIN

ENV      2740 COMB 'ELS caracteristique sans prec. Q base T non profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      2070      1.000000      # Enveloppe poids propre + superstructures (+ remblais) profil DEF
COMB    2190      1.000000      # Tassements probables
ENV      2330      0.000000      1.000000 # Enveloppe tassements aleatoires
ENV      2520      0.000000      1.000000 # Enveloppe Q caracteristiques incompatibles avec T profil DEF
FIN

# ELS caracteristique T principal

ENV      2750 COMB 'ELS caracteristique sans prec. T base profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      2060      1.000000      # Enveloppe poids propre + superstructures (+ remblais) profil PRV
COMB    2190      1.000000      # Tassements probables
ENV      2330      0.000000      1.000000 # Enveloppe tassements aleatoires
ENV      2420      0.000000      1.000000 # Enveloppe thermique Tk totale
ENV      2530      0.000000      1.000000 # Enveloppe Q combinaison profil PRV
FIN

ENV      2760 COMB 'ELS caracteristique sans prec. T base profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      2070      1.000000      # Enveloppe poids propre + superstructures (+ remblais) profil DEF
COMB    2190      1.000000      # Tassements probables
ENV      2330      0.000000      1.000000 # Enveloppe tassements aleatoires
ENV      2420      0.000000      1.000000 # Enveloppe thermique Tk totale
ENV      2540      0.000000      1.000000 # Enveloppe Q combinaison profil DEF
FIN

# ELS caracteristique enveloppe

ENV      2770      'ELS caracteristique sans prec. profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      2710      # ELS caracteristique sans prec. Q base T oui profil PRV
ENV      2730      # ELS caracteristique sans prec. Q base T non profil PRV
ENV      2750      # ELS caracteristique sans prec. T base profil PRV
FIN

ENV      2780      'ELS caracteristique sans prec. profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      2720      # ELS caracteristique sans prec. Q base T oui profil DEF
ENV      2740      # ELS caracteristique sans prec. Q base T non profil DEF
ENV      2760      # ELS caracteristique sans prec. T base profil DEF
FIN

```

```

# ELU quasi permanent
ENV      2790 COMB 'ELU quasi permanent sans prec. profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      2060    1.000000    1.350000 # Enveloppe poids propre + superstructures (+ remblais) profil PRV
COMB    2190    0.000000          # Tassements probables
ENV      2330    0.000000    0.000000 # Enveloppe tassements aleatoires
ENV      2420    0.000000    0.000000 # Enveloppe thermique Tk totale
FIN

ENV      2800 COMB 'ELU quasi permanent sans prec. profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      2070    1.000000    1.350000 # Enveloppe poids propre + superstructures (+ remblais) profil DEF
COMB    2190    0.000000          # Tassements probables
ENV      2330    0.000000    0.000000 # Enveloppe tassements aleatoires
ENV      2420    0.000000    0.000000 # Enveloppe thermique Tk totale
FIN

# ELU fondamental Q principal compatible avec T accompagnement
ENV      2810 COMB 'ELU fondamental sans prec. Q base T oui profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      2060    1.000000    1.350000 # Enveloppe poids propre + superstructures (+ remblais) profil PRV
COMB    2190    0.000000          # Tassements probables
ENV      2330    0.000000    0.000000 # Enveloppe tassements aleatoires
ENV      2420    0.000000    0.000000 # Enveloppe thermique Tk totale
ENV      2550    0.000000    1.000000 # Enveloppe Q ultimes compatibles avec T profil PRV
FIN

ENV      2820 COMB 'ELU fondamental sans prec. Q base T oui profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      2070    1.000000    1.350000 # Enveloppe poids propre + superstructures (+ remblais) profil DEF
COMB    2190    0.000000          # Tassements probables
ENV      2330    0.000000    0.000000 # Enveloppe tassements aleatoires
ENV      2420    0.000000    0.000000 # Enveloppe thermique Tk totale
ENV      2560    0.000000    1.000000 # Enveloppe Q ultimes compatibles avec T profil DEF
FIN

# ELU fondamental Q principal incompatible avec T accompagnement
ENV      2830 COMB 'ELU fondamental sans prec. Q base T non profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      2060    1.000000    1.350000 # Enveloppe poids propre + superstructures (+ remblais) profil PRV
COMB    2190    0.000000          # Tassements probables
ENV      2330    0.000000    0.000000 # Enveloppe tassements aleatoires
ENV      2570    0.000000    1.000000 # Enveloppe Q ultimes incompatibles avec T profil PRV
FIN

ENV      2840 COMB 'ELU fondamental sans prec. Q base T non profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      2070    1.000000    1.350000 # Enveloppe poids propre + superstructures (+ remblais) profil DEF
COMB    2190    0.000000          # Tassements probables
ENV      2330    0.000000    0.000000 # Enveloppe tassements aleatoires
ENV      2580    0.000000    1.000000 # Enveloppe Q ultimes incompatibles avec T profil DEF
FIN

# ELU fondamental T principal
ENV      2850 COMB 'ELU fondamental sans prec. T base profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      2060    1.000000    1.350000 # Enveloppe poids propre + superstructures (+ remblais) profil PRV
COMB    2190    0.000000          # Tassements probables
ENV      2330    0.000000    0.000000 # Enveloppe tassements aleatoires
ENV      2420    0.000000    0.000000 # Enveloppe thermique Tk totale
ENV      2530    0.000000    1.350000 # Enveloppe Q combinaison profil PRV
FIN

ENV      2860 COMB 'ELU fondamental sans prec. T base profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      2070    1.000000    1.350000 # Enveloppe poids propre + superstructures (+ remblais) profil DEF
COMB    2190    0.000000          # Tassements probables
ENV      2330    0.000000    0.000000 # Enveloppe tassements aleatoires
ENV      2420    0.000000    0.000000 # Enveloppe thermique Tk totale
ENV      2540    0.000000    1.350000 # Enveloppe Q combinaison profil DEF
FIN

# ELU fondamental enveloppe
ENV      2870      'ELU fondamental sans prec. profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      2810          # ELU fondamental sans prec. Q base T oui profil PRV
ENV      2830          # ELU fondamental sans prec. Q base T non profil PRV
ENV      2850          # ELU fondamental sans prec. T base profil PRV
FIN

ENV      2880      'ELU fondamental sans prec. profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      2820          # ELU fondamental sans prec. Q base T oui profil DEF

```

```

ENV      2840      # ELU fondamental sans prec. Q base T non profil DEF
ENV      2860      # ELU fondamental sans prec. T base profil DEF
FIN

# ELU accidentel

ENV      2890 COMB 'ELU accidentel sans prec. profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      2060      # Enveloppe poids propre + superstructures (+ remblais) profil PRV
COMB    2190      0.000000 # Tassements probables
ENV      2590      # Enveloppe Q accidentelles profil PRV
FIN

ENV      2900 COMB 'ELU accidentel sans prec. profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      2070      # Enveloppe poids propre + superstructures (+ remblais) profil DEF
COMB    2190      0.000000 # Tassements probables
ENV      2600      # Enveloppe Q accidentelles profil DEF
FIN

# COMBINAISONS SANS PRECONTRAINTE POUR LA MISE EN TENSION

# ELS : mise en tension totale

ENV      2940 COMB 'ELS mise en tension sans prec. : T = MT_TOT'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      730      # Enveloppe poids propre min/max ossature seule
ENV      2420     0.000000 0.600000 # Enveloppe thermique Tk totale
FIN

# COMBINAISONS AVEC PRECONTRAINTE EN FONCTION DE LA DATE ET DU PROFIL

# ELS : mise en tension totale

ENV      2950 COMB 'ELS mise en tension : T = MT_TOT'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      2940      # ELS mise en tension sans prec. : T = MT_TOT
ENV      460      # Enveloppe prec. cara. : T = MT_TOT
FIN

# ELU : mise en tension totale

ENV      2960 COMB 'ELU mise en tension : T = MT_TOT'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      730      1.000000 1.350000 # Enveloppe poids propre min/max ossature seule
COMB    420      1.000000 1.000000 # Prec. moyenne : T = MT_TOT
ENV      2420     0.000000 0.000000 # Enveloppe thermique Tk totale
FIN

# ELS quasi permanent : mise en service provisoire

ENV      2970 COMB 'ELS quasi permanent : T = MS profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      2610      # ELS quasi permanent sans prec. profil PRV
ENV      570      # Enveloppe prec. cara. : T = MS profil PRV
FIN

# ELS quasi permanent : mise en service definitif

ENV      2980 COMB 'ELS quasi permanent : T = MS profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      2620      # ELS quasi permanent sans prec. profil DEF
ENV      580      # Enveloppe prec. cara. : T = MS profil DEF
FIN

# ELS quasi permanent : temps infini

ENV      2990 COMB 'ELS quasi permanent : T = INFINI profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      2610      # ELS quasi permanent sans prec. profil PRV
ENV      690      # Enveloppe prec. cara. : T = INFINI profil PRV
FIN

