

CHAMOA – PIPO

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



Page laissée blanche intentionnellement

CHAMOA – PIPO

CHaîne Algorithmique Modulaire

— — — — —
Ouvrages d'Art – Programme de calcul des
ouvrages de type PIPO

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

Gaël Bondonet (Cerema/DTOA)
Julien Cabut (ex DREIF/DOAT)
Eric Chasco (Cerema Sud-Ouest/DOA)
Renaud Légglise (Cerema ITM/GIPI)
Angel-Luis Millan (ex Sétra/CTOA)
Pierre Paillusseau (ex Cété du Sud-Ouest/DOA)
Claude Favrel (ex Cété de l'Est/DOA)
Valentin Lambert (Cerema ITM/DTOA)

Et validé avec l'appui de :

Jean-Bernard Humeau (ex Cété de Nantes/DOA)
Benoît Poulin (Cerema Ouest/DOA)
Pierre Perrin (ex 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 PIPO	7
Chapitre 2 – Méthode de calcul en application des Eurocodes des ouvrages de type PIPO	9
1 - Présentation du programme	9
2 - Actions prises en compte	9
3 - Calculs de structure et Modélisation	14
4 - Optimisations	25
5 - Principes de justifications	27
Chapitre 3 – Description des données nécessaires au calcul d'un ouvrage de type PIPO par la chaîne CHAMOA	46
1 - Description des données	46
2 - Données administratives	48
3 - Géométrie de l'ouvrage	48
4 - Charges permanentes	57
5 - Actions variables hors trafic	59
6 - Charges d'exploitation	59
7 - Matériaux et critères réglementaires	64
Chapitre 4 – Note de calculs commentée	68
8 - Description de l'exemple d'application d'un ouvrage de type PIPO	68
9 - Fichiers de données bruts	77
10 - Introduction à la note de calculs commentée	83
11 - Note de calculs commentée	84
12 - Fichiers intermédiaires de calcul des efforts	132
Annexes	160
13 - Annexes génériques	160
14 - Effet Marston	160
15 - Avertissement sur le dimensionnement des PIPO sur pieux	162
16 - Calcul du Module de réaction du sol k	162
17 - Optimisation d'une semelle	165

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.

Chapitre 1 – Conception générale des ouvrages de type PIPO

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 PIPO-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 PIPO les documents suivants pourront être utilisés :

- [1] Ponts-cadres et portiques – Guide de Conception (Sétra 1992 - F9246)
- [2] Portique ouvert double - Dossier pilote POD76 (SETRA - 1976).[3] Note d'information N°20 du SETRA (Série Ouvrages d'Art). Éléments pour le choix d'un ouvrage de soutènement dans le domaine routier (décembre 1995)
- [4] Passage Supérieur à Gabarit Normal - Dossier PSGN77 (SETRA - 1977 - F. 7720)
- [5] Passage Supérieur à Gabarit Réduit - Dossier PSGR71 (SETRA - 1971 - F. 7106).

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

1 - Présentation du programme

Le Programme permet le calcul des ponts routes et passerelles aux **Eurocodes de type portiques ouverts**.

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 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 options ou restrictions suivantes peuvent être rencontrées :

- l'ouvrage peut être sur semelles, sur pieux ou sur barrettes
- les portiques peuvent être dissymétriques
- les semelles peuvent être vérifiées ou dimensionnées par ligne d'appuis
- les pieux peuvent être dimensionnés, la section est augmentée par diamètre croissant de 0,10 m
- les barrettes sont vérifiées (seuls leur nombre peut être calculé ou la section peut être rejetée)

2 - Actions prises en compte

2.1 - Actions permanentes

2.1.1 - Actions communes

Les charges prises en compte sont :

- le poids propre
- 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.*

2.1.2 - Tassements d'appuis

- Pour les Ponts dalles et les Portiques, 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'appuis. 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 balaie 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.

2.1.3 - Remblais techniques : Poids propre des terres et poussée des terres

Le poids propre des terres et la poussée des terres sur les ouvrages courants de type Portique et Cadre sont représentés par :

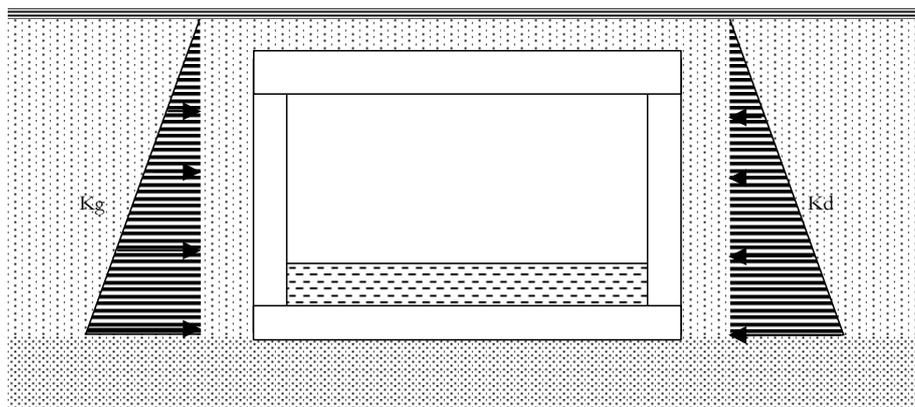


Figure 1 – Poussée des terres

Pour les ouvrages types, la poussée des terres est souvent modélisée par une poussée triangulaire définie par les relations suivantes :

$$\sigma_h = K \cdot \sigma_v \quad \sigma_v = \gamma_{sol} \cdot z \quad P_{/ml} = \int_0^H \sigma_h(z) \cdot dz$$

σ_h : contrainte horizontale dans le sol sec

σ_v : contrainte verticale du sol sec

γ_{sol} : densité du sol sec

K : coefficient de poussée du sol sec (K_g coté gauche – K_d coté droit)

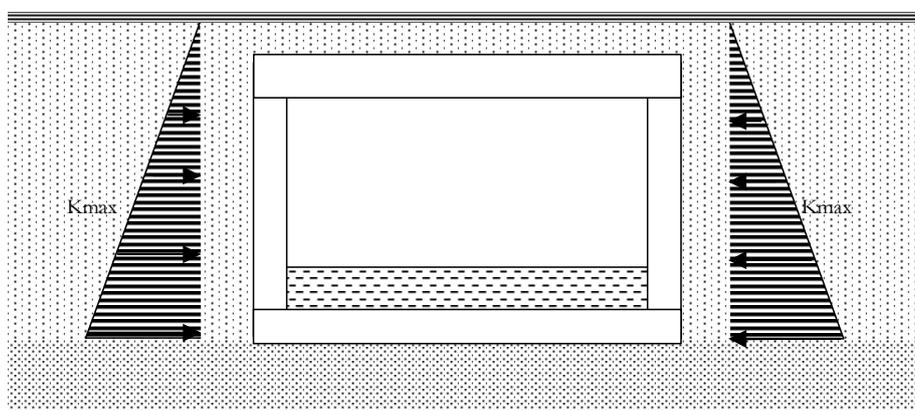
$P_{/ml}$: poussée horizontale du sol sec par ml horizontal de piedroit.

Généralement la nature des terres de part et d'autre de l'ouvrage est identique, la poussée des terres sur les deux piedroits est alors supposée identique, les coefficients de poussée des terres sont alors pris égaux :

$$K_g = K_d = K$$

A noter que la poussée des terres est modélisée jusqu'en pied de semelle et non au centre d'inertie de la semelle.

Pour les ouvrages de types portiques ou cadres, étant donné l'incertitude sur la valeur de poussée des terres, en particulier à cause du compactage des terres derrière les piedroits, on fait souvent un calcul enveloppe en prenant deux valeurs extrêmes de K (K_{max} et K_{min}).



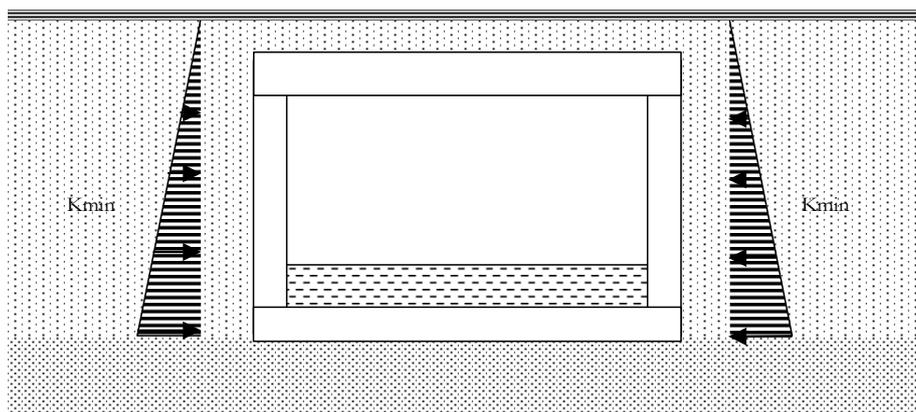


Figure 2 – Valeurs minimale et maximale de la poussée des terres

La poussée maximale permet de prendre en compte l'effet de flexion des pénétrations (déplacement horizontal des pénétrations) concomitant à l'effet des charges d'exploitation sur les remblais. La valeur de poussée minimale permet de prendre en compte la flexion de la traverse (déflexion de la traverse vers le bas) concomitant à l'effet des charges d'exploitation sur la traverse.

Pour les ouvrages de soutènement non butonnés en tête (culée, murs de soutènement), une seule valeur de K est généralement suffisante (la situation critique étant celle liée à la poussée des terres sur le pénétration).

Dans le cas d'un ouvrage de type portique sur semelle, on prend généralement en compte le poids des terres de remblais sur la semelle.

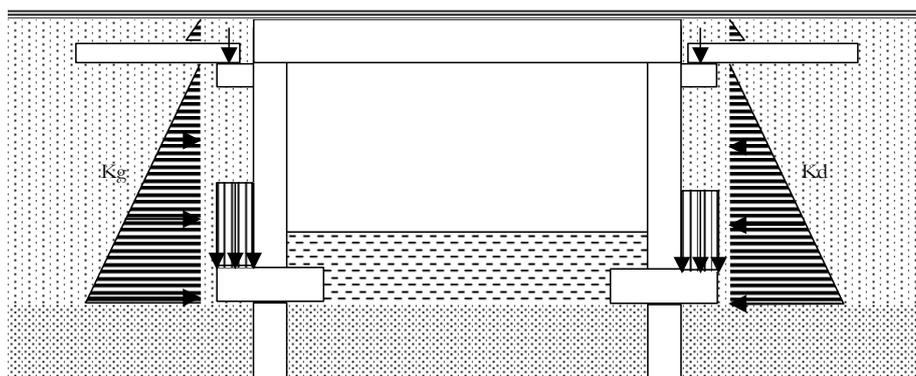


Figure 3 – Poussée des terres et dalles de transition

En présence d'une dalle de transition, la poussée des terres est prise à partir de la sous face de la dalle de transition. On suppose implicitement que la dalle repose en deux points : le corbeau d'une part et sur le remblai à bonne distance du pénétration d'autre part. L'effet de la réaction d'appui de la dalle de transition sur le remblai est alors supposé négligeable vis à vis du pénétration.

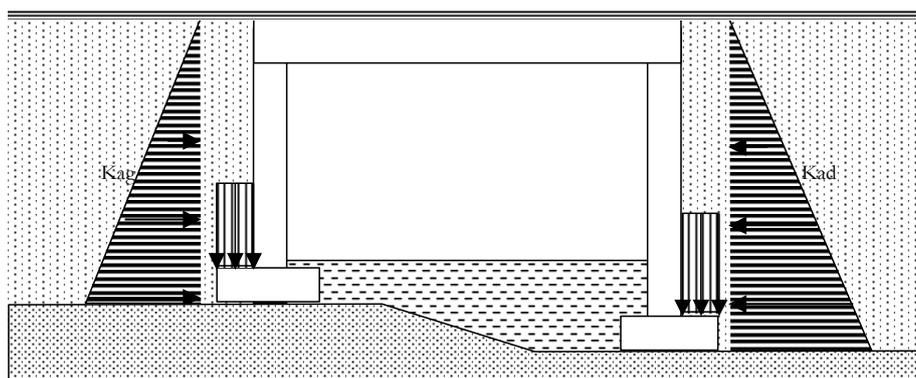


Figure 4 – Poussée des terres avec piédroits de hauteur différente

Pour les ouvrages dont les appuis sont de hauteurs différentes, même si la nature du terrain est identique (on prend alors des coefficients de poussée identiques), une poussée dissymétrique se crée naturellement uniquement à cause de la différence de hauteur .

2.1.4 - Remblai de couverture

La charge de remblai appliquée sur la traverse supérieure est augmentée s'il y a lieu d'un coefficient amplificateur C_r dit de Marston pour tenir compte de l'effet de tassement du sol hors ouvrage. Ce coefficient dépend d'un paramètre dit de Marston noté R . Le calcul du coefficient C_r est présenté en annexe § Effet Marston

Paramètre de Marston R	Contexte
• 0	• Pas d'effet Marston
• 0,7 (0,5 à 0,8)	• Conduite rigide (cas des cadres) sur sol ordinaire
• 1,0	• Conduite rigide (cas des cadres) sur rocher ou sol indéformable

Le poids du remblai sur la traverse par unité de largeur est alors obtenu par :

$$\frac{P}{L} = k \cdot C_r \cdot \gamma \cdot H_R \cdot D$$

k : coefficient d'incertitude (en général 0,90 et 1,10)

γ : densité des terres de remblai au dessus de la traverse du cadre

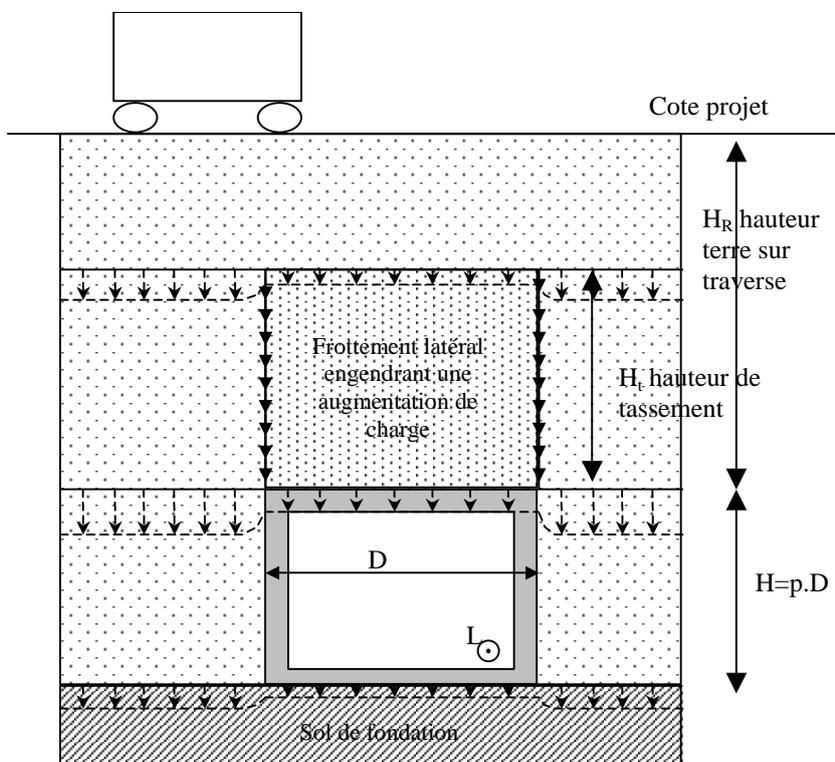


Figure 5 – Coupe transversale caractérisant le tassement des terres autour d'un cadre

2.1.5 - Remblai intérieur

Le remblai intérieur intervient par le poids qu'il exerce sur les semelles de pénétrations. Sa prise en compte est nécessaire du fait de la souplesse du sol : le transfert de charge est partiellement redistribué par la structure vers le sol via l'interaction sol-structure.

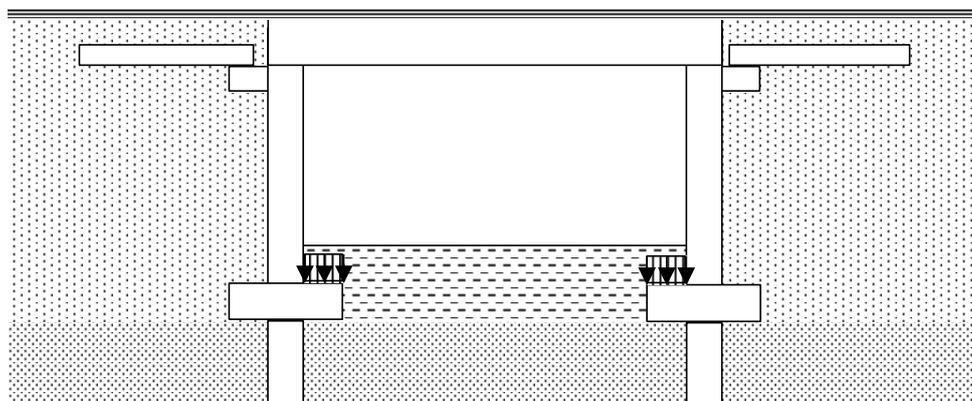


Figure 6 – Effet des remblais intérieurs sur les semelles

Par ailleurs, la poussée des terres intérieures sur les pénétrations peut également être prise en compte. Mais par défaut, on a imposé un coefficient de butée nul.

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 traverses

La traverse des ponts cadre ou portique est modélisée selon la portée biaise géométrique avec les caractéristiques de la section droite du tablier, c'est-à-dire normalement à l'axe de circulation de l'ouvrage. Deux options sont possibles :

- Dalle rectangulaire.
- Dalle avec chanfreins symétriques.

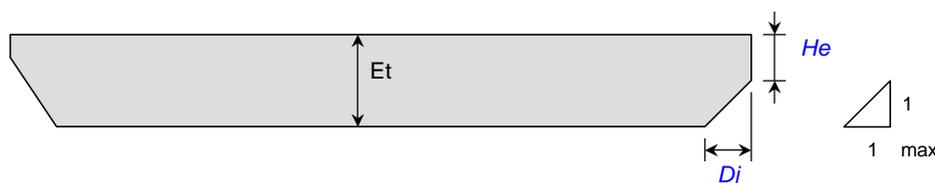


Figure 7 – Traverses des cadres et portiques

La coupe transversale courante de la traverse peut comporter des chanfreins très modérés, qui doivent respecter :

$$- Dj / (Et - He) \leq 1$$

Le phasage de construction est pris en compte, par réalisation des pénétrations, puis de la traverse. Les déformations des pénétrations sont ainsi libérées.

Dans le cas d'un PIPO, où généralement les semelles ont des talons plus grands que les patins, les pénétrations ont alors tendance à se rapprocher, ce qui induirait un effort de compression dans la traverse en l'absence de prise en compte du phasage

3.2 - Modélisation du portique

Les figures suivantes présentent la modélisation du portique et sont décrites dans les paragraphes suivants.

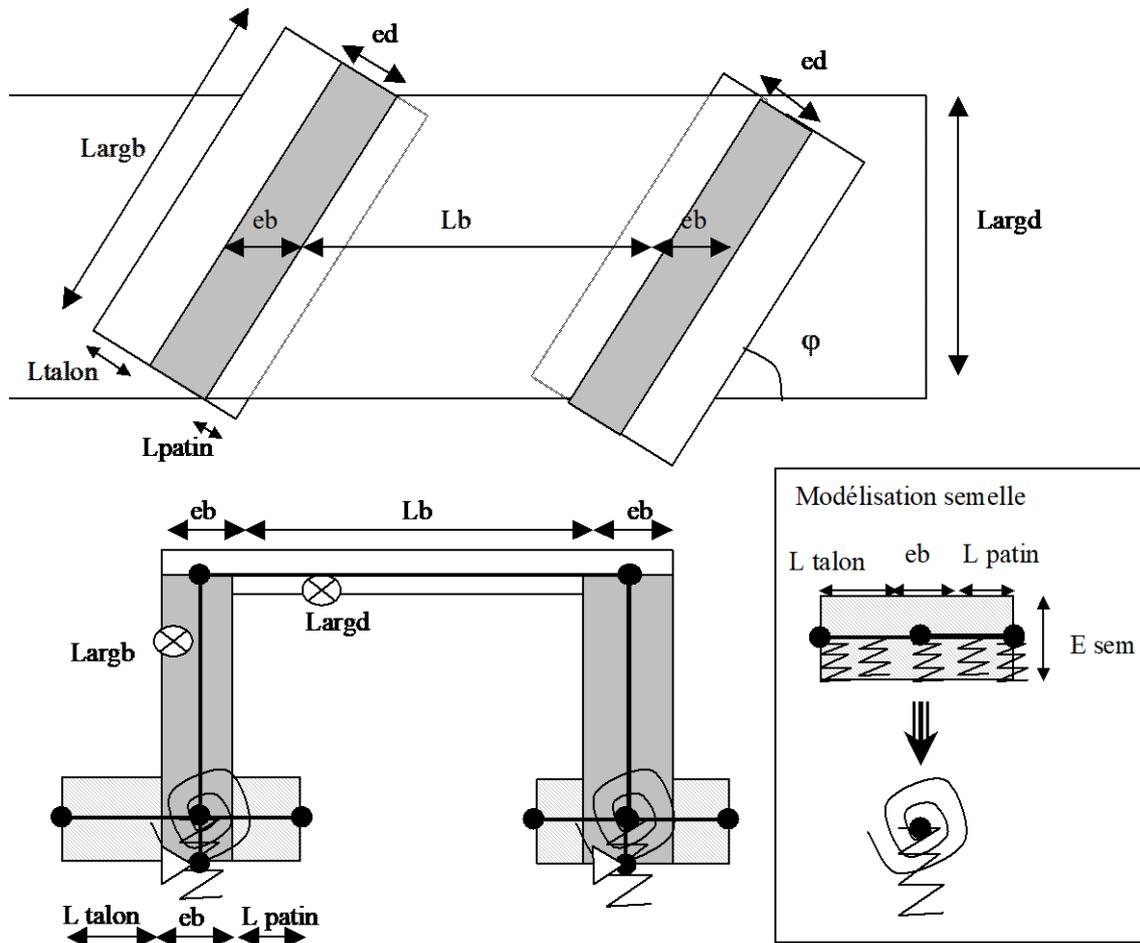


Figure 8 – Modélisation d'un portique

3.2.1 - Géométrie

Caractéristique mécanique (A et I)

- Traverse supérieure : Largeur droite ($Larg_d$) et épaisseur traverse
- Piédroit : Largeur droite ($Larg_d$) et épaisseur biaise traverse (e_b)
- Ressort semelle : Longueur droite réelle ($L_{patin} + L_{talon} + e_b$) et épaisseur semelle (E_{sem})
- Patin et talon semelle : Longueur droite réelle ($L_{patin} + L_{talon} + e_b$) et épaisseur semelle (E_{sem})

La traverse est modélisée selon la portée biaise, ce qui est un peu sévère pour le calcul des efforts en travée par rapport au comportement réel. En effet la portée mécanique est intermédiaire entre la portée biaise et la portée droite. Par contre les piédroits sont modélisés avec les épaisseurs biaises, ce qui réduit les moments en travée de la traverse et augmente les moments sur appui et fournit ainsi des résultats plus proches de la réalité.

Les piédroits sont alors modélisés avec la largeur droite et l'épaisseur biaise, ce qui permet de conserver une rigidité du piédroit proche de la rigidité réelle lorsque le biais est faible. ($I_2 = I_1 / \cos^2 \alpha \sim I_1 (1 + \alpha^2)$, avec $\alpha = \pi/2 - \varphi$).

Les piédroits sont modélisés jusqu'en pied de semelle pour prendre en compte les chargements de poussée des terres jusqu'en pied de semelle.

La semelle est modélisée avec sa longueur droite, pour être plus proche du comportement du voile qui se déforme perpendiculairement à son plan et non selon la direction biaise. Ce paramètre intervient sur la rigidité du ressort en pied de piédroit.

Un premier modèle est réalisé prenant en compte la semelle excentrée sur ressort élastique linéique. La valeur de rigidité du ressort linéique vertical est calculée selon le calcul présenté dans le document annexe « Calcul du Module de réaction du sol k ».

La semelle est ensuite remplacée par un ressort ponctuel vertical et en rotation via une matrice de rigidité, les barres horizontales de la semelle modélisée sur l'ouvrage complet ne servent alors qu'à charger l'ouvrage (poids des terres et des charges d'exploitations).

Le blocage horizontal de la semelle est effectué en pied de semelle, c'est à dire à l'extrémité de la barre modélisant le piédroit (voir dessin précédent).

3.2.2 - Application des charges

Traverse : Les charges sont appliquées sur la largeur droite (superstructures, terres sur traverse, charges mobiles) comme dans la réalité.

Semelle : Le poids des terres s'effectue avec les charges réelles, c'est-à-dire avec la longueur effective de talon droite (c'est-à-dire la longueur droite réelle de talon à partir du nu du piédroit), la largeur biaise de tablier (c'est-à-dire la largeur réelle du piédroit) et la hauteur du piédroit et du remblai éventuel sur le tablier.

Piédroit-Semelle : La poussée des terres s'effectue avec les charges réelles, c'est-à-dire avec la largeur biaise de tablier (c'est-à-dire la largeur réelle du piédroit) et sur la hauteur du piédroit et de la semelle. Ceci a néanmoins pour conséquence d'augmenter l'effort de compression dans la traverse, mais cela a une incidence limitée surtout si la traverse est calculée en flexion simple, ce qui est le cas ici. Par contre pour le piédroit, on est plus représentatif du comportement réel, c'est-à-dire celui d'un voile qui se déforme normalement à son plan et butonné en tête.

Charge mobile sur les remblais : Du fait que la rigidité de réaction sur les piédroits des remblais n'est pas prise en compte, on obtient une dissymétrie exagérée des efforts dans l'ouvrage pour les cas de charges dissymétriques des charges mobiles. Dans les ponts types calculés au BAEL et selon le fascicule 61, titre II, on considèrerait toujours des cas de charges symétriques, ce qui revenait à considérer que l'ouvrage subissait des rotations de la traverse et des piédroits et que le déplacement horizontal de la traverse était quasi nul sous ces charges. Cette hypothèse est raisonnable car le modèle ne prend pas en compte la rigidité des remblais qui s'applique sur les piédroits et donc le blocage des déplacements horizontaux de la traverse sous les charges d'exploitation une fois l'ouvrage totalement remblayé. Pour conserver l'idée du blocage en déplacement de la traverse pour les charges d'exploitation, sans toutefois bloquer les déplacements en flexion des différentes parties d'ouvrage, on a placé un appui articulé en tête de piédroits uniquement pour les cas de charges mobiles.

On rappelle que pour les cas de charges permanentes, on tient compte effectivement de la déformation longitudinale de l'ouvrage sous ces cas de charges. Ainsi lorsque l'on considère des piédroits dissymétriques, l'ouvrage se déforme sous l'effet de la dissymétrie des charges permanentes (la traverse se déplace longitudinalement sous l'effet des charges permanentes).

Pieux et barrettes : Les pieux et les barrettes sont modélisés par des barres verticales. Chaque couche de sol est modélisé par des appuis élastiques linéiques de rigidité spécifiques calculés selon les règles des fondations profondes du fascicule 62 titre V en fonction du module pressiométrique "E_m" et du coefficient alpha de chacune des couches couramment obtenus dans les rapports pressiométriques.

3.2.3 - Efforts pour justifications

Traverse et Semelles :	Les efforts sont obtenus pour la largeur droite. ($Larg_d$)
Piédroits :	Les efforts sont obtenus pour la largeur biaise. ($Larg_b$)
Pieux et Barrettes :	Les efforts sont obtenus pour la largeur biaise. ($Larg_b$)

Les justifications sont menées avec les épaisseurs droites réelles.

NB : Aucune correction n'est apportée sur le calcul du ferrailage sous sollicitation normale ainsi obtenue contrairement au dossier pilote qui corrigeait par $1/\sin(\varphi)$.

3.3 - Diffusion des charges mobiles sur le tablier

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.

3.4 - 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.

Les dalles de transition sont excentrées par rapport à l'axe du piédroit en tenant compte de la position d'appui de la dalle de transition sur le corbeau d'appui fixé sur le piédroit. Cela induit un moment de flexion accru en tête de piédroit et un effort de traction dans la traverse non négligeable, mais par contre diminue le moment en travée. Il n'est pas souhaitable de dimensionner la dalle de transition pour soulager la traverse. Par ailleurs, si la dalle de transition est bien appuyée ponctuellement sur un côté, elle repose sur la terre à son autre extrémité sur une certaine longueur difficile à estimer précisément. C'est pourquoi la dalle de transition a été modélisée avec une longueur réduite dans un rapport de 0,80 pour ne pas surestimer son effet et être plus proche de son comportement réel.

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.

3.5 - Modélisation des Charges mobiles sur remblais

3.5.1 - Charges mobiles sur les remblais (non situées sur la traverse)

On étudie un cas de charge statique équivalent par charge mobile en diffusant un impact moyen équivalent dans le remblai.

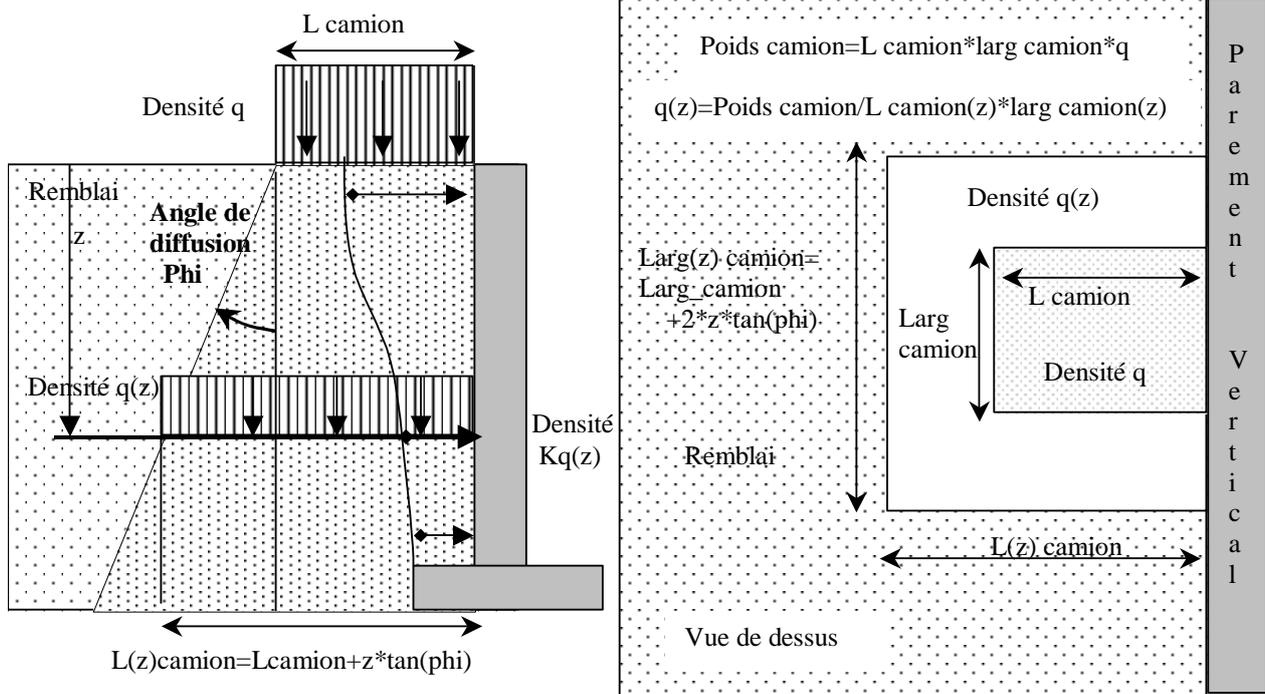


Figure 9 – Diffusion d'un impact dans le remblai selon l'EN1991-2§4.9

Pour plusieurs charges mobiles, on calcule donc une densité moyenne s'appliquant sur l'ensemble du voile sollicité. Évidemment si le voile est constitué de plusieurs éléments, il faut restreindre les charges aux charges les plus fortes pouvant solliciter réellement chaque élément, tout en profitant néanmoins toujours de la diffusion.

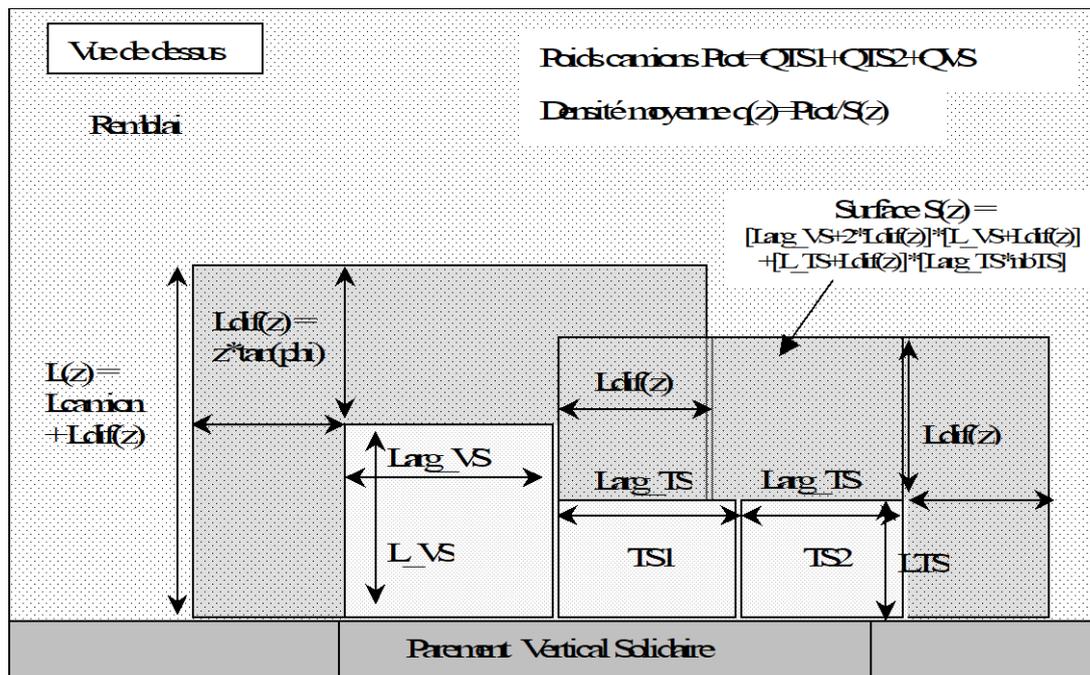


Figure 10 – Diffusion de plusieurs impacts dans le remblai selon l'EN1991-2.

On notera que le coefficient dynamique ne doit pas être pris en compte sur les remblais techniques.

Ce cas de charge ne s'applique qu'en l'absence de dalle de transition.

- Flexion longitudinale
 - o Cas de charge symétrique pour ouvrage symétrique (la modélisation ne tient pas compte des réactions des terres des remblais, un cas dissymétrique est trop sévère en phase définitive, un calcul dissymétrique peut seulement être toléré en phase d'exécution). Dans le cas d'un ouvrage dissymétrique, introduction d'un blocage horizontal en tête de piédroit pour ce cas de charge.

- Poussée des charges d'exploitation discrétisée selon la profondeur z
- Éventuelle prise en compte de la fraction de poids du remblai diffusée sur la traverse
- Poids des charges mobiles sur talon
- Flexion transversale
 - Effet négligé

3.5.2 - Coefficient de poussée pour la poussée des charges d'exploitation

Le calcul de la poussée des charges d'exploitation pourra être fait raisonnablement à partir d'une valeur moyenne du coefficient de poussée K représentative de la diffusion des charges à travers le remblai que l'ouvrage soit de type portique (Pont Portique et Cadre), soit de type culée d'ouvrages d'art. Pour les ouvrages de type soutènement, le calcul est sensiblement plus complexe car l'on tient généralement compte du couplage entre la poussée et le poids des terres.

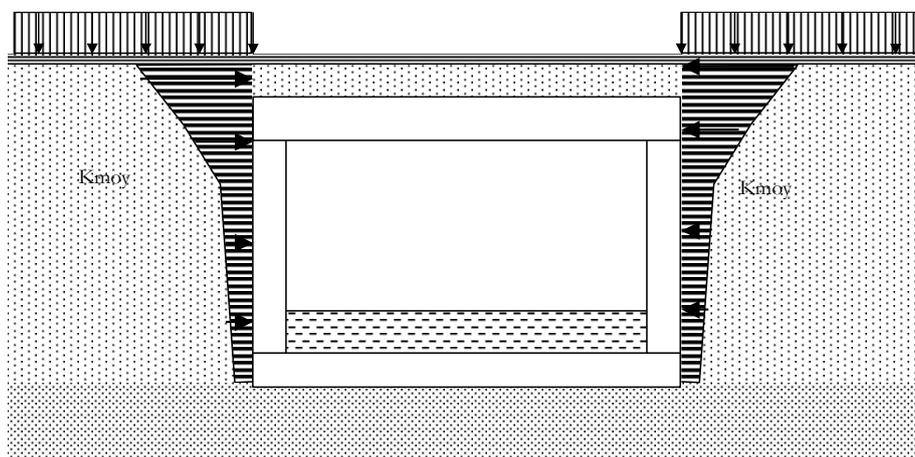


Figure 11 – Poussée due aux charges d'exploitation

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 .

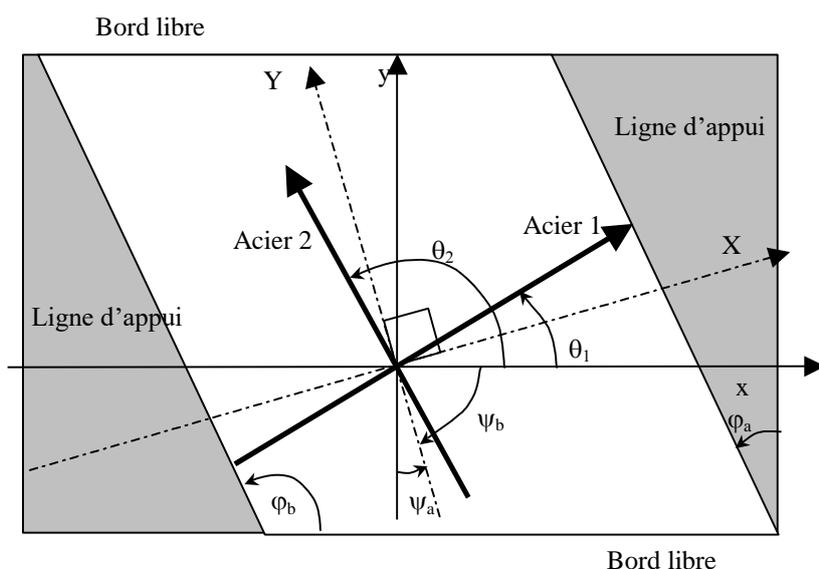


Figure 12 – Représentation conventionnelle avec angles positifs

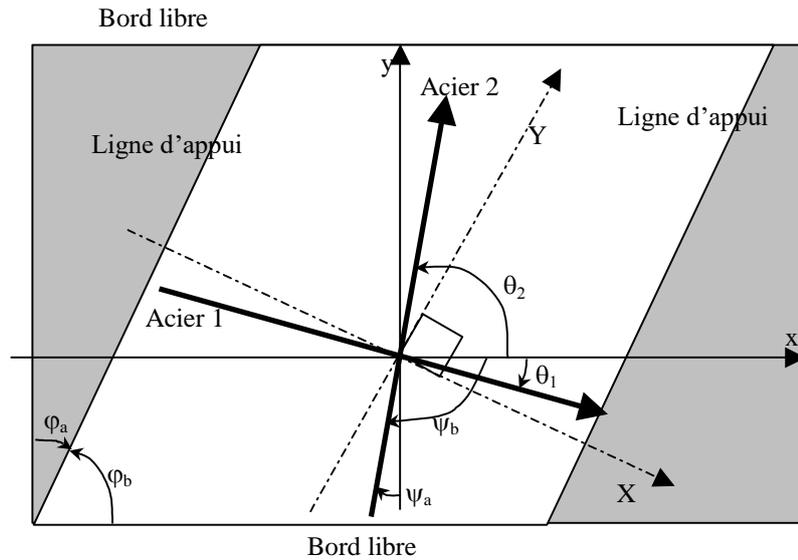


Figure 13 – Application aux cas de Chamoa

- Soit φ_a le biais géométrique de l'axe de la dalle par rapport au bord libre.
- Soit φ_b le biais géométrique des piédroits 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 :

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

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

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

ou

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

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

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

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 :

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

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

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

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

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 ($\theta_1 = \varphi_a$).

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

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 ($\nu = 0$).

4 - Optimisations

4.1 - Dimensionnement des portiques

4.1.1 - Portique sur semelle

Il est possible de dimensionner les patins et les talons de chaque semelle de l'ouvrage pour vérifier les critères de portance habituels (on vérifie la limitation des contraintes aux $\frac{3}{4}$ de la semelle, appelée communément contrainte de référence, avec les contraintes admissibles des différents états limites - le critère de glissement est simplement vérifié, mais n'est pas pris en compte dans l'optimisation) . Des valeurs minimales ou maximales des patins ou des talons peuvent être imposées. L'optimisation ne pourra évidemment trouver de solution que si les caractéristiques de portance du sol sous la semelle sont suffisantes en comparaison des efforts appliqués.

NB : La profondeur d'encastrement D_e prise en compte est la hauteur de la couche de sol par rapport au pied de la semelle coté intérieur dans le calcul du coefficient i_δ intervenant dans le calcul de la contrainte admissible.

4.1.2 - Portique sur pieux circulaires

Les pieux circulaires peuvent être optimisés selon les critères suivants :

A partir du diamètre $\phi_{minimal}$ des pieux défini par l'utilisateur, le nombre maximal possible sur la largeur totale du piédroit est défini en respectant la règle de trois diamètres entre axe de chaque pieux et un débord de 1,5 diamètre avec les extrémités du piédroit.

Si les justifications de section sont vérifiées pour l'ensemble des pieux et que le ferrailage est acceptable (taux maximal de ferrailage non dépassé), cette solution est proposée, sinon on augmente de 0,1m le diamètre des pieux. Cette procédure est répétée jusqu'à trouver un diamètre acceptable, sauf si l'on atteint le diamètre maximum du programme.

Le diamètre minimum est de 0,6m et de 2,0m maximum.

4.1.3 - Portique sur barrette

Il n'y a pas d'optimisation des barrettes, car les sections de barrettes ne sont pas standards. Au mieux, le programme propose à partir d'une section type proposée par l'utilisateur, le nombre de barrettes maximum pouvant être placé sous le piédroit en respectant la règle des écartements pour éviter les effets de groupes. Mais cela n'assure évidemment pas que la solution proposée par l'utilisateur puisse être adéquate : il s'agit donc seulement d'une vérification pour une section donnée.

4.1.4 - Épaisseurs

Les épaisseurs de la traverse, des piédroits et des semelles peuvent être optimisées pour satisfaire les justifications en flexion et à l'effort tranchant. L'épaisseur est augmentée de 2cm en 2cm jusqu'à obtenir l'épaisseur suffisante, ou bien on indique qu'il n'y a pas de solutions si la limite en épaisseur est atteinte. Dans ce cas, cela signifie que l'on est situé en dehors du domaine de fonctionnement normal de l'ouvrage (travées trop longues, charges excessives,...). On vérifie en plus des critères de justification que le taux de ferrailage ne dépasse pas un taux maximum, pour être capable de ferrailer l'ouvrage.

4.1.5 - Processus global d'optimisation

Portiques sur semelles :

Le torseur en pied de semelle est évalué à partir d'une géométrie initiale des fondations.

Une première optimisation est effectuée « en local » consistant à calculer les dimensions des semelles (patins et talons) en supposant constant le torseur des efforts en pied de semelle.

La structure est recalculée à partir de cette nouvelle géométrie, conduisant à de nouvelles valeurs du torseur dans les semelles, puis à une nouvelle géométrie des semelles. On réitère ce processus jusqu'à convergence. En général, à la première itération, les dimensions changent beaucoup car les charges appliquées sur le patin et le talon ainsi que la rigidité du nouvel appui influent notablement sur le torseur. Pour les itérations suivantes, les variations de dimensions des semelles sont de plus en plus faibles et convergent sauf si les caractéristiques de sols sont insuffisantes.

Une fois les semelles optimisées, les sections justifiées en flexion (vérification des contraintes et taux de ferrailage admissible).

Lorsqu'une section se révèle insuffisante, l'épaisseur de la pièce (piédroits, semelles ou traverse) et par conséquent toutes les sections de cette pièce, sont augmentées de 2cm. La section est alors à nouveau vérifiée en supposant l'effort local inchangé, en itérant une ou deux fois si nécessaire.

Au delà, un re-calcul global des efforts dans la structure s'impose, car une variation trop importante des sections induit des redistributions d'efforts non négligeables dans la structure et donc dans les sections vérifiées. Les vérifications et les modifications éventuelles sont effectuées sur toutes les parties d'ouvrages simultanément, c'est-à-dire que l'on modifie simultanément les épaisseurs des différentes parties d'ouvrages et que l'on recalcule avec l'ensemble des modifications trouvées pour l'ensemble des sections.

Quand un re-calcul complet est lancé, l'optimisation des semelles est à nouveau relancée, mais généralement les itérations sont beaucoup moins nombreuses que lors du premier calcul complet car la géométrie des semelles est pratiquement atteinte, la variation d'épaisseur des sections intervenant de façon limitée sur l'ensemble des efforts appliqués sur le torseur en pied de semelle à ce stade.

Les sections sont à nouveau re-vérifiées sous les nouvelles sollicitations et éventuellement à nouveau redimensionnées. Dans ce dernier cas, cela entraîne donc à nouveau un re-calcul complet, jusqu'à convergence du module de calcul des semelles et de celui des justifications en flexion.

Une fois ces deux types de vérification effectuée (semelles et flexion), les justifications en effort tranchant sont effectuées. Si les sections dimensionnées par les modules précédents ne sont pas satisfaits au tranchant, le module d'effort tranchant propose de nouvelles épaisseurs en augmentant la section de toute la partie d'ouvrage de 2cm, puis le calcul global de la structure est relancé.

Portiques sur pieux circulaires

On part d'une géométrie fixée avec le nombre de pieux maximum au diamètre défini par l'utilisateur. La cote de pied de semelle (raidisseur) et de pied de pieux est fixe.