ENV      3000 COMB 'ELS quasi permanent : T = INFINI profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      2620      # ELS quasi permanent sans prec. profil DEF
ENV      700      # Enveloppe prec. cara. : T = INFINI profil DEF
FIN

# ELS quasi permanent : enveloppe service provisoire

ENV      3010      'ELS quasi permanent enveloppe : T = SERVICE profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      2970      # ELS quasi permanent : T = MS profil PRV
ENV      2990      # ELS quasi permanent : T = INFINI profil PRV
FIN

# ELS quasi permanent : enveloppe service definitif

```

```

ENV      3020      'ELS quasi permanent enveloppe : T = SERVICE profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV     2980      # ELS quasi permanent : T = MS profil DEF
ENV     3000      # ELS quasi permanent : T = INFINI profil DEF
FIN

# ELS frequent : mise en service provisoire

ENV      3030 COMB 'ELS frequent : T = MS profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV     2690      # ELS frequent sans prec. profil PRV
ENV     570       # Enveloppe prec. cara. : T = MS profil PRV
FIN

# ELS frequent : mise en service definitif

ENV      3040 COMB 'ELS frequent : T = MS profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV     2700      # ELS frequent sans prec. profil DEF
ENV     580       # Enveloppe prec. cara. : T = MS profil DEF
FIN

# ELS frequent : temps infini

ENV      3050 COMB 'ELS frequent : T = INFINI profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV     2690      # ELS frequent sans prec. profil PRV
ENV     690       # Enveloppe prec. cara. : T = INFINI profil PRV
FIN

ENV      3060 COMB 'ELS frequent : T = INFINI profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV     2700      # ELS frequent sans prec. profil DEF
ENV     700       # Enveloppe prec. cara. : T = INFINI profil DEF
FIN

# ELS caracteristique : mise en service provisoire

ENV      3070 COMB 'ELS caracteristique : T = MS profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV     2770      # ELS caracteristique sans prec. profil PRV
ENV     570       # Enveloppe prec. cara. : T = MS profil PRV
FIN

# ELS caracteristique : mise en service definitif

ENV      3080 COMB 'ELS caracteristique : T = MS profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV     2780      # ELS caracteristique sans prec. profil DEF
ENV     580       # Enveloppe prec. cara. : T = MS profil DEF
FIN

# ELS caracteristique : temps infini

ENV      3090 COMB 'ELS caracteristique : T = INFINI profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV     2770      # ELS caracteristique sans prec. profil PRV
ENV     690       # Enveloppe prec. cara. : T = INFINI profil PRV
FIN

ENV      3100 COMB 'ELS caracteristique : T = INFINI profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV     2780      # ELS caracteristique sans prec. profil DEF
ENV     700       # Enveloppe prec. cara. : T = INFINI profil DEF
FIN

# ELU quasi permanent : mise en service provisoire

ENV      3110 COMB 'ELU quasi permanent : T = MS profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV     2790      # ELU quasi permanent sans prec. profil PRV
COMB    490       # Prec. moyenne : T = MS profil PRV
FIN

# ELU quasi permanent : mise en service definitif

ENV      3120 COMB 'ELU quasi permanent : T = MS profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV     2800      # ELU quasi permanent sans prec. profil DEF
COMB    500       # Prec. moyenne : T = MS profil DEF
FIN

# ELU quasi permanent : temps infini

ENV      3130 COMB 'ELU quasi permanent : T = INFINI profil PRV'
EFFORT MZ

```

```

REAC  MZ
ENV    2790          # ELU quasi permanent sans prec. profil PRV
COMB   610          # Prec. moyenne : T = INFINI profil PRV
FIN

ENV    3140 COMB 'ELU quasi permanent : T = INFINI profil DEF'
EFFORT MZ
REAC  MZ
ENV    2800          # ELU quasi permanent sans prec. profil DEF
COMB   620          # Prec. moyenne : T = INFINI profil DEF
FIN

# ELU quasi permanent : enveloppe service provisoire

ENV    3150          'ELU quasi permanent enveloppe : T = SERVICE profil PRV'
EFFORT MZ
REAC  MZ
ENV    3110          # ELU quasi permanent : T = MS profil PRV
ENV    3130          # ELU quasi permanent : T = INFINI profil PRV
FIN

# ELU quasi permanent : enveloppe service definitif

ENV    3160          'ELU quasi permanent enveloppe : T = SERVICE profil DEF'
EFFORT MZ
REAC  MZ
ENV    3120          # ELU quasi permanent : T = MS profil DEF
ENV    3140          # ELU quasi permanent : T = INFINI profil DEF
FIN

# ELU fondamental : mise en service provisoire

ENV    3170 COMB 'ELU fondamental : T = MS profil PRV'
EFFORT MZ
REAC  MZ
ENV    2870          # ELU fondamental sans prec. profil PRV
COMB   490          # Prec. moyenne : T = MS profil PRV
FIN

# ELU fondamental : mise en service definitif

ENV    3180 COMB 'ELU fondamental : T = MS profil DEF'
EFFORT MZ
REAC  MZ
ENV    2880          # ELU fondamental sans prec. profil DEF
COMB   500          # Prec. moyenne : T = MS profil DEF
FIN

# ELU fondamental : temps infini

ENV    3190 COMB 'ELU fondamental : T = INFINI profil PRV'
EFFORT MZ
REAC  MZ
ENV    2870          # ELU fondamental sans prec. profil PRV
COMB   610          # Prec. moyenne : T = INFINI profil PRV
FIN

ENV    3200 COMB 'ELU fondamental : T = INFINI profil DEF'
EFFORT MZ
REAC  MZ
ENV    2880          # ELU fondamental sans prec. profil DEF
COMB   620          # Prec. moyenne : T = INFINI profil DEF
FIN

# ELU fondamental enveloppe

ENV    3210          'ELU fondamental profil PRV'
EFFORT MZ
REAC  MZ
ENV    3110          # ELU quasi permanent : T = MS profil PRV
ENV    3170          # ELU fondamental : T = MS profil PRV
ENV    3130          # ELU quasi permanent : T = INFINI profil PRV
ENV    3190          # ELU fondamental : T = INFINI profil PRV
FIN

ENV    3220          'ELU fondamental profil DEF'
EFFORT MZ
REAC  MZ
ENV    3120          # ELU quasi permanent : T = MS profil DEF
ENV    3180          # ELU fondamental : T = MS profil DEF
ENV    3140          # ELU quasi permanent : T = INFINI profil DEF
ENV    3200          # ELU fondamental : T = INFINI profil DEF
FIN

# ELU accidentel : temps infini

ENV    3230 COMB 'ELU accidentel : T = INFINI profil PRV'
EFFORT MZ
REAC  MZ
ENV    2890          # ELU accidentel sans prec. profil PRV
COMB   610          # Prec. moyenne : T = INFINI profil PRV
FIN

ENV    3240 COMB 'ELU accidentel : T = INFINI profil DEF'
EFFORT MZ
REAC  MZ
ENV    2900          # ELU accidentel sans prec. profil DEF
COMB   620          # Prec. moyenne : T = INFINI profil DEF

```

```
FIN
# Combinaison d'etude des fleches a l'infini
COMB      330      'Evolution : T = INFINI avec tassements probables profil PRV'
  PHASAGE  310      # Evolution : T = INFINI profil PRV
  COMB     2190     # Tassements probables
FIN
COMB      340      'Evolution : T = INFINI avec tassements probables profil DEF'
  PHASAGE  320      # Evolution : T = INFINI profil DEF
  COMB     2190     # Tassements probables
FIN
...
Lignes supprimées
...
```

17.4 - Fichiers des efforts de flexion transversale Guyon dans la nervure

Cas du PSIDP sans encorbellement: (fichier *MY.txt)

```

...
Lignes supprimées
...

--- RESULTATS DE L'ENVELOPPE : 460 ---

Titre : Enveloppe prec. cara. : T = MT_TOT

TRAVEE_1 Y 0.0000 1.5000 3.0000 4.5000 6.0000 7.5000 9.0000 10.500 12.000
          Min 0.0000 -44.094 -74.382 -89.541 -94.030 -89.541 -74.382 -44.094 0.0000
          Max 0.0000 -36.077 -60.858 -73.261 -76.934 -73.261 -60.858 -36.077 0.0000

TRAVEE_2 Y 0.0000 1.5000 3.0000 4.5000 6.0000 7.5000 9.0000 10.500 12.000
          Min 0.0000 -88.285 -143.29 -172.25 -181.28 -172.25 -143.29 -88.285 0.0000
          Max 0.0000 -72.233 -117.24 -140.93 -148.32 -140.93 -117.24 -72.233 0.0000

TRAVEE_3 Y 0.0000 1.5000 3.0000 4.5000 6.0000 7.5000 9.0000 10.500 12.000
          Min 0.0000 -50.395 -83.746 -100.16 -105.01 -100.16 -83.746 -50.395 0.0000
          Max 0.0000 -41.232 -68.519 -81.951 -85.914 -81.951 -68.519 -41.232 0.0000

--- RESULTATS DE LA COMBINAISON : 510 ---

Titre : Prec. moyenne : T = MS Nu = 0 profil PRV

TRAVEE_1 Y 0.0000 1.5000 3.0000 4.5000 6.0000 7.5000 9.0000 10.500 12.000
          0.0000 -5.1896 -11.132 -13.694 -14.336 -13.694 -11.132 -5.1896 0.0000

TRAVEE_2 Y 0.0000 1.5000 3.0000 4.5000 6.0000 7.5000 9.0000 10.500 12.000
          0.0000 -11.941 -21.194 -25.744 -27.110 -25.744 -21.194 -11.941 0.0000

TRAVEE_3 Y 0.0000 1.5000 3.0000 4.5000 6.0000 7.5000 9.0000 10.500 12.000
          0.0000 -6.0741 -12.445 -15.053 -15.693 -15.053 -12.445 -6.0741 0.0000

--- RESULTATS DE LA COMBINAISON : 520 ---

Titre : Prec. moyenne : T = MS Nu = 0 profil DEF

TRAVEE_1 Y 0.0000 1.5000 3.0000 4.5000 6.0000 7.5000 9.0000 10.500 12.000
          0.0000 -5.0459 -10.823 -13.314 -13.938 -13.314 -10.823 -5.0459 0.0000

TRAVEE_2 Y 0.0000 1.5000 3.0000 4.5000 6.0000 7.5000 9.0000 10.500 12.000
          0.0000 -11.627 -20.634 -25.062 -26.391 -25.062 -20.634 -11.627 0.0000

TRAVEE_3 Y 0.0000 1.5000 3.0000 4.5000 6.0000 7.5000 9.0000 10.500 12.000
          0.0000 -5.9057 -12.099 -14.635 -15.257 -14.635 -12.099 -5.9057 0.0000

...
Lignes supprimées
...

--- RESULTATS DE LA SURCHARGE : 4380 ---

Titre : LMI caracteristique AFF 2 profil DEF

TRAVEE_1 Y 0.0000 1.5000 3.0000 4.5000 6.0000 7.5000 9.0000 10.500 12.000
          Min 0.0000 -9.8088 -11.901 -11.457 -7.4860 -11.458 -11.903 -9.8115 0.0000
          Max 0.0000 55.728 78.383 102.57 106.06 102.53 78.515 56.286 0.0000

TRAVEE_2 Y 0.0000 1.5000 3.0000 4.5000 6.0000 7.5000 9.0000 10.500 12.000
          Min 0.0000 -10.218 -13.586 -12.150 -6.0264 -12.150 -13.588 -10.222 0.0000
          Max 0.0000 62.006 89.452 116.48 120.28 116.45 89.617 62.502 0.0000

TRAVEE_3 Y 0.0000 1.5000 3.0000 4.5000 6.0000 7.5000 9.0000 10.500 12.000
          Min 0.0000 -9.8088 -11.901 -11.457 -7.4860 -11.458 -11.903 -9.8115 0.0000
          Max 0.0000 55.728 78.383 102.57 106.06 102.53 78.514 56.285 0.0000

--- RESULTATS DE LA SURCHARGE : 4390 ---

Titre : LMI frequent AFF 2 profil DEF

TRAVEE_1 Y 0.0000 1.5000 3.0000 4.5000 6.0000 7.5000 9.0000 10.500 12.000
          Min 0.0000 -6.7611 -8.1686 -7.9230 -5.1040 -7.9234 -8.1694 -6.7629 0.0000
          Max 0.0000 38.732 54.040 72.258 74.713 72.228 53.957 39.151 0.0000

TRAVEE_2 Y 0.0000 1.5000 3.0000 4.5000 6.0000 7.5000 9.0000 10.500 12.000
          Min 0.0000 -6.9167 -9.2598 -8.3311 -3.9454 -8.3311 -9.2606 -6.9193 0.0000

```

	Max	0.0000	42.753	61.109	81.166	83.766	81.130	61.239	43.126	0.0000
TRAVEE_3	Y	0.0000	1.5000	3.0000	4.5000	6.0000	7.5000	9.0000	10.500	12.000
	Min	0.0000	-6.7611	-8.1686	-7.9230	-5.1040	-7.9234	-8.1694	-6.7629	0.0000
	Max	0.0000	38.732	54.040	72.258	74.713	72.228	53.957	39.151	0.0000

--- RESULTATS DE LA SURCHARGE : 4400 ---

Titre : LMI ultime AFF 2 profil DEF

TRAVEE_1	Y	0.0000	1.5000	3.0000	4.5000	6.0000	7.5000	9.0000	10.500	12.000
	Min	0.0000	-28.531	-38.198	-37.570	-45.605	-37.574	-38.208	-28.557	0.0000
	Max	0.0000	47.478	64.852	84.512	88.173	84.451	64.746	47.729	0.0000
TRAVEE_2	Y	0.0000	1.5000	3.0000	4.5000	6.0000	7.5000	9.0000	10.500	12.000
	Min	0.0000	-32.683	-43.602	-43.261	-50.134	-43.268	-43.614	-32.686	0.0000
	Max	0.0000	52.992	74.252	95.216	99.175	95.154	74.230	53.547	0.0000
TRAVEE_3	Y	0.0000	1.5000	3.0000	4.5000	6.0000	7.5000	9.0000	10.500	12.000
	Min	0.0000	-28.531	-38.198	-37.570	-45.605	-37.574	-38.208	-28.557	0.0000
	Max	0.0000	47.478	64.852	84.512	88.173	84.451	64.746	47.729	0.0000

...
Lignes supprimées
...

17.5 - Fichiers des efforts de flexion transversale dans la direction des aciers dans la nervure

Cas du PSIDP sans encorbellement : Ce fichier ("*_MTP.txt") correspond au calcul fait selon le guide PSIDP (voir § 3.7 -) et donne les moments de calculs par cas de charge alors que la note de synthèse fournit les cas de charges maximaux uniquement par travée .

```

...
Lignes supprimées
...
--- CHARGES PERMANENTES ET CHARGE D'EXPLOITATION : 4440 ---

Titre : LMI et trottoirs (grla) caracteristique AFF 2 profil DEF

TRAVEE_1  Y      0.0000    1.5000    3.0000    4.5000    6.0000    7.5000    9.0000    10.500    12.000
           My_Min  0.0000   -30.431   -49.076   -56.958   -55.429   -56.959   -49.077   -30.434    0.0000
           My_Max  0.0000    48.605    63.764    84.137    86.528    84.099    63.895    49.162    0.0000
           MXp_Min -263.29
           MYp_Min -56.959
           Myd_Min -68.728
           MXp_Max  308.93
           MYp_Max  86.528
           Myd_Max  99.214

TRAVEE_2  Y      0.0000    1.5000    3.0000    4.5000    6.0000    7.5000    9.0000    10.500    12.000
           My_Min  0.0000   -66.991   -105.55   -122.44   -122.02   -122.44   -105.55   -66.995    0.0000
           My_Max  0.0000    30.390    38.444    55.483    56.188    55.453    38.610    30.886    0.0000
           MXp_Min -433.36
           MYp_Min -122.44
           Myd_Min -132.35
           MXp_Max  340.59
           MYp_Max  56.188
           Myd_Max  65.254

TRAVEE_3  Y      0.0000    1.5000    3.0000    4.5000    6.0000    7.5000    9.0000    10.500    12.000
           My_Min  0.0000   -36.463   -58.040   -67.128   -65.937   -67.129   -58.042   -36.466    0.0000
           My_Max  0.0000    44.098    57.064    76.538    78.676    76.499    57.196    44.655    0.0000
           MXp_Min -263.21
           MYp_Min -67.129
           Myd_Min -78.313
           MXp_Max  308.57
           MYp_Max  78.676
           Myd_Max  91.789

--- CHARGES PERMANENTES ET CHARGE D'EXPLOITATION : 4450 ---

Titre : LMI et trottoirs (grla) frequent AFF 2 profil DEF

TRAVEE_1  Y      0.0000    1.5000    3.0000    4.5000    6.0000    7.5000    9.0000    10.500    12.000
           My_Min  0.0000   -27.383   -45.343   -53.424   -53.047   -53.425   -45.344   -27.385    0.0000
           My_Max  0.0000    31.609    39.420    53.827    55.179    53.797    39.338    32.028    0.0000
           MXp_Min -224.66
           MYp_Min -53.425
           Myd_Min -63.192
           MXp_Max  210.89
           MYp_Max  55.179
           Myd_Max  64.060