Une première vérification des pieux est effectuée en local : Si les pieux ne sont pas vérifiés, leur diamètre est augmenté de 0,1 m et le cas échéant le nombre de pieux est réduit pour respecter des critères géométriques de trois diamètres. Simultanément on modifie également les dimensions des sections des parties d'ouvrages qui ne seraient pas vérifiées entre 2 cm et 6 cm maximum.

Le calcul complet des efforts est alors relancé consistant à vérifier les pieux et toutes les parties d'ouvrage jusqu'à convergence, ou, au contraire dépassement des épaisseurs maximales des sections ou des pieux qui entraîne alors l'échec du calcul.

Enfin les pieux et les sections sont justifiés à l'effort tranchant, ce qui peut conduire, en cas d'insuffisance, à une augmentation des épaisseurs des pieux. Un re-calcul complet est alors effectué (calculs d'efforts, vérification voire re-dimensionnement des sections en flexion et vérification voire re-dimensionnement des sections au tranchant) jusqu'à convergence ou abandon.

Portiques sur barrettes :

Pour les ouvrages sur barrettes, le nombre maximal de barrettes sur la longueur du piédroit est évalué dans le respect de la règle des 3 diamètres. Il n'est pas effectué pas d'optimisation de la section droite des barrettes, car celles-ci ne sont pas standards. On calcule donc les efforts sous cette géométrie de fondations. Les seules

optimisations possibles sont alors celles des épaisseurs sous efforts de flexion, puis optimisation sous effort tranchant.

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

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 l'Annexe Générique. Le calcul est effectué en section fissurée.

Les sections de dimensionnement prises en compte sont les suivantes :

- Traverse supérieure : Largeur droite ($Larg_d$) et épaisseur traverse
- Piédroit : Largeur biaise ($Larg_b$) et épaisseur droite du piédroit (e_b)
- Patin et talon semelle : Largeur biaise ($Larg_b$) et épaisseur semelle (E_{sem})

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.

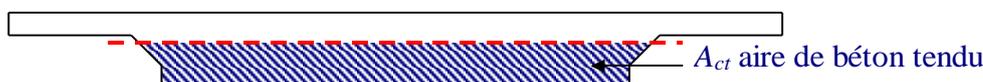


Figure 14 – Détermination de l'aire de béton tendu

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

- 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
- $\sigma_s = f_y k$

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

NB : Pour le calcul des aciers de limitation de la fissuration des pieux, le programme détermine tout d'abord l'aire de béton tendu ainsi que la section d'acier à disposer dans cette surface de la même manière que pour toute autre section de calcul (section $A_{s,min}$). Par contre, au final, le programme fournit la section d'acier de fissuration totale $A_{s,min tot}$ à mettre en œuvre dans le pieu. Elle est obtenue de la manière suivante :

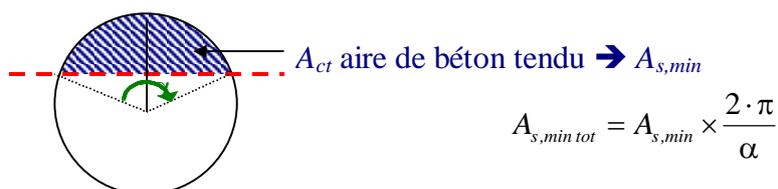


Figure 15 – Calcul de la section d'acier dans un pieu

Dimensionnement des aciers minimum, de peau et planchers

Section minimale d'armatures tendues

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.

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \text{ (et } A_{s,min} \geq 0,0013 \cdot b_t \cdot d \text{, ce dernier critère n'est plus appliqué dans chamoia, suite aux modifications de l'annexe nationale en 2016)}$$

b_t étant la largeur moyenne de la zone tendue.

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

Ferraillage minimum

Concernant le sens longitudinal, on prévoit un minimum d'aciers correspondant à 3 cm² par mètre linéaire de largeur sur chacune des faces ($A_{s,min} = 3 \text{ cm}^2 \times \text{largeur_droite}$) Cf. Annexe nationale de l'EC2 partie 2 art. 9.1. Dans le cas où le béton serait de classe XD ou XS, il appartient au projeteur de prévoir une quantité minimum d'aciers correspondant à 5 cm² par mètre linéaire de largeur. (non prévue par le programme).

De plus, conformément à l'article 9.6.2 de l'EC2, la section minimale d'acier totale dans les piédroits d'un PIPO ou PICF doit être supérieure à 0,2% de l'aire de béton brute. Dans le cas où les aciers de flexion ne seraient pas suffisants, la moitié du manque calculé est ajoutée aux aciers de flexion de chaque fibre.

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).

Pour les pieux, la section totale d'armatures passives ne doit pas être supérieure à 2% de la section.

5.1.2 - Flexion transversale

Dimensionnements effectués

Le programme ChamoA fournit le dimensionnement des aciers transversaux.

- Un calcul pour la traverse
- 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.

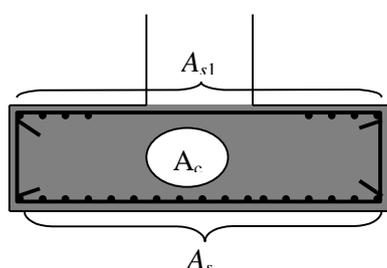
Dimensionnement à la flexion

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) du chapitre 2 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 3cm²/ml sur chacune des faces.
- Le ferrailage horizontal des piédroits doit au moins correspondre à une section de 0,1% de la section de béton. Ces aciers sont répartis équitablement sur chacune des faces du piédroit. (Cf. Eurocode 2 9.6.3).
- Les semelles doivent au moins contenir les sections d'aciers transversales définies ci-dessous :



$$A_{s1} \geq \frac{0.5 \cdot A_c}{1000}$$

$$A_{s2} \geq \frac{A_c}{1000}$$

conformément à l'article B.4.3.2 du fascicule 62 titre V

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)

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

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).

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

piédroits

La quantité d'aciers horizontaux est au moins égale à 25% de la quantité d'aciers verticaux (donc longitudinaux)

$$A_{s,trans} \geq 0,25 \times A_{s,long} \Leftrightarrow A_{s,horiz} \geq 0,25 \times A_{s,vert}$$

Le dimensionnement a été par face (coté terre et coté air).

semelles

La quantité d'aciers transversaux est au moins égale à 25% de la quantité d'aciers donc longitudinaux

$$A_{s,trans} \geq 0,25 \times A_{s,long} \Leftrightarrow A_{s,horiz} \geq 0,25 \times A_{s,vert} \quad A_{s,trans,inf} \geq 0,5 \times A_{s,trans,inf,transverse} \text{ et } A_{s,trans,sup} \geq 0,5 \times A_{s,trans,inf,transverse}$$

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, traverse, piédroits, ainsi que les pieux ou barrettes).

Voir document Annexes Génériques.

5.3 - Justification externe des semelles

5.3.1 - Portée et limites du logiciel

Chamoa permet d'assurer les vérifications liées à la justification de la stabilité externe des semelles des ouvrages de type PIPO sur semelles.

Les calculs sont effectués, selon le cas, en une ou deux phases :

- Une première phase dite d'optimisation des semelles, qui consiste à déterminer les dimensions minimales des semelles permettant de respecter l'ensemble des critères de justification lorsque les dimensions initiales, déclarées comme optimisables par l'utilisateur, sont insuffisantes pour ce faire. Si l'utilisateur a déclaré comme fixes toutes les dimensions des semelles, cette phase n'existe pas.
- S'il y a eu une phase d'optimisation, on procède aux vérifications des semelles sur la base des dimensions optimisées. Dans le cas contraire (c'est-à-dire si l'utilisateur a déclaré toutes les dimensions comme fixes), ces vérifications sont menées sur la base des dimensions initiales.

La vérification de la stabilité interne des semelles, à savoir la résistance en flexion et en cisaillement des sections du patin et du talon, est assurée par ailleurs dans le cadre du module de vérification des sections.

La stabilité d'ensemble (stabilité générale ou grand glissement) n'est pas abordée par Chamoa.

5.3.2 - Cadre général par rapport aux Eurocodes

La note d'information n° 30 du SETRA de janvier 2008, intitulée « Calcul des ponts aux Eurocodes – Utilisation du fascicule 62 titre V du CCTG », indique que l'application de la norme NF EN 1997-1 (Eurocode 7 : calcul géotechnique – Partie 1 : règles générales) au calcul des fondations des ouvrages d'art ne peut se faire qu'en s'appuyant sur son annexe nationale et sur des normes nationales complémentaires, qui étaient encore en cours d'élaboration à la date de rédaction du présent document.

Dans cette phase transitoire, la note du SETRA permet de définir des règles complémentaires provisoires pour pouvoir appliquer l'Eurocode 7 au calcul des fondations d'ouvrages. Elle précise ainsi les conditions dans lesquelles les règles du fascicule 62 Titre V du CCTG, globalement bien adaptées, peuvent être utilisées en complément de la norme NF EN 1997-1 et de son annexe nationale.

Il en ressort que, pour les justifications de la stabilité externe des fondations superficielles, on peut appliquer le fascicule 62, titre V du CCTG et c'est pourquoi les calculs sont effectués selon ces règles dans CHAMOA.

5.3.3 - Modélisation

On rappelle que la semelle est modélisée avec sa longueur droite B ($B = L_{\text{talon}} + L_{\text{patin}} + e_d$), pour être plus proche du comportement réel du voile qui se déforme perpendiculairement à son plan (et non selon la direction biaise).

Le poids des terres s'effectue avec les charges réelles, c'est-à-dire avec la longueur effective droite de talon (à savoir la longueur droite réelle du talon à partir du nu du piédroit), avec la largeur biaise de la semelle et la hauteur du piédroit et du remblai sur tablier éventuel.

La poussée des terres s'effectue avec les charges réelles, c'est-à-dire avec la largeur biaise de la semelle (à savoir la largeur réelle du piédroit) et sur la hauteur du piédroit et de la semelle. Ceci permet de représenter le comportement réel du piédroit, c'est-à-dire celui d'un voile - butonné en tête - qui se déforme normalement à son plan.

Les efforts issus de ST1 sont donnés pour la largeur biaise de la semelle (ou du piédroit).

5.3.4 - Principe de la justification et démarche

Justification de la stabilité externe

La justification de la stabilité externe des semelles est effectuée pour les enveloppes globales d'états limites suivantes : ELS fréquent, ELS caractéristique, ELU fondamental et ELU accidentel.

Certaines vérifications ne concernent pas l'ensemble des états limites. Ainsi, on vérifie :

- à l'ELS fréquent : la non décompression du sol ;
- à l'ELS caractéristique : la limitation de la décompression du sol et la mobilisation du sol ;
- aux ELU fondamental et accidentel : le non renversement de la semelle, la mobilisation du sol et le non glissement.
- Le schéma ci-dessous représente la vue d'ensemble d'un PIPO sur semelles (dalle de transition éventuelle non représentée) et ses conditions d'appui, qui sont les suivantes (pour chaque semelle) :
 - un appui (numéro 13 ou 43 selon le côté gauche ou droit) assurant la stabilité de l'ouvrage dans le sens horizontal (blocage en direction Ox) ;
 - un appui (numéro 14 ou 44) assurant la stabilité de l'ouvrage dans le sens vertical (blocage en direction Oy) et doté d'une matrice de rigidité en rotation (en z).

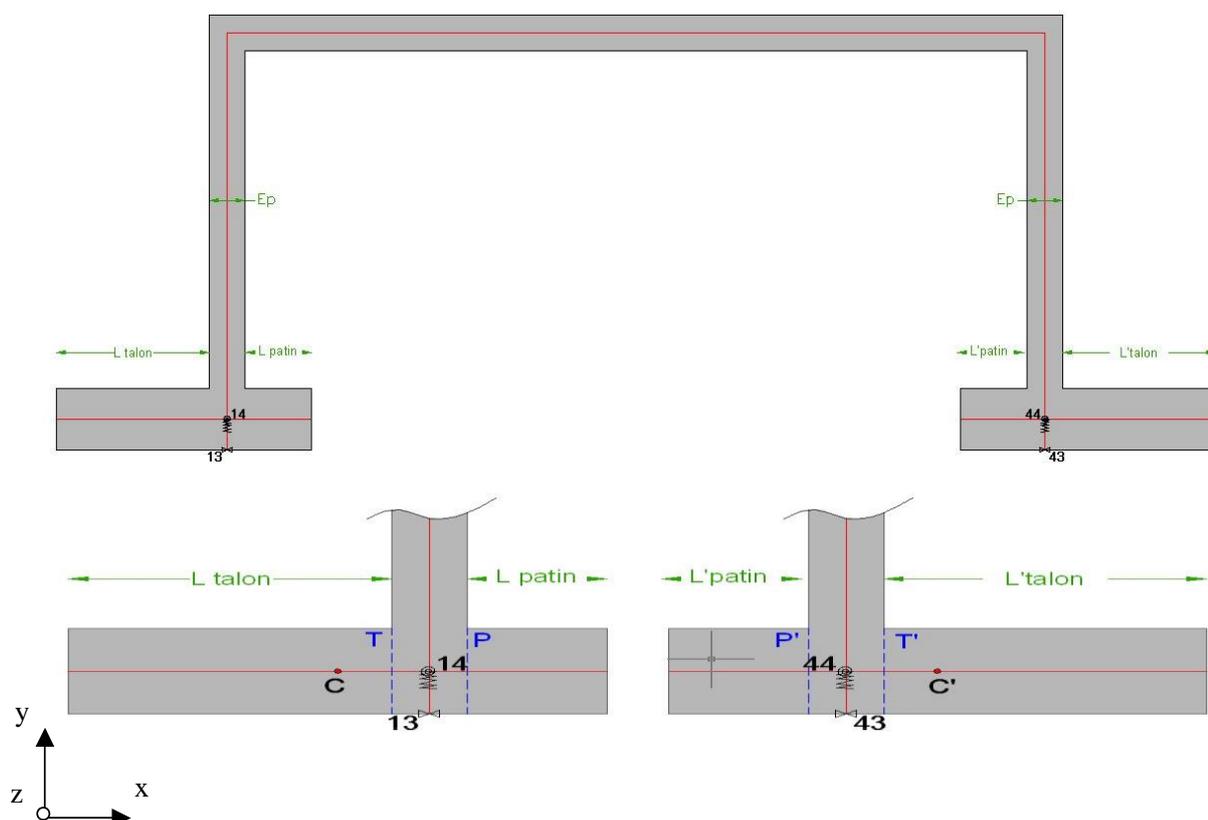


Figure 16 – Géométrie et conditions d'appui des semelles

Les réactions d'appui selon les trois composantes suivantes :

- $reac F_x$ = composante horizontale H ;
- $reac F_y$ = composante verticale N ;
- $reac M_z$ = composante de moment M_z

A partir de ces torseurs déterminés au niveau de l'intersection du piédroit avec la semelle, on calcule les torseurs équivalents au centre de la semelle. Ceci est réalisé en écrivant (hypothèse d'une semelle infiniment rigide) :

- Semelle de gauche : $N_C = N_{14}$; $H_C = H_{13}$; $M_C = M_{14} + N_{14} \frac{L_{\text{talon}} - L_{\text{patin}}}{2}$
- Semelle de droite : $N_{C'} = N_{44}$; $H_{C'} = H_{43}$; $M_{C'} = M_{44} - N_{44} \frac{L'_{\text{talon}} - L'_{\text{patin}}}{2}$

où L_{talon} (resp. L'_{talon}) et L_{patin} (resp. L'_{patin}) sont les dimensions (initiales ou optimisées, selon le cas) du patin et du talon de la semelle de gauche (resp. de droite).

A partir des torseurs ramenés au centre de la semelle, est calculé l'excentrement des charges, soit $e = \text{abs}(M_C/N_C)$ [resp. $e' = \text{abs}(M_{C'}/N_{C'})$] afin de conduire les justifications décrites ci-après.

Stabilité globale

Si l'excentrement e (ou e') est supérieur ou égal à la demi-longueur droite $B/2$ de la semelle, l'instabilité de la semelle est certaine.

Mobilisation du sol (ELS-C, ELU-F et ELU-A), non décompression du sol (ELS-F et ELS-C) et non renversement (ELU-F et ELU-A)

En fonction de l'excentrement e , on calcule la contrainte de compression minimale sollicitant le sol, soit q'_{\min} .

$$q'_{\min} = \frac{N_C}{B \text{Larg}_b} \left(1 - \frac{6e}{B} \right), \text{ où :}$$

- N_C est la réaction au centre de la semelle,
- Larg_b est la largeur biaise de la semelle,
- B est la longueur droite de la semelle.

Si $q'_{\min} \geq 0$ (soit $e \leq B/6$, tiers central), alors la contrainte de compression maximale sollicitant le sol vaut :

$$q'_{\max} = \frac{N_C}{B \text{Larg}_b} \left(1 + \frac{6e}{B} \right)$$

On calcule alors la contrainte q'_{ref} , dite contrainte de référence, qui est la contrainte régnant aux 3/4 de la largeur comprimée de la semelle :

$$q'_{\text{ref}} = \frac{3q'_{\max} + q'_{\min}}{4} = \frac{N_C}{B \text{Larg}_b} \left(1 + \frac{3e}{B} \right)$$

Ce calcul fait l'hypothèse d'une variation linéaire des contraintes normales effectives sous la base de la semelle.

La longueur de semelle comprimée B_{comp} est égale à la longueur droite B (aucune décompression du sol dans le cas $q'_{\min} \geq 0$).

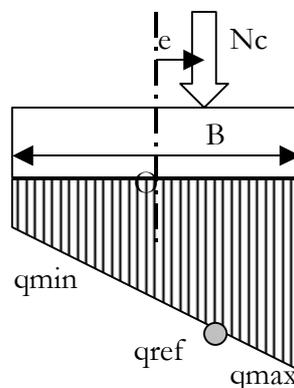


Figure 27 – Schéma de répartition des pressions du sol sous la semelle (cas de l'absence de décompression du sol)

- Si $q'_{min} < 0$ (ce qui équivaut à $e > B/6$), alors $q'_{max} = \frac{4}{3} \frac{N_c}{Lar g_b(B-2e)}$ et la longueur de semelle comprimée vaut $B_{comp} = \frac{3}{2}(B - 2e)$ (la semelle est partiellement décomprimée).
- Si $q'_{max} > 0$, alors $q'_{ref} = \frac{N_c}{Lar g_b(B-2e)}$ (modèle Meyerhof) ; sinon, c'est que l'instabilité est certaine ($e \geq B/2$).

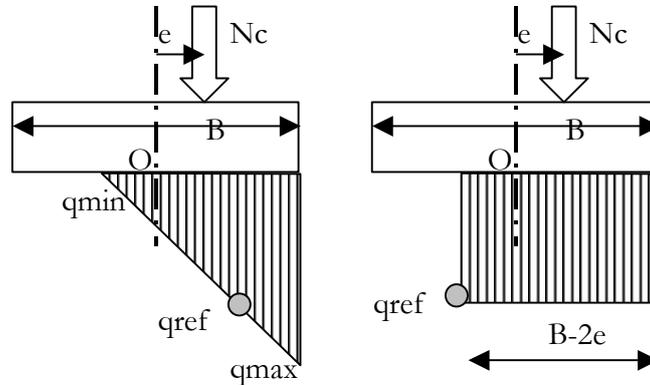


Figure 28 – Schéma de répartition des pressions du sol sous la semelle (cas d'une décompression partielle du sol)
+ Modèle de Meyerhof

On doit alors vérifier :

- à l'ELS fréquent : $B_{comp} = B$ (aucune décompression du sol n'est admise) ;
- à l'ELS caractéristique : $B_{comp} \geq 0,75 B$ (décompression du sol limitée à $\frac{1}{4}$ de B) et $q'_{ref} \leq q'_{adm}$ (mobilisation du sol) ;
- aux ELU fondamental et accidentel : $B_{comp} \geq 0,10 B$ (non renversement) et $q'_{ref} \leq q'_{adm}$ (mobilisation du sol) ;

où :

- q'_{adm} est la contrainte admissible qui dépend des caractéristiques du sol, soit :

$$q'_{adm} = \frac{1}{\gamma_q} (q'_u - q'_0) i_\delta + q'_0, \text{ où :}$$

- i_δ est un coefficient minorant (calculé selon l'annexe F1 du fascicule 62, titre V) tenant compte de l'inclinaison δ sur la verticale de la résultante des charges sollicitant la fondation, ainsi que de la géométrie de la semelle
 - $i_{\delta\beta} = \left(1 - \frac{\delta}{90}\right)^2 \left(1 - e^{-\frac{D_e}{B}}\right) + \left\{ \max \left[\left(1 - \frac{\delta}{45}\right); 0 \right] \right\}^2 e^{-\frac{D_e}{B}}$ si le sol est frottant, où D_e représente la hauteur des terres à partir de la base du patin (remblai intérieur éventuel)
 - $i_\delta = \left(1 - \frac{\delta}{90}\right)^2$ si le sol est cohérent.
- q'_u est la contrainte de rupture du sol sous charge verticale centrée, calculée selon les dispositions de l'annexe B1 du fascicule 62, titre V lorsqu'il est fait référence aux résultats d'essais du pressiomètre

Il est à noter que q'_u dépend en principe de la largeur B de la semelle car le coefficient de portance k_p dépend de B . Ainsi, à l'issue d'un éventuel calcul d'optimisation des dimensions de la semelle qui aurait assez fortement modifié la largeur de celle-ci, il est recommandé de réévaluer q'_u et de vérifier à nouveau la stabilité de la semelle avec cette nouvelle valeur.

- q'_0 est la contrainte verticale effective que l'on obtiendrait dans le sol après travaux au niveau de la base de la semelle en faisant abstraction de celle-ci (q'_u et q'_0 sont introduites en données par l'utilisateur au niveau de l'interface et on rappelle ici que $q'_u - q'_0 = k_p p_{le}^*$).
- γ_q est le coefficient partiel de sécurité sur le sol. Dans le fascicule 62 titre V, ce coefficient est constant et vaut 2 à l'ELU et 3 à l'ELS. Dans le logiciel MUR du SETRA (2001), on utilise la formule suivante, qui intègre une dépendance de γ_q à i_δ :

$$\circ \quad \gamma_q = \gamma_{qv} \cdot i_\delta^2 + \gamma_{qh} \cdot (1 - i_\delta^2)$$

où :

- γ_{qv} est le coefficient de sécurité pour une charge verticale ($i_\delta = 1$), pris égal aux valeurs définies par le fascicule 62, titre V, soit $\gamma_{qv} = 3$ à l'ELS et $\gamma_{qv} = 2$ à l'ELU
- γ_{qh} est le coefficient de sécurité « asymptotique » que l'on prêt à « consentir » lorsque i_δ tend vers 0, soit $\gamma_{qh} = 2$ à l'ELS et $\gamma_{qh} = 1.5$ à l'ELU

C'est cette dernière expression de γ_q qui est retenue ici (la formule est celle donnée dans le guide SETRA de conception générale des ouvrages de soutènement de décembre 1998). Les piédroits des PIPO fondés sur semelles font autant office de murs de soutènement que de fondations de l'ouvrage. Habituellement le fascicule 62, titre V n'est pas appliqué aux murs de soutènement. Par ailleurs la forte inclinaison δ de la résultante des charges entraîne une diminution considérable de la contrainte admissible par le biais du coefficient i_δ . Or l'application des coefficients de sécurité γ_q du fascicule 62, titre V aux fondations sur semelles des piédroits conduirait à un surdimensionnement très important des semelles. A l'instar de ce qui est fait pour les murs de soutènement, on adopte ainsi un coefficient de sécurité qui décroît avec l'inclinaison de la résultante des charges, de façon à obtenir un dimensionnement réaliste des semelles.

A l'ELU, la vérification de la mobilisation du sol est destinée à éviter le poinçonnement du sol de fondation. A l'ELS, elle sert à éviter l'application au sol de fondation de contraintes proches de sa contrainte de fluage. Cette justification ne dispense nullement de vérifier par ailleurs que les tassements prévisibles sont compatibles avec le fonctionnement de l'ouvrage.

Non glissement (ELU)

Le critère de justification au non glissement consiste à vérifier que la composante horizontale H des charges sollicitant le sol suivant la direction du glissement est inférieure à la force résistante limite H_{res} due au frottement du sol de fondation sur la semelle et à la cohésion éventuelle du sol.

$$\text{On vérifie alors : } \text{Abs}(H) \leq H_{res} = \frac{N_C \tan \varphi'}{\gamma_{g1}} + \frac{c'A'}{\gamma_{g2}}$$

où :

- $A' = B_{comp} \cdot L_{argb}$ est la surface de sol comprimée sous la semelle ;
- φ' est l'angle de frottement interne du sol,
- c' est la cohésion effective du sol à la base de la fondation (prise nulle par défaut) ;
- $\gamma_{g1} = 1,2$ et $\gamma_{g2} = 1,5$.

L'ensemble de ces justifications sont menées aussi bien sur le profil transversal définitif (DEF) de l'ouvrage que sur son profil transversal provisoire (PRV).

Justifications complémentaires

A l'issue du calcul effectué par le logiciel, l'utilisateur a en charge de réaliser les calculs complémentaires suivants :

- vérification de la stabilité au grand glissement ;

- justification du non-glissement aux ELU dans l'hypothèse où ce critère ne serait pas respecté (en effet, le module de dimensionnement des semelles ne prend en compte que les critères de non décompression / non renversement et de mobilisation du sol).

5.4 - Stabilité interne des sections d'encastrement des patins et des talons

Objectif

Ce chapitre présente le calcul spécifique des efforts RdM (N , T_y , M_z) dans les sections d'encastrement des patins et des talons sur les piédroits. Ces sections correspondent aux sections P/P' et T/T' représentées ci-dessus (cf. figure 26).

Ces efforts résultent du cumul :

- d'une part, des efforts directement fournis par ST1 dans les sections d'étude particulières P/P' et T/T' suite au calcul général de la structure.
- d'autre part, des efforts supplémentaires induits par les pressions du sol sous la semelle, ces pressions générant un effort tranchant et un moment fléchissant dans les sections P/P' et T/T'. Ce sont précisément ces efforts dont le détail du calcul est fourni ci-après.

Détail des calculs des efforts T et M induits par les pressions du sol sous la semelle

Il convient de distinguer deux cas de figure :

- absence de décompression du sol sous la semelle ;
- décompression partielle du sol sous la semelle.

Absence de décompression du sol sous la semelle

Dans ce cas, le schéma de répartition des pressions du sol sous la semelle est semblable à celui-ci (par exemple) :

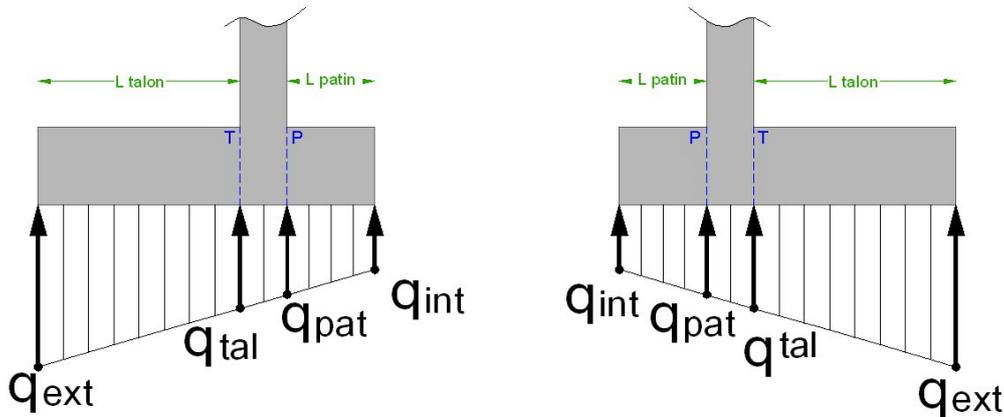


Figure 29 – Exemple de répartition des pressions du sol sous la semelle (gauche / droite) dans le cas d'une absence de décompression du sol

On peut alors déterminer les valeurs des contraintes extrêmes q_{ext} et q_{min} de la manière suivante :

Semelle gauche :

$$q_{ext,g} = \frac{N_g}{B_g \cdot Larg_b} \left(1 - 6 \frac{e_g}{B_g} \right) \quad q_{int,g} = \frac{N_g}{B_g \cdot Larg_b} \left(1 + 6 \frac{e_g}{B_g} \right)$$

Semelle droite :

$$q_{ext,d} = \frac{N_d}{B_d \cdot Larg_b} \left(1 + 6 \frac{e_d}{B_d} \right) \quad q_{int,d} = \frac{N_d}{B_d \cdot Larg_b} \left(1 - 6 \frac{e_d}{B_d} \right)$$

Semelle gauche ou droite :

$$q_{tal} = q_{ext} + (q_{int} - q_{ext}) \frac{L_{talon}}{B} \quad q_{pat} = q_{ext} + (q_{int} - q_{ext}) \left(1 - \frac{L_{patin}}{B} \right)$$

$$T_{2,tal} = \frac{Larg_b \cdot L_{talon}}{2} (q_{tal} + q_{ext})$$

$$T_{2,pat} = \frac{Larg_b \cdot L_{patin}}{2} (q_{pat} + q_{int})$$

$$M_{2,tal} = \pm \frac{Larg_b \cdot L_{talon}^2}{6} (q_{tal} + 2q_{ext})$$

$$M_{2,pat} = \pm \frac{Larg_b \cdot L_{patin}^2}{6} (q_{pat} + 2q_{int})$$

(- à gauche, + à droite)

(+ à gauche, - à droite)

Décompression partielle du sol sous la semelle

Dans ce cas, le schéma de répartition des pressions du sol sous la semelle est semblable à celui-ci :

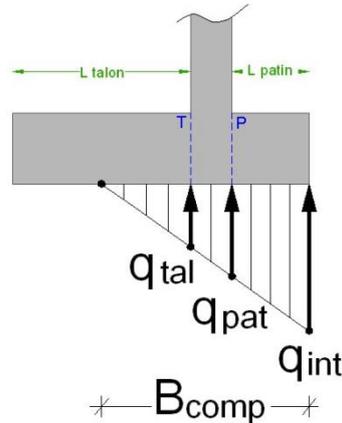


Figure 30 – Exemple de répartition des pressions du sol sous la semelle dans le cas d'une décompression partielle du sol

On peut déterminer les valeurs des contraintes extrêmes q_{ext} et q_{min} de la manière suivante :

*** Si l'excentrement $e = M/N$ est positif ($e > 0$) ***

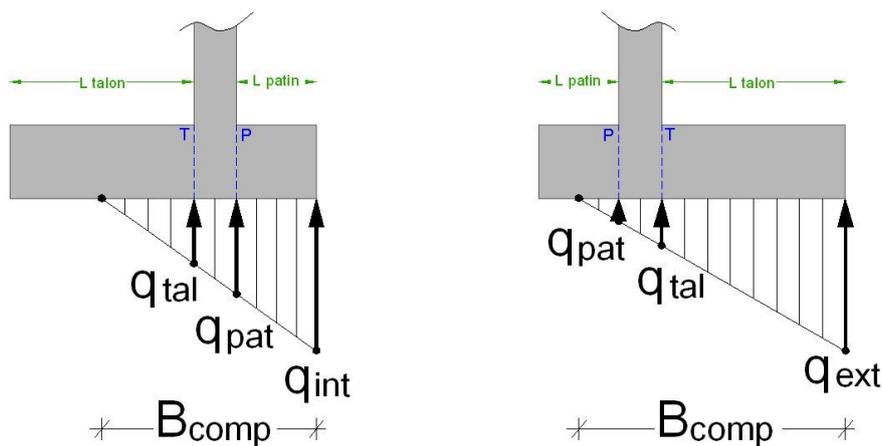


Figure 31 – Exemple de répartition des pressions du sol sous la semelle dans le cas d'une décompression partielle du sol, avec excentrement e positif (soit $M_z > 0$)

- semelle de gauche : $q_{int,g} = \frac{4}{3} \frac{N_g}{Lar g_b (B_g - 2|e_g|)}$ et $q_{ext,g} = 0$
- semelle de droite : $q_{int,d} = 0$ et $q_{ext,d} = \frac{4}{3} \frac{N_d}{Lar g_b (B_d - 2|e_d|)}$

Semelle de gauche :

Si $B_{comp,g} > B_g - L_{talon,g}$:

$$q_{tal,g} = q_{int,g} \left(\frac{L_{talon,g} - B_g + B_{comp,g}}{B_{comp,g}} \right)$$

$$T_{2,tal,g} = \frac{q_{tal,g}}{2} (L_{talon,g} - B_g + B_{comp,g}) Lar g_b$$

$$M_{2,tal,g} = -\frac{q_{tal,g}}{6} (L_{talon,g} - B_g + B_{comp,g})^2 Lar g_b$$

Si $B_{comp,g} < B_g - L_{talon,g}$:

$$q_{tal,g} = 0 \quad T_{2,tal,g} = 0 \quad M_{2,tal,g} = 0$$

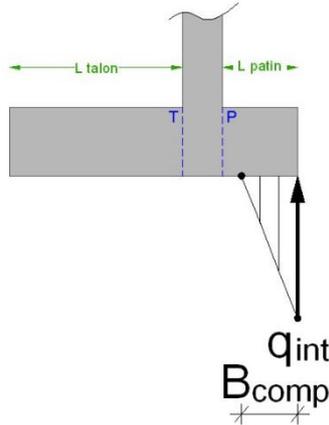
Si $B_{comp,g} > L_{patin,g}$:

$$q_{pat,g} = q_{int,g} \left(1 - \frac{L_{patin,g}}{B_{comp,g}} \right)$$

$$T_{2,pat,g} = \frac{Larg_b \cdot L_{patin,g}}{2} (q_{pat,g} + q_{int,g})$$

$$M_{2,pat,g} = \frac{Larg_b \cdot L_{patin,g}^2}{6} (q_{pat,g} + 2q_{int,g})$$

Si $B_{comp,g} < L_{patin,g}$:



$$q_{pat,g} = 0$$

$$T_{2,pat,g} = Larg_b \cdot B_{comp,g} \frac{q_{int,g}}{2}$$

$$M_{2,pat,g} = B_{comp,g} Larg_b \frac{q_{int,g}}{6} (3L_{patin,g} - B_{comp,g})$$

Semelle de droite :

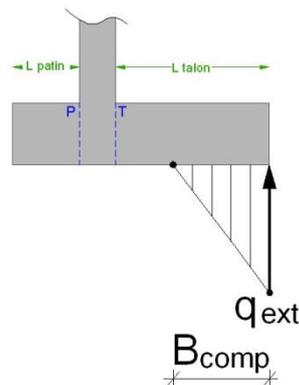
Si $B_{comp,d} > L_{talon,d}$:

$$q_{tal,d} = q_{ext,d} \left(1 - \frac{L_{talon,d}}{B_{comp,d}} \right)$$

$$T_{2,tal,d} = \frac{Larg_b \cdot L_{talon,d}}{2} (q_{tal,d} + q_{ext,d})$$

$$M_{2,tal,d} = \frac{Larg_b \cdot L_{talon,d}^2}{6} (q_{tal,d} + 2q_{ext,d})$$

Si $B_{comp,d} < L_{talon,d}$:



$$q_{tal,d} = 0$$

$$T_{2,tal,d} = Lar g_b \cdot B_{comp,d} \frac{q_{ext,d}}{2}$$

$$M_{2,tal,d} = B_{comp,d} Lar g_b \frac{q_{ext,d}}{6} (3L_{talon,d} - B_{comp,d})$$

Si $B_{comp,d} > B_d - L_{patin,d}$:

$$q_{pat,d} = q_{ext,d} \left(\frac{L_{patin,d} - B + B_{comp,d}}{B_{comp,d}} \right)$$

$$T_{2,pat,d} = \frac{q_{pat,d}}{2} (L_{patin,d} - B_d + B_{comp,d}) Lar g_b$$

$$M_{2,pat,d} = -\frac{q_{pat,d}}{6} (L_{patin,d} - B_d + B_{comp,d})^2 Lar g_b$$

Si $B_{comp,d} < B_d - L_{patin,d}$:

$$q_{pat,d} = 0 \quad T_{2,pat,d} = 0 \quad M_{2,pat,d} = 0$$

*** Si l'excentrement $e = M/N$ est négatif ($e < 0$) ***

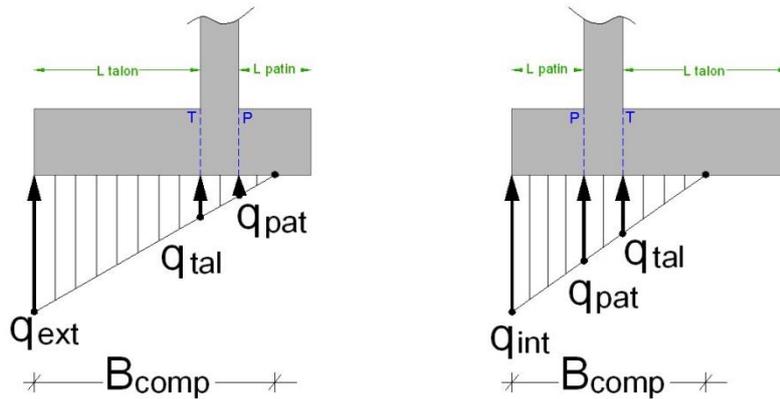


Figure 32 – Exemple de répartition des pressions du sol sous la semelle dans le cas d'une décompression partielle du sol, avec excentrement e négatif (soit $M_z < 0$)

- semelle de gauche : $q_{int,g} = 0$ et $q_{ext,g} = \frac{4}{3} \frac{N_g}{Lar g_b (B_g - 2|e_g|)}$
- semelle de droite : $q_{int,d} = \frac{4}{3} \frac{N_d}{Lar g_b (B_d - 2|e_d|)}$ et $q_{ext,d} = 0$

Semelle de gauche :

Si $B_{comp,g} > L_{talon,g}$:

$$q_{tal,g} = q_{ext,g} \left(1 - \frac{L_{talon,g}}{B_{comp,g}} \right)$$

$$T_{2,tal,g} = \frac{Lar g_b \cdot L_{talon,g}}{2} (q_{tal,g} + q_{ext,g})$$

$$M_{2,tal,g} = -\frac{Lar g_b \cdot L_{talon,g}^2}{6} (q_{tal,g} + 2q_{ext,g})$$

Si $B_{comp,g} < L_{talon,g}$:

$$q_{tal,g} = 0$$

$$T_{2,tal,g} = Lar g_b \cdot B_{comp,g} \frac{q_{ext,g}}{2}$$

$$M_{2,tal,g} = -Lar g_b \frac{q_{ext,g}}{6} B_{comp,g} (3L_{talon,g} - B_{comp,g})$$

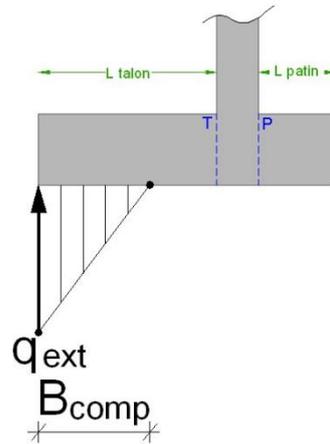
Si $B_{comp,g} > B_g - L_{patin,g}$:

$$q_{pat,g} = q_{ext,g} \left(\frac{L_{patin,g} - B_g + B_{comp,g}}{B_{comp,g}} \right)$$

$$T_{2,pat,g} = \frac{q_{pat,g}}{2} (L_{patin,g} - B_g + B_{comp,g}) Lar g_b$$

$$M_{2,pat,g} = \frac{q_{pat,g}}{6} (L_{patin,g} - B_g + B_{comp,g})^2 Lar g_b$$

Si $B_{comp,g} < B_g - L_{patin,g}$:



$$q_{pat,g} = 0 \quad T_{2,pat,g} = 0 \quad M_{2,pat,g} = 0$$

Semelle de droite :

Si $B_{comp,d} > B_d - L_{talon,d}$:

$$q_{tal,d} = q_{int,d} \left(\frac{L_{talon,d} - B_d + B_{comp,d}}{B_{comp,d}} \right)$$

$$T_{2,tal,d} = \frac{q_{tal,d}}{2} (L_{talon,d} - B_d + B_{comp,d}) Lar g_b$$

$$M_{2,tal,d} = \frac{q_{tal,d}}{6} (L_{talon,d} - B_d + B_{comp,d})^2 Lar g_b$$

Si $B_{comp,d} < B_d - L_{talon,d}$:

$$q_{tal,d} = 0 \quad T_{2,tal,d} = 0 \quad M_{2,tal,d} = 0$$

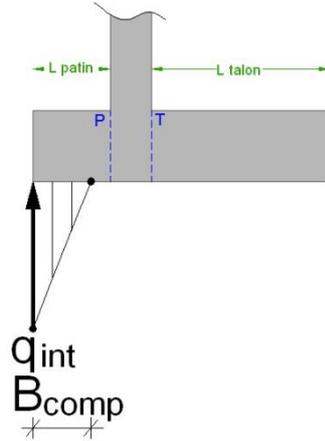
Si $B_{comp,d} > L_{patin,d}$:

$$q_{pat,d} = q_{int,d} \left(1 - \frac{L_{patin,d}}{B_{comp,d}} \right)$$

$$T_{2,pat,d} = \frac{Lar g_b \cdot L_{patin,d}}{2} (q_{pat,d} + q_{int,d})$$

$$M_{2,pat,d} = - \frac{Lar g_b \cdot L_{patin,d}^2}{6} (q_{pat,d} + 2q_{int,d})$$

Si $B_{comp,d} < L_{patin,d}$:



$$q_{pat,d} = 0$$

$$T_{2,pat,d} = Lar g_b \cdot B_{comp,d} \frac{q_{int,d}}{2}$$

$$M_{2,pat,d} = -Lar g_b B_{comp,d} \frac{q_{int,d}}{6} (3L_{patin,d} - B_{comp,d})$$

L'écriture de ces équations nous permet de vérifier que l'on a un parallèle total entre la semelle de gauche sous excentrement positif (resp. négatif) avec la semelle de droite sous excentrement négatif (resp. positif). Ainsi, nous pouvons écrire les formules plus synthétiques suivantes.

- Semelle de gauche avec $e > 0$ ou semelle de droite avec $e < 0$

Si $B_{comp} > B - L_{talon}$:

$$q_{tal} = q_{int} \left(\frac{L_{talon} - B + B_{comp}}{B_{comp}} \right)$$

$$T_{2,tal} = \frac{q_{tal}}{2} (L_{talon} - B + B_{comp}) Lar g_b$$

$$M_{2,tal} = \pm \frac{q_{tal}}{6} (L_{talon} - B + B_{comp})^2 Lar g_b \text{ (- à gauche, + à droite)}$$

Si $B_{comp} < B - L_{talon}$:

$$q_{tal} = 0 \quad T_{2,tal} = 0 \quad M_{2,tal} = 0$$

Si $B_{comp} > L_{patin}$:

$$q_{pat} = q_{int} \left(1 - \frac{L_{patin}}{B_{comp}} \right)$$

$$T_{2,pat} = \frac{Lar g_b \cdot L_{patin}}{2} (q_{pat} + q_{int})$$

$$M_{2,pat} = \pm \frac{Lar g_b \cdot L_{patin}^2}{6} (q_{pat} + 2q_{int}) \text{ (+ à gauche, - à droite)}$$

Si $B_{comp} < L_{patin}$:

$$q_{pat} = 0$$

$$T_{2,pat} = Lar g_b \cdot B_{comp} \frac{q_{int}}{2}$$

$$M_{2,pat} = \pm B_{comp} Lar g_b \frac{q_{int}}{6} (3L_{patin} - B_{comp}) \text{ (+ à gauche, - à droite)}$$

- Semelle de gauche avec $e < 0$ ou semelle de droite avec $e > 0$

Si $B_{comp} > L_{talon}$:

$$q_{tal} = q_{ext} \left(1 - \frac{L_{talon}}{B_{comp}} \right)$$

$$T_{2,tal} = \frac{Larg_b \cdot L_{talon}}{2} (q_{tal} + q_{ext})$$

$$M_{2,tal} = \pm \frac{Larg_b \cdot L_{talon}^2}{6} (q_{tal} + 2q_{ext}) \text{ (- à gauche, + à droite)}$$

Si $B_{comp} < L_{talon}$:

$$q_{tal} = 0$$

$$T_{2,tal} = Larg_b \cdot B_{comp} \frac{q_{ext}}{2}$$

$$M_{2,tal} = \pm Larg_b \frac{q_{ext}}{6} B_{comp} (3L_{talon} - B_{comp}) \text{ (- à gauche, + à droite)}$$

Si $B_{comp} > B - L_{patin}$:

$$q_{pat} = q_{ext} \left(\frac{L_{patin} - B + B_{comp}}{B_{comp}} \right)$$

$$T_{2,pat} = \frac{q_{pat}}{2} (L_{patin} - B + B_{comp}) Larg_b$$

$$M_{2,pat} = \pm \frac{q_{pat}}{6} (L_{patin} - B + B_{comp})^2 Larg_b \text{ (+ à gauche, - à droite)}$$

Si $B_{comp} < B - L_{patin}$:

$$q_{pat} = 0 \quad T_{2,pat} = 0 \quad M_{2,pat} = 0$$

Chapitre 3 – Description des données nécessaires au calcul d'un ouvrage de type PIPO par la chaîne CHAMOA

1 - Description des données

Ce chapitre décrit l'ensemble des données nécessaires à la définition d'un ouvrage de type PIPO 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.

1.1 - Généralités et conventions

La description des données est effectuée par blocs de données.

1.1.1 - 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 (').

1.1.2 - Unités

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

Le cas échéant, les unités sont précisées localement.

1.1.3 - 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].

2 - Données administratives

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

Identification du calcul

Données :

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

Ces données sont automatiquement créées 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 :

<code>"Societe"</code>	Ch	Nom de la société.
<code>"Responsable"</code>	Ch	Personne responsable de la note de calcul.

Identification du responsable de la note de calculs au Sétra.

Données :

<code>"Responsable"</code>	Ch	Ingénieur du Sétra responsable de la note de calcul.
----------------------------	----	--

Identification de l'ouvrage.

Données :

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

3 - Géométrie de l'ouvrage

3.1 - 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.