TRAVEE_2  Y      0.0000    1.5000    3.0000    4.5000    6.0000    7.5000    9.0000    10.500    12.000
           My_Min  0.0000   -63.690   -101.22   -118.62   -119.93   -118.62   -101.23   -63.692    0.0000
           My_Max  0.0000    11.137    10.102    20.168    19.673    20.132    10.232    11.510    0.0000
           MXp_Min -410.58
           MYp_Min -119.93
           Myd_Min -129.20
           MXp_Max  221.32
           MYp_Max  20.168
           Myd_Max  26.580

TRAVEE_3  Y      0.0000    1.5000    3.0000    4.5000    6.0000    7.5000    9.0000    10.500    12.000
           My_Min  0.0000   -33.415   -54.307   -63.594   -63.555   -63.594   -54.308   -33.417    0.0000
           My_Max  0.0000    27.101    32.721    46.227    47.326    46.197    32.639    27.520    0.0000
           MXp_Min -224.66
           MYp_Min -63.594
           Myd_Min -72.781
           MXp_Max  210.60

```

MYp_Max 47.326
Myd_Max 56.639

--- CHARGES PERMANENTES ET CHARGE D'EXPLOITATION : 4470 ---

Titre : LMI et trottoirs (grla) ultime AFF 2 profil DEF

TRAVEE_1	Y	0.0000	1.5000	3.0000	4.5000	6.0000	7.5000	9.0000	10.500	12.000
	My_Min	0.0000	-33.058	-48.034	-49.710	-58.323	-49.714	-48.044	-33.084	0.0000
	My_Max	0.0000	43.872	56.923	74.690	77.876	74.630	56.817	44.123	0.0000
	MXp_Min	-250.49								
	MYp_Min	-58.323								
	Myd_Min	-69.284								
	MXp_Max	384.53								
	MYp_Max	77.876								
	Myd_Max	95.367								
TRAVEE_2	Y	0.0000	1.5000	3.0000	4.5000	6.0000	7.5000	9.0000	10.500	12.000
	My_Min	0.0000	-43.612	-62.879	-66.636	-74.740	-66.643	-62.891	-43.615	0.0000
	My_Max	0.0000	43.767	58.156	75.752	78.699	75.691	58.134	44.322	0.0000
	MXp_Min	-344.90								
	MYp_Min	-74.740								
	Myd_Min	-83.352								
	MXp_Max	417.03								
	MYp_Max	78.699								
	Myd_Max	89.484								
TRAVEE_3	Y	0.0000	1.5000	3.0000	4.5000	6.0000	7.5000	9.0000	10.500	12.000
	My_Min	0.0000	-33.918	-49.310	-51.030	-59.642	-51.035	-49.320	-33.944	0.0000
	My_Max	0.0000	43.087	55.758	73.484	76.672	73.423	55.652	43.338	0.0000
	MXp_Min	-250.37								
	MYp_Min	-59.642								
	Myd_Min	-70.521								
	MXp_Max	384.06								
	MYp_Max	76.672								
	Myd_Max	94.205								

...
Lignes supprimées
...

Annexes

18 - Annexes génériques

Un document CHAMOA Annexe rassemble toutes les annexes non spécifiques au type d'ouvrage, en particulier, on y retrouve les combinaisons d'actions, les classes d'environnement, les enrobages, les ouvertures de fissures,....

19 - Optimisation d'un câblage filant par l'Algorithme du simplexe

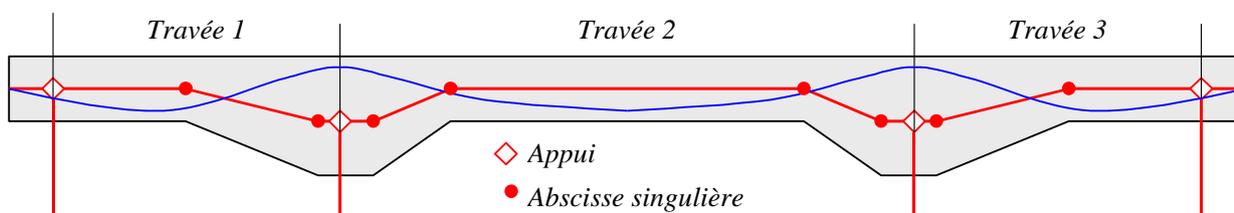
19.1 - Généralités

19.1.1 - Énoncé du problème

Généralités

Le problème consiste à trouver un câblage de précontrainte filant à un tablier répondant aux hypothèses suivantes :

- L'extrados est horizontal (axe de référence des x).
- Le tablier est constitué de « travées », elles-mêmes constituées par une barre ou une suite de barres délimitées par des « appuis », c'est à dire des nœuds en contact avec l'extérieur (appui simple, appui élastique, béquille, etc.).
- Si nécessaire, chaque travée comporte un certain nombre d'abscisses singulières correspondant soit à une discontinuité des caractéristiques mécaniques soit à une cassure de la fibre moyenne (discontinuité de l'effort normal).
- Il peut exister des abouts à gauche de la première travée et à droite de la dernière.



19.1.2 - Discrétisation

Le tracé du câble est supposé déterminé par N_p points de passage d'abscisses x_k comptées à partir de la gauche du tablier et d'ordonnées y_k (négatives) comptées à partir de l'extrados.

L'ensemble des x_k est une donnée du problème. Il est choisi de sorte que :

- Les appuis et les abscisses singulières en fassent partie.

- Les tronçons délimités par deux abscisses successives soient suffisamment petits pour que :
 - Les intégrations numériques sur un intervalle soient précises.
 - Les justifications réglementaires aux seuls points x_k puissent être considérées comme représentatives de la justification de l'ensemble du tablier.

En pratique, on considère que ces conditions sont remplies si chaque intervalle n'excède pas $1/20^{\text{ème}}$ de la portée de la travée correspondante.

19.1.3 - Sections d'étude des contraintes

En chaque point x_k de passage du câble, on place :

- Une section d'étude si les efforts et les caractéristiques mécaniques sont continus.
- Une section d'étude « à gauche » et une section d'étude « à droite » dans le cas contraire.

En pratique, cela revient à placer deux sections d'étude au droit des abscisses singulières et une en section courante. On obtient ainsi un ensemble N_s de sections d'étude d'indice $q = 1 \dots N_s$.

19.1.4 - Modélisation du câble

La base de la méthode adoptée ici consiste à représenter le tracé du câble par une Spline cubique définie par :

- Les N_p abscisses x_k des points de passage.
- Les N_p ordonnées y_k (inconnues) des points de passage.
- Les conditions $y'' = 0$ à chaque ancrage.

Dans ces conditions, le tracé du câble $y(x)$ possède une dérivée $y'(x)$ et une courbure $y''(x)$ continues, ce qui justifie le choix de l'ordonnée y pour caractériser le câble, et non de l'excentricité e , dont la dérivée est discontinue au droit des brisures de pente de la fibre moyenne.

19.2 - Conditions sur les contraintes normales

19.2.1 - Principe

On se limite à considérer les conditions linéaires sur les contraintes normales, c'est-à-dire les conditions (ELS) limitant la contrainte de traction et de compression du béton sur les fibres extrêmes. On suppose également en première approximation que le calcul des contraintes est mené sur les sections brutes. Réglementairement, il faut respecter :

- pour toutes les sections d'étude d'abscisse x_q ,
- à toutes les dates t_j choisies pour la justification de l'ouvrage,
- pour toutes les combinaisons d'actions i_c (quasi permanente, fréquente et rare),
- pour les deux valeurs de calcul de la précontrainte, P_1 et P_2 (que l'on distinguera par l'indice i_p) :

$$\bar{\sigma}_t(t_j, i_c) \leq \sigma_e(x_q, t_j, i_c) + \sigma_p(x_q, t_j, i_p) \leq \bar{\sigma}_c(t_j, i_c) \quad (27.2.1)$$

Dans cette expression :

- $\bar{\sigma}$ désigne les contraintes réglementaires admises pour la combinaison considérée.
- σ_e désigne les contraintes normales enveloppes des charges appliquées, hors précontrainte. Ces contraintes sont données par le calcul général de la structure.
- σ_p désigne les contraintes normales développées par la précontrainte, qui constitue l'inconnue du problème.

On notera que les combinaisons i_c n'interviennent que dans des termes connus, de sorte que (27.2.1) peut être écrite :

$$\max(i_c) \left[\bar{\sigma}_t(t_j, i_c) - \sigma_e(x_q, t_j, i_c) \right] \leq \sigma_p(x_q, t_j, i_p) \leq \min(i_c) \left[\bar{\sigma}_c(t_j, i_c) - \sigma_e(x_q, t_j, i_c) \right] \quad (27.2.2)$$

En désignant par F_p la force de précontrainte dans une section d'étude et par N_h et M_h l'effort normal et le moment fléchissant hyperstatiques de précontrainte, pour une date et une valeur de calcul de la précontrainte, le respect des conditions sur les contraintes normales se traduit donc par 4 inéquations :

$$\begin{aligned}
 & + \left[\frac{1}{B} (F_p + N_h) + \frac{v}{I} (F_p e + M_h) \right] (x_q, t_j, i_p) \leq + \min(i_c) \left[\bar{\sigma}_{c,\text{sup}}(t_j, i_c) - \sigma_{e,\text{sup,max}}(x_q, t_j, i_c) \right] \\
 & - \left[\frac{1}{B} (F_p + N_h) + \frac{v}{I} (F_p e + M_h) \right] (x_q, t_j, i_p) \leq - \max(i_c) \left[\bar{\sigma}_{t,\text{sup}}(t_j, i_c) - \sigma_{e,\text{sup,min}}(x_q, t_j, i_c) \right] \\
 & + \left[\frac{1}{B} (F_p + N_h) - \frac{w}{I} (F_p e + M_h) \right] (x_q, t_j, i_p) \leq + \min(i_c) \left[\bar{\sigma}_{c,\text{inf}}(t_j, i_c) - \sigma_{e,\text{inf,max}}(x_q, t_j, i_c) \right] \\
 & - \left[\frac{1}{B} (F_p + N_h) - \frac{w}{I} (F_p e + M_h) \right] (x_q, t_j, i_p) \leq - \max(i_c) \left[\bar{\sigma}_{t,\text{inf}}(t_j, i_c) - \sigma_{e,\text{inf,min}}(x_q, t_j, i_c) \right]
 \end{aligned} \tag{27.2.3}$$

19.2.2 - Action de la précontrainte

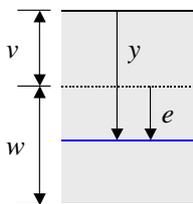
Les efforts hyperstatiques dus à la précontrainte dans la section d'étude x_q sont donnés par des intégrales de la forme :

$$\begin{aligned}
 N_h(x_q, t_j, i_p) &= \int (D_n(x_q, x) \cdot F_p(x, t_j, i_p) + C_n(x_q, x) \cdot F_p(x, t_j, i_p) \cdot e(x)) \cdot dx \\
 M_h(x_q, t_j, i_p) &= \int (D_m(x_q, x) \cdot F_p(x, t_j, i_p) + C_m(x_q, x) \cdot F_p(x, t_j, i_p) \cdot e(x)) \cdot dx
 \end{aligned} \tag{27.2.4}$$

Exprimons F_p sous la forme :

$$F_p(x, t_j, i_p) = F_0 \cdot k(x, t_j, i_p) \tag{27.2.5}$$

où k représente la loi de variation de la précontrainte (supposée connue) en fonction de sa valeur initiale à l'ancrage, F_0 .



Exprimons également $e(x)$ en fonction de $y(x)$:

$$e(x) = v(x) + y(x)$$

En se plaçant, pour simplifier les notations, à la date t_j avec la précontrainte i_p , les efforts hyperstatiques de précontrainte s'expriment dans la section d'étude x_q par :

$$\begin{aligned}
 N_h &= F_0 \cdot \left[\int (D_n(x_q, x) \cdot k(x) + C_n(x_q, x) \cdot k(x) \cdot v(x)) \cdot dx \right] + \int C_n(x_q, x) \cdot k(x) \cdot F_0 \cdot y(x) \cdot dx \\
 M_h &= F_0 \cdot \left[\int (D_m(x_q, x) \cdot k(x) + C_m(x_q, x) \cdot k(x) \cdot v(x)) \cdot dx \right] + \int C_m(x_q, x) \cdot k(x) \cdot F_0 \cdot y(x) \cdot dx
 \end{aligned}$$

En prenant comme inconnues F_0 et $(F_0 \cdot y_k)$, $k = 1$, N_p (points de passage du câble), les intégrales peuvent être calculées de manière approchée sous forme d'une combinaison linéaire et les efforts totaux de précontrainte peuvent être exprimés sous la forme :

$$\begin{aligned}
 F_p + N_h &= \alpha_0 \cdot F_0 + \sum_1^{N_p} \alpha_i \cdot (F_0 \cdot y_i) \\
 F_p e + M_h &= \beta_0 \cdot F_0 + \sum_1^{N_p} \beta_i \cdot (F_0 \cdot y_i)
 \end{aligned}$$

Il est alors facile d'exprimer les inéquations (27.2.3) sous la forme :

$$(A^{F_0}, A^{F_0 \cdot y_i})(x_q, t_j, i_p) \cdot \begin{pmatrix} F_0 \\ F_0 \cdot y_1 \\ \dots \\ F_0 \cdot y_{N_p} \end{pmatrix} \leq (B)(x_q, t_j)$$

19.2.3 - Inéquations à respecter

Au final, le respect des contraintes limites se traduira sous forme d'un ensemble d'inéquations linéaires qui seront par la suite traitées par l'algorithme du simplexe :

$$(A^{F_0}, A^{F_0 \cdot y_i})_{\sigma} \cdot \begin{pmatrix} F_0 \\ F_0 \cdot y_1 \\ \dots \\ F_0 \cdot y_{N_p} \end{pmatrix} \leq (B)_{\sigma} \quad (27.2.6)$$

La matrice A_{σ} comprend $N_p + 1$ colonnes et :

$N_{\sigma} = 4 \times N_s \times \text{nombre de dates} \times 2$ (P_1 et P_2) lignes

19.3 - Conditions sur le tracé du câble

19.3.1 - Conditions sur les ordonnées du câble

En chaque point de passage, le câble doit au minimum respecter les conditions d'enrobage :

$$y_{i,\max} \geq y_i \geq y_{i,\min} \quad (27.3.1)$$

Avec, en général :

$$\begin{aligned} y_{i,\max} &= -d_{\min} \\ y_{i,\min} &= -(v_i + w_i) + d_{\min} \end{aligned} \quad d_{\min} = (1,5 \cdot \emptyset + d) \quad \begin{array}{l} \emptyset \text{ étant le diamètre de la gaine et } d \text{ le décalage} \\ \text{entre l'axe de la gaine et l'axe du câble.} \end{array}$$