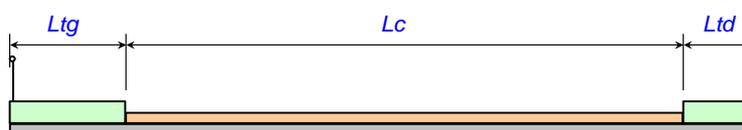


Figure 17 – Profil en travers sans remblai

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

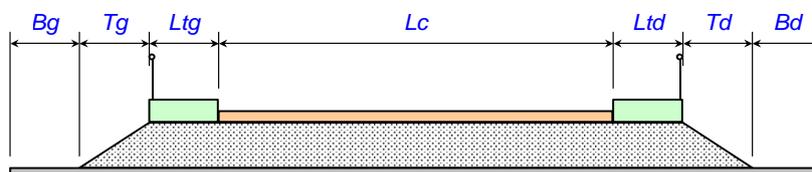


Figure 18 – Profil en travers avec remblai

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-réglementaire :

<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.

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

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.

3.2 - 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.

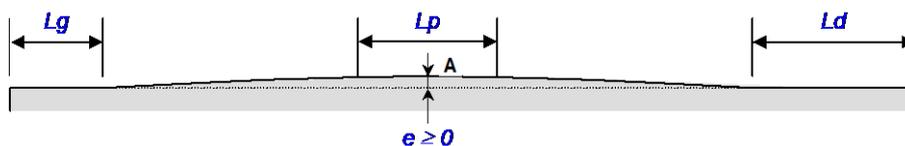


Figure 19 – Bombement de l'extrados

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.

3.3 - Géométrie en plan

L'ouvrage est supposé rectiligne en plan. Le biais des deux piédroits est identique et modéré (compris entre 70 et 100 grades).

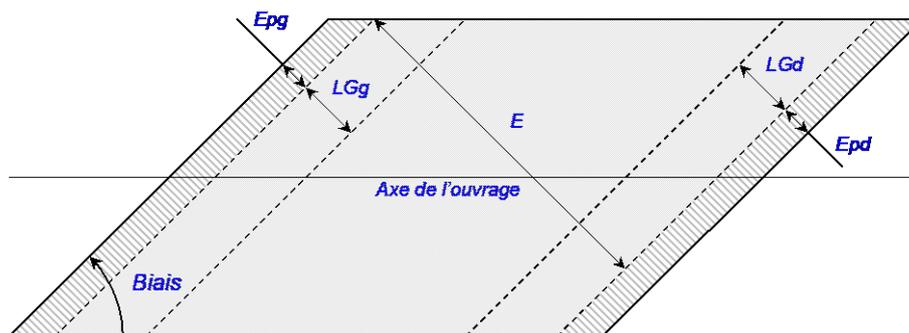


Figure 20 – Géométrie en plan

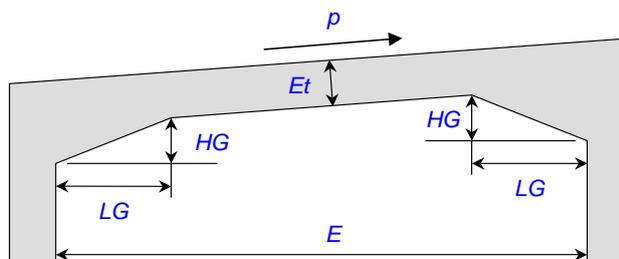
Données :

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

3.4 - Coupe longitudinale du tablier

La traverse peut présenter une pente longitudinale modérée ($\leq 0,10$). Les goussets sont symétriques. L'interface propose deux possibilités :

- Goussets standard.
- Goussets personnalisés.



Données :

E R Ouverture droite.
 Et R Épaisseur de la traverse.
 (p) SW Pente de la traverse ($\tan(\alpha)$), positive dans le sens trigonométrique [0.00].
 SW < BIAISE, DROITE > indique s (p) est mesurée suivant la portée biaisée ou droite.
 SW < VERTICAUX, INCLINES >

Commentaires :

- L'interface permet de préciser si l'épaisseur de la traverse est invariable ou s'il s'agit d'une valeur minimale pouvant être augmentée par le programme.
- Dans l'option VERTICAL, la face des goussets est verticale. Dans l'option INCLINE, la face des goussets suit la pente du chanfrein de la dalle (voir coupe transversale).
- Les dimensions des goussets sont fixées par défaut comme suit par l'interface en fonction de l'ouverture. Elles ne constituent pas pour autant des options par défaut du fichier de données.
 - E ≤ 3 m LG = 0,20 Hg = 0,20
 - 3 m < E ≤ 5 m LG = 0,60 Hg = 0,30
 - E > 5 m LG = 0,90 Hg = 0,30

Données complémentaires pour les goussets personnalisés :

LG R Longueur droite des goussets.
 HG R Épaisseur des goussets.

3.5 - Coupe transversale du tablier

Deux options sont proposées :

- Dalle rectangulaire.
- Dalle avec chanfreins symétriques.

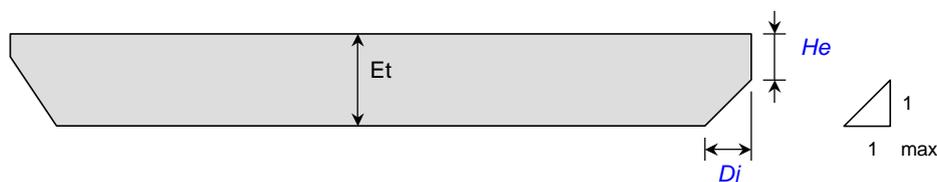


Figure 21 – Coupe transversale de la traverse

La coupe transversale courante de la traverse peut comporter des chanfreins très modérés, qui doivent respecter :

- $Dj / (Et - He) \leq 1$

Données externes :

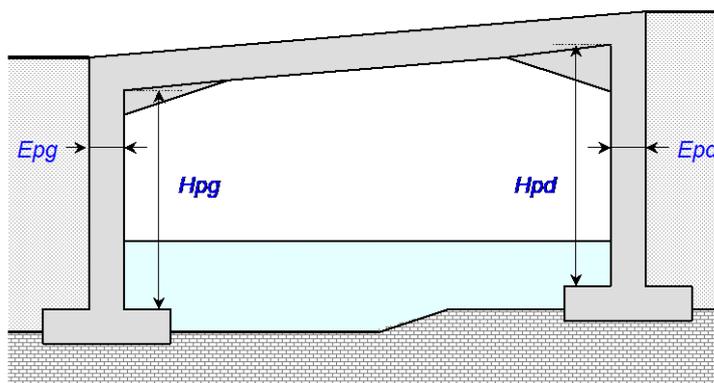
- Et est la hauteur de la traverse, entrée dans la coupe longitudinale.

Données :

- (He) R Épaisseur des flancs verticaux gauche et droit [0.00].
- (Dj) R Largeur des chanfreins gauche et droit [0.00].

3.6 - Piédroits

Par convention, la hauteur des piédroits est comptée entre le nu de la traverse et le nu de la semelle ou raidisseur.



Données :

- Ligne_Appui SW < TOUS, GAUCHE, DROITE >
- Hp R Hauteur des piédroits.
- Ep R Épaisseur droite (normale aux piédroits) des piédroits.

Commentaires :

- Si la traverse présente une pente longitudinale et les deux piédroits sont fondés à la même cote, ils ne seront pas symétriques.
- L'interface permet de préciser si l'épaisseur des piédroits est invariable ou s'il s'agit d'une valeur minimale pouvant être augmentée par le programme.
-
-

3.7 - Remblais

On distingue trois types de remblai :

- Remblai sur le tablier.
- Remblais techniques.
- Remblai intérieur à l'ouvrage.

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.

3.7.1 - Poids volumique des remblais

Données :

- | | | |
|-----------------|---|--|
| (Pv) | R | Poids volumique moyen des remblais [20 kN/m ³]. |
| $(k1)$, $(k2)$ | 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. |

3.7.2 - 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).

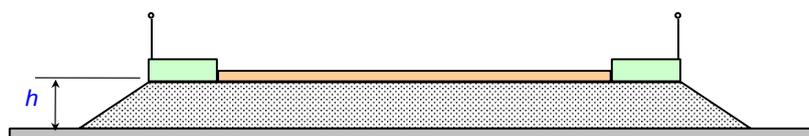


Figure 22 – Remblai sur tablier

La hauteur de remblai sur l'ouvrage est prise en compte également sur les dalles de transition éventuelles et sur les remblais technique attenant à l'ouvrage

Données :

- | | | |
|-----------|---|---|
| h | R | Hauteur de remblai sur le tablier à mi travée [0.00]. |
| $Pent_r$ | R | Pente droite longitudinale ($\tan(\alpha)$) du remblai par rapport à l'extrados du tablier [0.00]. |
| R | R | Coefficient de Marston. Ne concerne que les portiques et cadres enterrés. En général : <ul style="list-style-type: none"> • [1.00] si le cadre est fondé sur un sol incompressible (rocher). • 0.70 si le cadre est fondé sur un sol compressible. • 0.00 si le cadre n'est pas enterré. |

Commentaires :

- Dans le cas d'une pente longitudinale du remblai par rapport à l'extrados, l'effet n'est pris que sur les charges permanentes et les charges d'exploitation sur remblais sans dalle de transition. Pour les charges mobiles sur le tablier, la valeur moyenne du remblai est prise en compte.

Données complémentaires en utilisation avancée :

- | | | |
|--------------------------|---|---|
| (Pv) , $(k1)$, $(k2)$ | R | $Cf.$ = « Poids volumique des remblais ». |
| $(betadif)$ | R | Angle de diffusion des charges en degrés [30.00]. |

3.7.3 - Remblais techniques

L'interface propose deux options :

- Coefficients de poussée symétriques (option standard).
- Coefficients de poussée dissymétriques (option avancée).

Coefficients de poussée

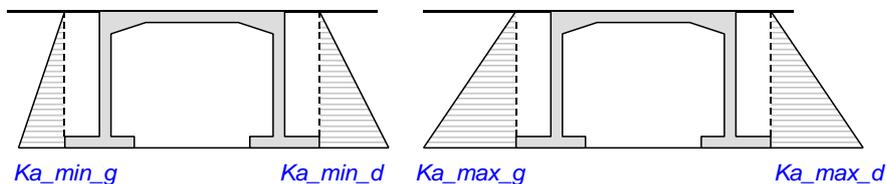


Figure 23 – Poussée des terres

Données (dissymétriques uniquement en option avancée) :

- (ka_min) R Coefficient de poussée des terres de Rankine minimum [0.25].
 (ka_max) R Coefficient de poussée des terres de Rankine maximum [0.50].

Poids volumique

Données en utilisation avancée :

- (Pvg), (k1g), (k2g) R Cf. « Poids volumique des remblais ».
 (Pvd), (k1d), (k2d) R Cf. « Poids volumique des remblais ».

3.7.4 - Remblai au-dessus des semelles

Par convention, la hauteur de remblai est déduite de la hauteur libre.

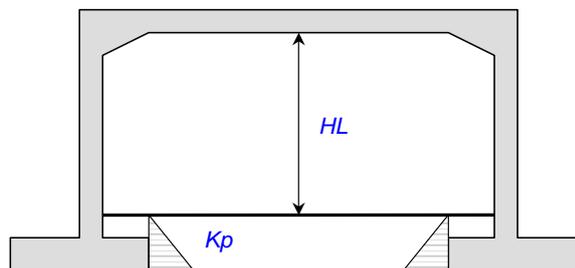


Figure 24 – Remblai au-dessus des semelles

Données :

- HL R Hauteur libre.
 (Kp) R Coefficient de poussée passive [0.00].

Données complémentaires en utilisation avancée :

- (Pv), (k1), (k2) R Cf. « Poids volumique des remblais ».

3.8 - Sol de fondation sur semelle

Données d'élasticité :

L'interface propose trois options : On se reportera à l'annexe

- Définition à partir du pseudo module d'Young :
 E_{sol} R Pseudo module d'Young différé du sol (MPa).
- Définition à partir des caractéristiques pressiométriques :
 E_m R Module pressiométrique du sol (MPa).
 α R Coefficient rhéologique α .
- Définition à partir du module de réaction surfacique :
 k_v R Module de réaction différé surfacique vertical du sol (MPa/m).

Donnée supplémentaire :

ρ R Rapport entre les modules instantané et soutenu [2.00].

Données de portance (PIPO seulement) :

(Titre) Ch Titre du sol de fondation.
 Ligne_Appui SW < TOUS, GAUCHE, DROITE >
 q_u R Contrainte de rupture du sol sous charge verticale centrée q'_u (MPa).
 (q_0) R Contrainte verticale effective q'_0 (MPa).
 Type_Sol SW < COHERENT, FROTTANT >

Données vis à vis du glissement (PIPO seulement) :

ϕ R Angle de frottement du sol de fondation (degrés).
 c_{prim} R Cohésion du sol de fondation (MPa) [0.00].

3.9 - Choix généraux de fondation

L'interface propose 3 options :

- Fondations sur semelles symétriques.
- Fondations sur pieux symétriques.
- Fondations quelconques.

L'option par défaut est celle de fondations sur semelles symétriques.

3.9.1 - Fondations sur semelles

Les deux semelles sont symétriques.

Le sol de fondation a déjà été décrit conformément au paragraphe « Sol de fondation sur semelle ou radier ».

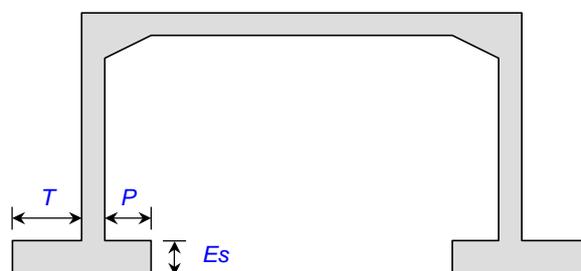


Figure 25 – Fondation sur semelles

Données :

P R Patin des semelles.
 T R Talon des semelles.

<i>(MiniMaxi)</i>	SW	< <u>MINIMUM</u> , MAXIMUM, FIXE > indicateur précisant les dimensions du patin et du talon constituant des valeurs minimales pouvant être augmentées (par défaut), maximales pouvant être diminuées, ou fixes.
<i>Es</i>	R	Épaisseur des semelles.

3.9.2 - Fondations sur pieux

Description du sol de fondation

Le sol de fondation est modélisé par n couches horizontales, décrites du haut vers le bas.

Données :

<i>Ligne_Appui</i>	SW	< <u>TOUS</u> , GAUCHE, DROITE >
<i>nc</i>	I (n)	Numéros des couches (numéros libres mais croissants du haut vers le bas).
<i>h</i>	R (n)	Hauteurs des couches.
<i>Em</i>	R (n)	Modules pressiométriques des couches (MPa).
<i>Alpha</i>	R (n)	Coefficients rhéologiques α des couches.

Description des pieux.

La fondation est composée d'une file unique de pieux circulaires ou de barrettes centrés sur l'axe du piédroit.

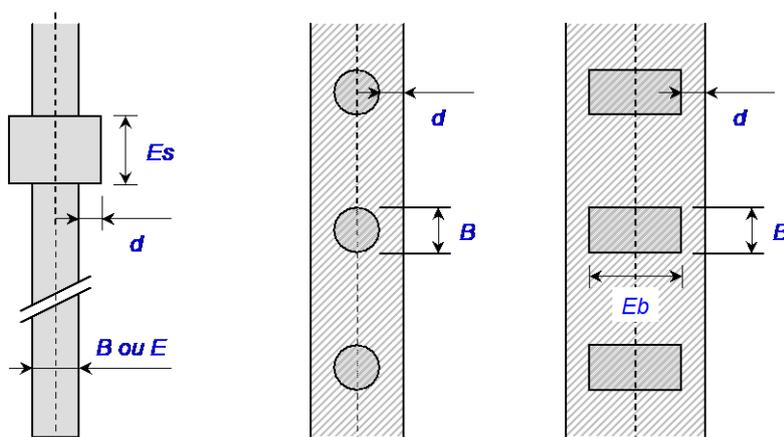


Figure 26 – Pieux et barrettes

Données :

<i>Ligne_Appui</i>	SW	< <u>TOUS</u> , GAUCHE, DROITE >
<i>Es</i>	R	Épaisseur des raidisseurs.
<i>d</i>	R	Débord des raidisseurs par rapport au nu des pieux ou barrettes.
<i>B</i>	R	Diamètre des pieux circulaires ou maître-couple (largeur) des barrettes.
<i>Eb</i>	R	Dimension longitudinale (épaisseur) des barrettes.
<i>(h)</i>	R	Hauteur des pieux. Par défaut, somme des hauteurs des couches de sol.
<i>(np)</i>	I	Nombre de pieux (vérification seulement) [0].

Commentaires :

- Les pieux ou barrettes sont libres en pied. D'éventuels blocages partiels seront obtenus en jouant sur la nature et les caractéristiques des couches de sol proches de la pointe.
- Lorsque np vaut 0, et dans ce cas seulement, le programme effectue une recherche automatique du nombre de pieux et de leur diamètre. Dans ce cas, si la largeur B proposée par l'utilisateur ne permet de trouver le nombre de pieux satisfaisant l'ensemble des critères de justification, le programme augmente automatiquement le diamètre des pieux de 0.10 m jusqu'à obtention d'une solution si celle-ci existe. Pour les barrettes, seul le nombre de barrettes est calculé sans modification de la section des barrettes. Donc dans le cas des barrettes, le programme peut ne pas trouver de solutions satisfaisantes avec la section de barrette proposée par l'utilisateur.

- En dimensionnement automatique des pieux, le programme peut être amenée à modifier l'épaisseur du raidisseur pour adaptation aux pieux.
- Pour une vérification avec des fondations profondes, l'utilisateur doit vérifier que les effets de groupes ne s'appliquent pas, aucun abattement spécifique n'étant appliqué par le programme. Le programme contrôle simplement si la règle d'espacement du fascicule 62 titre V entre pieux est vérifiée.

4 - Charges permanentes

4.1 - Charges permanentes de superstructures

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

Choix du profil transversal

Données en utilisation standard :

`(Profil_trans)` SW < DEFINITIF, PROVISoire >.

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.

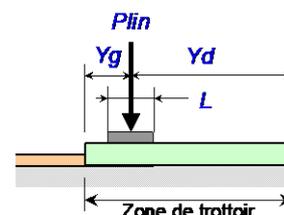


Figure 27 – Équipements des trottoirs

Données en utilisation standard :

`("Titre_e")` Ch Titre ou commentaire sur l'équipement.

`Cote` SW < GAUCHE, DROITE >.

$\langle Yg, Yd \rangle$	R	Distance entre le centre de la charge et le côté choisi de la zone.
P_{lin}	R	Poids linéique de l'équipement.
(L)	R	Largeur de l'équipement [0.00].

Données complémentaires en utilisation extra-réglementaire :

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

4.2 - 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.

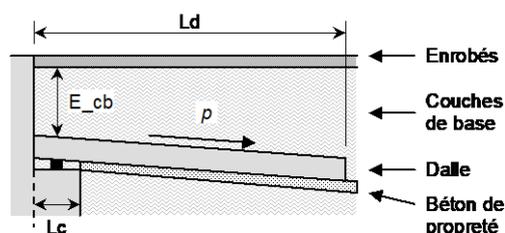


Figure 28 – Dalle de transition

Données en utilisation standard :

Dalles	SW	$\langle \text{TOUTES}, \text{GAUCHE}, \text{DROITE}, \text{AUCUNE} \rangle$ Si l'option choisie est AUCUNE, la commande n'est pas exécutée.
L_d	R	Longueur (mesurée // aux bords libres) de la dalle de transition.
D_g, D_d	R	Débord de chaque côté de la chaussée du profil définitif [0.00] : La dalle aura une largeur : $L_c = \text{largeur de la chaussée} + D_g + D_d$.
(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].
L_c	R	Largeur droite du corbeau (normale au piedroit) , uniquement pour PIPO, PICF

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

4.3 - 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.

5 - Actions variables hors trafic

5.1 - 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.

5.2 - Tassements d'appui

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

NB: Souvent, on ne prend pas en compte les tassements d'appuis dans les portiques de la même façon que dans les ponts dalles car l'ensemble de l'ouvrage a tendance à basculer dans son ensemble (mouvement de corps rigide), voire on les néglige comme c'est le cas pour les cadres.

6 - Charges d'exploitation

6.1 - 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 identiques régulièrement espacées.

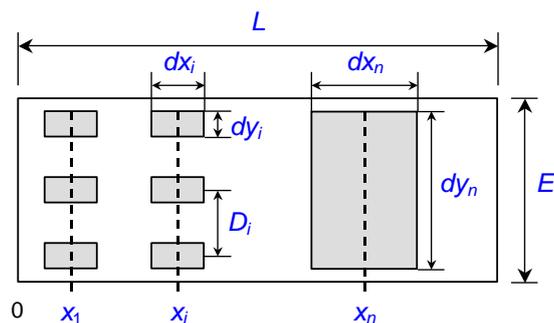


Figure 29 – Véhicule généralisé

Données en utilisation avancée :

<i>nvg</i>	LAB	Numéro produit par l'interface et affecté au véhicule généralisé lors de sa création.
<i>(Titre)</i>	Ch	Titre du véhicule généralisé.
<i>E</i>	R	Largeur d'encombrement du véhicule.
<i>L</i>	R	Longueur d'encombrement du véhicule.
<i>Xi</i>	R (n)	Positions des essieux par rapport à l'avant du véhicule.
<i>Pi, ...</i>	R (n)	<u>Poids de chaque essieu (kN).</u>
<i>dx_i, dy_i</i>	R (n)	Impacts longitudinaux et transversaux des roues de chaque essieu.
<i>(dyn)</i>	R (n)	Coefficient de majoration dynamique [1.00].
<i>(N)</i>	R (n)	Nombre de roues de l'essieu, par défaut [1].
<i>(D)</i>	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 $\delta = 1 + 0,7 / (1 + 0,2 L_{travée})$. 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.

6.2 - 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 30 – Bandes neutralisées

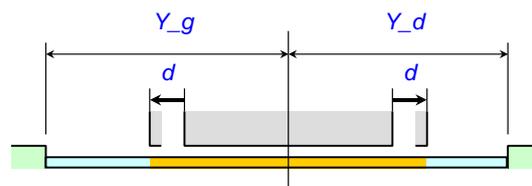


Figure 31 – Axe de roulement et débattement

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 32 – 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].

6.3 - 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.
-----------------------	---	--

`psremb` R Densité de charge de remblai nominale pour les charges civiles [10,0 kN/m²].

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) :

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

6.4 - 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 5 kN/m^2 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/m^2) dans la combinaison gr1a.
- La charge de foule (5 kN/m^2) sur la chaussée est obtenue avec la charge LM4. Si la charge CHARGE_UNIFORME_TROTTOIR est activée, la charge de 5 kN/m^2 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 5 kN/m^2 dans l'étude de la flexion longitudinale, d'autre part avec une charge de 5 kN/m^2 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.
-

6.5 - 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.

7 - Matériaux et critères réglementaires

7.1 - Béton suivant les Eurocodes

On distingue trois types de béton : béton de structure, béton de dalles de transition et béton de pieux. 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 [1.00].

7.2 - 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 :

(fyk)	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).
- `PERPENDICULAIRE PARALLELE` (aciers longitudinaux perpendiculaires aux lignes d'appuis et aciers transversaux parallèles aux lignes d'appuis), cette option est offerte pour les ouvrages PICF ou PIPO larges uniquement.

7.3 - Affectation des matériaux

L'affectation des matériaux est automatique.

En cas de présence de dalles de transition, un béton de dalle de transition peut être créé. A défaut, le béton de structure leur est affecté.

En cas de présence de pieux, un béton pour pieux doit avoir été créé.

7.4 - 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 :

`Partie_oa` CHM (TABLIER < `TOUT`, EXTRADOS, INTRADOS >),
(PIEDROITS < `TOUT`, TERRE, AIR >),
(SEMELLES < `TOUT`, COFFRAGES, SOL >),
(DALLES_TRANSITION), (PIEUX)

`enrobage` R Enrobage (m).

Commentaires :

- Le choix des enrobages est détaillé dans les annexes.

7.5 - 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 PIPO, PICF, PSIDA et PSIDP

`Fst` R Contrainte admissible de l'acier en traction à l'ELS caractéristique
[300.00]

`Kcc` R Coefficient appliqué à f_{ck} et donnant la contrainte admissible en compression à l'ELS caractéristique [0.60]

7.6 - Critères normatifs de contrainte du béton ELS

Données en utilisation extra réglementaire :

Pour tous les ouvrages PIPO, PICF, PSIDA et PSIDP

Le 1^{er} 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.

k_{cc_cara} ^R Coefficient appliqué à f_{ck} et donnant la contrainte admissible en compression à l'ELS caractéristique [0.60]

7.7 - 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 :

<i>Partie_oa</i>	CHM	(TABLIER < <u>TOUT</u> , EXTRADOS, INTRADOS >), (PIEDROITS < <u>TOUT</u> , TERRE, AIR >), (SEMELLES < <u>TOUT</u> , COFFRAGES, SOL >), (DALLES_TRANSITION), (PIEUX)
<i>wk</i>	R	Ouverture de fissure maximale aux ELS fréquents (mm) (en pratique 0,3 mm BA ou 0,2 mm BP).

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 PIPO », 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.

8 - Description de l'exemple d'application d'un ouvrage de type PIPO

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 PIPO sont utilisés.

8.1 - Le PIPO sur semelles fixes avec remblai

- comprend un profil provisoire et un profil définitif
- a un remblai sur la traverse
- ne dispose pas de dalle de transition
- est fondé sur semelles dont les dimensions sont fixes

8.2 - Le PIPO sur semelles adaptables sans remblai

- comprend un seul profil définitif
- n'a pas de remblai sur la traverse
- comprend des dalles de transition des deux côtés
- est fondé sur semelles dont les dimensions sont à optimiser

8.3 - Le PIPO sur pieux avec remblai

- comprend un profil provisoire et un profil définitif
- a un remblai sur la traverse
- ne dispose pas de dalle de transition
- est fondé sur pieux

8.4 - Description des jeux de données

8.4.1 - Géométrie et remblais

Deux profils en travers sont définis sur les ouvrages *avec remblai* (ouvrage à semelles fixes et ouvrage sur pieux) :

- Un profil définitif, comportant une chaussée de 11,00 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 0 cm. L'épaisseur de 8 cm correspond à l'épaisseur équivalente de l'ensemble étanchéité + épaisseur minimale d'enrobé.

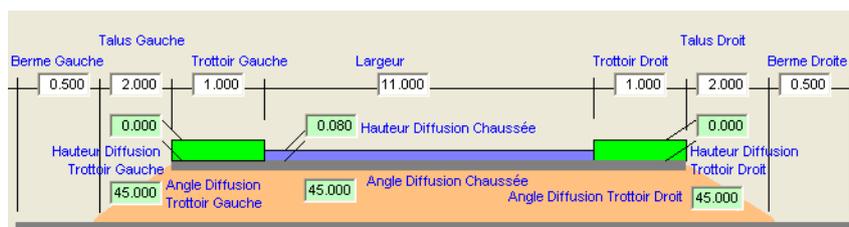


Figure 33 – Profil définitif des ouvrages avec remblai (avec semelles fixes ou sur pieux)

- Un profil provisoire comprend une chaussée de 9,00 m et deux trottoirs de 2,00 m. Les épaisseurs de diffusion de la chaussée et des trottoirs sont de 20 cm et de 0 cm.

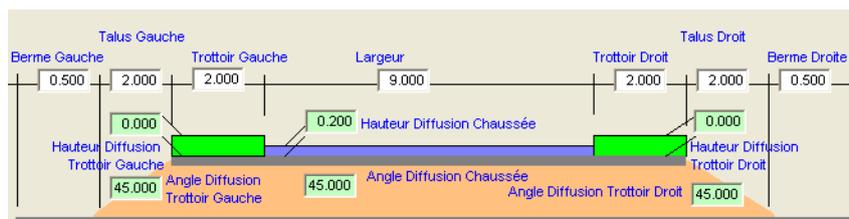


Figure 34 – Profil provisoire des ouvrages avec remblai (avec semelles fixes ou sur pieux)

L'ouvrage supporte un remblai caractérisé par des talus gauche et droit de 2,00 m et des bermes (parties de l'ouvrage ne supportant pas de remblai) de 0,50 m de part et d'autre du talus.

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 du portique. 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.

L'ouvrage avec semelles adaptables comprend un seul profil en travers sans remblai :

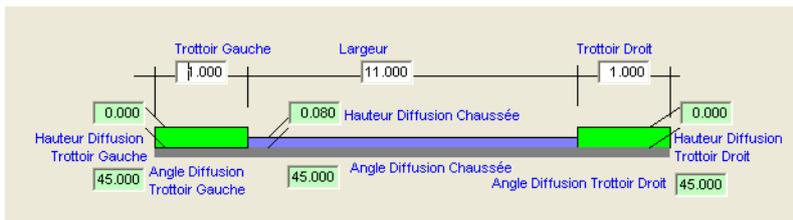


Figure 35 – Profil définitif de l'ouvrage avec semelles adaptables (sans remblai)

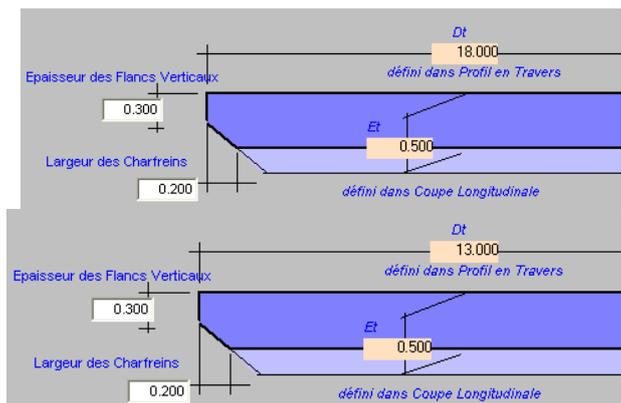
Ces caractéristiques sont à définir dans plusieurs séries de données (coupe longitudinale, semelles, pieux ou barrettes, piédroits et remblai intérieur).

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 70 grades.

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

La dalle est une dalle chanfreinée (la définition par dalles rectangulaires est décrite dans les ouvrages PICF). La coupe transversale des ouvrages avec remblai (ouvrages sur semelles fixes ou sur pieux) ne diffère de celle de l'ouvrage sans remblai (ouvrage sur semelles adaptables) que par leur largeur droite D_t .

Les extrémités de la dalle sont décrites sur le schéma ci-dessous.



Ouvrages avec remblai (avec semelles fixes ou sur pieux)

Ouvrage sans remblai (avec semelles adaptables)

Figure 36 – Coupe transversale droite de l'ouvrage

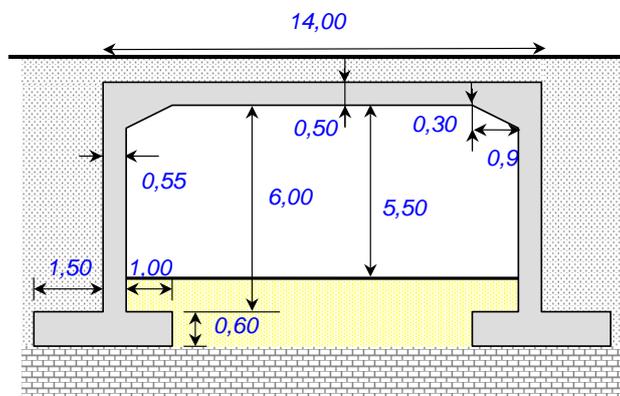


Figure 37 – Coupe longitudinale biaise des ouvrages sur semelles

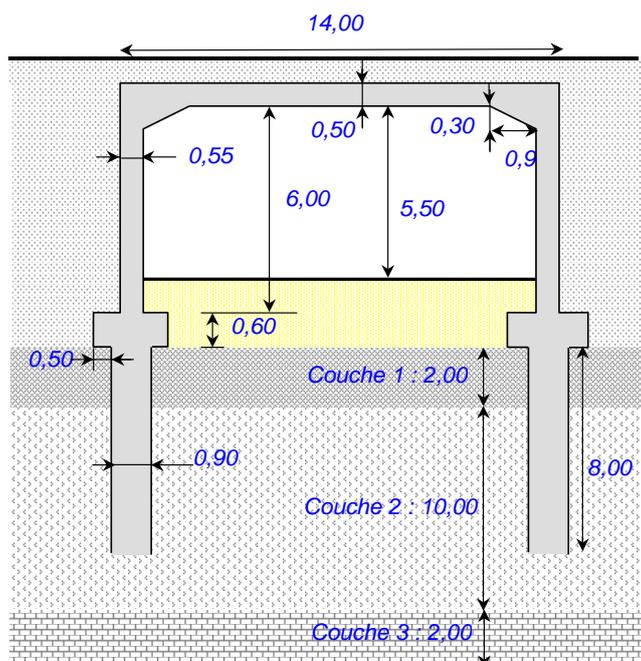


Figure 38 – Coupe longitudinale biaisée de l'ouvrage sur pieux

Remarque 1 : Pour la traverse, les piédroits l'option d'ajustement des épaisseurs a été prise, ce qui permet à Chamoa d'augmenter leurs épaisseurs si cela s'avère nécessaire.

Remarque 2 : L'optimisation des dimensions des semelles (largeurs des talons et patins et épaisseurs) est prévue pour l'ouvrage avec semelles adaptables seulement.

Remarque 3 : L'optimisation des dimensions des pieux a été choisie. Le nombre de pieux n'est pas spécifié par l'utilisateur. L'optimisation portera sur le nombre de pieux, puis sur leur diamètre. Dalles de transition. La hauteur des pieux n'est pas définie dans cet exemple. Elle sera prise égale à la somme des épaisseurs des couches de terrain.

8.4.2 - Dalles de transition

L'ouvrage sans remblai (ouvrage avec semelles adaptables) ne comporte pas de dalles de transition.

Les ouvrages avec remblai (ouvrages avec semelles fixes et sur pieux) comportent des dalles de transition de caractéristiques suivantes :

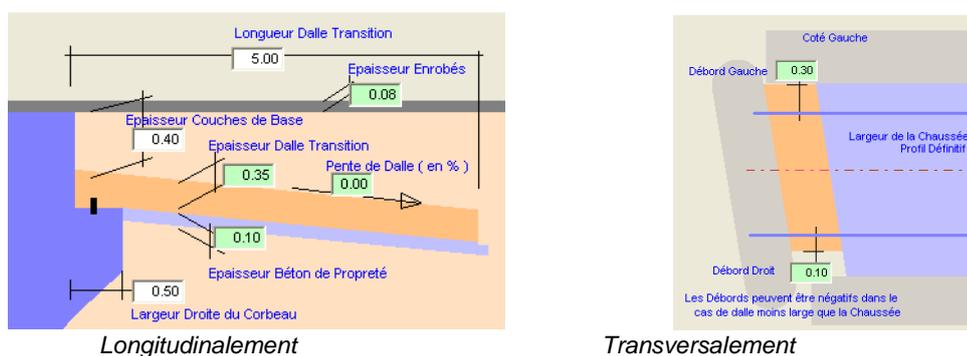


Figure 39 – Caractéristiques des dalles de transition

Il est à noter que la géométrie de la dalle de transition est définie par rapport à la largeur de la chaussée du profil définitif. La dalle peut déborder ou être en retrait par rapport à cette largeur de chaussée. Les dalles de transitions sont calculées par Chamoa. Les valeurs par défaut des poids volumiques sont utilisées.

8.4.3 - Sols porteurs et remblais

La définition de l'ouvrage est complétée par les descriptions des sols porteurs, remblais adjacents et remblais supportés.

Le *remblai situé au dessus des semelles ou des raidisseurs de pieux* est classique. Les valeurs par défaut sont conservées (poids volumique de 20 kN/m³ et coefficients de valeurs caractéristiques minimale et maximale égaux à 1,00). Le poids propre de ce remblai est donc pris en compte avec sa valeur probable. La poussée due à ce remblai intérieur est négligé, puisqu'on adopte la valeur par défaut du coefficient de poussée de Rankine K_v égale à 0.

Les *remblais techniques* exerçant les poussées sont caractérisés leur poids volumique (20 kN/m³), les coefficients de valeurs caractéristiques minimale et maximale (1,00) et des valeurs minimale et maximale du coefficient de Rankine (0,25 et 0,50). Ces valeurs sont les valeurs par défaut. L'option de symétrie permet d'adopter les mêmes caractéristiques à gauche et à droite.

Pour l'ouvrage *avec remblai*, le *remblai sur la traverse* est défini par 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 à 30°. Le paramètre de Marston R est pris égal à 0,7, valeur usuelle (et par défaut) pour un ouvrage rigide. Ce paramètre ne doit pas être confondu avec le coefficient de Marston calculé par le programme. L'annexe « Effet Marston », fournit les détails sur ce calcul. L'épaisseur du remblai sous chaussée est définie à 0,80 m.

Les *caractéristiques du sol de fondation des semelles* permettent de justifier les états limites du sol de fondation sont les suivants :

- Paramètres de portance
 - Contrainte de rupture du sol sous charge verticale centrée q'_u prise égale à 1 MPa pour l'ouvrage *avec semelles fixes* et à 0,80 MPa pour l'ouvrage *avec semelles adaptables*.
 - Contrainte verticale effective q'_0 (MPa).
 - Type de sol : sol frottant
 - Parmi les trois méthodes possibles permettant de caractériser la raideur du sol de fondation, nous avons opté pour le module d'Young, pris égal à 150 MPa.
- Paramètres de glissement (pris à leurs valeurs par défaut)
 - Angle de frottement du sol de fondation $\varphi = 30^\circ$
 - Cohésion du sol de fondation $c' = 0$ MPa
- Autres paramètres
 - Rapport du module sous chargement instantané et chargement soutenu : 2

Les *caractéristiques du sol de fondation des pieux* permettent de définir la raideur des couches de terrain :

- Paramètres de raideur transversale des pieux
 - Epaisseur des couches : 3 couches de 2,00 – 10,00 et 2,00 m
 - Module pressiométrique pour chaque couche : $E_{M=20} - 100 - 10000$ (MPa)
 - Paramètre rhéologique : $\alpha = 1/3 - 1/2 - 1/2$

8.4.4 - Superstructures

Les superstructures ne comprennent que des charges d'enrobé et d'étanchéité décrites par leurs épaisseurs (0,08 et 0,03 m pour les ouvrages *sans remblai* et de 0,20 et 0,00 m pour les ouvrages *avec remblai*), 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. Le poids d'éventuelles glissières de sécurité est ici négligé.

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

8.4.5 - 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. Pour les cadres et portiques, ces effets thermiques sont appliqués à la traverse supérieure uniquement.

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.

$$\begin{aligned} T_{e,min} &= T_{min} + 8 = (-15) + 8 = -7^{\circ}\text{C} \\ T_{e,max} &= T_{max} + 1 = 40 + 1 = 41^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

puis :

$$\begin{aligned} \Delta T_{N,exp} &= T_{e,max} - T_0 = 41 - 10 = 31^{\circ}\text{C} \\ \Delta T_{N,con} &= T_0 - T_{e,min} = 10 - (-7) = 17^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Remarque : L'Eurocode ne prévoit pas d'atténuer ces valeurs pour tenir compte d'un revêtement ou d'un remblai situé sur l'ouvrage. Ces valeurs sont donc retenues pour les deux ouvrages, avec ou sans remblai. Il convient à l'utilisateur de les modifier si nécessaire.

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 :

$$\begin{aligned} \Delta T_{M,heat,0} &= 12^{\circ} \\ \Delta T_{M,cool,0} &= -6^{\circ} \end{aligned}$$

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

- Pour les ouvrages *avec remblai*, comprenant un remblai de 0,80 m, nous prenons compte les valeurs pour 750 mm de ballast, conduisant à des coefficients de 1,0 et 0,70. On a donc :

$$\Delta T_{M,heat} = 0,7 \times 12^{\circ} = 8,4^{\circ}$$

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

- Pour l'ouvrage *sans remblai*, comprenant un complexe étanchéité-enrobé de 0,08 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 :

$$\begin{aligned} \Delta T_{M,heat} &= 1,0 \times 12^{\circ} = 12^{\circ} \\ \Delta T_{M,cool} &= 1,0 \times (-6^{\circ}) = -6^{\circ} \end{aligned}$$

8.4.6 - 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 m³) pour l'ouvrage de base seulement
- des charges de trafic de l'Eurocode
- des charges militaires
- 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 (ouvrages sur semelles)

Ce profil de chargement 100 est construit à partir du profil provisoire sans modification (les différentes bandes neutralisées ont des largeurs nulles).

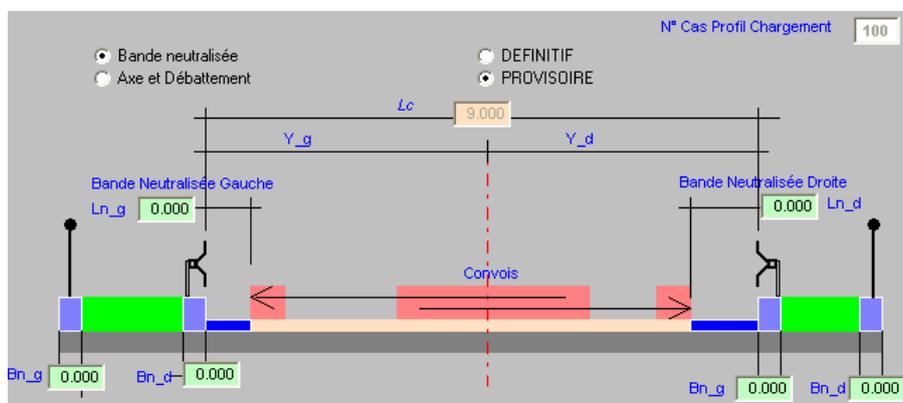


Figure 40 – Profil de chargement 100 associé au profil provisoire

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 (les différentes bandes neutralisées ont des largeurs nulles).

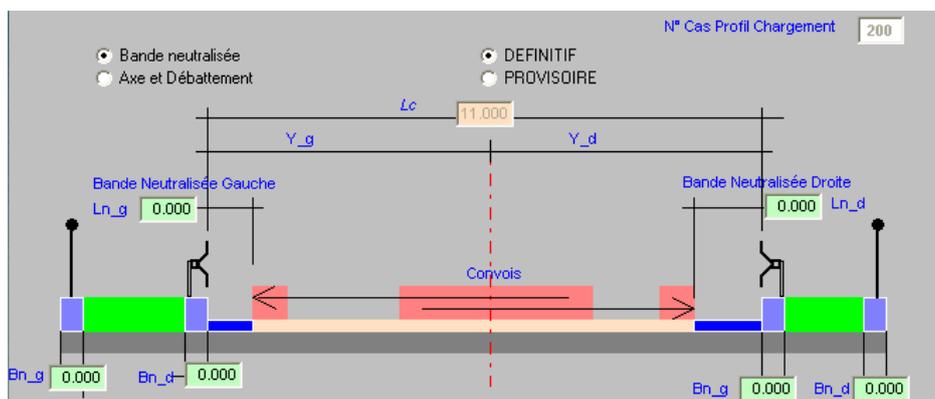


Figure 41 – Profil de chargement 200 associé au profil définitif

Ce profil de chargement reçoit des charges de service suivantes :

- Charges LM1 et LM2 de l'Eurocode et charges M_{C80} et M_{C120} du fascicule 61, titre II du CCTG.
 - o Les charges militaires circulent seules sur le profil de chargement dans les conditions décrites par le fascicule 61, titre II, notamment par la prise en compte du coefficient de majoration dynamique défini par ce fascicule.
- Charges uniforme de trottoirs de 3 KN/m² et de l'essieu TS accidentel sur chacun des deux trottoirs

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.

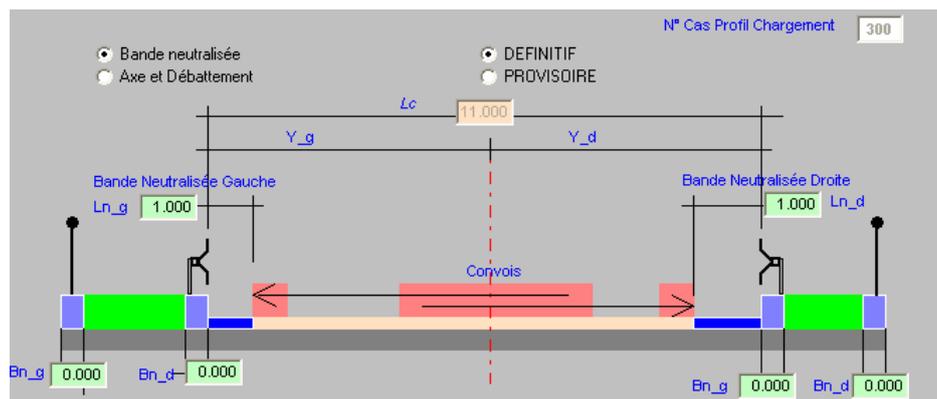


Figure 42 – Profil de chargement 300 associé au profil définitif

Ce profil de chargement reçoit les charges de service suivantes :

- Charges de LM3 généralisée correspondant au convoi C2 (convoi de 120 tonnes).
 - o Les options choisies pour ce calcul sont un passage du convoi *mêlé à la circulation normale* et à *vitesse lente* (ce qui se traduira par la non prise en compte d'un coefficient de majoration dynamique). La voie occupée par le convoi (LM3) et les voies secondaires adjacentes sont occupées par des charges UDL et TS de LM1 dans les conditions précisées par l'Eurocode.
- 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.

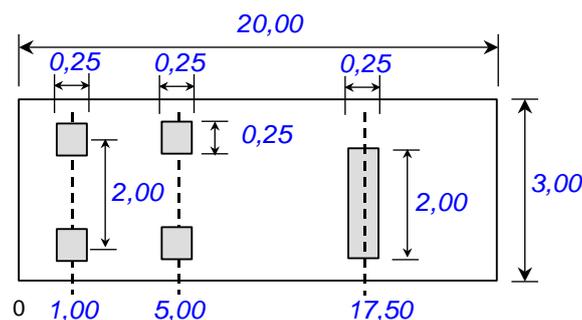


Figure 43 – Géométrie du véhicule spécial

8.4.7 - Matériaux

Béton

Le béton de structure est caractérisé par les caractéristiques suivantes :

- sa résistance caractéristique : $f_{ck} = 35 \text{ MPa}$

- humidité relative de l'environnement ambiant : 70 %

et, par défaut :

- loi de comportement à l'ELU : loi parabole rectangle

- poids volumique du béton 25 KN/m³

- coefficients de valeur caractéristique minimale 1,00
et maximale sur le poids propre 1,00

Dans le cas de la solution variante, le béton des dalles de transition est défini par sa résistance caractéristique $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$.

Si rien n'est précisé, le béton des dalles de transition est identique béton de structure.

Le béton de pieux est caractérisé par sa résistance caractéristique $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$.

Acier passif

Les valeurs par défaut sont prises en compte :

- limite d'élasticité garantie : $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$

- loi de comportement loi bilinéaire

Enrobage

Les valeurs suivantes sont utilisées :

Traverse supérieure		Piédroits		Semelles	
extrados	intrados	côté terre	côté air	extrados	Intrados
3 cm	3 cm	3 cm	3 cm	3 cm	3 cm
Dalles de transition		Pieux			
inférieur	inférieur	supérieur			
3 cm	3 cm	7 cm			

Ouverture de fissures

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

9 - 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.

9.1 - Le PIPO sur semelles fixes avec remblai

```

BLOC PROGRAMME PIPO
VERSION_IHM " "
CALCUL "0100" SUFFIXE "0"
DATE "20/11/08" HEURE "10:19:19"
FIN

BLOC COMMANDITAIRE
SOCIETE "XXX"
RESPONSABLE "YYY"
FIN

BLOC SETRA
RESPONSABLE "Non connu."
FIN

BLOC OUVRAGE "PIPO sans DDT Verif. Ep. Semelle fixe"
VOIE_PORTEE "Non connue."
VOIE_FRANCHIE "Non connue."
MAITRE_OEUVRE "Non connue."
MAITRE_OUVRAGE "Non connue."
FIN

BLOC PROFIL_TRANSVERSAL DEFINITIF "Profil en Travers Définitif"
BERME GAUCHE LARGEUR 0.500
TALUS GAUCHE LARGEUR 2.000
TROTTOIR GAUCHE LARGEUR 1.000
CHAUSSEE LARGEUR 11.000 HAUTEUR_DIFF 0.080
TROTTOIR DROIT LARGEUR 1.000
TALUS DROIT LARGEUR 2.000
BERME DROIT LARGEUR 0.500
FIN

BLOC PROFIL_TRANSVERSAL PROVISOIRE "Profil en Travers Provisoire"
BERME GAUCHE LARGEUR 0.500
TALUS GAUCHE LARGEUR 2.000
TROTTOIR GAUCHE LARGEUR 2.000
CHAUSSEE LARGEUR 9.000 HAUTEUR_DIFF 0.200
TROTTOIR DROIT LARGEUR 2.000
TALUS DROIT LARGEUR 2.000
BERME DROIT LARGEUR 0.500
FIN

BLOC COUPE_LONGITUDINALE
PORTEE 14.000
H_DALLE 0.500 FIXE
GOUSSETS VERTICAUX LARGEUR 0.900 HAUTEUR 0.300
FIN

BLOC COUPE_TRANSVERSALE
OPTION CHANFREINS SYMETRIQUES
ENCORBELLEMENTS H ENCASTREMENT 0.300
BANDEAUX LARGEUR 0.200
FIN

BLOC PIEDROITS
HAUTEUR 6.000 EPAISSEUR 0.550 FIXE
FIN

BLOC GEOMETRIE_EN_PLAN
BIAS 70.000
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 PROFIL_CHARGEMENT 100
PROFIL_TRANSVERSAL PROVISOIRE
CHAUSSEE BANDE_NEUTRALISEE TOUTES 0
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 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 LM2 MC_80 MC_120
TROTTOIR TOUS
CHARGE_UNIFORME_TROTTOIR TS_ACCIDENTEL_TROTTOIR
FIN

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

BLOC SEMELLES
PATIN 1.000 FIXE TALON 1.500 FIXE EPAISSEUR 0.600 FIXE
FIN

BLOC SOL_SEMELLE
QU 1.00 Q0 0.04
ESOL 150.00
PHI 30.00
FIN

BLOC REMBLAI_INTERIEUR
HAUTEUR_LIBRE 5.500 KP 0.000 POIDS_VOL 22.000 K_MIN 1.000 K_MAX 1.000
FIN

BLOC REMBLAI_TECHNIQUE
KA_MIN 0.25 KA_MAX 0.50 POIDS_VOL 20.00 K_MIN 1.00 K_MAX 1.00
FIN

BLOC SUPERSTRUCTURES_PROVISOIRE
ETANCHEITE EPAISSEUR 0.000
ENROBES EPAISSEUR 0.200
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_DEFINITIF
ETANCHEITE EPAISSEUR 0.030
ENROBES EPAISSEUR 0.080
TROTTOIR GAUCHE EPAISSEUR 0.250 POIDS_VOL 24.000 K_MIN 1.000 K_MAX 1.000
TROTTOIR DROIT EPAISSEUR 0.250 POIDS_VOL 24.000 K_MIN 1.000 K_MAX 1.000
FIN

BLOC REMBLAI_TABLIER_PROVISOIRE
HAUTEUR_1.000 MARSTON 0.7
FIN

BLOC REMBLAI_TABLIER_DEFINITIF
HAUTEUR_1.000 MARSTON 0.7
FIN

BLOC EFFET_THERMIQUE "Effet thermique en phase Définitive"
UNIFORME_RAPIDE MAX 30.00 MIN -20.00
GRADIENT_POSITIF 8.40 NEGATIF -6.00
FIN

BLOC BETON_STRUCTURE ""
FCK 35.00 CIMENT N SANS_SILICE RH 80
FIN

BLOC ACIER_PASSIF
LIMITE_ELASTIQUE 500.00
FIN

BLOC ENROBAGES_BA
TABLIER_EXTRADOS 0.03
TABLIER_INTRADOS 0.03
SEMELLES_TOUT 0.03
PIEDROITS_TOUT 0.03
FIN

BLOC OUVERTURES_FISSURES
TABLIER_TOUT 0.30
SEMELLES_TOUT 0.30
PIEDROITS_TOUT 0.30
FIN

```

9.2 - PIPO sur semelles adaptables sans remblai

```

BLOC PROGRAMME PIPO
VERSION_IHM "Version V2_23"
CALCUL "0101" SUFFIXE "0"
DATE "20/11/08" HEURE "19:13:03"
FIN

BLOC COMMANDITAIRE
SOCIETE "XXX"
RESPONSABLE "YYY"
FIN

BLOC SETRA
RESPONSABLE "Non connu."
FIN

BLOC OUVRAGE "PIPO avec DDT Dim. Ep. Semelle "
VOIE_PORTEE "Non connue."
VOIE_FRANCHIE "Non connue."
MAITRE_OEUVRE "Non connue."
MAITRE_OUVRAGE "Non connue."
FIN

BLOC PROFIL_TRANSVERSAL_DEFINITIF "Profil en Travers Définitif"
TROTTOIR GAUCHE LARGEUR 1.000
CHAUSSEE LARGEUR 11.000 HAUTEUR_DIFF 0.080
TROTTOIR DROIT LARGEUR 1.000
FIN

BLOC COUPE_LONGITUDINALE
PORTEE 14.000
H_DALLE 0.500
GOUSSETS VERTICAUX LARGEUR 0.900 HAUTEUR 0.300
FIN

BLOC COUPE_TRANSVERSALE
OPTION_CHANFREINS_SYMETRIQUES
ENCORBELLEMENTS_H_ENCASTREMENT 0.300
BANDEAUX_LARGEUR 0.200
FIN

BLOC PIEDROITS
HAUTEUR 6.000 EPAISSEUR 0.550
FIN

BLOC GEOMETRIE_EN_PLAN
BIAIS 70.000
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 AFFECTATION_CHARGES_PROFIL_CHARGEMENT 200 REGLEMENT_EUROCODES
CHAUSSEE CLASSE 2
LM1 LM2 MC_80 MC_120
TROTTOIR TOUS
CHARGE_UNIFORME_TROTTOIR TS_ACCIDENTEL_TROTTOIR
FIN

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

BLOC SEMELLES
PATIN 1.000 TALON 1.500 EPAISSEUR 0.600
FIN

BLOC SOL_SEMELLE
QU 0.80 Q0 0.04
ESOL 150.00
PHI 30.00
FIN

BLOC REMBLAI_INTERIEUR
HAUTEUR_LIBRE 5.500 KP 0.000 POIDS_VOL 22.000 K_MIN 1.000 K_MAX 1.000
FIN

BLOC REMBLAI_TECHNIQUE
KA_MIN 0.25 KA_MAX 0.50 POIDS_VOL 20.00 K_MIN 1.00 K_MAX 1.00
FIN

BLOC SUPERSTRUCTURES_DEFINITIF
ETANCHEITE EPAISSEUR 0.030
ENROBES EPAISSEUR 0.080
TROTTOIR GAUCHE EPAISSEUR 0.250 POIDS_VOL 24.000 K_MIN 1.000 K_MAX 1.000

```

```
TROTTOIR      DROIT  EPAISSEUR 0.250  POIDS_VOL  24.000  K_MIN  1.000  K_MAX  1.000
FIN

BLOC REBLAI_TABLIER DEFINITIF
HAUTEUR 0.000
FIN

BLOC DALLES_TRANSITION TOUTES
LONGUEUR 5.00  DEBORD GAUCHE 0.30  DEBORD DROIT 0.10
CORBEAU LARGEUR 0.50
COUCHE_BASE  EPAISSEUR 0.40
DALLE_TRANSITION EPAISSEUR 0.35
FIN

BLOC EFFET_THERMIQUE "Effet thermique en phase Définitive"
UNIFORME_RAPIDE MAX 30.00 MIN -20.00
GRADIENT POSITIF 8.40 NEGATIF -6.00
FIN

BLOC BETON_STRUCTURE ""
FCR 35.00 CIMENT N SANS_SILICE RH 80
FIN

BLOC BETON_DALLES_TRANS ""
FCR 25.00
FIN

BLOC ACIER_PASSIF
LIMITE_ELASTIQUE 500.00
FIN

BLOC ENROBAGES_BA
TABLIER EXTRADOS 0.03
TABLIER INTRADOS 0.03
SEMELLES TOUT 0.03
PIEDROITS TOUT 0.03
DALLES_TRANSITION 0.03
FIN

BLOC OUVERTURES_FISSURES
TABLIER TOUT 0.30
SEMELLES TOUT 0.30
PIEDROITS TOUT 0.30
DALLES_TRANSITION 0.30
FIN
```

9.3 - PIPO sur pieux avec remblai

```

BLOC PROGRAMME PIPO
VERSION_IHM "Version V2_23"
CALCUL "0102" SUFFIXE "0"
DATE "20/11/08" HEURE "10:19:51"
FIN

BLOC COMMANDITAIRE
SOCIETE "XXX"
RESPONSABLE "YYY"
FIN

BLOC SETRA
RESPONSABLE "Non connu."
FIN

BLOC OUVRAGE "PIPO sans DDT Dim. Ep. Pieux "
VOIE_PORTEE "Non connue."
VOIE_FRANCHIE "Non connue."
MAITRE_OEUVRE "Non connue."
MAITRE_OUVRAGE "Non connue."
FIN

BLOC PROFIL_TRANSVERSAL DEFINITIF "Profil en Travers Définitif"
BERME GAUCHE LARGEUR 0.500
TALUS GAUCHE LARGEUR 2.000
TROTTOIR GAUCHE LARGEUR 1.000
CHAUSSEE LARGEUR 11.000 HAUTEUR_DIFF 0.080
TROTTOIR DROIT LARGEUR 1.000
TALUS DROIT LARGEUR 2.000
BERME DROIT LARGEUR 0.500
FIN

BLOC PROFIL_TRANSVERSAL PROVISOIRE "Profil en Travers Provisoire"
BERME GAUCHE LARGEUR 0.500
TALUS GAUCHE LARGEUR 2.000
TROTTOIR GAUCHE LARGEUR 2.000
CHAUSSEE LARGEUR 9.000 HAUTEUR_DIFF 0.200
TROTTOIR DROIT LARGEUR 2.000
TALUS DROIT LARGEUR 2.000
BERME DROIT LARGEUR 0.500
FIN

BLOC COUPE_LONGITUDINALE
PORTEE 14.000
H_DALLE 0.500
GOUSSETS VERTICAUX LARGEUR 0.900 HAUTEUR 0.300
FIN

BLOC COUPE_TRANSVERSALE
OPTION_CHANFREINS SYMETRIQUES
ENCORBELLEMENTS_H_ENCASTREMENT 0.300
BANDEAUX LARGEUR 0.200
FIN

BLOC PIEDROITS
HAUTEUR 6.000 EPAISSEUR 0.550
FIN

BLOC GEOMETRIE_EN_PLAN
BIAS 70.000
FIN

BLOC PIEUX "Cas sur Pieux/Barettes"
SEMELLE EPAISSEUR 0.600 DEBORD 0.500
PIEUX DIAMETRE 0.900 HAUTEUR 8.000 NOMBRE 0
FIN

BLOC SOL_PIEUX "Définition Sol Pieux"
COUCHE 1 HAUTEUR 2.00 EM 20.00 ALPHA 0.33
COUCHE 2 HAUTEUR 10.00 EM 100.00 ALPHA 0.50
COUCHE 3 HAUTEUR 2.00 EM 10000.00 ALPHA 0.50
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 PROFIL_CHARGEMENT 100
PROFIL_TRANSVERSAL PROVISOIRE
CHAUSSEE BANDE_NEUTRALISEE TOUTES 0
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 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 LM2 MC_80 MC_120
TROTTOIR TOUS
CHARGE_UNIFORME_TROTTOIR TS_ACCIDENTEL_TROTTOIR
FIN

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

BLOC REMLAI_INTERIEUR
HAUTEUR_LIBRE 5.500 KP 0.000 POIDS_VOL 22.000 K_MIN 1.000 K_MAX 1.000
FIN

BLOC REMLAI_TECHNIQUE
KA_MIN 0.25 KA_MAX 0.50 POIDS_VOL 20.00 K_MIN 1.00 K_MAX 1.00
FIN

BLOC SUPERSTRUCTURES PROVISOIRE
ETANCHEITE EPAISSEUR 0.000
ENROBES EPAISSEUR 0.200
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 DEFINITIF
ETANCHEITE EPAISSEUR 0.030
ENROBES EPAISSEUR 0.090
TROTTOIR GAUCHE EPAISSEUR 0.250 POIDS_VOL 24.000 K_MIN 1.000 K_MAX 1.000
TROTTOIR DROIT EPAISSEUR 0.250 POIDS_VOL 24.000 K_MIN 1.000 K_MAX 1.000
FIN

BLOC REMLAI_TABLIER PROVISOIRE
HAUTEUR 1.000 MARSTON 0.7
FIN

BLOC REMLAI_TABLIER DEFINITIF
HAUTEUR 1.000 MARSTON 0.7
FIN

BLOC EFFET_THERMIQUE "Effet thermique en phase Définitive"
UNIFORME_RAPIDE MAX 30.00 MIN -20.00
GRADIENT_POSITIF 8.40 NEGATIF -6.00
FIN

BLOC BETON_STRUCTURE ""
FCK 35.00 CIMENT N SANS_SILICE RH 80
FIN

BLOC BETON_PIEUX "Béton pour les Pieux"
FCK 20.00
FIN

BLOC ACIER_PASSIF
LIMITE_ELASTIQUE 500.00
FIN

BLOC ENROBAGES_BA
TABLIER_EXTRADOS 0.03
TABLIER_INTRADOS 0.03
SEMELLES_TOUT 0.03
PIEDROITS_TOUT 0.03
PIEUX 0.07
FIN

BLOC OUVERTURES_FISSURES
TABLIER_TOUT 0.30
SEMELLES_TOUT 0.30
PIEDROITS_TOUT 0.30
PIEUX 0.30
FIN
    
```

10 - 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.

11 - 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.

11.1 - 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.

11.1.1 - Le PIPO sur semelles fixes avec remblai

PROGRAMME PIPO

```
Version IHM : Version V2_23
Calcul      : 0100
Suffixe    : 0
Date       : 20/11/08
Heure     : 10:19:19
```

COMMANDITAIRE :

```
Societe    : XXX
Responsable : YYY
```

SETRA :

Responsable : Non connu.

OUVRAGE : PIPO sans DDT Verif. Ep. Semelle fixe

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

COUPE LONGITUDINALE :

Portee : 14.000
 Epaisseur de la dalle : 0.500 NON AUGMENTABLE
 Longueur des goussets : 0.900
 Hauteur des goussets : 0.300 face laterale verticale

PROFIL TRANSVERSAL PROVISOIRE : Profil en Travers Provisoire

Berne gauche : 0.500
 Talus gauche : 2.000
 Trottoir gauche : 2.000 H Diff : 0.000 Beta : 45.000
 Chaussee : 9.000 H Diff : 0.200 Beta : 45.000
 Trottoir droit : 2.000 H Diff : 0.000 Beta : 45.000
 Talus droit : 2.000
 Berne droite : 0.500

PROFIL TRANSVERSAL DEFINITIF : Profil en Travers Définitif

Berne gauche : 0.500
 Talus gauche : 2.000
 Trottoir gauche : 1.000 H Diff : 0.000 Beta : 45.000
 Chaussee : 11.000 H Diff : 0.080 Beta : 45.000
 Trottoir droit : 1.000 H Diff : 0.000 Beta : 45.000
 Talus droit : 2.000
 Berne droite : 0.500

LARGEUR DU TABLIER : 18.000

COUPE TRANSVERSALE AVEC CHANFREINS SYMETRIQUES

Hauteur au bord : 0.300
 Largeur de la joue : 0.200

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

Aire : 8.96000000
 Inertie : 0.18606066
 V : 0.24918155
 W : 0.25081845
 Rendement : 0.33225475
 Perimetre a l'air : 18.76568542

GEOMETRIE EN PLAN :

Biais : 70.00

PIEDROITS :

Hauteur : 6.000
 Epaisseur : 0.550 NON AUGMENTABLE

SEMEELLES :

Patin : 1.000 INVARIABLE
 Talon : 1.500 INVARIABLE
 Epaisseur : 0.600 INVARIABLE

SOL DE FONDATION :

Contrainte de rupture : 1.000 MPa
 Sol de type : FROTTANT
 Contrainte initiale : 0.040 MPa
 Pseudo-module Esol : 150.000 MPa
 Module surfacique Kv : 28.303 MPa (calcule par le programme)
 Rapport Ki / Kv : 2.000
 Angle de frottement : 30.000 degres
 Cohesion sol-semelle : 0.000 MPa

REMBLAIS TECHIQUES :

Ka minimum : 0.250
 Ka maximum : 0.500
 Poids volumique : 20.000
 Coefficient k min : 1.000
 Coefficient k max : 1.000

REMBLAIS INTERIEURS :

Hauteur libre : 5.500
 Butee passive : 0.000
 Poids volumique : 22.000
 Coefficient k min : 1.000
 Coefficient k max : 1.000

REMBLAI SUR LE TABLIER EN PHASE PROVISOIRE :

Hauteur : 1.000
 Coeff. R de Marston : 0.700
 Angle de diffusion : 30.000
 Poids volumique : 20.000
 Coefficient k min : 0.900
 Coefficient k max : 1.100
 Coeff. K de Marston : 1.013 (calcule par le programme)

REMBLAI SUR LE TABLIER EN PHASE DEFINITIVE :

Hauteur : 1.000
 Coeff. R de Marston : 0.700
 Angle de diffusion : 30.000
 Poids volumique : 20.000
 Coefficient k min : 0.900
 Coefficient k max : 1.100
 Coeff. K de Marston : 1.013 (calcule par le programme)

SUPERSTRUCTURES PROVISOIRES :

Enrobes : E : 0.200 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

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 : 0.250 Pv : 24.00 k1 : 1.000 k2 : 1.000
 Trottoir droit : E : 0.250 Pv : 24.00 k1 : 1.000 k2 : 1.000

BETON DE STRUCTURE :

Resistance a 28 j : 35.00
 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

ENROBAGES :

Tablier : 0.030 m
 Piedroits : 0.030 m
 Semelles : 0.030 m

OUVERTURES DES FISSURES :

Tablier : 0.30 mm
 Piedroits : 0.30 mm
 Semelles : 0.30 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 les aciers BA aux ELS caracteristiques (fatigue) Mpa : 300.00

DATES DE PHASAGE :

Decoffrage : 28.0 jours
 Mise en service provisoire : 28.0 jours
 Mise en service definitif : 28.0 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 : 8.4
 Gradient negatif : -6.0

TASSEMENTS :

Appui PROBABLE ALEATOIRE

1 0.000 0.000
 2 0.000 0.000

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 :

Numero	Profil en travers	Chaussee				Trott. G		Trott. D	
		Bn G	Bn D	Axe	d	Bn G	Bn D	Bn G	Bn D
100	PROVISOIRE	0.000	0.000			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 chaussee : 2
    Chaussee       : 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 chaussee : 2
    Chaussee       : Modele de charges LM1
                   : Modele de charges LM2
                   : Charge militaire MC 80
                   : Charge militaire MC 120
    Trottoir gauche : Charge de trottoir Eurocodes (3 kN / m2)
                   : Essieu accidentel de TS sur trottoir
    Trottoir droit  : Charge de trottoir Eurocodes (3 kN / m2)
                   : Essieu accidentel de TS sur trottoir

-> Affectation : 3 Profil de chargement : 300 reglement EUROCODES
    Classe chaussee : 2
    Chaussee       : Modele de charges LM3 VS Vehicule R/EG C2 LENT
```

MODIFICATIONS EXTRA-REGLEMENTAIRES : AUCUNE

11.1.2 - Le PIPO sur semelles adaptables sans remblai

PROGRAMME PIPO

```
Version IHM : Version V2_23
Calcul      : 0101
Suffixe     : 0
Date       : 20/11/08
Heure      : 19:13:03
```

COMMANDITAIRE :

```
Societe    : XXX
Responsable : YYY
```

SETRA :

```
Responsable : Non connu.
```

OUVRAGE : PIPO avec DDT Dim. Ep. Semelle

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

COUPE LONGITUDINALE :

```
Portee           : 14.000
Epaisseur de la dalle : 0.500 AUGMENTABLE
Longueur des goussets : 0.900
Hauteur des goussets : 0.300 face laterale verticale
```

PROFIL TRANSVERSAL DEFINITIF : Profil en Travers Définitif

```
Trottoir gauche : 1.000 H Diff : 0.000 Beta : 45.000
Chaussee        : 11.000 H Diff : 0.080 Beta : 45.000
Trottoir droit  : 1.000 H Diff : 0.000 Beta : 45.000
```

LARGEUR DU TABLIER : 13.000

DALLES DE TRANSITION SYMETRIQUES :

```
Longueur        : 5.000
Debord a gauche : 0.300
Debord a droite : 0.100
Pente           : 0.000
Largeur corbeau : 0.500