À chaque extrémité, on choisira généralement un intervalle beaucoup plus resserré assurant un passage du câble proche de la mi-hauteur de la section, afin de simplifier les dispositions constructives.

Avec les variables choisies pour le simplexe, les inéquations (27.3.1) se traduisent par :

$$\begin{aligned} -F_0 \cdot y_{i,\max} + (F_0 \cdot y_i) &\leq 0 \\ +F_0 \cdot y_{i,\min} - (F_0 \cdot y_i) &\leq 0 \end{aligned}$$

Ces inégalités doivent être vérifiées dans chaque section d'étude du fait que certains points de passage peuvent comporter deux sections d'étude présentant des discontinuités mécaniques. On aboutit ainsi à un nouvel ensemble d'inéquations :

$$(A^{F_0}, A^{F_0 \cdot y_i})_y \cdot \begin{pmatrix} F_0 \\ F_0 \cdot y_1 \\ \dots \\ F_0 \cdot y_{N_p} \end{pmatrix} \leq (0) \quad (27.3.2)$$

La matrice A_y comprenant $N_p + 1$ colonnes et $2 \times N_s$ lignes. Sa structure est très simple, chaque ligne débutant par $-y_{i,\max}$ ou $+y_{i,\min}$ et comprenant $+1$ ou -1 au rang $i + 1$.

19.3.2 - Conditions sur les courbures du câble

En chaque point de passage, le câble doit au minimum respecter les conditions de rayon de courbure minimum. En fait, on verra plus loin qu'il est également indispensable d'imposer le signe de la courbure sur certaines

parties de l'ouvrage. Les conditions de courbure seront donc traduites en toute généralité, de manière strictement identique aux conditions sur les points de passage, par :

$$\begin{aligned} -F_0 \cdot y''_{i,\max} + (F_0 \cdot y_i'') &\leq 0 \\ +F_0 \cdot y''_{i,\min} - (F_0 \cdot y_i'') &\leq 0 \end{aligned} \quad (27.3.3)$$

Avec la modélisation adoptée, il existe une matrice M'' fournie par le module de calcul des Splines telle que :

$$\begin{pmatrix} y_1'' \\ \dots \\ y_{Np}'' \end{pmatrix} = M'' \begin{pmatrix} y_1 \\ \dots \\ y_{Np} \end{pmatrix}$$

Dans ces conditions, il s'ensuit immédiatement que les contraintes de courbure s'expriment par :

$$-\begin{pmatrix} y''_{1,\max} \\ \dots \\ y''_{Np,\max} \end{pmatrix} \cdot F_0 + M'' \begin{pmatrix} F_0 \cdot y_1 \\ \dots \\ F_0 \cdot y_{Np} \end{pmatrix} \leq 0 \quad + \begin{pmatrix} y''_{1,\min} \\ \dots \\ y''_{Np,\min} \end{pmatrix} \cdot F_0 - M'' \begin{pmatrix} F_0 \cdot y_1 \\ \dots \\ F_0 \cdot y_{Np} \end{pmatrix} \leq 0$$

On aboutit ainsi à un nouvel ensemble de $2 \times Np$ inéquations :

$$\left(A^{F_0}, A^{F_0 \cdot y_i} \right)_c \cdot \begin{pmatrix} F_0 \\ F_0 \cdot y_1 \\ \dots \\ F_0 \cdot y_{Np} \end{pmatrix} \leq (0) \quad (27.3.4)$$

On notera que les contraintes de courbure sont exprimées en chaque point de passage du câble et non en chaque section d'étude, du fait de la continuité de la courbure assurée par les fonctions Spline.

19.3.3 - Conditions sur les pentes du câble

Des conditions de pente maximum et minimum en chaque point de passage du câble peuvent être également imposées de manière strictement identique aux conditions sur la courbure.

Le module de calcul des Splines fournit la matrice M' correspondante. Cette possibilité n'a toutefois pas été implémentée faute d'utilité pratique.

19.4 - Solution brute

Pour des raisons liées à la recherche du tracé en plusieurs phases, on ajoute deux inégalités supplémentaires :

$$F_{0,\min} \leq F_0 \leq F_{0,\max} \quad \Leftrightarrow \quad \begin{aligned} -F_0 &\leq -F_{0,\min} \\ +F_0 &\leq +F_{0,\max} \end{aligned}$$

Avec, lors de la première recherche, $F_{0,\min} = 0$ et $F_{0,\max}$ infini.

En concaténant les différentes inégalités, l'ensemble des contraintes prend la forme :

$$\left(A^{F_0}, A^{F_0 \cdot y_i} \right) \cdot \begin{pmatrix} F_0 \\ F_0 \cdot y_1 \\ \dots \\ F_0 \cdot y_{Np} \end{pmatrix} \leq (B) \quad (27.4.1)$$

Avec :

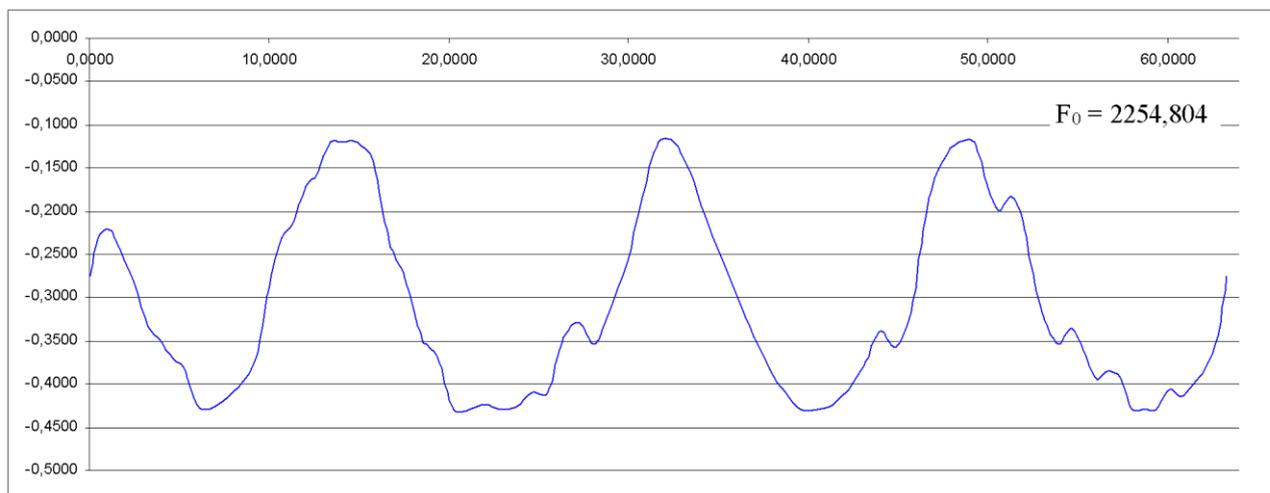
- 2 lignes pour $F_{0,\min}$ et $F_{0,\max}$.
- $2 \times N_s$ lignes pour les conditions sur les ordonnées du câble.
- $2 \times N_p$ lignes pour les conditions sur les courbures du câble.

- N_σ lignes pour les conditions sur les contraintes normales, la valeur de N_σ étant donnée en (27.2.3 -).

Le problème de la recherche du câblage optimal revient alors à chercher le minimum de F_0 sur le simplexe défini par (27.4.1), soit :

$$\min((C).(X)) \quad (A).(X) \leq (B) \quad (C) = (1,0,\dots)$$

Malheureusement, cette méthode appliquée sans autre précaution ne donne pas de résultats satisfaisants. Par exemple, le tracé ci-après est celui obtenu sur l'ouvrage de la note de calculs commentée du dossier PSIDP-EL avec un jeu de coefficients $k = 1$.



Le problème provient du découplage entre les coefficients de pertes k , supposés connus et invariables, et la forme du tracé : les irrégularités de celui-ci (courbures et contre-courbures) représentent un « coût » très important en termes de pertes de précontrainte qui n'est pas pris en compte. Autrement dit, la fonctionnelle $C.X$ dépend peu des ordonnées de passage du câble, d'où il découle que l'on obtient un tracé plus ou moins aléatoire, fonction de la disposition des équations au sein du simplexe.

19.5 - Réduction de l'espace des solutions

Intuitivement, on sent que l'indépendance des ordonnées des N_p points, dont le nombre important est essentiellement choisi pour des raisons de précision des intégrations, est beaucoup trop laxiste.

L'idée qui vient donc à l'esprit est de « canaliser » le tracé pour lui faire prendre une forme régulière, ce qui revient à le faire dépendre d'un nombre beaucoup plus réduit de paramètres, tout en lui gardant une liberté suffisante pour pouvoir approcher le minimum absolu de F_0 .