Enrobes         : E : 0.080 Pv : 24.00 k1 : 0.800 k2 : 1.400
Couche de base  : E : 0.400 Pv : 22.00 k1 : 0.950 k2 : 1.050
Dalle           : E : 0.350 Pv : 25.00 k1 : 0.950 k2 : 1.050
Beton proprete  : E : 0.100 Pv : 22.00 k1 : 0.000 k2 : 1.050
```

BETON DES DALLES DE TRANSITION :

Resistance a 28 j : 25.00
Loi ELU : Loi parabole-rectangle

COUPE TRANSVERSALE AVEC CHANFREINS SYMETRIQUES

Hauteur au bord : 0.300
Largeur de la joue : 0.200

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

Aire : 6.46000000
Inertie : 0.13397501
V : 0.24886481
W : 0.25113519
Rendement : 0.33183349
Perimetre a l'air : 13.76568542

GEOMETRIE EN PLAN :

Biais : 70.00

PIEDROITS :

Hauteur : 6.000
Epaisseur : 0.550 AUGMENTABLE

SEMELLES :

Patin : 1.000 AUGMENTABLE
Talon : 1.500 AUGMENTABLE
Epaisseur : 0.600 AUGMENTABLE

SOL DE FONDATION :

Contrainte de rupture : 0.800 MPa
Sol de type : FROTTANT
Contrainte initiale : 0.040 MPa
Pseudo-module Esol : 150.000 MPa
Module surfacique Kv : 29.731 MPa (calcule par le programme)
Rapport Ki / Kv : 2.000
Angle de frottement : 30.000 degres
Cohesion sol-semelle : 0.000 MPa

REMBLAIS TECHIQUES :

Ka minimum : 0.250
Ka maximum : 0.500
Poids volumique : 20.000
Coefficient k min : 1.000
Coefficient k max : 1.000

REMBLAIS INTERIEURS :

Hauteur libre : 5.500
Butee passive : 0.000
Poids volumique : 22.000
Coefficient k min : 1.000
Coefficient k max : 1.000

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 : 0.250 Pv : 24.00 k1 : 1.000 k2 : 1.000
Trottoir droit : E : 0.250 Pv : 24.00 k1 : 1.000 k2 : 1.000

BETON DE STRUCTURE :

Resistance a 28 j : 35.00
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

ENROBAGES :

Tablier : 0.030 m
Piedroits : 0.030 m
Semelles : 0.030 m
Dalles transition : 0.030 m

OUVERTURES DES FISSURES :

Tablier : 0.30 mm
Piedroits : 0.30 mm
Semelles : 0.30 mm
Dalles transition : 0.30 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 les aciers BA aux ELS caracteristiques (fatigue) Mpa : 300.00

DATES DE PHASAGE :

Decoffrage : 28.0 jours
 Mise en service provisoire : 28.0 jours
 Mise en service definitif : 28.0 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 : 8.4
 Gradient negatif : -6.0

TASSEMENTS :

Appui PROBABLE ALEATOIRE

1	0.000	0.000
2	0.000	0.000

PROFILS DE CHARGEMENT :

Numero	Profil en travers	!----- Chaussée -----!		!-- Trottoir G --!		!-- Trottoir D --!	
		Bn G	Bn 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
 Modele de charges LM2
 Charge militaire MC 80
 Charge militaire MC 120
 Trottoir gauche : Charge de trottoir Eurocodes (3 kN / m2)
 Essieu accidentel de TS sur trottoir
 Trottoir droit : Charge de trottoir Eurocodes (3 kN / m2)
 Essieu accidentel de TS sur trottoir

-> 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

11.1.3 - Le PIPO sur pieux avec remblai

PROGRAMME PIPO

Version IHM : Version V2_23
 Calcul : 0102
 Suffixe : 0
 Date : 20/11/08
 Heure : 10:19:51

COMMANDITAIRE :

Societe : XXX
 Responsable : YYY

SETRA :

Responsable : Non connu.

OUVRAGE : PIPO sans DDT Dim. Ep. Pieux

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

COUPE LONGITUDINALE :

Portee : 14.000
 Epaisseur de la dalle : 0.500 AUGMENTABLE
 Longueur des goussets : 0.900
 Hauteur des goussets : 0.300 face laterale verticale

PROFIL TRANSVERSAL PROVISOIRE : Profil en Travers Provisoire

Berne gauche : 0.500
 Talus gauche : 2.000
 Trottoir gauche : 2.000 H Diff : 0.000 Beta : 45.000

Chaussee : 9.000 H Diff : 0.200 Beta : 45.000
 Trottoir droit : 2.000 H Diff : 0.000 Beta : 45.000
 Talus droit : 2.000
 Berme droite : 0.500

PROFIL TRANSVERSAL DEFINITIF : Profil en Travers Définitif

Berme gauche : 0.500
 Talus gauche : 2.000
 Trottoir gauche : 1.000 H Diff : 0.000 Beta : 45.000
 Chaussee : 11.000 H Diff : 0.080 Beta : 45.000
 Trottoir droit : 1.000 H Diff : 0.000 Beta : 45.000
 Talus droit : 2.000
 Berme droite : 0.500

LARGEUR DU TABLIER : 18.000

COUPE TRANSVERSALE AVEC CHANFREINS SYMETRIQUES

Hauteur au bord : 0.300
 Largeur de la joue : 0.200

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

Aire : 8.96000000
 Inertie : 0.18606066
 V : 0.24918155
 W : 0.25081845
 Rendement : 0.33225475
 Perimetre a l'air : 18.76568542

GEOMETRIE EN PLAN :

Biais : 70.00

PIEDROITS :

Hauteur : 6.000
 Epaisseur : 0.550 AUGMENTABLE

PIEUX : Cas sur Pieux/Barettes

H raidisseur : 0.600
 Debord : 0.500
 Diametre : 0.900
 Hauteur : 8.000
 Nombre : 7 (estime par le programme)

SOL DE FONDATION POUR PIEUX : Définition Sol Pieux

Couche	Hauteur	EM (MPa)	Alpha	Ki calcule (MPa)
1	2.000	20.0	0.330	138.60
2	10.000	100.0	0.500	528.12
3	2.000	10000.0	0.500	52811.94

REMBLAIS TECHIQUES :

Ka minimum : 0.250
 Ka maximum : 0.500
 Poids volumique : 20.000
 Coefficient k min : 1.000
 Coefficient k max : 1.000

REMBLAIS INTERIEURS :

Hauteur libre : 5.500
 Butee passive : 0.000
 Poids volumique : 22.000
 Coefficient k min : 1.000
 Coefficient k max : 1.000

REMBLAI SUR LE TABLIER EN PHASE PROVISOIRE :

Hauteur : 1.000
 Coeff. R de Marston : 0.700
 Angle de diffusion : 30.000
 Poids volumique : 20.000
 Coefficient k min : 0.900
 Coefficient k max : 1.100
 Coeff. K de Marston : 1.013 (calcule par le programme)

REMBLAI SUR LE TABLIER EN PHASE DEFINITIVE :

Hauteur : 1.000
 Coeff. R de Marston : 0.700
 Angle de diffusion : 30.000
 Poids volumique : 20.000
 Coefficient k min : 0.900
 Coefficient k max : 1.100
 Coeff. K de Marston : 1.013 (calcule par le programme)

SUPERSTRUCTURES PROVISOIRES :

Enrobes : E : 0.200 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

SUPERSTRUCTURES DEFINITIVES :

Chape : E : 0.030 Pv : 22.00 k1 : 0.800 k2 : 1.200
 Enrôbes : E : 0.080 Pv : 24.00 k1 : 0.800 k2 : 1.400
 Trottoir gauche : E : 0.250 Pv : 24.00 k1 : 1.000 k2 : 1.000
 Trottoir droit : E : 0.250 Pv : 24.00 k1 : 1.000 k2 : 1.000

BETON DE STRUCTURE :

Resistance a 28 j : 35.00
 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

BETON DE PIEUX : Béton pour les Pieux

Resistance a 28 j : 20.00
 Loi ELU : Loi parabole-rectangle

ACIERS PASSIFS :

Limite elastique : 500.00
 Loi ELU : Loi elastoplastique

ENROBAGES :

Tablier : 0.030 m
 Piedroits : 0.030 m
 Semelles : 0.030 m
 Pieux : 0.070 m

OUVERTURES DES FISSURES :

Tablier : 0.30 mm
 Piedroits : 0.30 mm
 Semelles : 0.30 mm
 Pieux : 0.30 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 les aciers BA aux ELS caracteristiques (fatigue) Mpa : 300.00

DATES DE PHASAGE :

Decoffrage : 28.0 jours
 Mise en service provisoire : 28.0 jours
 Mise en service definitif : 28.0 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 : 8.4
 Gradient negatif : -6.0

TASSEMENTS :

Appui PROBABLE ALEATOIRE
 1 0.000 0.000
 2 0.000 0.000

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 :

Numero	Profil en travers	Chaussee		Trott. G		Trott. D	
		Bn G	Bn D	Bn G	Bn D	Bn G	Bn D
100	PROVISOIRE	0.000	0.000	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 chaussee : 2

Chaussee : 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 chaussee : 2

Chaussee : Modele de charges LM1
Modele de charges LM2
Charge militaire MC 80
Charge militaire MC 120

Trottoir gauche : Charge de trottoir Eurocodes (3 kN / m2)
Essieu accidentel de TS sur trottoir

Trottoir droit : Charge de trottoir Eurocodes (3 kN / m2)
Essieu accidentel de TS sur trottoir

-> Affectation : 3 Profil de chargement : 300 reglement EUROCODES

Classe chaussee : 2

Chaussee : Modele de charges LM3 VS Vehicule R/EG C2 LENT

MODIFICATIONS EXTRA-REGLEMENTAIRES : AUCUNE

11.2 - Synthèse de résultats de flexion longitudinale

11.2.1 - Le PIPO sur semelles fixes avec remblai

Travée équivalente

CARACTERISTIQUES EQUIVALENTES

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

Barre	M1	M2	x1	x2	L	Le	EIe	Be	Psi
TRAVERSE	19661.	19661.	2.9358	13.3941	16.3298	10.4583	0.6340E+07	17.8618	74.4743
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]

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 12.1 - 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)

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

- [8] Largeur de la traverse
- [9] Biais mécanique

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

$$\eta = \frac{\text{longueur biaise géométrique}}{\text{longueur droite géométrique}} = \frac{2b_b}{L_{ob}} \Leftrightarrow \eta = \frac{\text{longueur droite géométrique}}{\text{longueur droite géométrique}} = \frac{2b_d}{L_{od}}$$

MATRICES DE RIGIDITE DE LA SEMELLE GAUCHE

Court terme			Long terme				
Fy	0.345030E+07	-786360.	Dy	Fy	0.169920E+07	-370130.	Dy
Mz	-786360.	0.292960E+07Rz		Mz	-370130.	0.142430E+07Rz	

MATRICES DE RIGIDITE DE LA SEMELLE DROITE

Court terme			Long terme				
Fy	0.345030E+07	786360.	Dy	Fy	0.169920E+07	370130.	Dy
Mz	786360.	0.292960E+07Rz		Mz	370130.	0.142430E+07Rz	

Ces 2 tableaux récapitulent le calcul des matrices de rigidité équivalente à court terme et à long terme simulant les semelles du PIPO, ce qui permettra de récupérer les torseurs en pied de semelle dans l'axe du piédroit pour le calcul de justifications externes des semelles.

Les coefficients de répartition transversale Guyon sont fournis dans le fichier intermédiaire (12.3 - 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 12.4 - 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

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

- Moments flechissants extremes [3]

Barre	Abscisse	Poids propre	Remblais techniques	Remblais internes	Remblai hors ouvr.	Super-structures	Dalles transition	Retrait infini	Enveloppe ch. perm.	
[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	
PIEDROIT_G	0.000	Min	-4404.0	-264.05	-8.7905	-107.70	-7779.7	0.0000	178.23	-12386.
		Max	-4404.0	-68.204	-8.7905	-35.224	-6071.1	0.0000	178.23	-10409.
PIEDROIT_G	0.655	Min	-3881.0	213.51	5.2883	103.74	-6827.3	0.0000	135.71	-10250.
		Max	-3881.0	503.81	5.2883	266.57	-5327.9	0.0000	135.71	-8297.5
...										
<i>Lignes supprimées</i>										
...										
TRAVERSE	0.000	Min	4404.0	68.204	8.7905	35.224	6071.1	0.0000	-178.23	10409.
		Max	4404.0	264.05	8.7905	107.70	7779.7	0.0000	-178.23	12386.
...										
<i>Lignes supprimées</i>										
...										
PIEDROIT_D	0.000	Min	4404.0	68.203	8.7905	35.224	6071.1	0.0000	-178.23	10409.
		Max	4404.0	264.05	8.7905	107.70	7779.7	0.0000	-178.23	12386.
...										
<i>Lignes supprimées</i>										
...										
TALON_G	1.809	Min	495.63	4170.4	0.0000	577.43	0.0000	0.0000	0.0000	5243.4
		Max	495.63	4170.4	0.0000	705.75	0.0000	0.0000	0.0000	5371.7
PATIN_G	0.000	Min	259.47	0.0000	179.70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	439.17
		Max	259.47	0.0000	179.70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	439.17
BAS_PIED_G	0.000	Min	-239.54	597.34	-6.4483	110.15	-436.23	0.0000	19.474	44.746
		Max	-239.54	1101.0	-6.4483	253.41	-340.42	0.0000	19.474	787.51
TALON_D	0.000	Min	495.63	4170.4	0.0000	577.43	0.0000	0.0000	0.0000	5243.4
		Max	495.63	4170.4	0.0000	705.75	0.0000	0.0000	0.0000	5371.7
PATIN_D	1.309	Min	259.47	0.0000	179.70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	439.17
		Max	259.47	0.0000	179.70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	439.17
BAS_PIED_D	0.000	Min	239.54	-1101.0	6.4483	-253.41	340.42	0.0000	-19.474	-787.51
		Max	239.54	-597.34	6.4483	-110.15	436.23	0.0000	-19.474	-44.746
...										
<i>Lignes supprimées</i>										
...										

PROFIL DEFINITIF [1]: EFFORTS DUS AUX CHARGES PERMANENTES

- Moments flechissants extremes

Barre	Abscisse	Poids propre	Remblais techniques	Remblais internes	Remblai hors ouvr.	Super-structures	Dalles transition	Retrait infini	Enveloppe ch. perm.	
PIEDROIT_G	0.000	Min	-4404.0	-264.05	-8.7905	-107.70	-7688.0	0.0000	178.23	-12294.
		Max	-4404.0	-68.204	-8.7905	-35.224	-6146.8	0.0000	178.23	-10485.
...										
<i>Lignes supprimées</i>										
...										

Ces tableaux récapitulent les efforts de flexion longitudinale des charges permanentes 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.

Ces tableaux récapitulent les efforts de flexion longitudinale des charges permanentes pour l'ensemble des sections des différentes parties d'ouvrages. La note de calcul principale fournit :

- [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 pondérées .
- [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, c'est à dire que l'on monte d'abord les semelles et les piédroits, puis on crée la traverse supérieure)

- [7] Effets des remblais techniques
- [8] Effets du remblai interne
- [9] Effets du remblai sur traverse (effet Marston inclus)
- [10] Effets des superstructures
- [11] Effets des dalles de transition (la dalle est excentrée par rapport à l'axe du piédroit)
- [12] Effets du retrait infini
- [13] Effets enveloppe des charges permanentes = [6]+[7]+[8]+[9]+[10]+[11]+[12]

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.
[7]	[8]	[9]	[10]	[12]	[13]	[14]	[16]
PIEDROIT_G	0.000 Min	-12386.	0.0000	-886.32	-2923.0	0.0000	-15752.
	Max	-10409.	0.0000	1082.5	3.1831	0.0000	-9759.6

...
 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.
PIEDROIT_G	0.000 Min	-12294.	0.0000	-886.32	-3838.1	-946.12	-16576.
	Max	-10485.	0.0000	1082.5	0.42661E-01	0.0000	-9835.3

...
 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.
[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]	[15]	[16]
PIEDROIT_G	0.000 Min	-12386.	0.0000	0.0000	-886.32	-2923.0	0.0000	0.0000	-15841.
	Max	-10409.	0.0000	0.0000	1082.5	4.7741	0.0000	0.0000	-9326.6

...
 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.
PIEDROIT_G	0.000 Min	-12294.	0.0000	0.0000	-886.32	-4134.6	-1261.5	-2572.0	-16961.
	Max	-10485.	0.0000	0.0000	1082.5	10.761	3.2819	0.48058E-01	-9402.2

...
 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_k .
- [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 (obtenue page précédente [13])

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 [9]	Abscisse [10]		Enveloppe ch. perm. [11]	Q ultime compat.T [12]	Q ultime incompat.T [13]	Q combinaison [14]	ELU fond. [15]
PIEDROIT_G	0.000	Min	-16681.	-3680.9	0.0000	0.0000	-20402.
		Max	-10409.	6.4450	0.0000	0.0000	-10403.

...
Lignes supprimées
...

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.
PIEDROIT_G	0.000	Min	-5476.4	-667.90	0.0000	0.0000	-6144.4
		Max	-2577.3	1.1535	0.0000	0.0000	-2576.1

...
Lignes supprimées
...

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 (non pondérée)
- [12] Enveloppes ELU des effets des charges d'exploitation Q_k compatibles avec la température T_k (LM1,...) ponderations GAMMA incluses
- [13] Enveloppes ELU des effets des charges d'exploitation Q_k incompatibles avec la température T_k (LM2) ponderations GAMMA incluses

- [14] Enveloppes ELU des effets des charges d'exploitation Q_k de combinaison (avec T_k)
- [15] Enveloppes ELU fondamentales totales
 - [15] défavorable = [11]+max([12];[13])
 - [15] favorable = [11]+min([12];[13])

Effets des charges d'exploitation

PROFIL PROVISOIRE : ENVELOPPES PREDEFINIES DE CHARGES D'EXPLOITATION [1]

- Moments flechissants extremes

Enveloppes de tous les types de charges semblables

Barre	Abscisse	23M3-34M3 frequent	23M3-34M3 caract.	23M3-34M3 ultime	LM3 VS seul frequent	LM3 VS seul caract.	LM3 VS seul ultime		
[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]		
PIEDROIT_G	0.000	Min -2923.0	-2923.0	-3680.9	-402.10	-402.10	-511.78		
		Max 3.1831	4.7741	6.4450	0.30659	0.30659	0.39316		
... Lignes supprimées ...									
Barre	Abscisse	LM1 frequent	LM1 caract.	LM1 combinaison	LM1 ultime	LM2 frequent	LM2 caract.	LM2 ultime	LM3 et LM1 frequent
[2]	[3]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]	[15]	[16]	[17]
... Lignes supprimées ...									
Barre	Abscisse	LM3 et LM1 caract.	LM3 et LM1 ultime	Militaires caract.	Militaires ultime				
[2]	[3]	[18]	[19]	[20]	[21]				
... Lignes supprimées ...									

Ces tableaux récapitulent :

- [1] Effets des charges d'exploitation seules
- [2] Partie d'ouvrage.
- [3] Abscisse d'étude le long de la partie d'ouvrage.
- [4] [5] [6] Engins de chantiers fréquent, caractéristique et ultime
- [7] [8] [9] Convois exceptionnel LM3 seul fréquent, caractéristique et ultime
- [10][11][12][13] Charges civiles LM1 fréquente, caractéristique, de combinaison et ultime
- [14] [15] [16] Charge d'essieu LM2 fréquente, caractéristique et ultime
- [17] [18] [19] Convois exceptionnel LM3 avec LM1 fréquent, caractéristique et ultime
- [20] [21] Convois militaire caractéristique et ultime

11.2.2 - Le PIPO sur semelles adaptables sans remblai

Lorsque le choix de semelles adaptables a été effectué, les dimensions des semelles résultant de l'optimisation de Chamoia sont fournies :

RECAPITULATION DES DONNEES MODIFIEES PAR LE PROGRAMME

	Valeur initiale	Valeur finale
- Patin gauche	1.00000	1.05000
- Patin droit	1.00000	1.05000
- Talon gauche	1.50000	1.55000
- Talon droit	1.50000	1.55000

11.2.3 - Le PIPO sur pieux avec remblai

Pour un ouvrage sur pieux, on fournit la géométrie finale retenue et les efforts dans les pieux à la place des efforts dans la semelle.

RECAPITULATION DES DONNEES MODIFIEES PAR LE PROGRAMME

	Valeur initiale	Valeur finale
- Epaisseur du tablier	0.50000	0.50000
- Encastrement a gauche (He2g)	*****	0.30000
- Encastrement a droite (He2d)	*****	0.30000
- Epaisseur du piedroit gauche	0.55000	0.55000
- Epaisseur du piedroit droit	0.55000	0.55000
- Nombre de pieux a gauche	0	7
- Nombre de pieux a droite	0	7
- Diametre des pieux a gauche	0.90000	0.90000
- Diametre des pieux a droite	0.90000	0.90000

A noter dans ce cas que l'on a permis d'optimiser les épaisseurs, et donc les valeurs finales des épaisseurs des différentes parties d'ouvrages concernées sont également rappelées.

Remarque : Certaines valeurs sont sans objet : He2g et He2d valeurs des épaisseurs des bords de dalles dans le cas d'ouvrage par encorbellement.

11.3 - Flexion transversale de la traverse

Cas du PIPO sur semelles fixes avec remblai

MOMENTS FLECHISSANTS MY EXTREMES APRES FISSURATION CALCULES SUIVANT L'ANNEXE 12 DU BPEL

[1]	[2] [3]	[4]	[5]	[6]	[7]
		M_APF	My	Mx	
TRAVERSE	CARA Min	0.0000	0.0000	0.0000	""
TRAVERSE	CARA Max	785.38	182.25	755.12	"LMI et trottoirs (grla) caracteristique AFF 2 profil DEF"
TRAVERSE	FREQ Min	0.0000	0.0000	0.0000	""
TRAVERSE	FREQ Max	720.83	176.17	681.28	"Chantier 23 m3 frequent AFF 1 profil PRV"
TRAVERSE	ULTI Min	-24.537	-23.522	0.0000	"LMI et trottoirs (grla) ultime AFF 2 profil DEF"
TRAVERSE	ULTI Max	861.82	98.939	962.34	"LMI et trottoirs (grla) ultime AFF 2 profil DEF"
TRAVERSE	ACCI Min	0.0000	0.0000	0.0000	""
TRAVERSE	ACCI Max	560.56	103.22	574.51	"TS trottoir trans. a gauche accidentel AFF 2 profil DEF"

Ce tableau récapitule les efforts de flexion transversale dans la direction des aciers en travée au ml en application de l'annexe 12 du BPEL :

- [1] Partie d'ouvrage
- [2] Combinaison.
- [3] Effet maximum ou minimum
- [4] Valeur de la flexion transversale après fissuration selon la direction de l'acier
- [5] Valeur de l'effet selon la direction transversale (Guyon)
- [6] Valeur de l'effet selon la direction longitudinale (ST1)
- [7] Intitulé du cas de charge dimensionnant

A noter que les efforts de flexion transversale de Guyon sont fournis dans les fichiers intermédiaires (Cf. 12.5 - Fichiers des efforts de flexion transversale Guyon, en fin du chapitre 4), tandis que les efforts de flexion longitudinale sont ceux issus du calcul de flexion ST1 tels 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 biaise géométrique et non dans la direction biaise 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.

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.

11.4 - Flèches à vide

Cas du PIPO sur semelles fixes avec remblai

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]
TRAVERSE	0.000	-0.0071	0.0000	-0.0071	0.0000
TRAVERSE	0.816	-0.0111	-0.0040	-0.0111	-0.0040
TRAVERSE	1.633	-0.0169	-0.0098	-0.0169	-0.0098
TRAVERSE	2.449	-0.0239	-0.0167	-0.0238	-0.0167
TRAVERSE	3.266	-0.0312	-0.0241	-0.0311	-0.0240
TRAVERSE	4.082	-0.0384	-0.0313	-0.0383	-0.0311
TRAVERSE	4.899	-0.0450	-0.0378	-0.0448	-0.0377
TRAVERSE	5.715	-0.0505	-0.0434	-0.0503	-0.0432
TRAVERSE	6.532	-0.0546	-0.0475	-0.0544	-0.0473
TRAVERSE	7.348	-0.0572	-0.0501	-0.0570	-0.0499
TRAVERSE	8.165	-0.0581	-0.0510	-0.0579	-0.0508
TRAVERSE	8.981	-0.0572	-0.0501	-0.0570	-0.0499
TRAVERSE	9.798	-0.0546	-0.0475	-0.0544	-0.0473
TRAVERSE	10.614	-0.0505	-0.0434	-0.0503	-0.0432
TRAVERSE	11.431	-0.0450	-0.0378	-0.0448	-0.0377
TRAVERSE	12.247	-0.0384	-0.0313	-0.0383	-0.0311
TRAVERSE	13.064	-0.0312	-0.0241	-0.0311	-0.0240
TRAVERSE	13.880	-0.0239	-0.0167	-0.0238	-0.0167
TRAVERSE	14.697	-0.0169	-0.0098	-0.0169	-0.0098
TRAVERSE	15.513	-0.0111	-0.0040	-0.0111	-0.0040
TRAVERSE	16.330	-0.0071	0.0000	-0.0071	0.0000

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

11.5 - Lignes d'influence pour calcul d'épreuve

Ce tableau récapitule les lignes d'influence des moments à mi travée et sur appuis, des efforts normaux et des flèches à mi travée (Aucune pondération n'est incluse, c'est-à-dire sans facteur de répartition transversale).

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

LIGNES D'INFLUENCE DES MOMENTS FLECHISSANTS SUR LA TRAVERSE

Barre [1]	Abscisse [2]	- Origine - [3]	- Milieu - [3]	-Extremite- [3]
TRAVERSE	0.000	-.42233E-01	0.62693E-02	0.54772E-01
TRAVERSE	0.816	0.38449	-.71722E-01	0.28855
TRAVERSE	1.633	0.74753	-.18448	0.51651
TRAVERSE	2.449	1.0501	-.33200	0.73541
TRAVERSE	3.266	1.2954	-.51428	0.94206
TRAVERSE	4.082	1.4866	-.73132	1.1332
TRAVERSE	4.899	1.6270	-.98313	1.3057
TRAVERSE	5.715	1.7197	-1.2697	1.4563
TRAVERSE	6.532	1.7681	-1.5910	1.5818
TRAVERSE	7.348	1.7753	-1.9471	1.6789
TRAVERSE	8.165	1.7445	-2.3380	1.7445
TRAVERSE	8.981	1.6789	-1.9471	1.7753
TRAVERSE	9.798	1.5818	-1.5910	1.7681
TRAVERSE	10.614	1.4563	-1.2697	1.7197
TRAVERSE	11.431	1.3057	-.98313	1.6270
TRAVERSE	12.247	1.1332	-.73132	1.4866
TRAVERSE	13.064	0.94206	-.51428	1.2954
TRAVERSE	13.880	0.73541	-.33200	1.0501
TRAVERSE	14.697	0.51651	-.18448	0.74753
TRAVERSE	15.513	0.28855	-.71722E-01	0.38449
TRAVERSE	16.330	0.54776E-01	0.62681E-02	-.42224E-01

LIGNES D'INFLUENCE DES EFFORTS NORMAUX EN TETE DES PIEDROITS

Barre	Abscisse	Piedroit G	Piedroit D
TRAVERSE	0.000	0.99406	0.59403E-02
TRAVERSE	0.816	0.95588	0.44125E-01
TRAVERSE	1.633	0.91415	0.85853E-01
TRAVERSE	2.449	0.86927	0.13073
TRAVERSE	3.266	0.82163	0.17837
TRAVERSE	4.082	0.77164	0.22836
TRAVERSE	4.899	0.71967	0.28033
TRAVERSE	5.715	0.66613	0.33387
TRAVERSE	6.532	0.61141	0.38859
TRAVERSE	7.348	0.55590	0.44410
TRAVERSE	8.165	0.50000	0.50000
TRAVERSE	8.981	0.44410	0.55590
TRAVERSE	9.798	0.38859	0.61141
TRAVERSE	10.614	0.33387	0.66613
TRAVERSE	11.431	0.28033	0.71967
TRAVERSE	12.247	0.22836	0.77164
TRAVERSE	13.064	0.17837	0.82163
TRAVERSE	13.880	0.13073	0.86927
TRAVERSE	14.697	0.85853E-01	0.91415
TRAVERSE	15.513	0.44125E-01	0.95588
TRAVERSE	16.330	0.59411E-02	0.99406

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

Barre	Abscisse	- Origine -
TRAVERSE	0.000	0.13093E-06
TRAVERSE	0.816	0.43793E-06
TRAVERSE	1.633	0.85368E-06
TRAVERSE	2.449	0.13450E-05
TRAVERSE	3.266	0.18785E-05
TRAVERSE	4.082	0.24212E-05
TRAVERSE	4.899	0.29397E-05
TRAVERSE	5.715	0.34008E-05
TRAVERSE	6.532	0.37713E-05
TRAVERSE	7.348	0.40180E-05
TRAVERSE	8.165	0.41076E-05
TRAVERSE	8.981	0.40180E-05
TRAVERSE	9.798	0.37713E-05
TRAVERSE	10.614	0.34008E-05
TRAVERSE	11.431	0.29397E-05
TRAVERSE	12.247	0.24212E-05
TRAVERSE	13.064	0.18785E-05
TRAVERSE	13.880	0.13450E-05
TRAVERSE	14.697	0.85368E-06
TRAVERSE	15.513	0.43793E-06
TRAVERSE	16.330	0.13093E-06

11.6 - Justifications sous sollicitations normales

11.6.1 - 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

Les résultats sont donnés de la manière suivante :

- flex : aciers passifs issus du dimensionnement en flexion
 - fiss : aciers de fragilité liés à limitation de la fissuration
 aciers calculés selon l'EC2 art. 7.3.2 :
 * $A_{s,min} = k_c \cdot k_{fcteff} \cdot A_{ct} / \sigma_{fs}$, à l'ELS quasi permanent
 - 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
 * $a_{smin} = 0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot t \cdot d / f_{yk}$
 - min : aciers minimum
 * aciers minimum sur chaque face : 3cm²/ml
 * aciers calculés selon l'EC2 art. 9.6.2 :
 aciers minimum total dans les piedsroits: 2% de la surface du béton
- Rmq : prévoir une section minimale de 5cm²/ml si la partie d'ouvrage se situe en classe XD ou XS
- non sec: aciers correspondant au ferrailage non sectionnel
 * traverse et dalles de transition : $A_{s,trans} \geq 0,2 \times A_{s,long}$
 * piedsroits : $A_{s,horiz} \geq 0,25 \times A_{s,vert}$
 * semelles : $A_{s,trans} \geq 0,25 \times A_{s,long}$

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 fondamentales et accidentelles) et aux états limites de service (combinaisons quasi-permanentes, fréquentes et caractéristiques), pour les profils provisoire et définitif.

11.6.2 - Aciers passifs longitudinaux

Résultats communs à tous les PIPO

Les résultats suivants sont fournis quel que soit le type de PIPO calculé. Les extraits suivants sont relatifs à l'ouvrage *sur semelles adaptables sans remblai*.

----- No.Page : 27 -----
 SETRA-CTOA PIP0_0101_0
 Date de passage Année:2009 Mois: 1 Jour: 12 Heure 12h 19m 19s

 Calcul des aciers passifs longitudinaux

Sections d'aciers de la traverse :

 largeur extrados : 13.00 m [1]
 largeur intrados : 12.60 m

section	[3]	[4]	[2] aciers supérieurs						[2] aciers inférieurs						
			[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]			
barre	abs	flex	fiss	minten	min	total	/ml	flex	fiss	minten	min	total	/ml		
TRAVERSE 0.00	!	678.8	66.9	122.4	39.0	678.8	52.2	!	0.0	0.0	0.0	37.8	37.8	3.0	!
TRAVERSE 0.05	!	583.9	66.9	122.4	39.0	583.9	44.9	!	0.0	0.0	0.0	37.8	37.8	3.0	!
TRAVERSE 0.10	!	388.2	66.9	122.4	39.0	388.2	29.9	!	25.9	0.0	120.7	37.8	120.7	9.6	!
TRAVERSE 0.15	!	224.5	63.2	122.4	39.0	224.5	17.3	!	134.4	66.6	120.8	37.8	134.4	10.7	!
TRAVERSE 0.20	!	94.2	63.5	122.4	39.0	122.4	9.4	!	243.1	66.6	120.8	37.8	243.1	19.3	!
TRAVERSE 0.25	!	0.1	0.0	122.4	39.0	122.4	9.4	!	342.3	66.6	120.8	37.8	342.3	27.2	!
TRAVERSE 0.30	!	0.0	0.0	0.0	39.0	39.0	3.0	!	425.8	66.6	120.9	37.8	425.8	33.8	!
TRAVERSE 0.35	!	0.0	0.0	0.0	39.0	39.0	3.0	!	490.6	66.6	120.9	37.8	490.6	38.9	!
TRAVERSE 0.40	!	0.0	0.0	0.0	39.0	39.0	3.0	!	534.5	66.6	120.9	37.8	534.5	42.4	!
TRAVERSE 0.45	!	0.0	0.0	0.0	39.0	39.0	3.0	!	556.3	66.6	120.9	37.8	556.3	44.1	!
TRAVERSE 0.50	!	0.0	0.0	0.0	39.0	39.0	3.0	!	561.4	66.6	120.9	37.8	561.4	44.6	!
TRAVERSE 0.55	!	0.0	0.0	0.0	39.0	39.0	3.0	!	556.2	66.6	120.9	37.8	556.2	44.1	!
TRAVERSE 0.60	!	0.0	0.0	0.0	39.0	39.0	3.0	!	534.4	66.6	120.9	37.8	534.4	42.4	!
TRAVERSE 0.65	!	0.0	0.0	0.0	39.0	39.0	3.0	!	490.5	66.6	120.9	37.8	490.5	38.9	!
TRAVERSE 0.70	!	0.0	0.0	0.0	39.0	39.0	3.0	!	425.5	66.6	120.9	37.8	425.5	33.8	!
TRAVERSE 0.75	!	0.5	0.0	122.4	39.0	122.4	9.4	!	341.9	66.6	120.8	37.8	341.9	27.1	!
TRAVERSE 0.80	!	94.7	63.5	122.4	39.0	122.4	9.4	!	242.6	66.6	120.8	37.8	242.6	19.3	!

TRAVERSE	0.85 !	224.6	63.2	122.4	39.0	224.6	17.3 !	133.8	66.6	120.8	37.8	133.8	10.6 !
TRAVERSE	0.90 !	388.4	66.9	122.4	39.0	388.4	29.9 !	25.2	0.0	120.6	37.8	120.6	9.6 !
TRAVERSE	0.95 !	583.8	66.9	122.4	39.0	583.8	44.9 !	0.0	0.0	0.0	37.8	37.8	3.0 !
TRAVERSE	1.00 !	678.7	66.9	122.4	39.0	678.7	52.2 !	0.0	0.0	0.0	37.8	37.8	3.0 !

Sections d aciers du piedroit gauche :

 largeur biaise du piedroit gauche : 14.59 m

section	!	aciers interieurs						!	aciers extérieurs						!
barre	abs !	flex	fiss	minten	min	total	/ml !	flex	fiss	minten	min	total	/ml !		
PIEDRT_G	0.00 !	0.0	0.0	0.0	43.8	43.8	3.0 !	556.7	74.7	152.0	43.8	556.7	38.2 !		
PIEDRT_G	0.10 !	0.0	0.0	0.0	43.8	43.8	3.0 !	530.4	74.1	152.0	43.8	530.4	36.4 !		
PIEDRT_G	0.20 !	0.0	0.0	0.0	43.8	43.8	3.0 !	433.2	73.5	152.0	43.8	433.2	29.7 !		
PIEDRT_G	0.30 !	0.0	0.0	0.0	43.8	43.8	3.0 !	347.4	72.8	152.0	43.8	347.4	23.8 !		
PIEDRT_G	0.40 !	0.0	0.0	152.0	43.8	152.0	10.4 !	266.5	72.2	152.0	43.8	266.5	18.3 !		
PIEDRT_G	0.50 !	0.0	71.1	152.0	43.8	152.0	10.4 !	192.9	71.6	152.0	43.8	192.9	13.2 !		
PIEDRT_G	0.60 !	2.4	70.5	152.0	43.8	152.0	10.4 !	128.4	71.1	152.0	43.8	152.0	10.4 !		
PIEDRT_G	0.70 !	0.9	69.9	152.0	43.8	152.0	10.4 !	74.5	70.5	152.0	43.8	152.0	10.4 !		
PIEDRT_G	0.80 !	0.0	69.4	152.0	43.8	152.0	10.4 !	32.6	69.9	152.0	43.8	152.0	10.4 !		
PIEDRT_G	0.90 !	0.0	0.0	152.0	43.8	152.0	10.4 !	53.7	69.3	152.0	43.8	152.0	10.4 !		
PIEDRT_G	1.00 !	0.0	0.0	152.0	43.8	152.0	10.4 !	80.8	68.8	152.0	43.8	152.0	10.4 !		

Sections d aciers du piedroit droit :

 largeur biaise du piedroit droit : 14.59 m

section	!	aciers interieurs						!	aciers extérieurs						!
barre	abs !	flex	fiss	minten	min	total	/ml !	flex	fiss	minten	min	total	/ml !		
PIEDRT_D	0.00 !	0.0	0.0	0.0	43.8	43.8	3.0 !	557.2	74.7	152.0	43.8	557.2	38.2 !		
PIEDRT_D	0.10 !	0.0	0.0	0.0	43.8	43.8	3.0 !	531.2	74.1	152.0	43.8	531.2	36.4 !		
PIEDRT_D	0.20 !	0.0	0.0	0.0	43.8	43.8	3.0 !	434.0	73.5	152.0	43.8	434.0	29.7 !		
PIEDRT_D	0.30 !	0.0	0.0	0.0	43.8	43.8	3.0 !	347.9	72.8	152.0	43.8	347.9	23.8 !		
PIEDRT_D	0.40 !	0.0	0.0	152.0	43.8	152.0	10.4 !	267.1	71.6	152.0	43.8	267.1	18.3 !		
PIEDRT_D	0.50 !	0.0	71.1	152.0	43.8	152.0	10.4 !	193.8	71.1	152.0	43.8	193.8	13.3 !		
PIEDRT_D	0.60 !	0.0	71.1	152.0	43.8	152.0	10.4 !	128.9	70.5	152.0	43.8	152.0	10.4 !		
PIEDRT_D	0.70 !	0.0	70.5	152.0	43.8	152.0	10.4 !	75.0	69.9	152.0	43.8	152.0	10.4 !		
PIEDRT_D	0.80 !	0.0	69.4	152.0	43.8	152.0	10.4 !	33.4	69.3	152.0	43.8	152.0	10.4 !		
PIEDRT_D	0.90 !	0.0	0.0	152.0	43.8	152.0	10.4 !	54.3	69.3	152.0	43.8	152.0	10.4 !		
PIEDRT_D	1.00 !	0.0	0.0	152.0	43.8	152.0	10.4 !	80.8	68.8	152.0	43.8	152.0	10.4 !		

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

[1] Largeur de la section :

- Tablier : le programme prend en compte la section exacte corrigée par une surépaisseur au niveau de l'extrados afin de prendre en compte le bombement.
- Piédroits : la largeur prise en compte est la largeur biaise.
- Dalles de transition : si elles existent, la largeur prise en compte est la largeur droite.
- Semelles : si elles existent, la largeur prise en compte est la largeur biaise.

Le programme 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 (droite ou biaise selon les indications ci-dessus). 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 déterminé 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 :

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \text{ (et } A_{s,min} \leq 0,0013 \cdot b_t \cdot d \text{ , ce dernier critere n est plus appliqué dans chamoia suite aux modifications de l'annexe nationale en 2016)}$$

[8] *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. Pour les piédroits, on prévoit une quantité d'aciers minimum au moins égale à 0,2% de la surface de béton.

[9] *total* : Aciers à mettre en place. Cette quantité correspond au maximum de toutes les quantités d'aciers calculées précédemment.

[10] *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 traverse)

La section est dans notre cas une section rectangulaire de 13 m de largeur, et de 50 cm de hauteur.

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 :

- Aciers supérieurs : 0 cm²
- Aciers inférieurs : 561,4 cm²

Aciers de limitation de la fissuration : Le programme effectue ce dimensionnement pour chaque couple d'efforts correspondant à un ELS quasi-permanent. Dans ce cas précis, le couple d'effort dimensionnant est le couple d'efforts suivant :

$$M_{ELS,QP} = 3,06 \text{ MN.m, et } N_{ELS,QP} = 0,82 \text{ MN}$$

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

Avec :

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_c = \frac{N_{ELS,QP}}{A_c} = \frac{0,82}{6,46} = 0,127 \text{ MN.m}^2 \\ h = 0,5 \text{ m} \\ h^* = h = 0,5 \text{ car } h < 1 \text{ m} \\ k_1 = 1,5 \text{ car } N_{ELS,QP} \text{ est un effort de compression} \\ f_{ct,eff} = \max(f_{ctm}; 2,9) = 3,2 \text{ MPa pour un béton C35 / 45} \end{array} \right\} k_c = 0,4 \left\{ 1 - \frac{\sigma_c}{k_1 \left(\frac{h}{h^*} \right) \cdot f_{ct,eff}} \right\} = 0,389$$

- $k = 0,86$ (interpolation entre $k = 1,0$ si $h \leq 300 \text{ mm}$, $k = 0,65$ si $h \geq 800 \text{ mm}$)

- $\sigma_s = f_{yk} = 500 \text{ MPa}$

- A_{ct} : Aire de béton tendu au moment de la fissuration : Cette valeur est déterminée par le programme. Dans un premier temps, on calcule le moment M à appliquer pour obtenir une contrainte égale à f_{ctm} en fibre inférieure sous un effort normal égal à $N_{ELS,QP} = 0,36 \text{ MN}$, les matériaux étant considérés comme élastiques. Dans un second temps, on détermine l'aire de béton tendu sous l'application du couple d'effort ($N_{ELS,QP}; M$). Dans ce cas, on obtient $A_{ct} = 3,10 \text{ m}^2$.

$$\text{Au total, } A_{s,min} = \frac{(k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct})}{\sigma_s} = \frac{0,39 \times 0,86 \times 3,2 \times 3,1}{500} = 66,6 \text{ cm}^2$$

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 $M_{ELS,CARA} = 7,14\text{MN.m}$, et $N_{ELS,CARA} = 1,58\text{MN}$.

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \text{ (et } A_{s,min} \leq 0,0013 \cdot b_t \cdot d \text{ critere qui n'est plus appliqué dans chamoia) avec,}$$

- $f_{ctm} = 3,2 \text{ MPa}$ pour un béton C35/45
- $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
- $d = 0,47 \text{ m}$ (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 $b_t = 12,84 \text{ m}$.

Au total,

$$\left. \begin{aligned} 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d &= 0,26 \times \frac{3,2}{500} \times 12,84 \times 0,47 = 100,7 \text{ cm}^2 \\ 0,0013 \cdot b_t \cdot d &= 0,0013 \times 12,84 \times 0,47 = 78,4 \text{ cm}^2 \end{aligned} \right\} \text{ dans le cas d'une dalle. } A_{s,min,ten} = 100,7 \text{ cm}^2$$

(le coefficient 1.2 n'est plus appliqué dans chamoia)

aciers minimum : Ces aciers correspondent à 3 cm^2 par mètre de largeur de la section soit 39 cm^2 en fibre supérieure et $37,8 \text{ cm}^2$ en fibre inférieure.

Cas du PIPO sur semelles

Lorsque le PIPO projeté est un PIPO fondé sur semelles, le programme fournit le dimensionnement des aciers nécessaires à mettre en place dans les semelles. Les dimensionnements effectués sont identiques à ceux fournis pour les autres parties d'ouvrage. (Résultats relatifs à l'ouvrage *sur semelles adaptables sans remblai*.)

Sections d aciers de la semelle coté gauche :

 largeur biaise de la semelle gauche : 14.59 m [1]

section	!	aciERS superieurs						!	aciERS inferieurs						!
[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]								
barre	abs	flex	fiss	minten	min	total	/ml	flex	fiss	minten	min	total	/ml	!	
TALON_G	!	39.6	88.8	166.6	43.8	166.6	11.4	!	100.5	88.8	166.6	43.8	166.6	11.4	!
PATIN_G	!	105.5	88.8	166.6	43.8	166.6	11.4	!	0.0	0.0	0.0	43.8	43.8	3.0	!

Sections d aciers de la semelle coté droit :

 largeur biaise de la semelle droite : 14.59 m

section	!	aciERS superieurs						!	aciERS inferieurs						!
barre	abs	flex	fiss	minten	min	total	/ml	flex	fiss	minten	min	total	/ml	!	
TALON_D	!	87.8	88.8	166.6	43.8	166.6	11.4	!	24.7	88.8	166.6	43.8	166.6	11.4	!
PATIN_D	!	0.0	0.0	0.0	43.8	43.8	3.0	!	105.8	88.8	166.6	43.8	166.6	11.4	!

Cas du PIPO sur pieux ou barrettes

Lorsque l'ouvrage est fondé sur des pieux ou des barrettes, le programme fournit la quantité d'acier nécessaire par pieux (résultats relatifs à l'ouvrage *sur pieux avec remblai*)

----- No.Page : 50 -----

SETRA-CTOA PIP0_0102_0
 Date de passage Année:2009 Mois: 1 Jour: 12 Heure 14h 59m 17s

Sections d aciers des pieux cote gauche :

 diamètre des pieux de gauche : 0.90 m
 nombre de pieux à gauche : 7 [11]

section	!	aciERS totaux						!
barre	abs	flex	fiss	minten	min	total	!	
PIEUX_G 0.00	!	6.1	6.2	18.3	25.0	25.0	!	
PIEUX_G 0.05	!	5.8	6.2	18.3	25.0	25.0	!	
PIEUX_G 0.10	!	0.0	6.2	19.2	25.0	25.0	!	
PIEUX_G 0.15	!	0.0	6.2	20.2	25.0	25.0	!	
PIEUX_G 0.20	!	0.0	6.2	18.6	25.0	25.0	!	
PIEUX_G 0.25	!	0.0	1.8	19.0	25.0	25.0	!	
PIEUX_G 0.30	!	0.0	1.8	19.7	25.0	25.0	!	
PIEUX_G 0.35	!	0.0	1.8	20.1	25.0	25.0	!	
PIEUX_G 0.40	!	0.0	1.8	6.0	25.0	25.0	!	
PIEUX_G 0.45	!	0.0	1.8	4.0	25.0	25.0	!	
PIEUX_G 0.50	!	0.0	0.0	0.0	25.0	25.0	!	
PIEUX_G 0.55	!	0.0	0.0	0.0	25.0	25.0	!	
PIEUX_G 0.60	!	0.0	0.0	0.0	25.0	25.0	!	
PIEUX_G 0.65	!	0.0	0.0	0.0	25.0	25.0	!	
PIEUX_G 0.70	!	0.0	0.0	0.0	25.0	25.0	!	
PIEUX_G 0.75	!	0.0	0.0	0.0	25.0	25.0	!	
PIEUX_G 0.80	!	0.0	0.0	0.0	25.0	25.0	!	
PIEUX_G 0.85	!	0.0	0.0	0.0	25.0	25.0	!	
PIEUX_G 0.90	!	0.0	0.0	0.0	25.0	25.0	!	
PIEUX_G 0.95	!	0.0	0.0	0.0	25.0	25.0	!	
PIEUX_G 1.00	!	0.0	0.0	0.0	25.0	25.0	!	

Sections d aciers des pieux cote droit :

 diamètre des pieux de droite : 0.90 m
 nombre de pieux à droite : 7

section	!	aciERS totaux						!
barre	abs	flex	fiss	minten	min	total	!	
PIEUX_D 0.00	!	7.3	1.8	10.5	25.0	25.0	!	
PIEUX_D 0.05	!	6.9	1.8	10.5	25.0	25.0	!	
PIEUX_D 0.10	!	0.0	1.6	9.6	25.0	25.0	!	
PIEUX_D 0.15	!	0.0	1.6	19.9	25.0	25.0	!	
PIEUX_D 0.20	!	0.0	6.5	19.3	25.0	25.0	!	
PIEUX_D 0.25	!	0.0	6.5	19.2	25.0	25.0	!	
PIEUX_D 0.30	!	0.0	6.6	19.8	25.0	25.0	!	
PIEUX_D 0.35	!	0.0	6.5	18.9	25.0	25.0	!	
PIEUX_D 0.40	!	0.0	6.5	19.2	25.0	25.0	!	
PIEUX_D 0.45	!	0.0	6.5	19.8	25.0	25.0	!	
PIEUX_D 0.50	!	0.0	0.0	0.0	25.0	25.0	!	
PIEUX_D 0.55	!	0.0	0.0	0.0	25.0	25.0	!	
PIEUX_D 0.60	!	0.0	0.0	0.0	25.0	25.0	!	
PIEUX_D 0.65	!	0.0	0.0	0.0	25.0	25.0	!	
PIEUX_D 0.70	!	0.0	0.0	0.0	25.0	25.0	!	
PIEUX_D 0.75	!	0.0	0.0	0.0	25.0	25.0	!	

PIEUX_D	0.80 !	0.0	0.0	0.0	25.0	25.0	!
PIEUX_D	0.85 !	0.0	0.0	0.0	25.0	25.0	!
PIEUX_D	0.90 !	0.0	0.0	0.0	25.0	25.0	!
PIEUX_D	0.95 !	0.0	0.0	0.0	25.0	25.0	!
PIEUX_D	1.00 !	0.0	0.0	0.0	25.0	25.0	!

[11] nombre de pieux : Lorsque le nombre de pieux n'est pas fourni par le projeteur, le programme effectue un dimensionnement avec le nombre maximum de pieux autorisés, c'est à dire en considérant un entraxe minimum de 3 diamètres entre chaque pieu.

Dans le cas ou un dimensionnement des pieux circulaires est demandé, le programme effectue un dimensionnement des aciers passifs en considérant le diamètre minimum fourni par le projeteur, et le nombre de pieux maximum. S'il s'avère que le dimensionnement des aciers passifs est impossible ou que la quantité d'acier à mettre en place est trop importante, le diamètre des pieux est augmenté, le nombre de pieux maximum recalculé, et un nouveau dimensionnement est effectué. Le programme s'arrête lorsqu'une quantité correcte d'acier permet d'équilibrer les efforts ou lorsqu'un nombre trop important d'itérations a été effectué.

Exemple numérique :

L'ouvrage de l'exemple a une largeur de 18 m et un biais de 70 grades. La longueur des piédroits est donc de L = 20,2 m.

Diamètre des pieux : $\varnothing = 0,9m$ donc $n_{b, pieux} = ent\left(\frac{L}{3 \varnothing}\right) = 7$

Dans le cas de pieux circulaires, la quantité d'acier fournie est la quantité totale à mettre en place dans le pieu. Dans le cas de barrettes, Chamoia fournit les aciers à mettre en place côté intérieur du portique et côté extérieur.

Dalle de transition

Lorsque l'ouvrage projeté possède des dalles de transition, leur ferrailage est calculé par le programme. (résultats relatifs à l'ouvrage *sur semelles adaptables sans remblai*.)

Sections d aciers de la dalle de transition de gauche :

 largeur de la dalle de transition de gauche : 11.40 m

section	!	aciers superieurs							!	aciers inferieurs					!
[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]								
barre	abs !	flex	fiss	minten	min	total	/ml !	flex	fiss	minten	min	total	/ml !		
DDT_G	0.00 !	0.0	0.0	0.0	34.2	34.2	3.0 !	0.0	0.0	58.4	34.2	58.4	5.1 !		
DDT_G	0.50 !	0.0	0.0	0.0	34.2	34.2	3.0 !	228.9	44.7	58.4	34.2	228.9	20.1 !		
DDT_G	1.00 !	0.0	0.0	0.0	34.2	34.2	3.0 !	0.0	44.7	58.4	34.2	58.4	5.1 !		

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					!
barre	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	58.4	34.2	58.4	5.1 !		
DDT_D	0.50 !	0.0	0.0	0.0	34.2	34.2	3.0 !	228.9	44.7	58.4	34.2	228.9	20.1 !		
DDT_D	1.00 !	0.0	0.0	0.0	34.2	34.2	3.0 !	0.0	44.7	58.4	34.2	58.4	5.1 !		

11.6.3 - Aciers passifs transversaux

 Calcul des aciers passifs transversaux

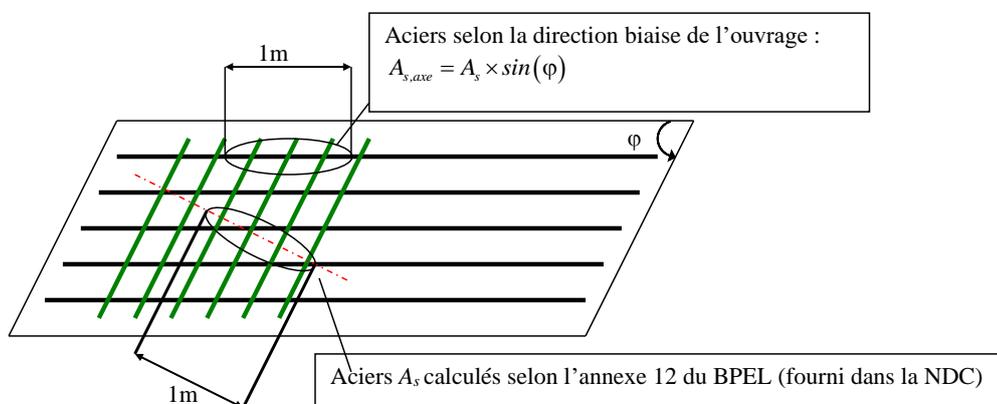
Quantité d aciers calculée pour 1 ml dans la direction perpendiculaire aux aciers
 pour avoir la quantité par ml selon l axe de l ouvrage , multiplier par 0.8910 [12]

Sections d aciers de la traverse :

section		! aciers superieurs							! aciers inferieurs						
barre	[13] abs !	flex	fiss	[14] minten	min	[15] non sec	total !	flex	fiss	minten	min	non sec	total !		
TRVERSE	!	0.0			3.0	18.9	18.9 !	37.7			3.0	8.9	37.7 !		

[12] Le programme se limitant au cas des ouvrages peu biaises, les aciers transversaux du tablier sont orientés dans la direction parallèle aux lignes d'appui. Les efforts transversaux donnés précédemment (Cf. 11.3 - Flexion transversale de la traverse) ont été déterminés dans cette direction.

La quantité d'aciers transversaux calculée par le programme correspond donc à la quantité d'acier 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 $\sin(\phi)$. (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).

Exemple numérique

Dans l'exemple, avec $\phi = 70$ grades : $\sin(\phi) = 0,8910$. Le programme fournit une valeur par travée, ainsi qu'une valeur pour les encorbellements (s'ils existent).

[13] abs : sans objet : Les aciers transversaux sont identiques sur toute la largeur de l'ouvrage.

[14] fiss et min ten : Ces quantités d'acier minimum ne concernent pas les aciers transversaux

[15] non sec : quantité d'aciers minimum correspondant aux règles de ferrailage non sectionnel.

$$A_{s,trans,inf} \geq 0,2 \times A_{s,long,inf} \quad \text{et} \quad A_{s,trans,sup} \geq 0,2 \times A_{s,long,sup} \quad \text{et} \quad A_{s,trans,sup} \geq 0,5 \times A_{s,trans,inf}$$

Exemple numérique

Résistance en flexion : 33,2 cm²/m sont nécessaires en fibre inférieure pour que le tablier résiste aux efforts de flexion transversale.

Aciers non sectionnels :

- Fibre inférieure : $A_{s,long,max} = 44,6 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow A_{s,trans,inf,nonsec} = 0,2 \times 44,6 = 8,9 \text{ cm}^2/\text{m}$
- Fibre supérieure :

$$\left. \begin{aligned} A_{s,long,sup} &= 52,2 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow A_{s,trans,sup,nonsec} > 0,25 \times 52,2 = 13,1 \text{ cm}^2/\text{m} \\ A_{s,trans,inf} &= 37,7 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow A_{s,trans,sup,nonsec} > 0,50 \times 37,7 = 18,9 \text{ cm}^2/\text{m} \end{aligned} \right\} A_{s,trans,sup,nonsec} = 18,9 \text{ cm}^2$$

S'il existe des dalles de transition, le calcul effectué est identique à celui effectué pour le tablier.

Sections d aciers des dalles de transition :

section		aciERS superieurs							!	aciERS inferieurs							!
barre	abs	flex	fiss	minten	min	non sec	total	!	flex	fiss	minten	min	non sec	total	!		
DDT_G	!	0.0			3.0	10.9	10.9	!	21.8			3.0	4.0	21.8	!		
DDT_D	!	0.0			3.0	10.9	10.9	!	21.8			3.0	4.0	21.8	!		

Sections d aciers horizontaux dans les piedroits :

section		aciERS interieurs							!	aciERS exterieurs							!
barre	!			[16]		total		!			[16]		total		!		
PIEDRT_G	!	min	non sec	3.0	5.1	5.1	5.1	!	min	non sec	3.0	5.1	5.1	5.1	!		
PIEDRT_D	!	min	non sec	3.0	5.1	5.1	5.1	!	min	non sec	3.0	5.1	5.1	5.1	!		

Sections d aciers horizontaux dans les semelles :

section		aciERS superieurs							!	aciERS inferieurs							!
barre	!	[17]		[18]		total		!			[18]		total		!		
SEMELLE_G	!	min	non sec	3.0	0.0	3.0	3.0	!	min	non sec	6.0	0.0	6.0	6.0	!		
SEMELLE_D	!	min	non sec	3.0	0.0	3.0	3.0	!	min	non sec	6.0	0.0	6.0	6.0	!		

fin des Justifications des Sections sous Contraintes Normales

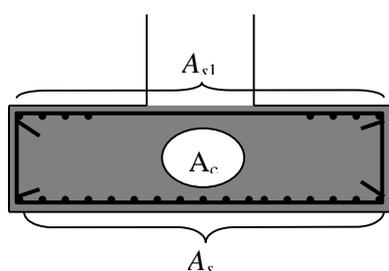
Le programme ne détermine pas les efforts transversaux dans les piédroits et dans les semelles. Le ferrailage fourni est obtenu uniquement grâce aux règles de ferrailage minimum et non sectionnel.

Pour les pieux ou les barrettes, la question du ferrailage transversal est bien entendu sans objet.

[16] non sec : quantité d'aciers minimum correspondant aux règles de ferrailage non sectionnel. Pour les piédroits, les règles suivantes sont appliquées :

$$A_{s,trans} \geq 0,25 \times A_{s,long} \Leftrightarrow A_{s,horiz} \geq 0,25 \times A_{s,vert}$$

[17] min : quantité d'aciers minimum. Pour les semelles, les règles suivantes sont appliquées :



$$A_{s1} \geq \frac{0,5 A_c}{1000}$$

$$A_{s2} \geq \frac{A_c}{1000}$$

conformément à l'article B.4.3.2 du fascicule 62 titre V

[18] non sec : quantité d'aciers minimum correspondant aux règles de ferrailage non sectionnel. Pour les semelles, les règles suivantes sont appliquées : $A_{s,trans} \geq 0,25 \times A_{s,long} \Leftrightarrow A_{s,horiz} \geq 0,25 \times A_{s,vert}$

Exemple numérique

Aciers non sectionnels du piédroit gauche :

$$A_{s,trans} \geq 0,25 \times A_{s,long} \Leftrightarrow A_{s,horiz} \geq 0,25 \times A_{s,vert}$$

$$A_{s,long,max} = 38,2 + 3,0 = 41,2 \text{ cm}^2/m \rightarrow A_{s,trans,non sec} \geq 0,25 \times A_{s,long} = 10,3 \text{ cm}^2/m$$

Hormis les aciers dus aux règles de ferrailage non sectionnel, le ferrailage minimum prévoit 3 cm²/m sur chaque face du piédroit soit 6 cm²/m au total. Il manque donc 4,3 cm²/m d'acier transversaux pour que les règles de ferrailage non sectionnel soient respectées. On ajoute donc la moitié du manque d'acier transversaux sur chacune des faces.

Au total, on a donc :

$$A_{s,trans,intérieur,non sec} = A_{s,trans,min,intérieur} + \frac{A_{s,trans} - (A_{s,trans,min,intérieur} + A_{s,trans,min,extérieur})}{2} = 3,0 + \frac{10,3 - (3,0 + 3,0)}{2} = 5,1 \text{ cm}^2/m$$

$$A_{s,trans,extérieur,non sec} = A_{s,trans,min,extérieur} + \frac{A_{s,trans} - (A_{s,trans,min,intérieur} + A_{s,trans,min,extérieur})}{2} = 3,0 + \frac{10,3 - (3,0 + 3,0)}{2} = 5,1 \text{ cm}^2/m$$

Aciers minimum de la semelle de gauche :

Epaisseur de la semelle : $E_s = 0,60 \text{ m}$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Aciers face supérieure : } A_{s,trans,sup} \geq \frac{0,5 \times E_s \times 1}{1000} = 3 \text{ cm}^2/m \\ A_{s,trans,sup} \geq 3 \text{ cm}^2/m \end{array} \right\} A_{s,trans,sup} \geq 3 \text{ cm}^2/m$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Aciers face inférieure : } A_{s,trans,inf} \geq \frac{E_s \times 1}{1000} = 6 \text{ cm}^2/m \\ A_{s,trans,inf} \geq 3 \text{ cm}^2/m \end{array} \right\} A_{s,trans,inf} \geq 6 \text{ cm}^2/m$$

Aciers non sectionnels de la semelle de gauche :

$$A_{s,trans} \geq 0,25 \times A_{s,long} \Leftrightarrow A_{s,horiz} \geq 0,25 \times A_{s,vert}$$

$$A_{s,long,max} = 11,4 + 11,4 = 22,4 \text{ cm}^2/m \rightarrow A_{s,trans,non sec} \geq 0,25 \times A_{s,long} = 5,6 \text{ cm}^2/m$$

Hormis les aciers dus aux règles de ferrailage non sectionnel, le ferrailage minimum prévoit 3 cm²/m en face supérieure et 6 cm²/m en face inférieure, soit 9 cm²/m au total. Le ferrailage minimum est donc suffisant. Le programme ne proposera alors pas de ferrailage non sectionnel.

11.7 - Justifications sous sollicitations tangentes

Les extraits suivants sont relatifs à l'ouvrage *sur semelles adaptables sans remblai*.

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° 1 PIEDROIT GAUCHE [13] et [14]														
bw = 14.590 z_ut = .446 [15] et [16]														
0.00	2858.8	0.0	3158.0	36119.7	4012.6	33.7	138.1	98.4	138.1	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
0.66	2816.6	0.0	3158.0	36119.7	4012.6	33.7	138.1	96.9	138.1	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
1.31	2689.8	0.0	3158.0	36119.7	4012.6	33.7	138.1	92.6	138.1	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
1.97	2478.6	0.0	3158.0	36119.7	4012.6	33.7	138.1	85.3	138.1	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
2.62	2182.8	0.0	3158.0	36119.7	4012.6	33.7	138.1	75.1	138.1	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
3.27	1802.5	0.0	3158.0	36119.7	4012.6	33.7	138.1	62.0	138.1	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
3.93	1440.8	0.0	3158.0	36119.7	4012.6	33.7	138.1	49.6	138.1	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
4.58	1166.2	0.0	3158.0	36119.7	4012.6	33.7	138.1	40.1	138.1	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
5.24	861.7	0.0	3158.0	36119.7	4012.6	33.7	138.1	29.7	138.1	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
5.89	1580.0	0.0	3158.0	36119.7	4012.6	33.7	138.1	54.4	138.1	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
6.55	2382.8	0.0	3158.0	36119.7	4012.6	33.7	138.1	82.0	138.1	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF

Barre n° 2 TRAVERSE z_ut= 0.405														
0.00	4726.8	0.0	2631.2	29257.2	4726.8	33.7	123.1	179.0	179.0	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
0.82	4353.8	0.0	2631.2	29257.2	4353.8	33.7	123.1	164.8	164.8	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
1.63	3975.8	0.0	2631.2	29257.2	3975.8	33.7	123.1	150.5	150.5	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
2.45	3592.1	0.0	2631.2	29257.2	3592.1	33.7	123.1	136.0	136.0	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
3.27	3203.4	0.0	2631.2	29257.2	3250.2	33.7	123.1	121.3	123.1	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
4.08	2819.6	0.0	2631.2	29257.2	3250.2	33.7	123.1	106.8	123.1	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
4.90	2436.1	0.0	2631.2	29257.2	3250.2	33.7	123.1	92.2	123.1	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
5.71	2053.9	0.0	2631.2	29257.2	3250.2	33.7	123.1	77.8	123.1	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
6.53	1673.9	0.0	2631.2	29257.2	3250.2	33.7	123.1	63.4	123.1	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
7.35	1297.0	0.0	2631.2	29257.2	3250.2	33.7	123.1	49.1	123.1	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
8.16	921.8	0.0	2631.2	29257.2	3250.2	33.7	123.1	34.9	123.1	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
8.98	1296.7	0.0	2631.2	29257.2	3250.2	33.7	123.1	49.1	123.1	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
9.80	1673.7	0.0	2631.2	29257.2	3250.2	33.7	123.1	63.4	123.1	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
10.61	2053.9	0.0	2631.2	29257.2	3250.2	33.7	123.1	77.8	123.1	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
11.43	2436.2	0.0	2631.2	29257.2	3250.2	33.7	123.1	92.2	123.1	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
12.25	2819.9	0.0	2631.2	29257.2	3250.2	33.7	123.1	106.8	123.1	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
13.06	3203.8	0.0	2631.2	29257.2	3250.2	33.7	123.1	121.3	123.1	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
13.88	3591.3	0.0	2631.2	29257.2	3591.3	33.7	123.1	136.0	136.0	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
14.70	3975.3	0.0	2631.2	29257.2	3975.3	33.7	123.1	150.5	150.5	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
15.51	4353.5	0.0	2631.2	29257.2	4353.5	33.7	123.1	164.8	164.8	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
16.33	4726.1	0.0	2631.2	29257.2	4726.1	33.7	123.1	178.9	178.9	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF

... Lignes supprimées ...														

Barre n° 11 TALON GAUCHE z_ut= 0.486														
1.50	2907.4	0.0	3360.0	39403.3	4377.4	33.7	138.1	91.7	138.1	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF

Barre n° 12 PATIN GAUCHE z_ut= 0.486														
0.31	3464.4	0.0	3360.0	39403.3	4377.4	33.7	138.1	109.3	138.1	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF

Barre n° 41 PATIN DROITE z_ut= 0.486														
1.00	3874.4	0.0	3360.0	39403.3	4377.4	33.7	138.1	122.2	138.1	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF

Barre n° 42 TALON DROITE z_ut= 0.486														
0.31	2434.7	0.0	3360.0	39403.3	4377.4	33.7	138.1	76.8	138.1	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF

Barre n° 70 DALLE TRANSITION GAUCHE z_ut= 0.284														
0.00	1983.9	0.0	1528.0	13424.8	1983.9	33.7	91.2	107.3	107.3	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
2.00	384.6	0.0	1528.0	13424.8	1686.2	33.7	91.2	20.8	91.2	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
4.00	2020.4	0.0	1528.0	13424.8	2020.4	33.7	91.2	109.3	109.3	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF

Barre n° 80 DALLE TRANSITION DROITE z_ut= 0.284														
0.00	2024.1	0.0	1528.0	13424.8	2024.1	33.7	91.2	109.5	109.5	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
2.00	384.2	0.0	1528.0	13424.8	1686.2	33.7	91.2	20.8	91.2	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
4.00	2014.1	0.0	1528.0	13424.8	2014.1	33.7	91.2	108.9	108.9	2950	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF

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 $s_{l,max} = 0.75*d$ [EC-2-1-1 paragraphe 9.3.2(4)]

- espacement transversal $s_{t,max} = 1.50*d$ [EC-2-1-1 paragraphe 9.3.2(5)]

REGLES POUR LES PIEDROITS

il convient d'appliquer[EC-2-1-1 paragraphe 9.6.4(1)] :

lorsque la section des armatures verticales est superieure a $0.02*Ac$,

les espacements longitudinal et transversal doivent respecter

les regles donnees pour les poteaux:

- $s_{cl,tmax} = \text{Min}(20*\phi_{i,v};\text{voile};400\text{mm})$ [EC-2-1-1 paragraphe 9.5.3]

Ce tableau récapitule les résultats des justifications sous sollicitations tangentes, conformément au chapitre 2 - **5.2 - Sollicitations tangentes.**

ESTIMATION DU POIDS D'ACIER D'EFFORT TRANCHANT
 LE POIDS D'ACIER SERA SUPERIEUR A LA VALEUR SUIVANTE :
 $P_{min_ET} = 2089. \text{ kg}$

partie d'ouv	longueur barre(m)	Volume de beton de la barre(m3)	quantite etriers (kg)	ratio (kg/m3)
PIEDROIT G	6.5	52.6	354.9	6.8
TRAVERSE	16.3	105.5	793.8	7.5
PIEDROIT D	6.5	52.6	354.9	6.8
TALON GAUC	1.8	15.8	106.6	6.7
PATIN GAUC	1.3	11.5	77.1	6.7
PATIN DROI	1.3	11.5	77.1	6.7
TALON DROI	1.8	15.8	106.6	6.7
DALLE TRAN	4.0	16.0	108.4	6.8
DALLE TRAN	4.0	16.0	109.4	6.9
total		297.1	2089.0	7.0

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}

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

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

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

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

$$V_{Rd,max} = a_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot \frac{(\cot \theta + \cot \alpha)}{(1 + \cot^2 \theta)} \quad [\text{EC2-1-1 Expr. (6.14)}]$$

[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 $V_{Rd,max}(\theta_{min}) \gg V_{Ed}$, 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 cm^2/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 cm^2/m pour toute la largeur b_w)

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

- [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).
 - 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.
- [18] Les semelles des PIPO font l'objet d'une justification particulière des sections de jonction de la semelle et du piédroit. Il s'agit des sections talon-semelle et patin-semelle au nu extérieur et intérieur du piédroit, à gauche et/ou à droite.

Exemple numérique :

Les efforts sont calculés pour la pleine largeur des barres. Il s'agit de la largeur droite pour la traverse supérieure et les dalles de transition, et de largeur biaise pour les piédroits et leurs semelles (talons et patins). Les largeurs sont évaluées au droit du centre de gravité de la section brute. Pour la traverse, seule élément de structure non rectangulaire, la position du centre de gravité se trouve dans la partie de pleine largeur, la largeur brute de la traverse est donc égale à la largeur de la traverse, soit 13,00 m.

La largeur des dalles de transition est la largeur droite soit 11,40 m (11,00 + 0,10 + 0,30). La largeur des piédroits et des semelles est la largeur biaise = 13,00/ sin (70 gr) = 14,59 m.

Pour illustrer cette séquence de calcul, on s'intéresse à la section d'encastrement de la traverse supérieure (section d'abscisse 0 de la barre 2) dont les résultats ont été encadrés en bleu.

On a :

$$b_w = 13,00 \text{ m}$$

$$h = 0,50 \text{ m}$$

$$d = 0,9 \times h = 0,450 \text{ m}$$

$$z = 0,9d = 0,9 \times 0,450 = 0,405 \text{ m}$$

$V_{Ed} = 4726 \text{ kN}$ [2] ; $N_{Ed} = 0$ [3], obtenus à l'ELU fondamental [12]. Pour les ouvrages non précontraints, l'effort normal est négligé.

Calcul de l'effort résistant du béton seul :

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

$$N_{Ed} = 0 \Rightarrow \sigma_{cp} = 0$$

$$k = \min \left(2; 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \right) = \min \left(2; 1 + \sqrt{\frac{200}{450}} \right) = 1,666$$

$$v_{\min} = 0,035 \cdot (k)^{\frac{3}{2}} \cdot (f_{ck})^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot (1,666)^{\frac{3}{2}} \cdot (35)^{\frac{1}{2}} = 0,45$$

$$V_{Rd,c} = (v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = (0,45 + 0) \times 13,00 \times 0,450 = 2,63 \text{ MN}$$

$$\boxed{V_{Rd,c} = 2631 \text{ kN} \quad [4]}$$

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 $a = \alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd}$
 et $\alpha_{cw} = 1$ en béton armé
 $v_1 = v = 0,6 (1 - f_{ck}/250) = 0,6 (1 - 35/250) = 0,516$
 $f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} f_{cf}}{\gamma_c} = \frac{1 \times 35}{1,5} = 23,33 \text{ MPa}$
 d'où : $a = \alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd} = 1 \times 13 \times 0,405 \times 0,516 \times 23,33 = 63,309$
 $4,757 t^2 - 63,309 t + 4,757 = 0$
 $\Rightarrow t=13,24 \Rightarrow \theta_0 = 4,32^\circ < \text{arccot}(1,5) = 33,7^\circ$

L'angle d'inclinaison minimal de 33,7° [8] doit être retenu.

L'effort résistant des bielles pour cette inclinaison vaut alors :

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot \frac{(\cot \theta + \cot \alpha)}{(1 + \cot^2 \theta)} \quad [\text{EC2-1-1 Expr.}(6.14)]$$

$$V_{Rd,max} = a \cdot \frac{(\cot \theta)}{(1 + \cot^2 \theta)} = 63,309 \times 1,5 / (1 + 1,5^2) = 29,257 \text{ MN} = 29257 \text{ kN} [5]$$

La section de calcul résultant de l'inclinaison θ équilibrant l'effort tranchant de calcul V_{Ed} vaut :

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{Ed}}{z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha} = \frac{4,726}{0,405 \times 500 / 1,15 \times (1,5 + 0) \times 1} = 0,0123,$$

soit $123,1 \text{ cm}^2/\text{m} [9]$

Cette section est inférieure à la section minimale donnée par :

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq (0,08 \sqrt{f_{ck}}) / f_{yk} \cdot b_w \cdot \sin \alpha = (0,08 \sqrt{35}) / 500 \times 13 \times 1 = 0,0170 [8]$$

Pour la valeur maximale (max [8] et [9]) l'effort résistant des armatures vaut :

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha = 4,726 \text{ MN}$$

On remarque ici que $V_{Rd,s} = V_{Ed}$, puisque le ferrailage n'est pas le ferrailage minimum.

On constate que $V_{Rd,max} = 29257 > V_{Ed} = 4726$.OK.

La démarche de calcul pour l'ouvrage *sur semelles fixes (non adaptables)* est tout à fait similaire. Les tableaux ne comprennent pas de résultats relatifs aux dalles de transition inexistantes dans cet exemple.

L'exemple du PIPO *sur pieux avec remblai* présente quelques particularités liées aux pieux.

Les pieux, dont le nombre a été fixé par le programme, ont les caractéristiques suivantes :

- Hauteur du raidisseur : 0,600 m
- Débord du raidisseur : 0,500 m
- Diamètre d'un pieu : 0,900 m
- Hauteur d'un pieu : 8,000 m
- Nombre de pieux par file : 7

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]

... résultats de la traverse et des piédroits supprimés ...

Barre n° 14 PIEUX/BARRETTES GAUCHE [13] et [14]
 bw = 5.985 z ut = .693 [15] et [16]

.00	3546.7	.0	1227.3	12800.0	3546.7	33.7	42.8	78.5	78.5	2880	ELU fondamentale sans prec. profil DEF
.40	2745.7	.0	1227.3	12800.0	2745.7	33.7	42.8	60.8	60.8	2880	ELU fondamentale sans prec. profil DEF
.80	2064.0	.0	1227.3	12800.0	2064.0	33.7	42.8	45.7	45.7	2880	ELU fondamentale sans prec. profil DEF
1.20	1513.3	.0	1227.3	12800.0	1934.3	33.7	42.8	33.7	33.7	2880	ELU fondamentale sans prec. profil DEF
1.60	1131.0	.0	1227.3	12800.0	1934.3	33.7	42.8	22.5	22.5	2880	ELU fondamentale sans prec. profil DEF
2.00	912.8	.0	1227.3	12800.0	1934.3	33.7	42.8	11.3	11.3	2880	ELU fondamentale sans prec. profil DEF

NOTA : Les notes de calculs commentées ont été établies dans l'hypothèse d'éléments de type poutre pour les pieux ou barrettes].

2.40	655.4	.0	1227.3	12800.0	1934.3	33.7	42.8	14.5	42.8	2880	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
2.80	579.2	.0	1227.3	12800.0	1934.3	33.7	42.8	12.8	42.8	2880	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
3.20	647.5	.0	1227.3	12800.0	1934.3	33.7	42.8	14.3	42.8	2880	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
3.60	703.9	.0	1227.3	12800.0	1934.3	33.7	42.8	15.6	42.8	2880	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
4.00	659.4	.0	1227.3	12800.0	1934.3	33.7	42.8	14.6	42.8	2880	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
4.40	559.9	.0	1227.3	12800.0	1934.3	33.7	42.8	12.4	42.8	2880	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
4.80	438.6	.0	1227.3	12800.0	1934.3	33.7	42.8	9.7	42.8	2880	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
5.20	317.1	.0	1227.3	12800.0	1934.3	33.7	42.8	7.0	42.8	2880	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
5.60	208.5	.0	1227.3	12800.0	1934.3	33.7	42.8	4.6	42.8	2880	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
6.00	119.4	.0	1227.3	12800.0	1934.3	33.7	42.8	2.6	42.8	2880	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
6.40	54.7	.0	1227.3	12800.0	1934.3	33.7	42.8	1.2	42.8	2880	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
6.80	35.9	.0	1227.3	12800.0	1934.3	33.7	42.8	.8	42.8	2880	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
7.20	30.8	.0	1227.3	12800.0	1934.3	33.7	42.8	.7	42.8	2880	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
7.60	18.9	.0	1227.3	12800.0	1934.3	33.7	42.8	.4	42.8	2880	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
8.00	.0	.0	1227.3	12800.0	1934.3	33.7	42.8	.0	42.8	2880	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
Barre n° 44 PIEUX/BARRETTES DROIT														
bw = 5.985 z_ut = .693														
.00	3546.7	.0	1227.3	12800.0	3546.7	33.7	42.8	78.5	78.5	2880	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
.40	2745.7	.0	1227.3	12800.0	2745.7	33.7	42.8	60.8	60.8	2880	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
.80	2064.0	.0	1227.3	12800.0	2064.0	33.7	42.8	45.7	45.7	2880	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
1.20	1513.3	.0	1227.3	12800.0	1934.3	33.7	42.8	33.5	42.8	2880	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
1.60	1131.0	.0	1227.3	12800.0	1934.3	33.7	42.8	25.0	42.8	2880	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
2.00	912.8	.0	1227.3	12800.0	1934.3	33.7	42.8	20.2	42.8	2880	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
2.40	655.3	.0	1227.3	12800.0	1934.3	33.7	42.8	14.5	42.8	2880	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
2.80	579.2	.0	1227.3	12800.0	1934.3	33.7	42.8	12.8	42.8	2880	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
3.20	647.5	.0	1227.3	12800.0	1934.3	33.7	42.8	14.3	42.8	2880	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
3.60	703.9	.0	1227.3	12800.0	1934.3	33.7	42.8	15.6	42.8	2880	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
4.00	659.4	.0	1227.3	12800.0	1934.3	33.7	42.8	14.6	42.8	2880	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
4.40	559.9	.0	1227.3	12800.0	1934.3	33.7	42.8	12.4	42.8	2880	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
4.80	438.6	.0	1227.3	12800.0	1934.3	33.7	42.8	9.7	42.8	2880	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
5.20	317.1	.0	1227.3	12800.0	1934.3	33.7	42.8	7.0	42.8	2880	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
5.60	208.5	.0	1227.3	12800.0	1934.3	33.7	42.8	4.6	42.8	2880	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
6.00	119.4	.0	1227.3	12800.0	1934.3	33.7	42.8	2.6	42.8	2880	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
6.40	54.7	.0	1227.3	12800.0	1934.3	33.7	42.8	1.2	42.8	2880	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
6.80	35.9	.0	1227.3	12800.0	1934.3	33.7	42.8	.8	42.8	2880	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
7.20	30.8	.0	1227.3	12800.0	1934.3	33.7	42.8	.7	42.8	2880	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
7.60	18.9	.0	1227.3	12800.0	1934.3	33.7	42.8	.4	42.8	2880	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF
8.00	.0	.0	1227.3	12800.0	1934.3	33.7	42.8	.0	42.8	2880	ELU	fondamental	sans prec.	profil DEF

NOTA :

REGLES GENERALES

Tous les éléments de structure de l'ouvrage sont assimilés à des poutres

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

- espacement longitudinal $s_l, \max = 0.75 \cdot d$
- espacement transversal $s_t, \max = 1.50 \cdot d$

[EC-2-1-1 § 9.3.2(4)]
[EC-2-1-1 § 9.3.2(5)]

REGLES POUR LES PIEDROITS

Il convient d'appliquer [EC-2-1-1 § 9.6.4(1)]

lorsque la section des armatures verticales est supérieure à $0.02 \cdot A_c$,

les espacements longitudinal et transversal doivent respecter les règles données pour les poteaux :

- $s_{cl, \max} = \text{Min}(20 \cdot \phi_v ; \text{voile} ; 400 \text{ mm})$

[EC-2-1-1 § 9.5.3]

REGLES POUR LES PIEUX [17]

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

- espacement longitudinal $s_l, \max = 0.75 \cdot d$
- espacement transversal $s_t, \max = \text{Min}(0.75 \cdot d ; 600 \text{ mm})$

[EC-2-1-1 § 9.2.2(6)]
[EC-2-1-1 § 9.2.2(8)]

Il convient également d'appliquer les dispositions ci-dessous :

- espacement longitudinal min $s_l, \min \geq \text{espacement des armatures verticales } s_v \text{ et } \phi_{\min} \geq \phi_v / 4$
- espacement longitudinal max $s_l, \max = \text{Min}(15 \cdot \phi_v ; 350 \text{ mm})$

[EN 1536 §7.6.3]
[F 62 titre V §C5 4.24]

Les résultats fournis dans ces tableaux ont la même définition que pour l'ouvrage *sur semelles*. Le nota qui suit le tableau précise des règles spécifiques au pieu. [17]

Pour illustrer cette séquence de calcul, on s'intéresse à la section d'encastrement du pieu sur le piedroit (section d'abscisse 0 de la barre 43) dont les résultats ont été encadrés en bleu. Les résultats sont fournis pour l'ensemble des 7 pieux.

Diamètre de calcul des pieux : Conformément à EC2 1.1 § 2.3.4.2, le diamètre de calcul se déduit par réduction de 5% du diamètre nominal, soit 0,045 m (bien compris entre 0,02 et 0,05 m).

$$\phi = \phi_{\text{calcul}} = 0,95 \times \phi_{\text{nominal}} = 0,95 \times 0,90 = 0,855 \text{ m}$$

$$b_w = 7 \times 0,855 = 5,985 \text{ m}$$

$$h = \phi_{\text{calcul}} = 0,855 \text{ m}$$

$$d = 0,9 \times h = 0,795 \text{ m}$$

$$z = 0,9 \times d = 0,9 \times 0,795 = 0,693 \text{ m}$$

$V_{Ed} = 3546,7 \text{ kN}$ [2] ; $N_{Ed} = 0$ [3], obtenus à l'ELU fondamental [12]. Pour les ouvrages non précontraints, l'effort normal est négligé.

Calcul de l'effort résistant du béton seul :

On note qu'ici on utilise le coefficient $\gamma_c = 1,5 \times 1,1 = 1,65$ relatif aux pieux.

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

$$N_{Ed} = 0 \Rightarrow \sigma_{cp} = 0$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{769,5}} = 1,5098 \leq 2,0$$

$$v_{\min} = 0,035 (k)^{\frac{3}{2}} (f_{ck})^{\frac{1}{2}} = 0,035 (1,5098)^{\frac{3}{2}} (20)^{\frac{1}{2}} = 0,2665$$

$$V_{Rd,c} = (v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = (0,2665 + 0) \times 5,985 \times 0,7695 = 1,2273 \text{ MN}$$

$$V_{Rd,c} = 1227,3 \text{ kN} \quad [4]$$

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 $a = \alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd}$

et $\alpha_{cw} = 1$ en béton armé

$$v_1 = v = 0,6 (1 - f_{ck}/250) = 0,6 (1 - 20/250) = 0,552$$

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{1 \times 20}{1,65} = 12,12 \text{ MPa}$$

d'où : $a = \alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd} = 1 \times 5,985 \times 0,693 \times 0,552 \times 12,12 = 27,756$

$$3,5467 t^2 - 27,756 t + 3,5467 = 0$$

$$\Rightarrow t = 7,696 \Rightarrow \theta_0 = 7,40 < \text{arccot}(1,5) = 33,7^\circ$$

L'angle d'inclinaison minimal de $33,7^\circ$ [8] doit être retenu.

L'effort résistant des bielles pour cette inclinaison vaut alors :

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot \frac{(\cot \theta + \cot \alpha)}{(1 + \cot^2 \theta)} \quad [\text{EC2-1-1 Expr.}(6.14)]$$

$$V_{Rd,max} = a \cdot \frac{(\cot \theta)}{(1 + \cot^2 \theta)} = 27,756 \times 1,5 / (1 + 1,5^2) = 12,800 \text{ MN} = 12,800 \text{ kN} \quad [5]$$

La section de calcul résultant de l'inclinaison θ équilibrant l'effort tranchant de calcul V_{Ed} vaut :

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{Ed}}{z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha} = \frac{3,5467}{0,693 \times 500 / 1,15 \times (1,5 + 0) \times 1} = 0,00785,$$

soit $\boxed{78,5 \text{ cm}^2/\text{m}}$ [9] correspondant à :

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha = V_{Ed} = 3,546 \text{ MN}$$

Cette section est supérieure à la section minimale donnée par :

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq (0,08 \sqrt{f_{ck}}) / f_{yk} \cdot b_w \cdot \sin \alpha = (0,08 \sqrt{20}) / 500 \times 5,985 \times 1 = 0,00428 \quad [8]$$

On constate que $V_{Rd,max} = 12800 > V_{Ed} = 3546,7$. Il n'est donc pas nécessaire de mettre en place des armatures d'effort tranchant. Toutefois, s'agissant d'un élément de poutre, il est prescrit de mettre en œuvre le ferrailage minimal. On retient finalement une section de $78,5 \text{ cm}^2/\text{m}$ pour l'ensemble des 7 pieux.

11.8 - Vérification de la stabilité externe des semelles

La présente partie de la note de calculs permet de vérifier le respect des différents critères intervenant dans la justification de la stabilité externe des semelles.

Pour les ouvrages fondés sur pieux, cette justification est évidemment sans objet.

11.8.1 - PIPO sur semelles fixes avec remblai

VERIFICATION DE LA STABILITE EXTERNE DES SEMELLES
PROFIL PROVISOIRE

Nota : Dans le cas où un profil en travers provisoire est défini par l'utilisateur en sus du profil en travers définitif, la justification de la stabilité externe est effectuée pour les deux profils. Dans le cas contraire, la justification est effectuée pour le seul profil définitif.

Largeur biaise des semelles : 20.20 m

Nota : La largeur biaise des semelles est la dimension selon l'axe du piédroit, suivant le biais de l'ouvrage.

VERIFICATION DE LA SEMELLE DE GAUCHE

Longueur droite de la semelle : 3.05 m

Longueur droite du talon : 1.50 m

Longueur droite du patin : 1.00 m

Nota 1 : La longueur droite des semelles est la dimension dans le sens perpendiculaire au piédroit.

Nota 2 : Dans cet exemple, les dimensions des patins et des talons n'ont pas été optimisées préalablement par le programme CHAMOA, car elles avaient été déclarées comme fixes (donc non modifiables) par l'utilisateur.

--- JUSTIFICATION DE LA NON DECOMPRESSION DU SOL ELS ET DU NON RENVERSEMENT ELU - SEMELLE DE GAUCHE ---

CAS	PIVOT	COTE	VAL	N (kN)	M (kN.m)	Exc (m)	B/6 (m)	B' (m)	B'/B	LIM.	VERIF
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]
ELS_FREQ	N	GAUC	Min	11815.0	-178.3	-0.015	0.508	3.05	1.00	1.00	OK
ELS_FREQ	N	GAUC	Max	14179.0	-1318.1	-0.093	0.508	3.05	1.00	1.00	OK
ELS_CARA	N	GAUC	Min	11814.0	-177.4	-0.015	0.508	3.05	1.00	0.75	OK
ELS_CARA	N	GAUC	Max	14179.0	-1263.9	-0.089	0.508	3.05	1.00	0.75	OK
ELU_FOND	N	GAUC	Min	11813.0	283.0	0.024	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELU_FOND	N	GAUC	Max	19020.0	-2117.9	-0.111	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELU_ACCI	N	GAUC	Min	11815.0	282.0	0.024	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELU_ACCI	N	GAUC	Max	12644.0	-1246.1	-0.099	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELS_FREQ	M	GAUC	Min	13454.0	-2173.5	-0.162	0.508	3.05	1.00	1.00	OK
ELS_FREQ	M	GAUC	Max	11936.0	674.1	0.056	0.508	3.05	1.00	1.00	OK
ELS_CARA	M	GAUC	Min	13454.0	-2250.2	-0.167	0.508	3.05	1.00	0.75	OK
ELS_CARA	M	GAUC	Max	11936.0	890.8	0.075	0.508	3.05	1.00	0.75	OK
ELU_FOND	M	GAUC	Min	18090.0	-2367.0	-0.131	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELU_FOND	M	GAUC	Max	11934.0	350.0	0.029	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELU_ACCI	M	GAUC	Min	12644.0	-1246.1	-0.099	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELU_ACCI	M	GAUC	Max	11936.0	349.1	0.029	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELS_FREQ	T	GAUC	Min	11815.0	-959.6	-0.081	0.508	3.05	1.00	1.00	OK
ELS_FREQ	T	GAUC	Max	11815.0	-959.6	-0.081	0.508	3.05	1.00	1.00	OK
ELS_CARA	T	GAUC	Min	11815.0	-959.6	-0.081	0.508	3.05	1.00	0.75	OK
ELS_CARA	T	GAUC	Max	11815.0	-959.6	-0.081	0.508	3.05	1.00	0.75	OK
ELU_FOND	T	GAUC	Min	11815.0	-959.6	-0.081	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELU_FOND	T	GAUC	Max	11815.0	-959.6	-0.081	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELU_ACCI	T	GAUC	Min	11815.0	-959.6	-0.081	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELU_ACCI	T	GAUC	Max	11815.0	-959.6	-0.081	0.508	3.05	1.00	0.10	OK

--- JUSTIFICATION DE LA MOBILISATION DU SOL ELS/ELU - SEMELLE DE GAUCHE ---

CAS	PIVOT	COTE	VAL	N (kN)	M (kN.m)	H (kN)	Qmin	Qmax	Qref	delta	idelta	Qadm	VERIF
						[13]	[14]	[15]	[16]	[17]	[18]	[19]	[20]
ELS_CARA	N	GAUC	Min	11814.0	-177.4	-588.2	186.1	197.4	194.6	2.9	0.90	326.6	OK
ELS_CARA	N	GAUC	Max	14179.0	-1263.9	-588.2	189.8	270.5	250.3	2.4	0.91	332.0	OK
ELU_FOND	N	GAUC	Min	11813.0	283.0	-588.2	182.7	200.8	196.2	2.9	0.90	469.9	OK
ELU_FOND	N	GAUC	Max	19020.0	-2117.9	-588.2	241.1	376.3	342.5	1.8	0.93	488.5	OK
ELU_ACCI	N	GAUC	Min	11815.0	282.0	-588.2	182.8	200.8	196.3	2.9	0.90	469.9	OK
ELU_ACCI	N	GAUC	Max	12644.0	-1246.1	-588.2	165.4	245.0	225.1	2.7	0.90	473.1	OK
ELS_CARA	M	GAUC	Min	13454.0	-2250.2	-588.2	146.5	290.2	254.3	2.5	0.91	330.6	OK
ELS_CARA	M	GAUC	Max	11936.0	890.8	-588.2	165.3	222.2	207.9	2.8	0.90	326.9	OK
ELU_FOND	M	GAUC	Min	18090.0	-2367.0	-588.2	218.0	369.2	331.4	1.9	0.93	486.9	OK
ELU_FOND	M	GAUC	Max	11934.0	350.0	-588.2	182.5	204.9	199.3	2.8	0.90	470.4	OK
ELU_ACCI	M	GAUC	Min	12644.0	-1246.1	-588.2	165.4	245.0	225.1	2.7	0.90	473.1	OK
ELU_ACCI	M	GAUC	Max	11936.0	349.1	-588.2	182.6	204.9	199.3	2.8	0.90	470.4	OK
ELS_CARA	T	GAUC	Min	11815.0	-959.6	-3129.8	161.1	222.4	207.1	14.8	0.52	207.8	OK
ELS_CARA	T	GAUC	Max	11815.0	-959.6	392.2	161.1	222.4	207.1	1.9	0.93	337.5	OK
ELU_FOND	T	GAUC	Min	11815.0	-959.6	-4034.7	161.1	222.4	207.1	18.9	0.42	243.8	OK
ELU_FOND	T	GAUC	Max	11815.0	-959.6	398.8	161.1	222.4	207.1	1.9	0.93	485.7	OK
ELU_ACCI	T	GAUC	Min	11815.0	-959.6	-2870.5	161.1	222.4	207.1	13.7	0.56	306.9	OK
ELU_ACCI	T	GAUC	Max	11815.0	-959.6	-268.9	161.1	222.4	207.1	1.3	0.95	496.7	OK

--- JUSTIFICATION DU NON GLISSEMENT ELU - SEMELLE DE GAUCHE ---

CAS	PIVOT	COTE	VAL	N (kN)	H (kN)	Phi'	c'	A' (m²)	Hres (kN)	VERIF
						[21]	[22]	[23]	[24]	[25]
ELU_FOND	N	GAUC	Min	11813.0	-588.2	30.0	0.0	61.6	5683.5	OK
ELU_FOND	N	GAUC	Max	19020.0	-588.2	30.0	0.0	61.6	9151.0	OK
ELU_ACCI	N	GAUC	Min	11815.0	-588.2	30.0	0.0	61.6	5684.5	OK
ELU_ACCI	N	GAUC	Max	12644.0	-588.2	30.0	0.0	61.6	6083.4	OK

ELU_FOND	M	GAUC	Min	18090.0	-588.2	30.0	0.0	61.6	8703.6	OK
ELU_FOND	M	GAUC	Max	11934.0	-588.2	30.0	0.0	61.6	5741.8	OK
ELU_ACCI	M	GAUC	Min	12644.0	-588.2	30.0	0.0	61.6	6083.4	OK
ELU_ACCI	M	GAUC	Max	11936.0	-588.2	30.0	0.0	61.6	5742.7	OK
ELU_FOND	T	GAUC	Min	11815.0	-4034.7	30.0	0.0	61.6	5684.5	OK
ELU_FOND	T	GAUC	Max	11815.0	398.8	30.0	0.0	61.6	5684.5	OK
ELU_ACCI	T	GAUC	Min	11815.0	-2870.5	30.0	0.0	61.6	5684.5	OK
ELU_ACCI	T	GAUC	Max	11815.0	-268.9	30.0	0.0	61.6	5684.5	OK

 VERIFICATION DE LA SEMELLE DE DROITE

Longueur droite de la semelle : 3.05 m
 Longueur droite du talon : 1.50 m
 Longueur droite du patin : 1.00 m

--- JUSTIFICATION DE LA NON DECOMPRESSION DU SOL ELS ET DU NON RENVERSEMENT ELU - SEMELLE DE DROITE ---

CAS	PIVOT	COTE	VAL	N (kN)	M (kN.m)	Exc (m)	B/6 (m)	B' (m)	B'/B	LIM.	VERIF
ELS_FREQ	N	DROI	Min	11815.0	-607.1	-0.051	0.508	3.05	1.00	1.00	OK
ELS_FREQ	N	DROI	Max	14167.0	1970.4	0.139	0.508	3.05	1.00	1.00	OK
ELS_CARA	N	DROI	Min	11814.0	-607.8	-0.051	0.508	3.05	1.00	0.75	OK
ELS_CARA	N	DROI	Max	14167.0	2047.1	0.144	0.508	3.05	1.00	0.75	OK
ELU_FOND	N	DROI	Min	11813.0	-283.0	-0.024	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELU_FOND	N	DROI	Max	19004.0	2115.5	0.111	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELU_ACCI	N	DROI	Min	11815.0	-282.0	-0.024	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELU_ACCI	N	DROI	Max	12644.0	1246.1	0.099	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELS_FREQ	M	DROI	Min	11936.0	-674.1	-0.056	0.508	3.05	1.00	1.00	OK
ELS_FREQ	M	DROI	Max	13463.0	2171.3	0.161	0.508	3.05	1.00	1.00	OK
ELS_CARA	M	DROI	Min	11936.0	-890.8	-0.075	0.508	3.05	1.00	0.75	OK
ELS_CARA	M	DROI	Max	13463.0	2248.0	0.167	0.508	3.05	1.00	0.75	OK
ELU_FOND	M	DROI	Min	11934.0	-350.0	-0.029	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELU_FOND	M	DROI	Max	18100.0	2364.5	0.131	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELU_ACCI	M	DROI	Min	11936.0	-349.1	-0.029	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELU_ACCI	M	DROI	Max	12644.0	1246.1	0.099	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELS_FREQ	T	DROI	Min	11815.0	959.6	0.081	0.508	3.05	1.00	1.00	OK
ELS_FREQ	T	DROI	Max	11815.0	959.6	0.081	0.508	3.05	1.00	1.00	OK
ELS_CARA	T	DROI	Min	11815.0	959.6	0.081	0.508	3.05	1.00	0.75	OK
ELS_CARA	T	DROI	Max	11815.0	959.6	0.081	0.508	3.05	1.00	0.75	OK
ELU_FOND	T	DROI	Min	11815.0	959.6	0.081	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELU_FOND	T	DROI	Max	11815.0	959.6	0.081	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELU_ACCI	T	DROI	Min	11815.0	959.6	0.081	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELU_ACCI	T	DROI	Max	11815.0	959.6	0.081	0.508	3.05	1.00	0.10	OK

--- JUSTIFICATION DE LA MOBILISATION DU SOL ELS/ELU - SEMELLE DE DROITE ---

CAS	PIVOT	COTE	VAL	N (kN)	M (kN.m)	H (kN)	Qmin	Qmax	Qref	delta	idelta	Qadm	VERIF
ELS_CARA	N	DROI	Min	11814.0	-607.8	588.2	172.3	211.1	201.4	2.9	0.90	326.6	OK
ELS_CARA	N	DROI	Max	14167.0	2047.1	588.2	164.6	295.3	262.6	2.4	0.91	332.0	OK
ELU_FOND	N	DROI	Min	11813.0	-283.0	588.2	182.7	200.8	196.2	2.9	0.90	469.9	OK
ELU_FOND	N	DROI	Max	19004.0	2115.5	588.2	240.9	376.0	342.2	1.8	0.93	488.5	OK
ELU_ACCI	N	DROI	Min	11815.0	-282.0	588.2	182.8	200.8	196.3	2.9	0.90	469.9	OK
ELU_ACCI	N	DROI	Max	12644.0	1246.1	588.2	165.4	245.0	225.1	2.7	0.90	473.1	OK
ELS_CARA	M	DROI	Min	11936.0	-890.8	588.2	165.3	222.2	207.9	2.8	0.90	326.9	OK
ELS_CARA	M	DROI	Max	13463.0	2248.0	588.2	146.7	290.3	254.4	2.5	0.91	330.6	OK
ELU_FOND	M	DROI	Min	11934.0	-350.0	588.2	182.5	204.9	199.3	2.8	0.90	470.4	OK
ELU_FOND	M	DROI	Max	18100.0	2364.5	588.2	218.3	369.2	331.5	1.9	0.93	486.9	OK
ELU_ACCI	M	DROI	Min	11936.0	-349.1	588.2	182.6	204.9	199.3	2.8	0.90	470.4	OK
ELU_ACCI	M	DROI	Max	12644.0	1246.1	588.2	165.4	245.0	225.1	2.7	0.90	473.1	OK
ELS_CARA	T	DROI	Min	11815.0	959.6	-392.2	161.1	222.4	207.1	1.9	0.93	337.5	OK
ELS_CARA	T	DROI	Max	11815.0	959.6	3129.8	161.1	222.4	207.1	14.8	0.52	207.8	OK
ELU_FOND	T	DROI	Min	11815.0	959.6	-398.8	161.1	222.4	207.1	1.9	0.93	485.7	OK
ELU_FOND	T	DROI	Max	11815.0	959.6	4034.7	161.1	222.4	207.1	18.9	0.42	243.8	OK
ELU_ACCI	T	DROI	Min	11815.0	959.6	268.9	161.1	222.4	207.1	1.3	0.95	496.7	OK
ELU_ACCI	T	DROI	Max	11815.0	959.6	2870.5	161.1	222.4	207.1	13.7	0.56	306.9	OK

--- JUSTIFICATION DU NON GLISSEMENT ELU - SEMELLE DE DROITE ---

CAS	PIVOT	COTE	VAL	N (kN)	H (kN)	Phi'	c'	A' (m²)	Hres (kN)	VERIF
ELU_FOND	N	DROI	Min	11813.0	588.2	30.0	0.0	61.6	5683.5	OK
ELU_FOND	N	DROI	Max	19004.0	588.2	30.0	0.0	61.6	9143.3	OK
ELU_ACCI	N	DROI	Min	11815.0	588.2	30.0	0.0	61.6	5684.5	OK
ELU_ACCI	N	DROI	Max	12644.0	588.2	30.0	0.0	61.6	6083.4	OK
ELU_FOND	M	DROI	Min	11934.0	588.2	30.0	0.0	61.6	5741.8	OK
ELU_FOND	M	DROI	Max	18100.0	588.2	30.0	0.0	61.6	8708.4	OK
ELU_ACCI	M	DROI	Min	11936.0	588.2	30.0	0.0	61.6	5742.7	OK
ELU_ACCI	M	DROI	Max	12644.0	588.2	30.0	0.0	61.6	6083.4	OK
ELU_FOND	T	DROI	Min	11815.0	-398.8	30.0	0.0	61.6	5684.5	OK
ELU_FOND	T	DROI	Max	11815.0	4034.7	30.0	0.0	61.6	5684.5	OK
ELU_ACCI	T	DROI	Min	11815.0	268.9	30.0	0.0	61.6	5684.5	OK
ELU_ACCI	T	DROI	Max	11815.0	2870.5	30.0	0.0	61.6	5684.5	OK

VERIFICATION DE LA STABILITE EXTERNE DES SEMELLES
 PROFIL DEFINITIF

Largeur biaise des semelles : 20.20 m

 VERIFICATION DE LA SEMELLE DE GAUCHE

Longueur droite de la semelle : 3.05 m
 Longueur droite du talon : 1.50 m

Longueur droite du patin : 1.00 m

--- JUSTIFICATION DE LA NON DECOMPRESSION DU SOL ELS ET DU NON RENVERSEMENT ELU - SEMELLE DE GAUCHE ---

CAS	PIVOT	COTE	VAL	N (kN)	M (kN.m)	Exc (m)	B/6 (m)	B' (m)	B'/B	LIM.	VERIF
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]
ELS_FREQ	N	GAUC	Min	11846.0	-191.7	-0.016	0.508	3.05	1.00	1.00	OK
ELS_FREQ	N	GAUC	Max	14470.0	-1108.3	-0.077	0.508	3.05	1.00	1.00	OK
ELS_CARA	N	GAUC	Min	11843.0	-190.1	-0.016	0.508	3.05	1.00	0.75	OK
ELS_CARA	N	GAUC	Max	14599.0	-1096.5	-0.075	0.508	3.05	1.00	0.75	OK
ELU_FOND	N	GAUC	Min	11842.0	270.7	0.023	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELU_FOND	N	GAUC	Max	19579.0	-1907.0	-0.097	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELU_ACCI	N	GAUC	Min	11846.0	268.5	0.023	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELU_ACCI	N	GAUC	Max	12910.0	-1172.1	-0.091	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELS_FREQ	M	GAUC	Min	13915.0	-2338.8	-0.168	0.508	3.05	1.00	1.00	OK
ELS_FREQ	M	GAUC	Max	11968.0	660.9	0.055	0.508	3.05	1.00	1.00	OK
ELS_CARA	M	GAUC	Min	14068.0	-2450.9	-0.174	0.508	3.05	1.00	0.75	OK
ELS_CARA	M	GAUC	Max	11968.0	877.6	0.073	0.508	3.05	1.00	0.75	OK
ELU_FOND	M	GAUC	Min	18897.0	-2638.5	-0.140	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELU_FOND	M	GAUC	Max	12437.0	457.2	0.037	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELU_ACCI	M	GAUC	Min	12719.0	-1379.1	-0.108	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELU_ACCI	M	GAUC	Max	11968.0	335.9	0.028	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELS_FREQ	T	GAUC	Min	11846.0	-973.1	-0.082	0.508	3.05	1.00	1.00	OK
ELS_FREQ	T	GAUC	Max	11846.0	-973.1	-0.082	0.508	3.05	1.00	1.00	OK
ELS_CARA	T	GAUC	Min	11846.0	-973.1	-0.082	0.508	3.05	1.00	0.75	OK
ELS_CARA	T	GAUC	Max	11846.0	-973.1	-0.082	0.508	3.05	1.00	0.75	OK
ELU_FOND	T	GAUC	Min	11846.0	-973.1	-0.082	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELU_FOND	T	GAUC	Max	11846.0	-973.1	-0.082	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELU_ACCI	T	GAUC	Min	11846.0	-973.1	-0.082	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELU_ACCI	T	GAUC	Max	11846.0	-973.1	-0.082	0.508	3.05	1.00	0.10	OK

--- JUSTIFICATION DE LA MOBILISATION DU SOL ELS/ELU - SEMELLE DE GAUCHE ---

CAS	PIVOT	COTE	VAL	N (kN)	M (kN.m)	H (kN)	Qmin	Qmax	Qref	delta	idelta	Qadm	VERIF
ELS_CARA	N	GAUC	Min	11843.0	-190.1	-574.1	186.1	198.3	195.2	2.8	0.90	327.4	OK
ELS_CARA	N	GAUC	Max	14599.0	-1096.5	-574.1	201.9	271.9	254.4	2.3	0.92	333.4	OK
ELU_FOND	N	GAUC	Min	11842.0	270.7	-574.1	183.5	200.8	196.5	2.8	0.90	471.2	OK
ELU_FOND	N	GAUC	Max	19579.0	-1907.0	-574.1	256.9	378.6	348.2	1.7	0.94	490.1	OK
ELU_ACCI	N	GAUC	Min	11846.0	268.5	-574.1	183.7	200.8	196.5	2.8	0.90	471.2	OK
ELU_ACCI	N	GAUC	Max	12910.0	-1172.1	-574.1	172.1	246.9	228.2	2.5	0.91	475.1	OK
ELS_CARA	M	GAUC	Min	14068.0	-2450.9	-574.1	150.1	306.6	267.4	2.3	0.91	332.5	OK
ELS_CARA	M	GAUC	Max	11968.0	877.6	-574.1	166.2	222.3	208.2	2.7	0.90	327.8	OK
ELU_FOND	M	GAUC	Min	18897.0	-2638.5	-574.1	222.5	390.9	348.8	1.7	0.94	489.1	OK
ELU_FOND	M	GAUC	Max	12437.0	457.2	-574.1	187.3	216.4	209.1	2.6	0.90	473.4	OK
ELU_ACCI	M	GAUC	Min	12719.0	-1379.1	-574.1	162.4	250.5	228.4	2.6	0.91	474.4	OK
ELU_ACCI	M	GAUC	Max	11968.0	335.9	-574.1	183.5	205.0	199.6	2.7	0.90	471.7	OK
ELS_CARA	T	GAUC	Min	11846.0	-973.1	-3233.7	161.2	223.3	207.8	15.3	0.51	204.2	INSTABLE
ELS_CARA	T	GAUC	Max	11846.0	-973.1	581.7	161.2	223.3	207.8	2.8	0.90	327.0	OK
ELU_FOND	T	GAUC	Min	11846.0	-973.1	-4175.0	161.2	223.3	207.8	19.4	0.41	237.6	OK
ELU_FOND	T	GAUC	Max	11846.0	-973.1	655.0	161.2	223.3	207.8	3.2	0.88	464.5	OK
ELU_ACCI	T	GAUC	Min	11846.0	-973.1	-2856.4	161.2	223.3	207.8	13.6	0.56	308.2	OK
ELU_ACCI	T	GAUC	Max	11846.0	-973.1	-178.9	161.2	223.3	207.8	0.9	0.97	504.5	OK

Attention ! Le critère de non poinçonnement du sol pas vérifié.
Il faut augmenter la largeur de la semelle.

Nota : Il existe au moins un cas pour lequel le critère de non-poinçonnement du sol n'est pas vérifié. Ce cas fait l'objet d'une application numérique détaillée par la suite.

--- JUSTIFICATION DU NON GLISSEMENT ELU - SEMELLE DE GAUCHE ---

CAS	PIVOT	COTE	VAL	N (kN)	H (kN)	Phi'	c'	A' (m²)	Hres (kN)	VERIF
ELU_FOND	N	GAUC	Min	11842.0	-574.1	30.0	0.0	61.6	5697.5	OK
ELU_FOND	N	GAUC	Max	19579.0	-574.1	30.0	0.0	61.6	9420.0	OK
ELU_ACCI	N	GAUC	Min	11846.0	-574.1	30.0	0.0	61.6	5699.4	OK
ELU_ACCI	N	GAUC	Max	12910.0	-574.1	30.0	0.0	61.6	6211.3	OK
ELU_FOND	M	GAUC	Min	18897.0	-574.1	30.0	0.0	61.6	9091.8	OK
ELU_FOND	M	GAUC	Max	12437.0	-574.1	30.0	0.0	61.6	5983.8	OK
ELU_ACCI	M	GAUC	Min	12719.0	-574.1	30.0	0.0	61.6	6119.4	OK
ELU_ACCI	M	GAUC	Max	11968.0	-574.1	30.0	0.0	61.6	5758.1	OK
ELU_FOND	T	GAUC	Min	11846.0	-4175.0	30.0	0.0	61.6	5699.4	OK
ELU_FOND	T	GAUC	Max	11846.0	655.0	30.0	0.0	61.6	5699.4	OK
ELU_ACCI	T	GAUC	Min	11846.0	-2856.4	30.0	0.0	61.6	5699.4	OK
ELU_ACCI	T	GAUC	Max	11846.0	-178.9	30.0	0.0	61.6	5699.4	OK

VERIFICATION DE LA SEMELLE DE DROITE

Longueur droite de la semelle : 3.05 m
Longueur droite du talon : 1.50 m
Longueur droite du patin : 1.00 m

--- JUSTIFICATION DE LA NON DECOMPRESSION DU SOL ELS ET DU NON RENVERSEMENT ELU - SEMELLE DE DROITE ---

CAS	PIVOT	COTE	VAL	N (kN)	M (kN.m)	Exc (m)	B/6 (m)	B' (m)	B'/B	LIM.	VERIF
ELS_FREQ	N	DROI	Min	11846.0	-593.5	-0.050	0.508	3.05	1.00	1.00	OK
ELS_FREQ	N	DROI	Max	14476.0	1806.0	0.125	0.508	3.05	1.00	1.00	OK
ELS_CARA	N	DROI	Min	11843.0	-595.3	-0.050	0.508	3.05	1.00	0.75	OK
ELS_CARA	N	DROI	Max	14604.0	1932.8	0.132	0.508	3.05	1.00	0.75	OK
ELU_FOND	N	DROI	Min	11842.0	-270.8	-0.023	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELU_FOND	N	DROI	Max	19587.0	1972.3	0.101	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELU_ACCI	N	DROI	Min	11846.0	-268.5	-0.023	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELU_ACCI	N	DROI	Max	12909.0	1178.5	0.091	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELS_FREQ	M	DROI	Min	11968.0	-660.9	-0.055	0.508	3.05	1.00	1.00	OK
ELS_FREQ	M	DROI	Max	13851.0	2339.9	0.169	0.508	3.05	1.00	1.00	OK
ELS_CARA	M	DROI	Min	11968.0	-877.6	-0.073	0.508	3.05	1.00	0.75	OK

ELS_CAR	M	DROI	Max	13949.0	2464.8	0.177	0.508	3.05	1.00	0.75	OK
ELU_FOND	M	DROI	Min	12437.0	-457.2	-0.037	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELU_FOND	M	DROI	Max	18745.0	2656.1	0.142	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELU_ACCI	M	DROI	Min	11968.0	-335.9	-0.028	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELU_ACCI	M	DROI	Max	12683.0	1388.1	0.109	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELS_FREQ	T	DROI	Min	11846.0	973.0	0.082	0.508	3.05	1.00	1.00	OK
ELS_FREQ	T	DROI	Max	11846.0	973.0	0.082	0.508	3.05	1.00	1.00	OK
ELS_CAR	T	DROI	Min	11846.0	973.0	0.082	0.508	3.05	1.00	0.75	OK
ELS_CAR	T	DROI	Max	11846.0	973.0	0.082	0.508	3.05	1.00	0.75	OK
ELU_FOND	T	DROI	Min	11846.0	973.0	0.082	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELU_FOND	T	DROI	Max	11846.0	973.0	0.082	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELU_ACCI	T	DROI	Min	11846.0	973.0	0.082	0.508	3.05	1.00	0.10	OK
ELU_ACCI	T	DROI	Max	11846.0	973.0	0.082	0.508	3.05	1.00	0.10	OK

--- JUSTIFICATION DE LA MOBILISATION DU SOL ELS/ELU - SEMELLE DE DROITE ---

CAS	PIVOT	COTE	VAL	N (kN)	M (kN.m)	H (kN)	Qmin	Qmax	Qref	delta	idelta	Qadm	VERIF
ELS_CAR	N	DROI	Min	11843.0	-595.3	574.1	173.2	211.2	201.7	2.8	0.90	327.4	OK
ELU_FOND	N	DROI	Max	14604.0	1932.8	574.1	175.3	298.7	267.9	2.3	0.92	333.5	OK
ELU_FOND	N	DROI	Min	11842.0	-270.8	574.1	183.5	200.8	196.5	2.8	0.90	471.2	OK
ELU_FOND	N	DROI	Max	19587.0	1972.3	574.1	254.9	380.9	349.4	1.7	0.94	490.1	OK
ELU_ACCI	N	DROI	Min	11846.0	-268.5	574.1	183.7	200.8	196.5	2.8	0.90	471.2	OK
ELU_ACCI	N	DROI	Max	12909.0	1178.5	574.1	171.9	247.1	228.3	2.5	0.91	475.1	OK
ELS_CAR	M	DROI	Min	11968.0	-877.6	574.1	166.2	222.3	208.2	2.7	0.90	327.8	OK
ELS_CAR	M	DROI	Max	13949.0	2464.8	574.1	147.7	305.1	265.7	2.4	0.91	332.2	OK
ELU_FOND	M	DROI	Min	12437.0	-457.2	574.1	187.3	216.4	209.1	2.6	0.90	473.4	OK
ELU_FOND	M	DROI	Max	18745.0	2656.1	574.1	219.4	389.0	346.6	1.8	0.94	488.8	OK
ELU_ACCI	M	DROI	Min	11968.0	-335.9	574.1	183.5	205.0	199.6	2.7	0.90	471.7	OK
ELU_ACCI	M	DROI	Max	12683.0	1388.1	574.1	161.5	250.2	228.0	2.6	0.90	474.3	OK
ELS_CAR	T	DROI	Min	11846.0	973.0	-581.7	161.2	223.3	207.8	2.8	0.90	327.0	OK
ELS_CAR	T	DROI	Max	11846.0	973.0	3233.7	161.2	223.3	207.8	15.3	0.51	204.2	INSTABLE [13b] à [20b]
ELU_FOND	T	DROI	Min	11846.0	973.0	-655.0	161.2	223.3	207.8	3.2	0.88	464.5	OK
ELU_FOND	T	DROI	Max	11846.0	973.0	4175.0	161.2	223.3	207.8	19.4	0.41	237.6	OK
ELU_ACCI	T	DROI	Min	11846.0	973.0	178.9	161.2	223.3	207.8	0.9	0.97	504.5	OK
ELU_ACCI	T	DROI	Max	11846.0	973.0	2856.4	161.2	223.3	207.8	13.6	0.56	308.2	OK

Attention ! Le critère de non poinçonnement du sol pas vérifié.
Il faut augmenter la largeur de la semelle.

--- JUSTIFICATION DU NON GLISSEMENT ELU - SEMELLE DE DROITE ---

CAS	PIVOT	COTE	VAL	N (kN)	H (kN)	Phi'	c'	A' (m²)	Hres (kN)	VERIF
ELU_FOND	N	DROI	Min	11842.0	574.1	30.0	0.0	61.6	5697.5	OK
ELU_FOND	N	DROI	Max	19587.0	574.1	30.0	0.0	61.6	9423.8	OK
ELU_ACCI	N	DROI	Min	11846.0	574.1	30.0	0.0	61.6	5699.4	OK
ELU_ACCI	N	DROI	Max	12909.0	574.1	30.0	0.0	61.6	6210.9	OK
ELU_FOND	M	DROI	Min	12437.0	574.1	30.0	0.0	61.6	5983.8	OK
ELU_FOND	M	DROI	Max	18745.0	574.1	30.0	0.0	61.6	9018.7	OK
ELU_ACCI	M	DROI	Min	11968.0	574.1	30.0	0.0	61.6	5758.1	OK
ELU_ACCI	M	DROI	Max	12683.0	574.1	30.0	0.0	61.6	6102.1	OK
ELU_FOND	T	DROI	Min	11846.0	-655.0	30.0	0.0	61.6	5699.4	OK
ELU_FOND	T	DROI	Max	11846.0	4175.0	30.0	0.0	61.6	5699.4	OK
ELU_ACCI	T	DROI	Min	11846.0	178.9	30.0	0.0	61.6	5699.4	OK
ELU_ACCI	T	DROI	Max	11846.0	2856.4	30.0	0.0	61.6	5699.4	OK

Un premier tableau permet de fournir les justifications vis-à-vis de la non-décompression du sol à l'ELS fréquent et à l'ELS caractéristique et du non-renversement à l'ELU fondamental et à l'ELU accidentel.

- [1] Enveloppes globales correspondant au type d'état limite traité : ELS fréquent (ELS_FREQ), ELS caractéristique (ELS_CAR), ELU fondamental (ELU_FOND) et ELU accidentel (ELU_ACCI). Les critères de non-décompression du sol et de non-renversement de la semelle nécessitent de traiter l'ensemble de ces états limites. La vérification du poinçonnement ne concerne que l'ELS_CAR et les ELU tandis que la justification du non-glissement ne traite que des ELU.
- [2] Pivot (N/M/T) sur lequel la concomitance des résultats est étudiée. Par exemple, le pivot M correspond à la vérification des critères sur la base de la série de résultats ST1 obtenue en considérant les extrema de la composante M_z et les concomitances sur cette composante.
- [3] Rappel du côté de la semelle étudiée : GAUC pour semelle de gauche, DROI pour semelle de droite
- [4] Rappel de la valeur Min ou Max des efforts (Min et Max étant affectés à la composante privilégiée servant de base au pivot)
- [5] Valeur de l'effort normal N , ramenée au centre de la semelle ($N=N_c$), sur la base de la valeur de l'effort normal issue des résultats ST1, pour chaque pivot et à l'appui ad hoc (situé à l'intersection entre le piédroit et la semelle dans le modèle ST1).

Exemple [5b] : Le tableau précise les valeurs de l'effort normal pour la valeur maximale (Max) du pivot (ici le pivot N) à l'ELS caractéristique (ELS_CAR) sous la semelle de gauche (GAUC) pour le profil définitif. Dans cet exemple, le pivot étant le pivot N, l'effort normal maximal de 14

599 kN est l'effort normal maximal pour l'état limite indiqué. Ces valeurs sont issues du fichier ST1 dont est fourni un extrait ci-dessous :

--- RESULTATS DE L'ENVELOPPE : 2780 ---

Titre : ELS caractéristique sans prec. profil DEF ==> État limite concerné et profil concerné
 ==> Resultats concomitants des extrema de la reaction Fy ==> La réaction Fy correspond à l'effort normal, donc au pivot N

Appui	Noeud		Fx	Fy	Mz
14	1	Min	0.0000	11843.	-3150.8
		Max	0.0000	14599.	-4746.2
44	4	Min	0.0000	11843.	2365.5
		Max	0.0000	14604.	5583.8

==> Valeur maximale de l'effort normal = 14599. kN
 et du moment fléchissant concomitant = - 4746.2 kN.m

L'appui 14 est l'appui du modèle ST1 situé à l'intersection entre la semelle et le piédroit de gauche, assurant le blocage de la structure dans la direction verticale (d'où réaction d'appui reac Fy) et en rotation (d'où reac Mz).
 L'appui 44 est l'appui situé à l'intersection entre la semelle et le piédroit de droite...

L'appui 13 est l'appui du modèle ST1 situé sous la semelle de gauche, dans l'axe du piédroit, qui permet le blocage de la structure dans la direction horizontale (d'où reac Fx). Idem pour l'appui 43 pour la semelle de droite...

- [6] Valeur du moment de flexion M , ramenée au centre de la semelle ($M=M_c$), sur la base de la valeur du moment issue des résultats ST1, pour chaque pivot et à l'appui ad hoc (situé à l'intersection entre le piédroit et la semelle dans le modèle ST1).

$$M_{C,g} = M_{14} + N_{14} \frac{L_{talon,g} - L_{patin,g}}{2} \quad \text{à gauche et} \quad M_{C,d} = M_{44} - N_{44} \frac{L_{talon,d} - L_{patin,d}}{2} \quad \text{à droite}$$

On reprend l'exemple ci-dessus :

$$N_{14} = 14599 \text{ kN} ; M_{14} = -4746,2 \text{ kNm}$$

$$M_{C,g} = M_{14} + N_{14} \frac{L_{talon,g} - L_{patin,g}}{2} = -4746,2 + 14599 \frac{1,5 - 1,0}{2} = -1096,5 \text{ kN.m} \quad [6b]$$

- [7] Valeur Exc de l'excentrement des charges par rapport au centre de la semelle :
 $Exc = M/N$

$$e = \frac{M}{N} = \frac{-1096,5}{14599} = -0,075 \text{ m} \quad [7b]$$

- [8] $B/6$ correspond au $1/6$ de la longueur droite (perpendiculaire au piédroit) de la semelle, de part et d'autre du centre de la semelle ; on définit ainsi le tiers central de la semelle. Si l'excentrement des charges par rapport au centre de la semelle est compris dans le tiers central (soit $|e| \leq \frac{B}{6}$), le sol reste entièrement comprimé sous la semelle.

Ici, $B = 3,05 \text{ m}$ donc $B/6 = 0,508 \text{ m}$

- [9] B' correspond à la longueur droite de semelle comprimée. $B' = B$ si $|e| \leq \frac{B}{6}$ et $B' = \frac{3}{2}(B - 2|e|)$ si $|e| > \frac{B}{6}$. C'est cette longueur comprimée de la semelle qui sert de critère de justification sur la non-décompression du sol ou le non-renversement de la semelle (Cf. ci-dessous).

Dans cet exemple, on a toujours $|e| \leq \frac{B}{6}$, donc $B' = B$ partout. La semelle est toujours entièrement comprimée

- [10] B'/B est le ratio permettant de qualifier le taux de compression du sol sous la semelle. Si la semelle est entièrement comprimée, ce ratio vaut 1, sinon il est strictement inférieur à 1. Ce ratio (qui vaut ici toujours 1 car $B' = B$ partout) est à comparer aux limites admissibles (Cf. ci-dessous).

- [11] La limite admissible de B'/B vaut 1,0 à l'ELS fréquent (aucune décompression du sol sous la semelle n'est admise), 0,75 à l'ELS caractéristique (on autorise 25% de longueur décomprimée de la semelle) et 0,10 aux ELU (non-renversement de la semelle).

- [12] Vérification du respect du critère $\frac{B'}{B} \leq LIM$.

Dans notre cas, le critère est vérifié partout.

Un deuxième tableau permet de fournir les justifications de mobilisation du sol à l'ELS caractéristique et aux ELU (fondamental et accidentel).

- [13] Valeur H de l'effort horizontal, issue des résultats ST1, pour chaque pivot et à l'appui ad hoc, qui est situé sous la semelle, dans l'axe du piédroit, et permet un blocage de la structure dans la direction horizontale.

Exemple [13b] : Le tableau précise la valeur de l'effort horizontal pour la valeur maximale (Max) du pivot (ici le pivot T) à l'ELS caractéristique (ELS_CAR) sous la semelle de droite (DROI) pour le profil définitif. Dans cet exemple, le pivot étant le pivot T, l'effort horizontal de 3233,77 kN [13b] est l'effort de glissement maximal pour l'état limite indiqué. Ces valeurs sont issues du fichier ST1 dont est fourni un extrait ci-dessous :