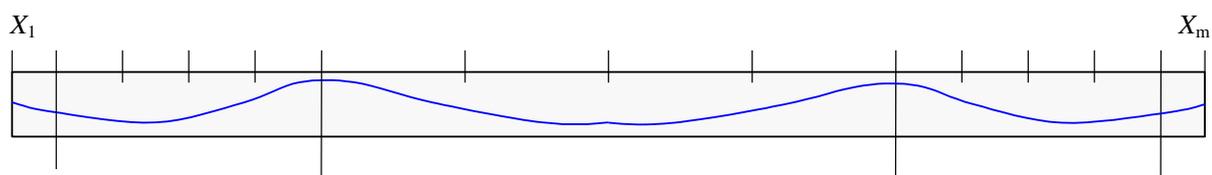
Deux solutions ont été essayées :

- Choisir une base de m fonctions $T_1(x), \dots, T_m(x)$, correspondant à des tracés particuliers et exprimer tout tracé $y(x)$ sous forme d'une combinaison linéaire de ces fonctions.
- Caractériser tout tracé par son ordonnée en un nombre réduit de points, dits points de « contrôle ».

Après comparaison, c'est la deuxième solution qui a été retenue. Elle est plus simple à mettre en œuvre, plus souple, et semble donner des résultats satisfaisants.

19.5.1 - Matrice de contrôle

Chaque travée est découpée en un nombre donné d'intervalles identiques (ce nombre pouvant varier suivant la travée). En incluant les extrémités du tablier (abouts), on obtient une suite croissante d'abscisses X_1, \dots, X_m définissant chacune un point de contrôle.



Le tracé est alors supposé défini par la Spline cubique s'appuyant sur les m points de passage (Xi, Yi), dans les mêmes conditions que celles du paragraphe (27.1.4 -).

Le module de calcul des Splines permet alors de calculer une matrice de contrôle Mc telle que :

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ \dots \\ y_{Np} \end{pmatrix} = M_c \begin{pmatrix} Y_1 \\ \dots \\ Y_m \end{pmatrix} \tag{27.5.1}$$

Dans le cas d'un ouvrage symétrique, cette matrice peut être elle-même « pliée » en posant $Y_1 = Y_m$, etc., ce qui revient à réduire le nombre de points de contrôle et à imposer un câblage symétrique.

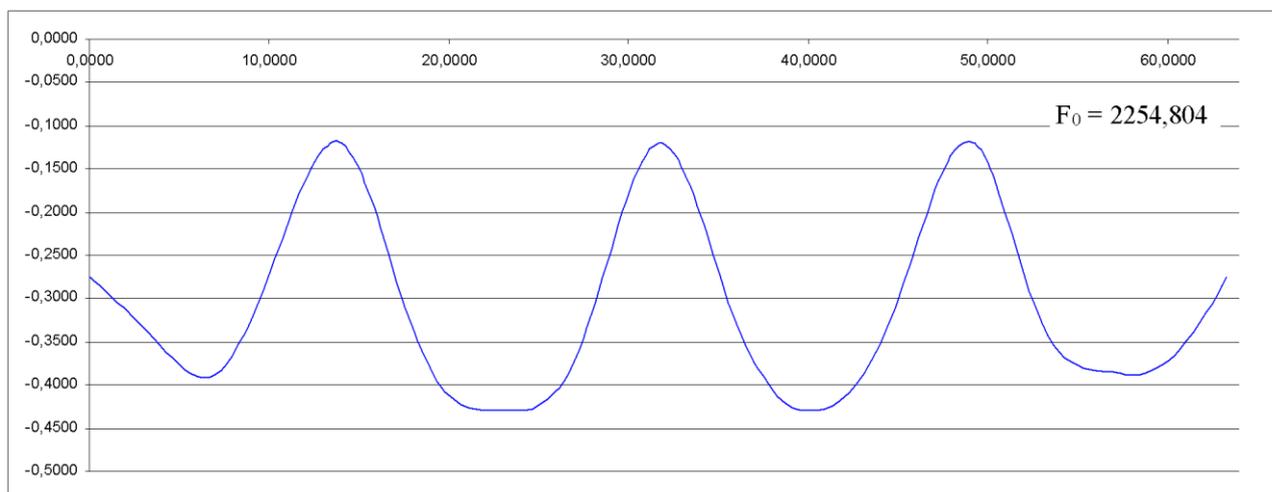
19.5.2 - Solution réduite

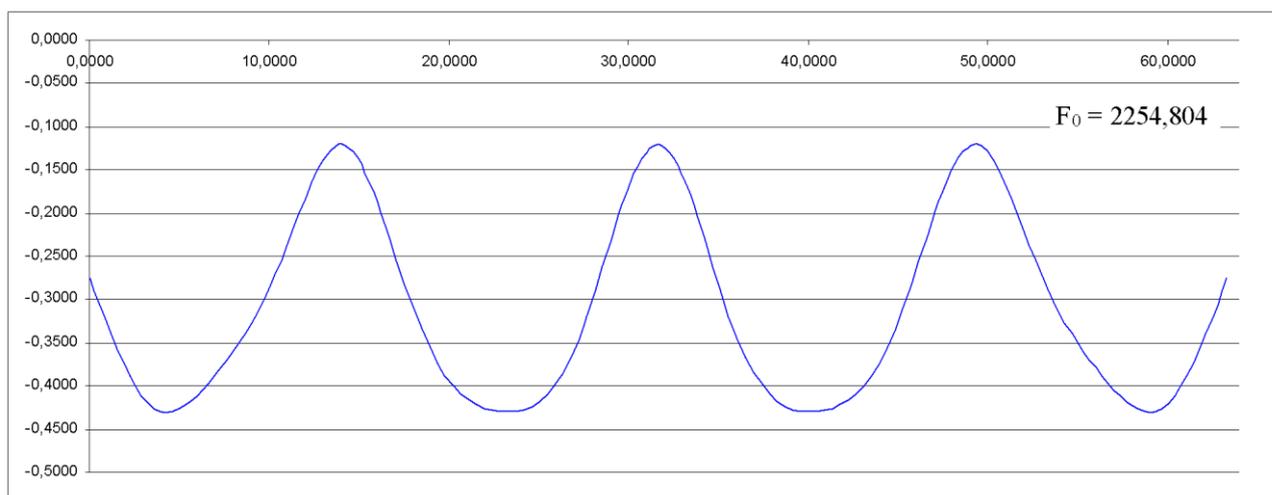
En exprimant les contraintes du simplexe (27.4.1) en fonction des points de contrôle, on obtient :

$$\left(A^{F_0}, \left(A^{F_0 \cdot y_1}, \dots, A^{F_0 \cdot y_{Np}} \right) \cdot M_c \right) \cdot \begin{pmatrix} F_0 \\ F_0 \cdot Y_1 \\ \dots \\ F_0 \cdot Y_m \end{pmatrix} \leq (B) \tag{27.5.2}$$

Ce système peut être résolu en F_0, Y_1, Y_m par l'algorithme du simplexe, toujours en recherchant le minimum de F_0 . Il suffit ensuite d'utiliser (27.5.1) pour trouver l'ordonnée du câble en chaque point de passage.

Ainsi, en découpant chaque travée en 4 tronçons, on obtient le câblage suivant pour l'ouvrage étudié en (27.4 -), sans et avec application de la condition de symétrie :





On peut faire plusieurs remarques sur ces résultats :

- Le nombre de degrés de liberté du tracé est suffisant pour que la force de précontrainte reste minimale.
- Le tracé sans symétrie imposée relève encore un peu trop du « hasard ». En outre, on constate de légères contre-courbures sur les travées d'extrémité.
- Dans le tracé à symétrie imposée, le câblage en travées de rives est trop bas par rapport aux câblages habituels, ce qui peut se traduire par des pertes inutiles de déviation angulaire et des contraintes déséquilibrées sur les fibres extrêmes.

Tous ces éléments sont révélateurs du fait que le nombre de degrés de liberté du câble est encore trop important et qu'il est donc possible de lui imposer des contraintes supplémentaires pour obtenir un câblage conforme aux « règles de l'art ».

On peut également remarquer que la matrice de contrôle fait gagner sur les deux tableaux : régularité du câblage et temps de résolution, qui devient quasi instantané.

19.6 - Amélioration du tracé

19.6.1 - Contraintes complémentaires sur les courbures

Une première amélioration peut être obtenue en imposant des contraintes sur le signe de la courbure en certains endroits de l'ouvrage via la matrice de courbure.

Malheureusement, cette démarche ne peut pas être universelle, car elle dépend du type d'ouvrage. Pour les ouvrages du type PSIDP ou MCP (travées de rive simplement appuyées), une primitive particulière permet d'imposer :

- $y'' \geq 0$ sur $[0,00 - 0,60]$ et $[0,40 - 1,00]$ des travées de rive gauche et droite.
- $y'' \geq 0$ sur $[0,40 - 0,60]$ des travées intermédiaires.
- $y'' \leq 0$ sur $[-0,10 - +0,10]$ des appuis intermédiaires.

19.6.2 - Optimisation de la surface

Une deuxième amélioration consiste à essayer de « remonter » le tracé au maximum, notamment dans les travées de rive.

Pour ce faire, afin de ne pas s'écarter de l'optimum de F_0 , on procède en deux étapes :

- Recherche de la précontrainte minimum par la méthode exposée en (27.5.2 - avec les contraintes complémentaires exposées en (27.6.1 -).
- Recherche du tracé de surface maximum avec F_0 imposé.

Après que F_0 ait été trouvé par la première étape (que nous noterons F_{01}), on modifie les inégalités relatives à la valeur de F_0 de la manière suivante :

$$F_{01} \leq F_0 \leq (1 + \varepsilon) F_{01}$$

Ce qui assure que la deuxième phase de l'optimisation n'amènera pas d'augmentation sensible de F_0 .

On utilise alors le module de calcul des Splines pour calculer le vecteur surface V_s tel que :

$$S = \tilde{V}_s \cdot \begin{pmatrix} Y_1 \\ \dots \\ Y_m \end{pmatrix} \quad S \text{ étant la surface du tracé.}$$

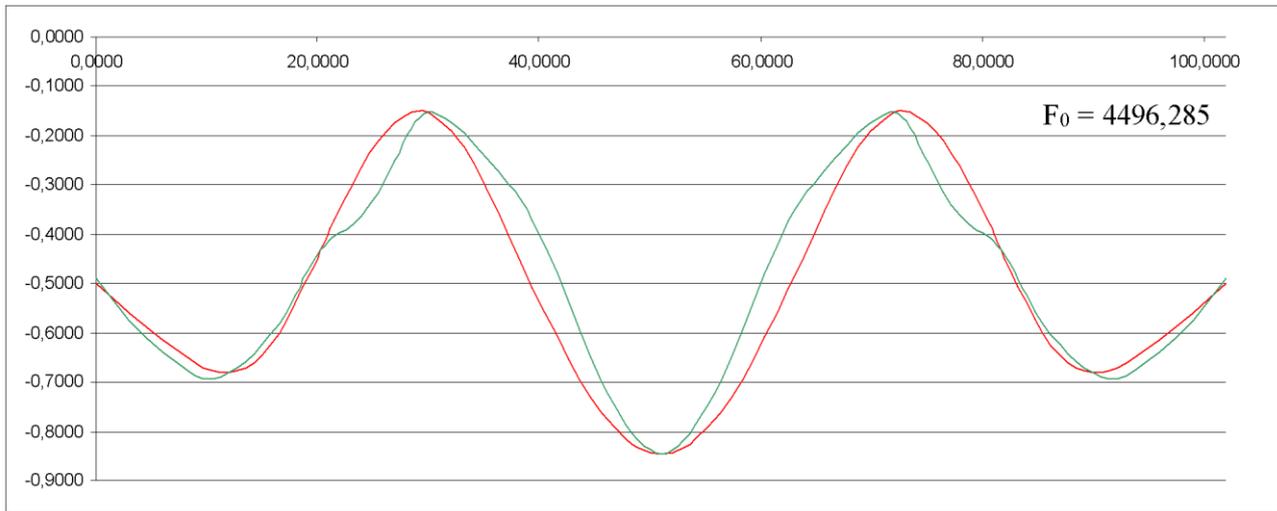
Il suffit ensuite de modifier la fonctionnelle d'optimisation de la manière suivante :

$$\min((C) \cdot (X)) \quad (A) \cdot (X) \leq (B) \quad (C) = (0, -\tilde{V}_s)$$

puis de relancer le processus d'optimisation.

Il est à remarquer que ce processus de maximisation de la surface ne peut être employé que si des contraintes suffisantes ont été imposées sur le signe des courbures. En effet, en cherchant à « relever » le tracé, la tendance naturelle est d'introduire des contre-courbures.