```

--- RESULTATS DE L'ENVELOPPE : 2780 ---
Titre : ELS caracteristique sans prec. profil DEF          ==> État limite concerné et profil concerné
==> Resultats concomitants des extrema de la reaction Fx  ==> La réaction Fx correspond à l'effort horizontal, donc au pivot T
Appui  Noeud      Fx      Fy      Mz
14     1 Min  0.0000  11846.  -3934.6
      14     1 Max  0.0000  11846.  -3934.6
44     4 Min  0.0000  11846.   3934.5
      44     4 Max  0.0000  11846.   3934.5
13     13 Min -3233.7  0.0000  0.0000
      13     13 Max  581.72  0.0000  0.0000
43     43 Min -581.72  0.0000  0.0000
      43     43 Max  3233.7  0.0000  0.0000          ==> Valeur maximale de l'effort horizontal = 3233,7 kN

L'appui 13 est l'appui du modèle ST1 situé sous la semelle de gauche, dans l'axe du piédroit, qui permet le blocage de
la structure dans la direction horizontale (d'où reac Fx). Idem pour l'appui 43 pour la semelle de droite...
    
```

- [14] Valeur de q'_{min} de la compression minimale sollicitant le sol sous la semelle :

$$q'_{min} = \frac{N}{BLarg_b} \left(1 - \frac{6|e|}{B}\right) \text{ si } |e| \leq \frac{B}{6}, \text{ sinon } q'_{min} = 0$$

Application numérique :

$$N = 11846 \text{ kN} ; M = 973 \text{ kN.m}$$

$e = \frac{11846}{973} = 0,082 \text{ m}$ (valeur que l'on retrouve dans le tableau relatif à la non-décompression du sol...)

$$q'_{min} = \frac{11846}{3,05 \times 20,20} \left(1 - \frac{6|0,082|}{3,05}\right) = 161,2 \text{ kPa} \quad [14b]$$

- [15] Valeur q'_{max} de la compression maximale sollicitant le sol sous la semelle :

$$q'_{max} = \frac{N}{BLarg_b} \left(1 + \frac{6|e|}{B}\right) \text{ si } |e| \leq \frac{B}{6}$$

$$q'_{max} = \frac{4}{3} \frac{N}{Larg_b(B-2|e|)} \text{ si } |e| > \frac{B}{6}$$

$$\text{Application numérique : } q'_{max} = \frac{11846}{3,05 \times 20,20} \left(1 + \frac{6|0,082|}{3,05}\right) = 223,3 \text{ kPa} \quad [15b]$$

- [16] Valeur q'_{ref} de la contrainte de référence, qui est la contrainte régnant aux 3/4 de la longueur comprimée de la semelle :

$$q'_{ref} = \frac{3 q'_{max} + q'_{min}}{4} = \frac{N}{BLarg_b} \left(1 + \frac{3|e|}{B}\right) \text{ si } |e| \leq \frac{B}{6}$$

$$q'_{ref} = \frac{N}{Larg_b(B-2|e|)} \text{ si } |e| > \frac{B}{6}$$

Application numérique :

$$q'_{ref} = \frac{3 \times 223,3 + 161,2}{4} = \frac{11846}{3,05 \times 20,20} \left(1 + \frac{3|0,082|}{3,05}\right) = 207,8 \text{ kPa} \quad [16b]$$

- [17] Valeur delta (δ) de l'inclinaison sur la verticale de la résultante des charges sur la semelle, exprimée en degrés

$$\delta = \left| \arctan \left(\frac{H}{N} \right) \right|$$

Application numérique :

$$\delta = \left| \arctan \left(\frac{3233,7}{11846} \right) \right| = 15,3^\circ \quad [17b]$$

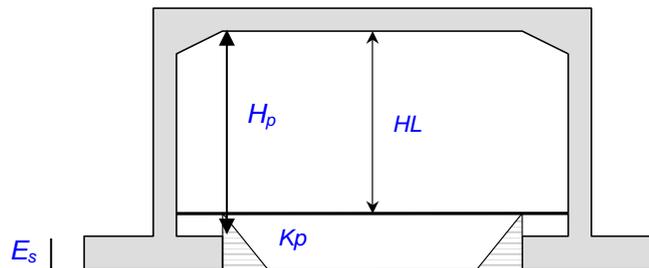
[18] Valeur idelta (i_δ) est un coefficient minorateur tenant compte de l'inclinaison δ déterminée ci-dessus.

$$i_\delta = \left(1 - \frac{\delta}{90} \right)^2 \quad \text{si le sol est cohérent}$$

$$i_\delta = \left(1 - \frac{\delta}{90} \right)^2 \left(1 - e^{-\frac{D_e}{B}} \right) + \left[\max \left(\left\{ \left(1 - \frac{\delta}{45} \right); 0 \right\} \right)^2 e^{-\frac{D_e}{B}} \right] \quad \text{si le sol est frottant (hypothèse prise par défaut), avec } D_e : \text{ hauteur des terres (remblai intérieur éventuel) à partir de la base du patin.}$$

Application numérique :

- le sol est déclaré dans notre exemple comme étant frottant ;
- la hauteur D_e des terres (remblai intérieur) à partir de la base du patin est déterminée de la façon suivante : $D_e = H_p - HL + E_s$ où H_p est la hauteur du piedroit, HL la hauteur libre et E_s l'épaisseur de la semelle



Dans notre exemple, $H_p = 6\text{ m}$, $HL = 5,50\text{ m}$ et $E_s = 0,60\text{ m}$, d'où :

$$D_e = 6 - 5,50 + 0,6 = 1,10\text{ m}$$

On en déduit :

$$i_\delta = \left(1 - \frac{15,3}{90} \right)^2 \left(1 - e^{-\frac{1,10}{3,05}} \right) + \left[\max \left(\left\{ \left(1 - \frac{15,3}{45} \right); 0 \right\} \right)^2 e^{-\frac{1,10}{3,05}} \right] = 0,51 \quad [18b]$$

[19] Valeur q'_{adm} de la compression admissible par le sol sous la semelle

$$q'_{adm} = \frac{1}{\gamma_q} (q'_u - q'_0) i_\delta + q'_0, \quad \text{avec :}$$

- γ_q : coefficient partiel de sécurité sur le sol (2 à l'ELU, 3 à l'ELS)
- q'_u : contrainte de rupture du sol sous charge verticale centrée,
- q'_0 : pression verticale effective du sol au niveau de la semelle (q'_u et q'_0 sont introduites en données par l'utilisateur et on rappelle ici que $q'_u - q'_0 = k_p p_{le}^*$).

Application numérique : $q'_u = 1,0\text{ MPa}$ et $q'_0 = 0,04\text{ MPa}$.

$$q'_{adm} = \frac{1}{3} (1,0 - 0,04) 0,51 + 0,04 = 0,2042\text{ MPa} = 204,2\text{ kPa} \quad [19b]$$

(en prenant en compte les valeurs exactes à la source...)

[20] Vérification du respect du critère $q'_{ref} \leq q'_{adm}$

Dans cet exemple, le critère est vérifié partout sauf pour le cas particulier étudié ci-dessus, pour lequel le non-poinçonnement du sol n'est pas strictement respecté ($q'_{ref} = 207,8\text{ kPa} \geq q'_{adm} = 204,2\text{ kPa}$)

Le dépassement est minime (inférieur à 2%) ; il suffirait d'augmenter très légèrement la longueur de la semelle... Un nouveau passage du programme Chamoia en demandant cette

fois-ci l'optimisation des semelles (par le patin, le talon ou les deux) permettrait de trouver une solution géométrique appropriée.

Un troisième tableau permet de fournir les justifications de non-glissement du sol aux ELU (fondamental et accidentel).

[21] Valeur φ' de l'angle de frottement interne du sol, introduite en données par l'utilisateur.

[22] Valeur c' de la cohésion effective du sol à la base de la fondation, introduite en données par l'utilisateur (prise en général nulle par défaut).

[23] Valeur A' de la surface de sol comprimée sous la semelle : $A' = B' \cdot Larg_b$
Ici, $B' = B = 3,05$ m et $Larg_b = 20,20$ m, donc $A' = 3,05 \times 20,20 = 61,6$ m²

[24] Valeur H_{res} de la force résistante limite au glissement, due au frottement du sol de fondation sur la semelle et à la cohésion éventuelle du sol.

$$H_{res} = \frac{N \tan \varphi'}{\gamma_{g1}} + \frac{c'A'}{\gamma_{g2}} \text{ avec } \gamma_{g1} = 1,2 \text{ et } \gamma_{g2} = 1,5.$$

Exemple : ELU_FOND, profil DEF, pivot T, valeur min, semelle gauche

Application numérique :

$$H = - 4175 \text{ kN} ; N = 11846 \text{ kN} ; \varphi' = 30^\circ ; c' = 0 \text{ kPa}$$

$$H_{res} = \frac{11846 \tan 30}{1,2} + \frac{0 \times 61,6}{1,5} = 5699,2 \text{ kN}$$

[25] Vérification du respect du critère $|H| \leq H_{res}$

Ce critère est respecté partout.

Il est à noter que dans le cas (exceptionnel) où l'ouvrage est fondé d'un côté sur semelle et de l'autre sur pieux, le message suivant apparaît dans la note de calculs, pour le côté non fondé sur semelle : « Ouvrage non fondé sur semelle à droite » ou « Ouvrage non fondé sur semelle à gauche », selon le cas...

11.8.2 - PIPO sur semelles adaptables sans remblai

Contrairement au premier exemple, l'ouvrage comporte dans ce cas des dalles de transition et il n'y a pas de remblai sur la traverse ainsi que pas de profil provisoire.

En outre, dans cet exemple, les semelles du PIPO comportent des semelles adaptables, c'est-à-dire que leurs dimensions sont optimisables. En l'occurrence, les longueurs des patins et des talons sont toutes déclarées comme optimisables dans le sens d'une augmentation (option MINIMUM).

Le programme Chamoà opère ainsi une optimisation des dimensions des semelles (patins ou talons) dans le cas où les dimensions initiales s'avèrent insuffisantes pour respecter l'ensemble des critères de justification.

Il est à noter que lorsque l'utilisateur déclare comme modifiables à la fois la longueur du talon et celle du patin, l'algorithme d'optimisation augmente de façon identique ces longueurs.

Tous les calculs sont semblables aux calculs détaillés dans le premier exemple traité ci-dessus. Nous n'aborderons donc ici que les spécificités de cet exemple, à savoir la mise en évidence du critère critique ayant conduit à l'optimisation.

Nous rappelons que les dimensions initiales des semelles sont les suivantes :

- Longueur droite du talon (droit ou gauche) : 1,50 m
- Longueur droite du patin (droit ou gauche) : 1,00 m
- Longueur droite de la semelle (droite ou gauche) : 3,05 m (car épaisseur du piédroit égale à 0,55 m)

Après une optimisation qui s'avère nécessaire du fait de la légère insuffisance des dimensions initiales, les dimensions des semelles deviennent :

- Longueur droite du talon (droit ou gauche) : 1,55 m (+ 5 cm)
- Longueur droite du patin (droit ou gauche) : 1,05 (+ 5 cm)
- Longueur droite de la semelle (droite ou gauche) : 3,15 m (+10 cm)

Analysons la note de calculs de stabilité externe issue des dimensions optimisées...

VERIFICATION DE LA STABILITE EXTERNE DES SEMELLES
PROFIL DEFINITIF

Largeur biaise des semelles : 14.59 m

VERIFICATION DE LA SEMELLE DE GAUCHE

Longueur droite de la semelle : 3.15 m
Longueur droite du talon : 1.55 m
Longueur droite du patin : 1.05 m

--- JUSTIFICATION DE LA NON DECOMPRESSION DU SOL ELS ET DU NON RENVERSEMENT ELU - SEMELLE DE GAUCHE ---

CAS	PIVOT	COTE	VAL	N (kN)	M (kN.m)	Exc (m)	B/6 (m)	B' (m)	B'/B	LIM.	VERIF
ELS_FREQ	N	GAUC	Min	7019.8	-299.9	-0.043	0.525	3.15	1.00	1.00	OK
ELS_FREQ	N	GAUC	Max	9282.6	737.3	0.079	0.525	3.15	1.00	1.00	OK
ELS_CAR	N	GAUC	Min	7012.8	-326.1	-0.047	0.525	3.15	1.00	0.75	OK
ELS_CAR	N	GAUC	Max	9580.9	901.8	0.094	0.525	3.15	1.00	0.75	OK
ELU_FOND	N	GAUC	Min	7005.9	89.8	0.013	0.525	3.15	1.00	0.10	OK
ELU_FOND	N	GAUC	Max	12774.0	833.4	0.065	0.525	3.15	1.00	0.10	OK
ELU_ACCI	N	GAUC	Min	7030.3	-35.1	-0.005	0.525	3.15	1.00	0.10	OK
ELU_ACCI	N	GAUC	Max	7814.2	666.0	0.085	0.525	3.15	1.00	0.10	OK
ELS_FREQ	M	GAUC	Min	8649.8	-1071.5	-0.124	0.525	3.15	1.00	1.00	OK
ELS_FREQ	M	GAUC	Max	7020.7	991.8	0.141	0.525	3.15	1.00	1.00	OK
ELS_CAR	M	GAUC	Min	8414.1	-1385.4	-0.165	0.525	3.15	1.00	0.75	OK
ELS_CAR	M	GAUC	Max	7020.6	1228.8	0.175	0.525	3.15	1.00	0.75	OK
ELU_FOND	M	GAUC	Min	11280.0	-1298.4	-0.115	0.525	3.15	1.00	0.10	OK
ELU_FOND	M	GAUC	Max	7007.4	835.6	0.119	0.525	3.15	1.00	0.10	OK
ELU_ACCI	M	GAUC	Min	7409.6	-342.1	-0.046	0.525	3.15	1.00	0.10	OK
ELU_ACCI	M	GAUC	Max	7030.8	693.9	0.099	0.525	3.15	1.00	0.10	OK
ELS_FREQ	T	GAUC	Min	7039.3	-87.2	-0.012	0.525	3.15	1.00	1.00	OK
ELS_FREQ	T	GAUC	Max	7039.3	-87.2	-0.012	0.525	3.15	1.00	1.00	OK
ELS_CAR	T	GAUC	Min	7039.3	-87.2	-0.012	0.525	3.15	1.00	0.75	OK
ELS_CAR	T	GAUC	Max	7039.3	-87.2	-0.012	0.525	3.15	1.00	0.75	OK
ELU_FOND	T	GAUC	Min	7039.3	-87.2	-0.012	0.525	3.15	1.00	0.10	OK
ELU_FOND	T	GAUC	Max	7039.3	-87.2	-0.012	0.525	3.15	1.00	0.10	OK
ELU_ACCI	T	GAUC	Min	7039.3	-87.2	-0.012	0.525	3.15	1.00	0.10	OK
ELU_ACCI	T	GAUC	Max	7039.3	-87.2	-0.012	0.525	3.15	1.00	0.10	OK

--- JUSTIFICATION DE LA MOBILISATION DU SOL ELS/ELU - SEMELLE DE GAUCHE ---

CAS	PIVOT	COTE	VAL	N (kN)	M (kN.m)	H (kN)	Qmin	Qmax	Qref	delta	idelta	Qadm	VERIF
ELS_CAR	N	GAUC	Min	7012.8	-326.1	-797.0	139.1	166.1	159.3	6.5	0.77	235.2	OK
ELS_CAR	N	GAUC	Max	9580.9	901.8	-797.0	171.1	245.8	227.2	4.8	0.83	249.9	OK
ELU_FOND	N	GAUC	Min	7005.9	89.8	-797.0	148.7	156.2	154.3	6.5	0.77	332.7	OK
ELU_FOND	N	GAUC	Max	12774.0	833.4	-797.0	243.4	312.5	295.2	3.6	0.87	370.5	OK
ELU_ACCI	N	GAUC	Min	7030.3	-35.1	-797.0	151.5	154.4	153.7	6.5	0.77	333.0	OK
ELU_ACCI	N	GAUC	Max	7814.2	666.0	-797.0	142.4	197.6	183.8	5.8	0.79	341.1	OK
ELS_CAR	M	GAUC	Min	8414.1	-1385.4	-797.0	125.7	240.5	211.8	5.4	0.81	244.2	OK
ELS_CAR	M	GAUC	Max	7020.6	1228.8	-797.0	101.8	203.7	178.2	6.5	0.77	235.2	OK
ELU_FOND	M	GAUC	Min	11280.0	-1298.4	-797.0	191.6	299.2	272.3	4.0	0.85	364.2	OK
ELU_FOND	M	GAUC	Max	7007.4	835.6	-797.0	117.8	187.1	169.8	6.5	0.77	332.7	OK
ELU_ACCI	M	GAUC	Min	7409.6	-342.1	-797.0	147.0	175.4	168.3	6.1	0.78	337.1	OK
ELU_ACCI	M	GAUC	Max	7030.8	693.9	-797.0	124.2	181.7	167.4	6.5	0.77	333.0	OK
ELS_CAR	T	GAUC	Min	7039.3	-87.2	-2229.3	149.6	156.8	155.0	17.6	0.45	154.7	ADMISSIBLE [1]
ELS_CAR	T	GAUC	Max	7039.3	-87.2	61.3	149.6	156.8	155.0	0.5	0.98	288.6	OK
ELU_FOND	T	GAUC	Min	7039.3	-87.2	-2805.3	149.6	156.8	155.0	21.7	0.36	176.1	OK
ELU_FOND	T	GAUC	Max	7039.3	-87.2	151.1	149.6	156.8	155.0	1.2	0.95	402.5	OK
ELU_ACCI	T	GAUC	Min	7039.3	-87.2	-2045.3	149.6	156.8	155.0	16.2	0.49	225.1	OK
ELU_ACCI	T	GAUC	Max	7039.3	-87.2	-598.4	149.6	156.8	155.0	4.9	0.82	353.5	OK

--- JUSTIFICATION DU NON GLISSEMENT ELU - SEMELLE DE GAUCHE ---

CAS	PIVOT	COTE	VAL	N (kN)	H (kN)	Phi'	c'	A' (m²)	Hres (kN)	VERIF
ELU_FOND	N	GAUC	Min	7005.9	-797.0	30.0	0.0	46.0	3370.7	OK
ELU_FOND	N	GAUC	Max	12774.0	-797.0	30.0	0.0	46.0	6145.9	OK
ELU_ACCI	N	GAUC	Min	7030.3	-797.0	30.0	0.0	46.0	3382.5	OK
ELU_ACCI	N	GAUC	Max	7814.2	-797.0	30.0	0.0	46.0	3759.6	OK
ELU_FOND	M	GAUC	Min	11280.0	-797.0	30.0	0.0	46.0	5427.1	OK
ELU_FOND	M	GAUC	Max	7007.4	-797.0	30.0	0.0	46.0	3371.4	OK
ELU_ACCI	M	GAUC	Min	7409.6	-797.0	30.0	0.0	46.0	3565.0	OK
ELU_ACCI	M	GAUC	Max	7030.8	-797.0	30.0	0.0	46.0	3382.7	OK
ELU_FOND	T	GAUC	Min	7039.3	-2805.3	30.0	0.0	46.0	3386.8	OK
ELU_FOND	T	GAUC	Max	7039.3	151.1	30.0	0.0	46.0	3386.8	OK
ELU_ACCI	T	GAUC	Min	7039.3	-2045.3	30.0	0.0	46.0	3386.8	OK
ELU_ACCI	T	GAUC	Max	7039.3	-598.4	30.0	0.0	46.0	3386.8	OK

On constate que le critère critique est la justification de la mobilisation du sol à l'ELS caractéristique, sur le pivot T - avec T maximum en valeur absolue - pour lequel la portance du sol est tout juste vérifiée. L'excentrement e étant largement inférieur à $B/6$, le respect de la non-décompression à l'ELS fréquent n'a pas pu être déterminant. Enfin, la marge (d'environ 20%) dont l'on dispose sur l'effort résistant au glissement assure que ce critère n'était pas prépondérant.

Ce résultat, bien que non généralisable, n'est pas surprenant. En effet :

- le coefficient partiel de sécurité sur la portance, soit γ_q , vaut 3 à l'ELS caractéristique et 2 aux ELU ;
- plus l'effort horizontal T est élevé, plus l'inclinaison des charges δ est importante (a fortiori si la valeur de l'effort normal concomitant est faible, ce qui est le cas ici) et, ainsi, plus le facteur de réduction i_δ diminue (0,45 ici au lieu d'environ 0,80 dans les autres cas)

[1] On obtient une contrainte de référence $q_{ref} = 155,0$ kPa pour une contrainte admissible $q_{adm} = 154,7$ kPa.

$$i_\delta = \left(1 - \frac{\delta}{90}\right)^2 \left(1 - e^{-\frac{De}{B}}\right) + \left[\max\left\{\left(1 - \frac{\delta}{45}\right); 0\right\}\right]^2 e^{-\frac{De}{B}}$$

avec :

- $D_e = 1,10$ m (comme pour l'exemple précédent)
- $\delta = \left| \arctan\left(\frac{H}{N}\right) \right| = \left| \arctan\left(\frac{2229,3}{7039,3}\right) \right| = 17,57^\circ$
- après optimisation, $B = 3,15$ m

$$i_\delta = \left(1 - \frac{17,57}{90}\right)^2 \left(1 - e^{-\frac{1,10}{3,15}}\right) + \left[\max\left(\left\{1 - \frac{17,57}{45}\right\}; 0\right)\right]^2 e^{-\frac{1,10}{3,15}} = 0,4529$$

$$q'_{adm} = \frac{1}{\gamma_q} (q'_u - q'_o) i_\delta + q'_o \text{ avec } q'_u = 0,80 \text{ MPa et } q'_o = 0,04 \text{ MPa (Cf. fichier de données)}$$

$$q'_{adm} = \frac{1}{3} (0,80 - 0,04) 0,4529 + 0,04 = 0,1547 \text{ MPa} = 154,7 \text{ kPa}$$

Ainsi, le critère $q_{ref} \leq q_{adm}$ n'est pas strictement respecté (à 0,2 % près...) bien que les dimensions aient été optimisées. Ceci provient du fait que l'algorithme d'optimisation arrondit aux 5 cm supérieurs les résultats théoriques obtenus pour les dimensions des patins et des talons, alors même qu'il peut exister une semelle plus petite qui satisfait tous les critères et qu'une semelle légèrement plus grande peut être prise en défaut sur le critère de mobilisation du sol.

Ce problème provient d'une incohérence du modèle physique réglementaire (défaut que le modèle de Meyerhof ne comporte pas) et pourra être corrigé par la suite en affinant le système d'arrondi dans l'algorithme d'optimisation.

En l'état actuel du programme, il a été décidé d'accepter une marge de 1% de dépassement sur la contrainte admissible.

Ainsi, $\frac{q_{ref}}{q_{adm}} - 1 = \frac{155,0}{154,7} - 1 = 0,0019 = 0,19\% \leq 1\%$ donc le critère est considéré comme « ADMISSIBLE » (plage de transition entre critère « OK » et critère « INSTABLE »).

Lorsque l'on considère les dimensions initiales des semelles, ce critère critique donne les résultats suivants : $q_{ref} = 156,0 \text{ kPa} > q_{adm} = 154,4 \text{ kPa}$ (on dépasse alors très légèrement les 1% de tolérance sur q_{adm}).

Il nous semble utile ici de préciser que le concepteur a tout intérêt, dans la mesure du possible, à s'assurer d'une marge de sécurité plus confortable sur la vérification de la mobilisation du sol à l'ELS, vis-à-vis notamment des phénomènes de tassements...

Les résultats sur la semelle droite étant strictement comparables, ils ne sont pas reproduits ici.

12 - Fichiers intermédiaires de calcul des efforts

12.1 - Fichiers pour le calcul de la portée équivalente

Cas du PIPO sur *semelles fixes avec remblai*

Fichier en Entrée

```

OPTION PLANE
SORTIE '..\Projets\PIPO_0100_0\Module_2\PIPO_0100_0_PEQ.txt' non pagine

# NOEUDS
NOEUD 2 0.000000 0.000000 # Noeud gauche de la traverse
NOEUD 3 16.329847 0.000000 # Noeud droit de la traverse
NOEUD 1 0.000000 -6.550000 # Pied du piedroit gauche
NOEUD 4 16.329847 -6.550000 # Pied du piedroit droit
NOEUD 11 -1.808640 -6.550000 # Talon semelle a gauche
NOEUD 12 1.308640 -6.550000 # Patin semelle a gauche
NOEUD 42 18.138486 -6.550000 # Talon semelle a droite
NOEUD 41 15.021207 -6.550000 # Patin semelle a droite
NOEUD 13 0.000000 -6.850000 # Noeud barre rigide a gauche
NOEUD 43 16.329847 -6.850000 # Noeud barre rigide a droite

# APPUIS
APPUI 13 NOEUD 13 DX # Blocage en X interface sol a gauche
APPUI 43 NOEUD 43 DX # Blocage en X interface sol a droite

# BARRES
BARRE 2 DE 2 A 3 # Traverse
BARRE 1 DE 2 A 1 # Piedroit gauche
BARRE 3 DE 3 A 4 # Piedroit droit
BARRE 11 DE 11 A 1 # Talon semelle a gauche
BARRE 12 DE 1 A 12 # Patin semelle a gauche
BARRE 42 DE 4 A 42 # Talon semelle a droite
BARRE 41 DE 41 A 4 # Patin semelle a droite
BARRE 13 DE 1 A 13 # Barre rigide gauche
BARRE 43 DE 4 A 43 # Barre rigide droite

# CARACTERISTIQUES DES BARRES SANS SOL ELASTIQUE
PROPRIETES 2 SX 8.96000000 IZ 0.18606066 VY 0.24918155 WY 0.25081845
PROPRIETES 1 SX 11.11102975 IZ 0.35280658 VY 0.30863972 WY 0.30863972
PROPRIETES 13 SX 1111.10297526 IZ 35.28065792 VY 0.30863972 WY 0.30863972
PROPRIETES 3 SX 11.11102975 IZ 0.35280658 VY 0.30863972 WY 0.30863972
PROPRIETES 43 SX 1111.10297526 IZ 35.28065792 VY 0.30863972 WY 0.30863972

# DEFINITION DES POINTS D'ETUDE
ETUDE EFFORT DEPLA
2 SECTION 0.00 A 1.00 PAS 0.02000000 RELATIF # Traverse
FIN

# DEFINITION DES BETONS
# Beton pour etudes de phasage et court terme : TRAVERSE
MATERIAU 10 'Beton pour etudes de phasage et court terme : TRAVERSE'
E EC2 KNM2 FCK 35.000000
RO 25.000000
TEMP 0.10000000E-04
RETRAIT EC2
RH 80.000000
RM_EC 954.93448
CEMENT N
FIN

# Beton pour etude long terme : TRAVERSE
MATERIAU 11 'Beton pour etude long terme : TRAVERSE'
E 11359049.
RO 25.000000
TEMP 0.10000000E-04
FIN

# Beton pour etudes de phasage et court terme : PIEDROITS
MATERIAU 40 'Beton pour etudes de phasage et court terme : PIEDROITS'
E EC2 KNM2 FCK 35.000000
RO 25.000000
TEMP 0.10000000E-04
RETRAIT EC2
RH 80.000000
RM_EC 550.00000
CEMENT N

```

```

FIN

# Beton pour etude long terme : PIEDROITS

MATERIAU 41 'Beton pour etude long terme : PIEDROITS'
E 11359049.
RO 25.000000
TEMP 0.10000000E-04
FIN

# Beton pour etudes de phasage et court terme : SEMELLES

MATERIAU 60 'Beton pour etudes de phasage et court terme : SEMELLES'
E EC2 KNM2 FCK 35.000000
RO 25.000000
TEMP 0.10000000E-04
RH 80.000000
RM_EC 550.000000
CEMENT N
FIN

# Beton pour etude long terme : SEMELLES

MATERIAU 61 'Beton pour etude long terme : SEMELLES'
E 11359049.
RO 25.000000
TEMP 0.10000000E-04
FIN

# AFFECTATION DES BETONS - COURT TERME OU PHASAGE

CONS 2 MATERIAU 10 # Traverse
CONS 1, 13, 3, 43 MATERIAU 40 # Piedroits
CONS 11, 12, 42, 41 MATERIAU 60 # Semelles

# CARACTERISTIQUES DE SOL ELASTIQUE - COURT TERME

PROPRIETES PSE 11, 12 SX 12.12112337 IZ 0.36363370 VY 0.30000000 WY 0.30000000
ZONE 1 KFY 1143535.

PROPRIETES PSE 42, 41 SX 12.12112337 IZ 0.36363370 VY 0.30000000 WY 0.30000000
ZONE 1 KFY 1143535.

# CHARGE UNIFORME POUR LE CALCUL DES PORTEES EQUIVALENTES

CHARGE 20 'Charge uniforme travee 1 (portees equivalentes)'
BARRES 2 UNIFORME FY 1000.00
FIN

EXEC CHARGES 20

# EDITION DES RESULTATS

RESULTATS
CHARGE 20 BARRE 2 EFFORT DEPLA
FIN
    
```

Fichier en Sortie

--- RESULTATS DU CHARGEMENT : 20 ---

Titre : Charge uniforme travee 1 (portees equivalentes)

Barre	Abscisse	N	Ty	Mz
2	0.000	-3564.6	-8164.9	-19661.
2	0.327	-3564.6	-7838.3	-17047.
2	0.653	-3564.6	-7511.7	-14541.
2	0.980	-3564.6	-7185.1	-12141.
2	1.306	-3564.6	-6858.5	-9847.4
2	1.633	-3564.6	-6531.9	-7660.8
2	1.960	-3564.6	-6205.3	-5580.8
2	2.286	-3564.6	-5878.7	-3607.5
2	2.613	-3564.6	-5552.1	-1740.8
2	2.939	-3564.6	-5225.6	19.143
2	3.266	-3564.6	-4899.0	1672.5
...				
...				
2	13.064	-3564.6	4899.0	1672.5
2	13.390	-3564.6	5225.6	19.142
2	13.717	-3564.6	5552.1	-1740.8
2	14.044	-3564.6	5878.7	-3607.5
2	14.370	-3564.6	6205.3	-5580.8
2	14.697	-3564.6	6531.9	-7660.8
2	15.023	-3564.6	6858.5	-9847.4
2	15.350	-3564.6	7185.1	-12141.
2	15.677	-3564.6	7511.7	-14541.
2	16.003	-3564.6	7838.3	-17047.
2	16.330	-3564.6	8164.9	-19661.
...				
...				
Barre	Abscisse	Dx	Dy	Rz
2	0.000	-.95325E-04	0.22678E-02	0.32984E-02
...				
...				
2	7.838	-.38170E-05	0.44825E-01	0.70335E-03

```

2      8.165      -.41300E-08 0.44940E-01 -.12108E-09
2      8.492      0.38087E-05 0.44825E-01 -.70335E-03
2      8.818      0.76215E-05 0.44481E-01 -.14012E-02
2      9.145      0.11434E-04 0.43911E-01 -.20881E-02
...
Lignes supprimées
...
2      15.677     0.87691E-04 0.50251E-02 -.50564E-02
2      16.003     0.91504E-04 0.35030E-02 -.42433E-02
2      16.330     0.95316E-04 0.22678E-02 -.32984E-02 ...

```

12.2 - Fichiers pour le calcul de la matrice de rigidité des semelles

Cas du PIPO sur semelle sans dalle de transition:

Fichier en Entrée

```

OPTION PLANE
SORTIE '..\Projets\PIPO_0100_0\Module_2\PIPO_0100_0_SEM.txt' non pagine

# NOEUDES
NOEUD 2 0.000000 0.000000 # Noeud gauche de la traverse
NOEUD 3 16.329847 0.000000 # Noeud droit de la traverse
NOEUD 1 0.000000 -6.550000 # Pied du piedroit gauche
NOEUD 4 16.329847 -6.550000 # Pied du piedroit droit
NOEUD 11 -1.808640 -6.550000 # Talon semelle a gauche
NOEUD 12 1.308640 -6.550000 # Patin semelle a gauche
NOEUD 42 18.138486 -6.550000 # Talon semelle a droite
NOEUD 41 15.021207 -6.550000 # Patin semelle a droite
NOEUD 13 0.000000 -6.850000 # Noeud barre rigide a gauche
NOEUD 43 16.329847 -6.850000 # Noeud barre rigide a droite

# APPUIS
APPUI 13 NOEUD 13 DX # Blocage en X interface sol a gauche
APPUI 43 NOEUD 43 DX # Blocage en X interface sol a droite

# BARRES
BARRE 2 DE 2 A 3 # Traverse
BARRE 1 DE 2 A 1 # Piedroit gauche
BARRE 3 DE 3 A 4 # Piedroit droit
BARRE 11 DE 11 A 1 # Talon semelle a gauche
BARRE 12 DE 1 A 12 # Patin semelle a gauche
BARRE 42 DE 4 A 42 # Talon semelle a droite
BARRE 41 DE 41 A 4 # Patin semelle a droite
BARRE 13 DE 1 A 13 # Barre rigide gauche
BARRE 43 DE 4 A 43 # Barre rigide droite

# CARACTERISTIQUES DES BARRES SANS SOL ELASTIQUE
PROPRIETES 2 SX 8.96000000 IZ 0.18606066 VY 0.24918155 WY 0.25081845
PROPRIETES 1 SX 11.11102975 IZ 0.35280658 VY 0.30863972 WY 0.30863972
PROPRIETES 13 SX 1111.10297526 IZ 35.28065792 VY 0.30863972 WY 0.30863972
PROPRIETES 3 SX 11.11102975 IZ 0.35280658 VY 0.30863972 WY 0.30863972
PROPRIETES 43 SX 1111.10297526 IZ 35.28065792 VY 0.30863972 WY 0.30863972

# DEFINITION DES BETONS
# Beton pour etudes de phasage et court terme : TRAVERSE
MATERIAU 10 'Beton pour etudes de phasage et court terme : TRAVERSE'
E EC2 KNM2 FCK 35.000000
RO 25.000000
TEMP 0.10000000E-04
RETRAIT EC2
RH 80.000000
RM_EC 954.93448
CIMENT N
FIN

# Beton pour etude long terme : TRAVERSE
MATERIAU 11 'Beton pour etude long terme : TRAVERSE'
E 11359049.
RO 25.000000
TEMP 0.10000000E-04
FIN

# Beton pour etudes de phasage et court terme : PIEDROITS
MATERIAU 40 'Beton pour etudes de phasage et court terme : PIEDROITS'
E EC2 KNM2 FCK 35.000000
RO 25.000000
TEMP 0.10000000E-04
RETRAIT EC2
RH 80.000000
RM_EC 550.00000

```

```

    CIMENT N
FIN
# Beton pour etude long terme : PIEDROITS
MATERIAU 41 'Beton pour etude long terme : PIEDROITS'
    E      11359049.
    RO     25.000000
    TEMP   0.10000000E-04
FIN
# Beton pour etudes de phasage et court terme : SEMELLES
MATERIAU 60 'Beton pour etudes de phasage et court terme : SEMELLES'
    E EC2 KNM2 FCK 35.000000
    RO     25.000000
    TEMP   0.10000000E-04
    RH     80.000000
    RM_EC  550.00000
    CIMENT N
FIN
# Beton pour etude long terme : SEMELLES
MATERIAU 61 'Beton pour etude long terme : SEMELLES'
    E      11359049.
    RO     25.000000
    TEMP   0.10000000E-04
FIN
# BLOCAGE DES NOEUDS SEMELLES-PIEDROITS
    APPUI  1 NOEUD  1 DX DY RZ # Blocage a gauche
    APPUI  4 NOEUD  4 DX DY RZ # Blocage a droite
# ETUDE COURT TERME
# AFFECTATION DES BETONS - COURT TERME OU PHASAGE
    CONS 2          MATERIAU 10 # Traverse
    CONS 1, 13, 3, 43 MATERIAU 40 # Piedroits
    CONS 11, 12, 42, 41 MATERIAU 60 # Semelles
# CARACTERISTIQUES DE SOL ELASTIQUE - COURT TERME
    PROPRIETES PSE 11, 12 SX 12.12112337 IZ 0.36363370 VY 0.30000000 WY 0.30000000
    ZONE 1 KFY 1143535.
    PROPRIETES PSE 42, 41 SX 12.12112337 IZ 0.36363370 VY 0.30000000 WY 0.30000000
    ZONE 1 KFY 1143535.
# ACTIVATION DES SEMELLES
    ACTIVER BARRES 11, 12
    ACTIVER APPUIS 1
    ACTIVER BARRES 42, 41
    ACTIVER APPUIS 4
# DEPLACEMENTS UNITAIRES COURT TERME
    CHARGE 130      'Deplacement DY unite sous semelle gauche court terme'
    APPUI  1 DY 1.00
    FIN
    EXEC CHARGES 130
    CHARGE 140      'Deplacement RZ unite sous semelle gauche court terme'
    APPUI  1 RZ 1.00
    FIN
    EXEC CHARGES 140
    CHARGE 150      'Deplacement DY unite sous semelle droite court terme'
    APPUI  4 DY 1.00
    FIN
    EXEC CHARGES 150
    CHARGE 160      'Deplacement RZ unite sous semelle droite court terme'
    APPUI  4 RZ 1.00
    FIN
    EXEC CHARGES 160
# ETUDE LONG TERME
# AFFECTATION DES BETONS - LONG TERME
    CONS 2          MATERIAU 11 # Traverse
    CONS 1, 13, 3, 43 MATERIAU 41 # Piedroits
    CONS 11, 12, 42, 41 MATERIAU 61 # Semelles
# CARACTERISTIQUES DE SOL ELASTIQUE - LONG TERME
    PROPRIETES PSE 11, 12 SX 12.12112337 IZ 0.36363370 VY 0.30000000 WY 0.30000000
    ZONE 1 KFY 571767.4
    PROPRIETES PSE 42, 41 SX 12.12112337 IZ 0.36363370 VY 0.30000000 WY 0.30000000

```

```

ZONE 1 KFY 571767.4
# DEPLACEMENTS UNITAIRES LONG TERME
CHARGE 170 'Deplacement DY unite sous semelle gauche long terme'
  APPUI 1 DY 1.00
FIN
EXEC CHARGES 170
CHARGE 180 'Deplacement RZ unite sous semelle gauche long terme'
  APPUI 1 RZ 1.00
FIN
EXEC CHARGES 180
CHARGE 190 'Deplacement DY unite sous semelle droite long terme'
  APPUI 4 DY 1.00
FIN
EXEC CHARGES 190
CHARGE 200 'Deplacement RZ unite sous semelle droite long terme'
  APPUI 4 RZ 1.00
FIN
EXEC CHARGES 200
# EDITION DES RESULTATS
RESULTATS
  CHARGES APPUIS
FIN
    
```

Fichier en Sortie

```

--- RESULTATS DU CHARGEMENT : 130 ---
Titre : Deplacement DY unite sous semelle gauche court terme
  Appui  Noeud    Fx      Fy      Mz
    1      1    0.0000  0.34503E+07  -.78636E+06
    4      4    0.0000  0.0000      0.0000
--- RESULTATS DU CHARGEMENT : 140 ---
Titre : Deplacement RZ unite sous semelle gauche court terme
  Appui  Noeud    Fx      Fy      Mz
    1      1    0.0000  -.78636E+06  0.29296E+07
    4      4    0.0000  0.0000      0.0000
--- RESULTATS DU CHARGEMENT : 150 ---
Titre : Deplacement DY unite sous semelle droite court terme
  Appui  Noeud    Fx      Fy      Mz
    1      1    0.0000  0.0000      0.0000
    4      4    0.0000  0.34503E+07  0.78636E+06
--- RESULTATS DU CHARGEMENT : 160 ---
Titre : Deplacement RZ unite sous semelle droite court terme
  Appui  Noeud    Fx      Fy      Mz
    1      1    0.0000  0.0000      0.0000
    4      4    0.0000  0.78636E+06  0.29296E+07
--- RESULTATS DU CHARGEMENT : 170 ---
Titre : Deplacement DY unite sous semelle gauche long terme
  Appui  Noeud    Fx      Fy      Mz
    1      1    0.0000  0.16992E+07  -.37013E+06
    4      4    0.0000  0.0000      0.0000
--- RESULTATS DU CHARGEMENT : 180 ---
Titre : Deplacement RZ unite sous semelle gauche long terme
  Appui  Noeud    Fx      Fy      Mz
    1      1    0.0000  -.37013E+06  0.14243E+07
    4      4    0.0000  0.0000      0.0000
--- RESULTATS DU CHARGEMENT : 190 ---
Titre : Deplacement DY unite sous semelle droite long terme
  Appui  Noeud    Fx      Fy      Mz
    1      1    0.0000  0.0000      0.0000
    4      4    0.0000  0.16992E+07  0.37013E+06
--- RESULTATS DU CHARGEMENT : 200 ---
Titre : Deplacement RZ unite sous semelle droite long terme
    
```

Appui	Noeud	Fx	Fy	Mz
1	1	0.0000	0.0000	0.0000
4	4	0.0000	0.37013E+06	0.14243E+07

12.3 - Fichiers des facteurs de coefficients transversaux Guyon

Cas du PIPO sur *semelles fixes avec remblai*

```

--- RESULTATS DE LA SURCHARGE : 4290 ---
Titre : LM3 VS generalise 100 caracteristique AFF 1 profil PRV
TRAVERSE Y 0.0000 2.2500 4.5000 6.7500 9.0000 11.250 13.500 15.750 18.000
           1.2596 1.3567 1.5485 1.5667 1.5211 1.5667 1.5485 1.3567 1.2596
--- RESULTATS DE LA SURCHARGE : 4320 ---
Titre : LM3 VS generalise 100 frequent AFF 1 profil PRV
TRAVERSE Y 0.0000 2.2500 4.5000 6.7500 9.0000 11.250 13.500 15.750 18.000
           1.2596 1.3567 1.5485 1.5667 1.5211 1.5667 1.5485 1.3567 1.2596
--- RESULTATS DE LA SURCHARGE : 4330 ---
Titre : LM3 VS generalise 100 ultime AFF 1 profil PRV
TRAVERSE Y 0.0000 2.2500 4.5000 6.7500 9.0000 11.250 13.500 15.750 18.000
           1.2329 1.3743 1.4770 1.4548 1.4004 1.4548 1.4770 1.3743 1.2329

...
Lignes supprimées
...
    