La figure ci-après montre le résultat obtenu sur l'ouvrage de la note de calculs commentée du dossier MCP-EL avec 4 intervalles par travée et des coefficients de perte égaux à 1,00 (en rouge), et le câblage trouvé par le programme actuel (en vert) :



19.7 - Recherche du tracé final

La première recherche aboutit à un tracé et à une force minimale de précontrainte. En général, cette force ne correspond pas à un nombre entier de câbles, et implique que la valeur réelle de F_0 soit imposée et supérieure à la force minimale.

La deuxième recherche de tracé consiste à profiter de cette surabondance de précontrainte pour centrer au mieux le câblage dans le tablier, c'est-à-dire pour rendre maximum l'enrobage des câbles.

À cet effet, le simplexe défini par (27.5.2) va être modifié en passant la colonne relative à F_0 au deuxième membre et en introduisant une variable d d'enrobage supplémentaire que l'on va chercher à maximiser :

$$\left(A^1, \left(A^{F_0 \cdot y_1}, \dots, A^{F_0 \cdot y_{Np}} \right) \cdot M_c \right) \cdot \begin{pmatrix} F_0 \cdot d \\ F_0 \cdot Y_1 \\ \dots \\ F_0 \cdot Y_m \end{pmatrix} \leq (B) - (A^{F_0}) \cdot F_0 \tag{27.7.1}$$

La colonne A_1 et le deuxième membre sont ensuite modifiés de la façon suivante :

- A_1 est rendue nulle.
- Les inégalités sur $F_{0,\min}$ et $F_{0,\max}$ deviennent :

$$0 \leq F_0 \cdot d \leq +\infty \Leftrightarrow \begin{matrix} -F_0 \cdot d \leq 0 \\ +F_0 \cdot d \leq +\infty \end{matrix}$$

- Ce qui nécessite de placer $[-1, +1]$ dans A_1 et $0, +\infty$ au second membre
- Les inégalités sur les ordonnées du câble deviennent :

$$\begin{matrix} -F_0 \cdot (y_{i,\max} - d) + (F_0 \cdot y_i) \leq 0 \\ +F_0 \cdot (y_{i,\min} + d) - (F_0 \cdot y_i) \leq 0 \end{matrix} \Leftrightarrow \begin{matrix} F_0 \cdot d + (F_0 \cdot y_i) \leq +F_0 \cdot y_{i,\max} \\ F_0 \cdot d - (F_0 \cdot y_i) \leq -F_0 \cdot y_{i,\min} \end{matrix}$$

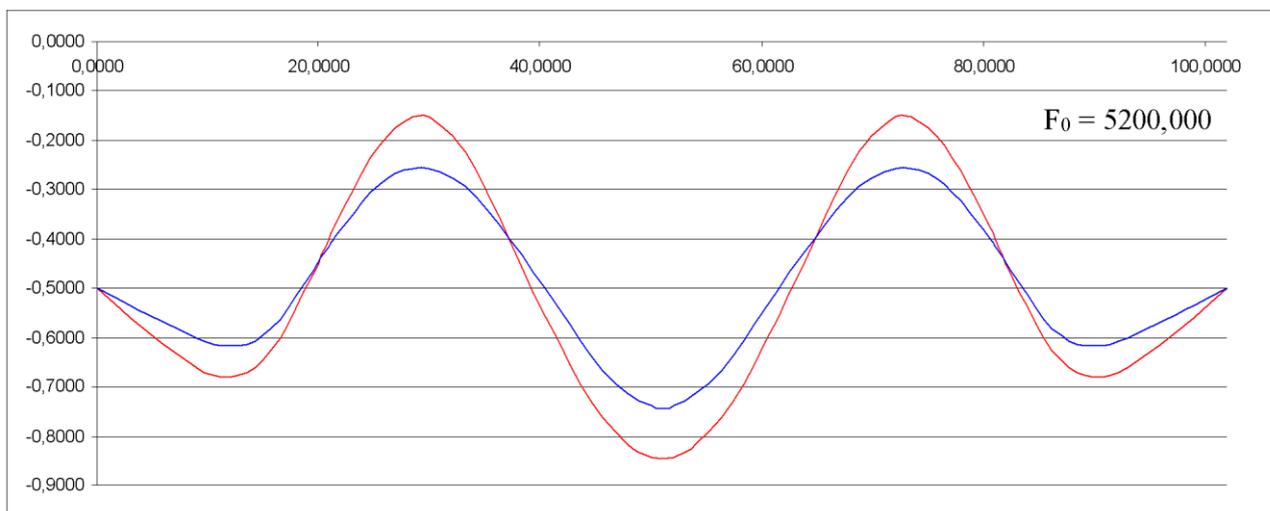
Ce qui nécessite de placer $[+1, +1]$ dans A_1 et de ne rien changer au second membre, déjà à jour.

Il est important de noter que ces transformations ne doivent pas être répercutées sur les contraintes de passage aux abouts, sous peine que la seule solution soit $d = 0$.

Il suffit alors de résoudre ce nouveau système par l'algorithme du simplexe, puis de « bloquer » d avec la valeur trouvée d_1 en modifiant les inégalités correspondantes :

$$(1 - \epsilon) \cdot F_0 d_1 \leq F_0 d \leq F_0 d_1$$

On procède ensuite à la recherche du câblage de surface maximum sur ce nouveau simplexe. A titre indicatif, la figure ci-après montre le résultat obtenu sur l'ouvrage ci-dessus en forçant la précontrainte à 5200 (en bleu) au lieu des 4496 minimum requis (en rouge) :



19.8 - Conclusions

La méthode présentée ci-dessus est la concrétisation d'idées déjà assez anciennes pour remplacer la méthode de recherche du « câble concordant par points », qui présentait de nombreux inconvénients :

- Analyse assez complexe, pleine de cas particuliers et difficile à programmer.
- Tracés présentant certaines « anomalies » (voir les variations de courbure sur la figure du paragraphe - 27.6.2 -).
- Impossibilité de trouver un tracé dans certains cas.

Il ne s'agit toutefois pas d'une méthode « miracle », dans la mesure où certains paramètres doivent être ajustés en fonction du type d'ouvrage pour aboutir à un tracé satisfaisant :

- Nombre d'intervalles définissant les points de contrôle : à la fois suffisamment faible pour obtenir un câblage « lisse » et suffisamment élevé pour ne pas surévaluer la force de précontrainte (4 et 6 intervalles ont été essayés avec succès sur les deux exemples ci-dessus).
- Choix pertinent des contraintes de courbure, qui doivent être suffisantes pour ne pas permettre de contre-courbures indésirables et bien choisies, sous peine de ne pas trouver de solution.

En outre, pour rendre la méthode entièrement opérationnelle, il manque un module de calcul des pertes. Le calcul, présenté ici comme linéaire, est en fait itératif : on part d'un jeu de coefficients de pertes unités ou forfaitaires pour obtenir un premier tracé, puis on calcule les pertes sur le tracé obtenu et on boucle jusqu'à stabilisation du tracé.

De même, il faut, à chaque itération, calculer les caractéristiques des sections nettes et modifier en conséquence les premiers et deuxièmes membres des inéquations (27.2.3), ce qui n'a pas été implémenté jusqu'ici faute de processus itératif.

Le Programme Chamoia-P permet le calcul aux Eurocodes des ponts routes et passerelles de type ponts cadres fermés en béton armé construits sur cintre. Les ouvrages sont supposés à une seule chaussée (sans terre-plein central) et calculés pour un biais entre 70 et 100 grades. Pour les Portiques et Cadres, une extension est réalisée pour les ouvrages entre 50 et 70 grades.

Les phases d'exploitation possibles sont :

Phase définitive (ouvrage en service avec son profil en travers final).

Phase provisoire (optionnelle- généralement circulation de dumpers sur profil réduit en phase chantier).

Phase d'exécution, le cas échéant (mise en tension de câbles par exemple pour un PSIDP).

Le programme calcule les efforts en flexion longitudinale et transversale en travée. Il justifie l'ouvrage en flexion et à l'effort tranchant. Il calcule automatiquement les quantités d'aciers passifs. Les épaisseurs peuvent être vérifiées ou dimensionnées par le programme.

Les aciers de flexion transversale en travée sont calculés, les aciers des chevêtres incorporés ne sont pas calculés.