```

12.4 - Fichiers pour le calcul de la flexion longitudinale

Cas du PIPO sur *semelles fixes avec remblai*

```

OPTION PLANE
SORTIE '..\Projets\PIPO_0100_0\Fichiers_Echanges\PIPO_0100_0_STM.txt' non pagine

# NOEUDS
NOEUD      2  0.000000  0.000000 # Noeud gauche de la traverse
NOEUD      3 16.329847  0.000000 # Noeud droit de la traverse
NOEUD      1  0.000000 -6.550000 # Pied du piedroit gauche
NOEUD      4 16.329847 -6.550000 # Pied du piedroit droit
NOEUD     11 -1.808640 -6.550000 # Talon semelle a gauche
NOEUD     12  1.308640 -6.550000 # Patin semelle a gauche
NOEUD     42 18.138486 -6.550000 # Talon semelle a droite
NOEUD     41 15.021207 -6.550000 # Patin semelle a droite
NOEUD     13  0.000000 -6.850000 # Noeud barre rigide a gauche
NOEUD     43 16.329847 -6.850000 # Noeud barre rigide a droite

# APPUIS
APPUI      13 NOEUD      13      DX # Blocage en X interface sol a gauche
APPUI      43 NOEUD      43      DX # Blocage en X interface sol a droite
APPUI       2 NOEUD       2      DX # Simulation butee a gauche
APPUI       3 NOEUD       3      DX # Simulation butee a droite

# BARRES
BARRE      2 DE          2 A          3 # Traverse
BARRE      1 DE          2 A          1 # Piedroit gauche
BARRE      3 DE          3 A          4 # Piedroit droit
BARRE     11 DE          11 A         1 # Talon semelle a gauche
BARRE     12 DE          1 A         12 # Patin semelle a gauche
BARRE     42 DE          4 A         42 # Talon semelle a droite
BARRE     41 DE          41 A         4 # Patin semelle a droite
BARRE     13 DE          1 A         13 # Barre rigide gauche
BARRE     43 DE          4 A         43 # Barre rigide droite

# CARACTERISTIQUES DES BARRES SANS SOL ELASTIQUE
PROPRIETES  2 SX  9.76100000 IZ  0.24036385 VY  0.27140753 WY  0.27309247
PROPRIETES  1 SX 11.11102975 IZ  0.35280658 VY  0.30863972 WY  0.30863972
PROPRIETES 13 SX 1111.10297526 IZ 35.28065792 VY  0.30863972 WY  0.30863972
PROPRIETES  3 SX 11.11102975 IZ  0.35280658 VY  0.30863972 WY  0.30863972
PROPRIETES 43 SX 1111.10297526 IZ 35.28065792 VY  0.30863972 WY  0.30863972

# DEFINITION DES POINTS D'ETUDE
ETUDE EFFORT DEPLA
  2 SECTION 0.00 A 1.00 PAS  0.05000000 RELATIF # Traverse
  1 SECTION 0.00 A 1.00 PAS  0.10000000 RELATIF # Piedroit gauche
  3 SECTION 0.00 A 1.00 PAS  0.10000000 RELATIF # Piedroit droit
 11 SECTION                                0.82935257 RELATIF # Talon a gauche
    
```

```

12 SECTION 0.23584774 RELATIF # Patin a gauche
42 SECTION 0.17064743 RELATIF # Talon a droite
41 SECTION 0.76415226 RELATIF # Patin a droite
FIN

# DEFINITION DES BETONS

# Beton pour etudes de court terme : TRAVERSE

MATERIAU 10 "Beton pour etudes de court terme : TRAVERSE"
E EC2 KNM2 FCK 35.000000
RO 25.000000
TEMP 0.10000000E-04
RH 80.000000
CIMENT N
FIN

# Beton pour etudes de court terme ou de phasage avec retrait sans fluage : TRAVERSE

MATERIAU 11 "Beton pour etudes de court terme ou de phasage avec retrait sans fluage : TRAVERSE"
E EC2 KNM2 FCK 35.000000
RO 25.000000
TEMP 0.10000000E-04
RETRAIT EC2
RH 80.000000
RM_EC 1040.3031
CIMENT N
FIN

# Beton pour etudes de court terme ou de phasage avec fluage sans retrait : TRAVERSE

MATERIAU 12 "Beton pour etudes de court terme ou de phasage avec fluage sans retrait : TRAVERSE"
E EC2 KNM2 FCK 35.000000
RO 25.000000
TEMP 0.10000000E-04
FLUAGE EC2
RH 80.000000
RM_EC 1040.3031
CIMENT N
FIN

# Beton pour etude long terme : TRAVERSE

MATERIAU 13 "Beton pour etude long terme : TRAVERSE"
E 11359049.
RO 25.000000
TEMP 0.10000000E-04
FIN

# Beton pour etudes de court terme : PIEDROITS

MATERIAU 40 "Beton pour etudes de court terme : PIEDROITS"
E EC2 KNM2 FCK 35.000000
RO 25.000000
TEMP 0.10000000E-04
RH 80.000000
CIMENT N
FIN

# Beton pour etudes de court terme ou de phasage avec retrait sans fluage : PIEDROITS

MATERIAU 41 "Beton pour etudes de court terme ou de phasage avec retrait sans fluage : PIEDROITS"
E EC2 KNM2 FCK 35.000000
RO 25.000000
TEMP 0.10000000E-04
RETRAIT EC2
RH 80.000000
RM_EC 550.00000
CIMENT N
FIN

# Beton pour etudes de court terme ou de phasage avec fluage sans retrait : PIEDROITS

MATERIAU 42 "Beton pour etudes de court terme ou de phasage avec fluage sans retrait : PIEDROITS"
E EC2 KNM2 FCK 35.000000
RO 25.000000
TEMP 0.10000000E-04
FLUAGE EC2
RH 80.000000
RM_EC 550.00000
CIMENT N
FIN

# Beton pour etude long terme : PIEDROITS

MATERIAU 43 "Beton pour etude long terme : PIEDROITS"
E 11359049.
RO 25.000000
TEMP 0.10000000E-04
FIN

# Beton pour etudes de court terme : SEMELLES

MATERIAU 60 "Beton pour etudes de court terme : SEMELLES"
E EC2 KNM2 FCK 35.000000
RO 25.000000
TEMP 0.10000000E-04
RH 80.000000

```

```

    CIMENT N
    FIN

# Beton pour etude long terme : SEMELLES

MATERIAU 63 "Beton pour etude long terme : SEMELLES"
E        11359049.
RO       25.000000
TEMP     0.10000000E-04
    FIN

# AFFECTATION DES BETONS - PHASAGE AVEC FLUAGE SEUL

CONSTANTES 2          MATERIAU 12 # Traverse
CONSTANTES 1, 13, 3, 43  MATERIAU 42 # Piedroits
CONSTANTES 11, 12, 42, 41  MATERIAU 60 # Semelles

# CARACTERISTIQUES DE SOL ELASTIQUE - LONG TERME

# Appui elastique sol semelle a gauche

APPUI      14 NOEUD      1 EL  0.00000      0.00000      0.169920E+07 0.00000      -370130.      0.142430E+07

PROPRIETES PSE 11, 12 SX 12.12112337 IZ 0.36363370 VY 0.30000000 WY 0.30000000
ZONE 1 KFY 0.000000

# Appui elastique sol semelle a droite

APPUI      44 NOEUD      4 EL  0.00000      0.00000      0.169920E+07 0.00000      370130.      0.142430E+07

PROPRIETES PSE 42, 41 SX 12.12112337 IZ 0.36363370 VY 0.30000000 WY 0.30000000
ZONE 1 KFY 0.000000

# POIDS PROPRE OSSATURE SEULE

PHASAGE 710 "Poids propre ossature seule"
DATE 28.00 # Date de decoffrage
ACTIVER APPUIS 14 # Appui elastique sol semelle a gauche
ACTIVER APPUIS 13 # Blocage en X interface sol a gauche
ACTIVER BARRES 13 # Barre rigide a gauche
ACTIVER BARRES 11, 12 # Semelle a gauche
CHARGE POIDS PROPRE 11, 12
CHARGE
NOEUD 1 FY 103.720280 # Compensation poids propre en double
FIN
ACTIVER APPUIS 44 # Appui elastique sol semelle a droite
ACTIVER APPUIS 43 # Blocage en X interface sol a droite
ACTIVER BARRES 43 # Barre rigide a droite
ACTIVER BARRES 42, 41 # Semelle a droite
CHARGE POIDS PROPRE 42, 41
CHARGE
NOEUD 4 FY 103.720280 # Compensation poids propre en double
FIN
ACTIVER BARRES 1, 3 # Piedroits
CHARGE POIDS PROPRE 1, 3
ACTIVER BARRES 2 # Traverse
CHARGE POIDS PROPRE 2
DATE 128.00
DATE 328.00
DATE 1028.00
DATE 3028.00
DATE 10028.00
DATE 30028.00
FIN PHASAGE

EXEC PHASAGE 710

ENV 730 COMB "Enveloppe poids propre min/max ossature seule"
EFFORT MZ
REAC MZ
PHASAGE 710 1.000000 1.000000 # Poids propre ossature seule
FIN

# AFFECTATION DES BETONS - PHASAGE AVEC RETRAIT SEUL

CONSTANTES 2          MATERIAU 11 # Traverse
CONSTANTES 1, 13, 3, 43  MATERIAU 41 # Piedroits
CONSTANTES 11, 12, 42, 41  MATERIAU 60 # Semelles

# ETUDE DU RETRAIT

PHASAGE 240 "Retrait : T = INFINI"
DATE 28.00 # Date de decoffrage
ACTIVER APPUIS 14 # Appui elastique sol semelle a gauche
ACTIVER APPUIS 13 # Blocage en X interface sol a gauche
ACTIVER BARRES 11, 12 AGE 28.00 # Semelle a gauche
ACTIVER APPUIS 44 # Appui elastique sol semelle a droite
ACTIVER APPUIS 43 # Blocage en X interface sol a droite
ACTIVER BARRES 42, 41 AGE 28.00 # Semelle a droite
ACTIVER BARRES 1, 13, 3, 43 AGE 28.00 # Piedroits
ACTIVER BARRES 2 AGE 28.00 # Traverse
DATE 128.00
DATE 328.00
DATE 1028.00
DATE 3028.00
DATE 10028.00
DATE 30028.00
FIN PHASAGE
    
```

```

EXEC PHASAGE 240

# AFFECTATION DES BETONS - LONG TERME

CONSTANTES 2          MATERIAU 13 # Traverse
CONSTANTES 1, 13, 3, 43  MATERIAU 43 # Piedroits
CONSTANTES 11, 12, 42, 41  MATERIAU 63 # Semelles

# Desactivation des appuis de simulation de la butee

ACTIVER TOUT
DESACTIVER APPUIS 2, 3

# CHARGE NULLE

CHARGE 10 "Charge nulle"
TEMP TOUTES UNI 0.00
FIN

EXEC CHARGES 10

# SUPERSTRUCTURES

# Superstructures provisoires

CHARGE 750 "Chape sur tablier profil PRV"
BARRES 2 UNIFORME FY 0.00000
FIN

CHARGE 830 "Enrobes sur tablier profil PRV"
BARRES 2 UNIFORME FY -43.2000
FIN

CHARGE 870 "Trottoir gauche profil PRV"
BARRES 2 UNIFORME FY 0.00000
FIN

CHARGE 910 "Trottoir droit profil PRV"
BARRES 2 UNIFORME FY 0.00000
FIN

EXEC CHARGES 750, 830, 870, 910

# Enveloppes avec superstructures provisoires

ENV 2100 COMB "Enveloppe superstructures profil PRV"
EFFORT MZ
REAC MZ
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

# Actions nominales avec superstructures provisoires

COMB 2120 "Action nominale superstructures 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 760 "Chape sur tablier profil DEF"
BARRES 2 UNIFORME FY -11.8800
FIN

CHARGE 840 "Enrobes sur tablier profil DEF"
BARRES 2 UNIFORME FY -21.1200
FIN

CHARGE 880 "Trottoir gauche profil DEF"
BARRES 2 UNIFORME FY -6.00000
FIN

CHARGE 920 "Trottoir droit profil DEF"
BARRES 2 UNIFORME FY -6.00000
FIN

EXEC CHARGES 760, 840, 880, 920

# Enveloppes avec superstructures definitives

ENV 2110 COMB "Enveloppe superstructures profil DEF"
EFFORT MZ
REAC MZ
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

# Actions nominales avec superstructures definitives

COMB 2130 "Action nominale superstructures 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

```

CHARGES PERMANENTES DE POIDS PROPRE ET DE POUSSEE DES TERRES

Action des remblais techniques

```

CHARGE 1690 "Poussee quasi triangulaire des remblais k = 1 a gauche"
BARRES
1 LIN XL 0.00000000 1.00000000 REL FY 101.009 2747.45 LOC
13 LIN XL 0.00000000 1.00000000 REL FY 2747.45 2868.67 LOC
FIN

```

```

CHARGE 1710 "Poids des remblais techniques sur le talon a gauche"
BARRES
11 LIN XL 0.00000000 0.82935257 REL FY -2626.24 -2626.24 LOC
FIN

```

```

CHARGE 1700 "Poussee quasi triangulaire des remblais k = 1 a droite"
BARRES
3 LIN XL 0.00000000 1.00000000 REL FY -101.009 -2747.45 LOC
43 LIN XL 0.00000000 1.00000000 REL FY -2747.45 -2868.67 LOC
FIN

```

```

CHARGE 1720 "Poids des remblais techniques sur le talon a droite"
BARRES
42 LIN XL 0.17064743 1.00000000 REL FY -2626.24 -2626.24 LOC
FIN

```

EXEC CHARGES 1690, 1700

EXEC CHARGES 1710, 1720

```

COMB 1730 "Action nominale des remblais techniques a gauche ka min"
CHARGE 1690 0.250000 # Poussee quasi triangulaire des remblais k = 1 a gauche
CHARGE 1710 # Poids des remblais techniques sur le talon a gauche
FIN

```

```

COMB 1750 "Action nominale des remblais techniques a gauche ka max"
CHARGE 1690 0.500000 # Poussee quasi triangulaire des remblais k = 1 a gauche
CHARGE 1710 # Poids des remblais techniques sur le talon a gauche
FIN

```

```

COMB 1740 "Action nominale des remblais techniques a droite ka min"
CHARGE 1700 0.250000 # Poussee quasi triangulaire des remblais k = 1 a droite
CHARGE 1720 # Poids des remblais techniques sur le talon a droite
FIN

```

```

COMB 1760 "Action nominale des remblais techniques a droite ka max"
CHARGE 1700 0.500000 # Poussee quasi triangulaire des remblais k = 1 a droite
CHARGE 1720 # Poids des remblais techniques sur le talon a droite
FIN

```

```

ENV 1770 COMB "Action des remblais techniques ka min"
EFFORT MZ
REAC MZ
COMB 1730 1.000000 1.000000 # Action nominale des remblais techniques a gauche ka min
COMB 1740 1.000000 1.000000 # Action nominale des remblais techniques a droite ka min
FIN

```

```

ENV 1780 COMB "Action des remblais techniques ka max"
EFFORT MZ
REAC MZ
COMB 1750 1.000000 1.000000 # Action nominale des remblais techniques a gauche ka max
COMB 1760 1.000000 1.000000 # Action nominale des remblais techniques a droite ka max
FIN

```

```

ENV 1800 "Action des remblais techniques"
EFFORT MZ
REAC MZ
ENV 1770 # Action des remblais techniques ka min
ENV 1780 # Action des remblais techniques ka max
FIN

```

```

COMB 1790 "Action nominale des remblais techniques ka moyen"
CHARGE 1690 0.375000 # Poussee quasi triangulaire des remblais k = 1 a gauche
CHARGE 1700 0.375000 # Poussee quasi triangulaire des remblais k = 1 a droite
CHARGE 1710 # Poids des remblais techniques sur le talon a gauche
CHARGE 1720 # Poids des remblais techniques sur le talon a droite
FIN

```

Action du remblai interieur

```

CHARGE 2030 "Poids des terres sur le patin a gauche"
BARRES
12 LIN XL 0.23584774 1.00000000 REL FY -222.221 -222.221 LOC
FIN

```

```

CHARGE 2040 "Poids des terres sur le patin a droite"
BARRES
41 LIN XL 0.00000000 0.76415226 REL FY -222.221 -222.221 LOC
FIN

```

EXEC CHARGES 2030, 2040

```

COMB      2090      "Action nominale du remblai interne"
CHARGE    2030      # Poids des terres sur le patin a gauche
CHARGE    2040      # Poids des terres sur le patin a droite
FIN

ENV      2080 COMB "Action du remblai interne"
EFFORT MZ
REAC      MZ
COMB      2090      1.000000    1.000000 # Action nominale du remblai interne
FIN

# CHARGES DUES AU REMBLAI SITUE AU-DESSUS DU NIVEAU DU TABLIER

# Phase provisoire

# Coefficient de Marston calcule :    1.012854

CHARGE    790      "Remblai sur le tablier profil PRV"
BARRES 2 UNIFORME FY -303.856
FIN

EXEC CHARGES 790

CHARGE    1810      "Poussee rectangulaire des remblais k = 1 a gauche profil PRV"
BARRES
      1 LIN XL 0.00000000 1.00000000 REL FY  404.037    404.037    LOC
      13 LIN XL 0.00000000 1.00000000 REL FY  404.037    404.037    LOC
FIN

EXEC CHARGES 1810

CHARGE    1850      "Poids du remblai sur le tablier sur le talon a gauche profil PRV"
BARRES
      11 LIN XL 0.00000000 0.82935257 REL FY -404.037    -404.037    LOC
FIN

EXEC CHARGES 1850

CHARGE    1830      "Poussee rectangulaire des remblais k = 1 a droite profil PRV"
BARRES
      3 LIN XL 0.00000000 1.00000000 REL FY -404.037    -404.037    LOC
      43 LIN XL 0.00000000 1.00000000 REL FY -404.037    -404.037    LOC
FIN

EXEC CHARGES 1830

CHARGE    1870      "Poids du remblai sur le tablier sur le talon a droite profil PRV"
BARRES
      42 LIN XL 0.17064743 1.00000000 REL FY -404.037    -404.037    LOC
FIN

EXEC CHARGES 1870

ENV      1890 COMB "Action nominale du remblai sur le tablier ka min profil PRV"
EFFORT MZ
REAC      MZ
CHARGE    1810      0.250000      # Poussee rectangulaire des remblais k = 1 a gauche profil PRV
CHARGE    1830      0.250000      # Poussee rectangulaire des remblais k = 1 a droite profil PRV
CHARGE    1850      # Poids du remblai sur le tablier sur le talon a gauche profil PRV
CHARGE    1870      # Poids du remblai sur le tablier sur le talon a droite profil PRV
FIN

ENV      1910 COMB "Action nominale du remblai sur le tablier ka max profil PRV"
EFFORT MZ
REAC      MZ
CHARGE    1810      0.500000      # Poussee rectangulaire des remblais k = 1 a gauche profil PRV
CHARGE    1830      0.500000      # Poussee rectangulaire des remblais k = 1 a droite profil PRV
CHARGE    1850      # Poids du remblai sur le tablier sur le talon a gauche profil PRV
CHARGE    1870      # Poids du remblai sur le tablier sur le talon a droite profil PRV
FIN

ENV      1950      "Action du remblai au-dessus du tablier ka min max profil PRV"
EFFORT MZ
REAC      MZ
ENV      1890      # Action nominale du remblai sur le tablier ka min profil PRV
ENV      1910      # Action nominale du remblai sur le tablier ka max profil PRV
FIN

COMB      1930      "Action nominale du remblai sur le tablier ka moyen profil PRV"
CHARGE    1810      0.375000      # Poussee rectangulaire des remblais k = 1 a gauche profil PRV
CHARGE    1830      0.375000      # Poussee rectangulaire des remblais k = 1 a droite profil PRV
CHARGE    1850      # Poids du remblai sur le tablier sur le talon a gauche profil PRV
CHARGE    1870      # Poids du remblai sur le tablier sur le talon a droite profil PRV
FIN

# Phase definitive

# Coefficient de Marston calcule :    1.012854

CHARGE    800      "Remblai sur le tablier profil DEF"
BARRES 2 UNIFORME FY -303.856
FIN

EXEC CHARGES 800

CHARGE    1820      "Poussee rectangulaire des remblais k = 1 a gauche profil DEF"
BARRES
      1 LIN XL 0.00000000 1.00000000 REL FY  404.037    404.037    LOC

```

```

13 LIN XL 0.00000000 1.00000000 REL FY 404.037 404.037 LOC
FIN
EXEC CHARGES 1820
CHARGE 1860 "Poids du remblai sur le tablier sur le talon a gauche profil DEF"
BARRES
11 LIN XL 0.00000000 0.82935257 REL FY -404.037 -404.037 LOC
FIN
EXEC CHARGES 1860
CHARGE 1840 "Poussee rectangulaire des remblais k = 1 a droite profil DEF"
BARRES
3 LIN XL 0.00000000 1.00000000 REL FY -404.037 -404.037 LOC
43 LIN XL 0.00000000 1.00000000 REL FY -404.037 -404.037 LOC
FIN
EXEC CHARGES 1840
CHARGE 1880 "Poids du remblai sur le tablier sur le talon a droite profil DEF"
BARRES
42 LIN XL 0.17064743 1.00000000 REL FY -404.037 -404.037 LOC
FIN
EXEC CHARGES 1880
ENV 1900 COMB "Action nominale du remblai sur le tablier ka min profil DEF"
EFFORT MZ
REAC MZ
CHARGE 1820 0.250000 # Poussee rectangulaire des remblais k = 1 a gauche profil DEF
CHARGE 1840 0.250000 # Poussee rectangulaire des remblais k = 1 a droite profil DEF
CHARGE 1860 # Poids du remblai sur le tablier sur le talon a gauche profil DEF
CHARGE 1880 # Poids du remblai sur le tablier sur le talon a droite profil DEF
FIN
ENV 1920 COMB "Action nominale du remblai sur le tablier ka max profil DEF"
EFFORT MZ
REAC MZ
CHARGE 1820 0.500000 # Poussee rectangulaire des remblais k = 1 a gauche profil DEF
CHARGE 1840 0.500000 # Poussee rectangulaire des remblais k = 1 a droite profil DEF
CHARGE 1860 # Poids du remblai sur le tablier sur le talon a gauche profil DEF
CHARGE 1880 # Poids du remblai sur le tablier sur le talon a droite profil DEF
FIN
ENV 1960 "Action du remblai au-dessus du tablier ka min max profil DEF"
EFFORT MZ
REAC MZ
ENV 1900 # Action nominale du remblai sur le tablier ka min profil DEF
ENV 1920 # Action nominale du remblai sur le tablier ka max profil DEF
FIN
COMB 1940 "Action nominale du remblai sur le tablier ka moyen profil DEF"
CHARGE 1820 0.375000 # Poussee rectangulaire des remblais k = 1 a gauche profil DEF
CHARGE 1840 0.375000 # Poussee rectangulaire des remblais k = 1 a droite profil DEF
CHARGE 1860 # Poids du remblai sur le tablier sur le talon a gauche profil DEF
CHARGE 1880 # Poids du remblai sur le tablier sur le talon a droite profil DEF
FIN
ENV 1970 COMB "Action du remblai au-dessus du tablier profil PRV"
EFFORT MZ
REAC MZ
CHARGE 790 # Remblai sur le tablier profil PRV
ENV 1950 # Action du remblai au-dessus du tablier ka min max profil PRV
FIN
ENV 1990 "Action enveloppe du remblai au-dessus du tablier profil PRV"
EFFORT MZ
REAC MZ
ENV 1970 0.900000 # Action du remblai au-dessus du tablier profil PRV
ENV 1970 1.100000 # Action du remblai au-dessus du tablier profil PRV
FIN
COMB 2010 "Action nominale du remblai au-dessus du tablier profil PRV"
CHARGE 790 # Remblai sur le tablier profil PRV
COMB 1930 # Action nominale du remblai sur le tablier ka moyen profil PRV
FIN
ENV 1980 COMB "Action du remblai au-dessus du tablier profil DEF"
EFFORT MZ
REAC MZ
CHARGE 800 # Remblai sur le tablier profil DEF
ENV 1960 # Action du remblai au-dessus du tablier ka min max profil DEF
FIN
ENV 2000 "Action enveloppe du remblai au-dessus du tablier profil DEF"
EFFORT MZ
REAC MZ
ENV 1980 0.900000 # Action du remblai au-dessus du tablier profil DEF
ENV 1980 1.100000 # Action du remblai au-dessus du tablier profil DEF
FIN
COMB 2020 "Action nominale du remblai au-dessus du tablier profil DEF"
CHARGE 800 # Remblai sur le tablier profil DEF
COMB 1940 # Action nominale du remblai sur le tablier ka moyen profil DEF
FIN

```

ENVELOPPES POIDS PROPRE, SUPERSTRUCTURES, REMBLAIS

```

ENV      2140 COMB "Enveloppe poids propre + superstructures (+ remblais) profil PRV"
EFFORT MZ
REAC    MZ
PHASAGE 240      # Retrait : T = INFINI
ENV      730      # Enveloppe poids propre min/max ossature seule
ENV      2100     # Enveloppe superstructures profil PRV
ENV      1990     # Action enveloppe du remblai au-dessus du tablier profil PRV
ENV      1800     # Action des remblais techniques
ENV      2080     # Action du remblai interne
FIN

COMB     2180     "Poids propre + superstructures (+ remblais) nominal profil PRV"
PHASAGE 240      # Retrait : T = INFINI
PHASAGE 710      # Poids propre ossature seule
COMB     2120     # Action nominale superstructures profil PRV
COMB     2010     # Action nominale du remblai au-dessus du tablier profil PRV
COMB     1790     # Action nominale des remblais techniques ka moyen
COMB     2090     # Action nominale du remblai interne
FIN

ENV      2200 COMB "Poids propre + superstructures (+ remblais) ELU profil PRV"
EFFORT MZ
REAC    MZ
PHASAGE 240      1.000000  1.350000 # Retrait : T = INFINI
ENV      730      1.000000  1.350000 # Enveloppe poids propre min/max ossature seule
ENV      2100     1.000000  1.350000 # Enveloppe superstructures profil PRV
ENV      1990     1.000000  1.350000 # Action enveloppe du remblai au-dessus du tablier profil PRV
ENV      1800     1.000000  1.350000 # Action des remblais techniques
ENV      2080     1.000000  1.350000 # Action du remblai interne
FIN

ENV      2150 COMB "Enveloppe poids propre + superstructures (+ remblais) profil DEF"
EFFORT MZ
REAC    MZ
PHASAGE 240      # Retrait : T = INFINI
ENV      730      # Enveloppe poids propre min/max ossature seule
ENV      2110     # Enveloppe superstructures profil DEF
ENV      2000     # Action enveloppe du remblai au-dessus du tablier profil DEF
ENV      1800     # Action des remblais techniques
ENV      2080     # Action du remblai interne
FIN

COMB     2190     "Poids propre + superstructures (+ remblais) nominal profil DEF"
PHASAGE 240      # Retrait : T = INFINI
PHASAGE 710      # Poids propre ossature seule
COMB     2130     # Action nominale superstructures profil DEF
COMB     2020     # Action nominale du remblai au-dessus du tablier profil DEF
COMB     1790     # Action nominale des remblais techniques ka moyen
COMB     2090     # Action nominale du remblai interne
FIN

ENV      2210 COMB "Poids propre + superstructures (+ remblais) ELU profil DEF"
EFFORT MZ
REAC    MZ
PHASAGE 240      1.000000  1.350000 # Retrait : T = INFINI
ENV      730      1.000000  1.350000 # Enveloppe poids propre min/max ossature seule
ENV      2110     1.000000  1.350000 # Enveloppe superstructures profil DEF
ENV      2000     1.000000  1.350000 # Action enveloppe du remblai au-dessus du tablier profil DEF
ENV      1800     1.000000  1.350000 # Action des remblais techniques
ENV      2080     1.000000  1.350000 # Action du remblai interne
FIN

# TASSEMENTS D'APPUI

# Charges de tassements probables

CHARGE  2120     'Tassement probable appui 1'
APPUI   14 DY    0.000000
FIN

CHARGE  2130     'Tassement probable appui 2'
APPUI   44 DY    0.000000
FIN

EXEC CHARGES 2120, 2130

# Tassements probables

COMB     2190     'Tassements probables'
CHARGE  2120     # Tassement probable appui 1
CHARGE  2130     # Tassement probable appui 2
FIN

# Charges de tassements aleatoires

CHARGE  2200     'Tassement aleatoire appui 1'
APPUI   14 DY    0.000000
FIN

CHARGE  2210     'Tassement aleatoire appui 2'
APPUI   44 DY    0.000000
FIN

EXEC CHARGES 2200, 2210

# 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

# Enveloppe des tassements aleatoires

ENV      2330      'Enveloppe tassements aleatoires'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      2270      # Tassements aleatoires 1 - 2
FIN

# AFFECTATION DES BETONS - COURT TERME OU PHASAGE

CONS 2          MATERIAU 10 # Traverse
CONS 1, 13, 3, 43 MATERIAU 40 # Piedroits
CONS 11, 12, 42, 41 MATERIAU 60 # Semelles

# CARACTERISTIQUES DE SOL ELASTIQUE - COURT TERME

# Appui elastique sol semelle a gauche

APPUI  14 NOEUD  1 EL  0.00000  0.00000  0.345030E+07  0.00000  -786360.  0.292960E+07

PROPRIETES PSE 11, 12 SX 12.12112337 IZ  0.36363370 VY  0.30000000 WY  0.30000000
ZONE  1 KFY  0.000000

# Appui elastique sol semelle a droite

APPUI  44 NOEUD  4 EL  0.00000  0.00000  0.345030E+07  0.00000   786360.  0.292960E+07

PROPRIETES PSE 42, 41 SX 12.12112337 IZ  0.36363370 VY  0.30000000 WY  0.30000000
ZONE  1 KFY  0.000000

# EFFETS THERMIQUES

# Charges de gradient thermique positif et negatif

CHARGE  2340      'Gradient thermique positif'
TEMP 2 GY  8.400000
FIN

CHARGE  2350      'Gradient thermique negatif'
TEMP 2 GY -6.000000
FIN

# Charges de dilatation thermique positive et negative

CHARGE  2360      'Dilatation thermique positive'
TEMP 2 UNI  30.000000
FIN

CHARGE  2370      'Dilatation thermique negative'
TEMP 2 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 9.000 # Chaussee

BARRES 2

LDIF 1.0274

REP_TRANS
KBARRE 2 KTRANS 2.34999 # Dyn : 1.50000 K : 1.56666

FIN

SURCH 4290      'LM3 VS generalise 100 caracteristique AFF 1 profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
LM3 100 ZONEVS 1 YVS 0.0000 9.0000 ABS POND 1.000000
LM1 AUCUN
ZONE 1
FIN

EXEC SURCH 4290

```

CHARGE : LM3 VS generalise 100 caracteristique AFF 1 REMBLAI profil PRV

ACTIVER APPUIS 3

CHARGE 2430 'Charge d exploitation sur le remblai a gauche'
 BARRES
 2 LIN XL 0.00000000 0.03535552 REL FY -5.39930 -5.39930 LOC
 1 LIN XL 0.00000000 0.10000000 REL FY 2.27242 2.23278 LOC
 1 LIN XL 0.10000000 0.20000000 REL FY 2.23278 2.19449 LOC
 1 LIN XL 0.20000000 0.30000000 REL FY 2.19449 2.15750 LOC
 1 LIN XL 0.30000000 0.40000000 REL FY 2.15750 2.12173 LOC
 1 LIN XL 0.40000000 0.50000000 REL FY 2.12173 2.08713 LOC
 1 LIN XL 0.50000000 0.60000000 REL FY 2.08713 2.05364 LOC
 1 LIN XL 0.60000000 0.70000000 REL FY 2.05364 2.02121 LOC
 1 LIN XL 0.70000000 0.80000000 REL FY 2.02121 1.98979 LOC
 1 LIN XL 0.80000000 0.90000000 REL FY 1.98979 1.95933 LOC
 1 LIN XL 0.90000000 1.00000000 REL FY 1.95933 1.92978 LOC
 13 LIN XL 0.00000000 1.00000000 REL FY 1.91655 1.91655 LOC
 11 LIN XL 0.00000000 0.82935257 REL FY -5.18188 -5.18188 LOC

FIN

EXEC CHARGES 2430

DESACTIVER APPUIS 3

ACTIVER APPUIS 2

CHARGE 2440 'Charge d exploitation sur le remblai a droite'
 BARRES
 2 LIN XL 0.96464448 1.00000000 REL FY -5.39930 -5.39930 LOC
 3 LIN XL 0.00000000 0.10000000 REL FY -2.27242 -2.23278 LOC
 3 LIN XL 0.10000000 0.20000000 REL FY -2.23278 -2.19449 LOC
 3 LIN XL 0.20000000 0.30000000 REL FY -2.19449 -2.15750 LOC
 3 LIN XL 0.30000000 0.40000000 REL FY -2.15750 -2.12173 LOC
 3 LIN XL 0.40000000 0.50000000 REL FY -2.12173 -2.08713 LOC
 3 LIN XL 0.50000000 0.60000000 REL FY -2.08713 -2.05364 LOC
 3 LIN XL 0.60000000 0.70000000 REL FY -2.05364 -2.02121 LOC
 3 LIN XL 0.70000000 0.80000000 REL FY -2.02121 -1.98979 LOC
 3 LIN XL 0.80000000 0.90000000 REL FY -1.98979 -1.95933 LOC
 3 LIN XL 0.90000000 1.00000000 REL FY -1.95933 -1.92978 LOC
 43 LIN XL 0.00000000 1.00000000 REL FY -1.91655 -1.91655 LOC
 42 LIN XL 0.17064743 1.00000000 REL FY -5.18188 -5.18188 LOC

FIN

EXEC CHARGES 2440

DESACTIVER APPUIS 2

ENV 4300 'LM3 VS generalise 100 caracteristique AFF 1 REMBLAI profil PRV'
 EFFORT MZ
 REAC MZ
 CHARGE 2430 # Charge d exploitation sur le remblai a gauche
 CHARGE 2440 # Charge d exploitation sur le remblai a droite
 FIN

CHARGE : LM3 VS generalise 100 caracteristique AFF 1 TABLIER et REMBLAI profil PRV

ENV 4310 'LM3 VS generalise 100 caracteristique AFF 1 TABLIER et REMBLAI profil PRV'
 EFFORT MZ
 REAC MZ
 SURCH 4290 # LM3 VS generalise 100 caracteristique AFF 1 profil PRV
 ENV 4300 1.000000 # LM3 VS generalise 100 caracteristique AFF 1 REMBLAI profil PRV
 FIN

CHARGE : LM3 VS generalise 100 frequent AFF 1 profil PRV

TABLIER

CLASSE TRAFIC 2

ZONE_TRANS
 1 LARG 9.000 # Chaussee

BARRES 2

LDIF 1.0274

REP_TRANS
 KBARRE 2 KTRANS 2.34999 # Dyn : 1.50000 K : 1.56666

FIN

SURCH 4320 'LM3 VS generalise 100 frequent AFF 1 profil PRV'
 EFFORT MZ
 REAC MZ
 LM3 100 ZONEVS 1 YVS 0.0000 9.0000 ABS POND 1.000000
 LM1 AUCUN
 ZONE 1
 FIN

EXEC SURCH 4320

CHARGE : LM3 VS generalise 100 ultime AFF 1 profil PRV

TABLIER

CLASSE TRAFIC 2

```

ZONE_TRANS
1 LARG 9.000 # Chaussée

BARRES 2

LDIF 1.0274

REP_TRANS
KBARRE 2 KTRANS 2.21553 # Dyn : 1.50000 K : 1.47702

FIN

SURCH 4330 'LM3 VS generalise 100 ultime AFF 1 profil PRV'
EFFORT MZ
REAC MZ
LM3 100 ZONEVS 1 YVS 0.0000 9.0000 ABS POND 1.000000
LM1 AUCUN
POND 1.350000 # Gamma Q : 1.35
ZONE 1
FIN

EXEC SURCH 4330

# CHARGE : LM3 VS generalise 100 ultime AFF 1 TABLIER et REMBLAI profil PRV

ENV 4340 'LM3 VS generalise 100 ultime AFF 1 TABLIER et REMBLAI profil PRV'
EFFORT MZ
REAC MZ
SURCH 4330 # LM3 VS generalise 100 ultime AFF 1 profil PRV
ENV 4300 1.350000 # LM3 VS generalise 100 caracteristique AFF 1 REMBLAI profil PRV
FIN

...
Lignes supprimées
...

# CHARGE : LM1 caracteristique AFF 2 profil DEF

TABLIER

CLASSE TRAFIC 2

ZONE_TRANS
1 LARG 11.000 # Chaussée

BARRES 2

LDIF 0.9074

REP_TRANS
KBARRE 2 KTRANS 1.45738 # Dyn : 1.00000 K : 1.45738

FIN

SURCH 4470 'LM1 caracteristique AFF 2 profil DEF'
EFFORT MZ
REAC MZ
LM1 CARA
ZONE 1
FIN

EXEC SURCH 4470

# CHARGE : LM1 caracteristique AFF 2 REMBLAI profil DEF

ACTIVER APPUIS 3

CHARGE 2430 'Charge d exploitation sur le remblai a gauche'
BARRES
2 LIN XL 0.00000000 0.03535552 REL FY -231.286 -231.286 LOC
1 LIN XL 0.00000000 0.10000000 REL FY 97.3419 88.9654 LOC
1 LIN XL 0.10000000 0.20000000 REL FY 88.9654 82.0777 LOC
1 LIN XL 0.20000000 0.30000000 REL FY 82.0777 76.3143 LOC
1 LIN XL 0.30000000 0.40000000 REL FY 76.3143 71.4207 LOC
1 LIN XL 0.40000000 0.50000000 REL FY 71.4207 67.2137 LOC
1 LIN XL 0.50000000 0.60000000 REL FY 67.2137 63.5584 LOC
1 LIN XL 0.60000000 0.70000000 REL FY 63.5584 60.3529 LOC
1 LIN XL 0.70000000 0.80000000 REL FY 60.3529 57.2129 LOC
1 LIN XL 0.80000000 0.90000000 REL FY 57.2129 54.2512 LOC
1 LIN XL 0.90000000 1.00000000 REL FY 54.2512 51.5696 LOC
13 LIN XL 0.00000000 1.00000000 REL FY 49.6747 49.6747 LOC
11 LIN XL 0.00000000 0.82935257 REL FY -140.726 -140.726 LOC
FIN

EXEC CHARGES 2430

DESACTIVER APPUIS 3

ACTIVER APPUIS 2

CHARGE 2440 'Charge d exploitation sur le remblai a droite'
BARRES
2 LIN XL 0.96464448 1.00000000 REL FY -231.286 -231.286 LOC
3 LIN XL 0.00000000 0.10000000 REL FY -97.3419 -88.9654 LOC
3 LIN XL 0.10000000 0.20000000 REL FY -88.9654 -82.0777 LOC
3 LIN XL 0.20000000 0.30000000 REL FY -82.0777 -76.3143 LOC

```

```

3 LIN XL 0.30000000 0.40000000 REL FY -76.3143 -71.4207 LOC
3 LIN XL 0.40000000 0.50000000 REL FY -71.4207 -67.2137 LOC
3 LIN XL 0.50000000 0.60000000 REL FY -67.2137 -63.5584 LOC
3 LIN XL 0.60000000 0.70000000 REL FY -63.5584 -60.3529 LOC
3 LIN XL 0.70000000 0.80000000 REL FY -60.3529 -57.2129 LOC
3 LIN XL 0.80000000 0.90000000 REL FY -57.2129 -54.2512 LOC
3 LIN XL 0.90000000 1.00000000 REL FY -54.2512 -51.5696 LOC
43 LIN XL 0.00000000 1.00000000 REL FY -49.6747 -49.6747 LOC
42 LIN XL 0.17064743 1.00000000 REL FY -140.726 -140.726 LOC

```

FIN

EXEC CHARGES 2440

DESACTIVER APPUIS 2

ENV 4480 'LM1 caracteristique AFF 2 REBLAI profil DEF'

EFFORT MZ

REAC MZ

CHARGE 2430

CHARGE 2440

Charge d exploitation sur le remblai a gauche

Charge d exploitation sur le remblai a droite

FIN

CHARGE : LM1 caracteristique AFF 2 TABLIER et REBLAI profil DEF

ENV 4490 'LM1 caracteristique AFF 2 TABLIER et REBLAI profil DEF'

EFFORT MZ

REAC MZ

SURCH 4470

ENV 4480 1.000000

LM1 caracteristique AFF 2 profil DEF

LM1 caracteristique AFF 2 REBLAI profil DEF

FIN

CHARGE : LM1 frequent AFF 2 profil DEF

TABLIER

CLASSE TRAFIC 2

ZONE_TRANS

1 LARG 11.000 # Chaussee

BARRES 2

LDIF 0.9074

REP_TRANS

KBARRE 2 KTRANS 1.47837 # Dyn : 1.00000 K : 1.47837

FIN

SURCH 4500 'LM1 frequent AFF 2 profil DEF'

EFFORT MZ

REAC MZ

LM1_FREQ

ZONE 1

FIN

EXEC SURCH 4500

CHARGE : LM1 ultime AFF 2 profil DEF

TABLIER

CLASSE TRAFIC 2

ZONE_TRANS

1 LARG 11.000 # Chaussee

BARRES 2

LDIF 0.9074

REP_TRANS

KBARRE 2 KTRANS 1.39313 # Dyn : 1.00000 K : 1.39313

FIN

SURCH 4510 'LM1 ultime AFF 2 profil DEF'

EFFORT MZ

REAC MZ

LM1_CARA

POND 1.350000 # Gamma Q : 1.35

ZONE 1

FIN

EXEC SURCH 4510

CHARGE : LM1 ultime AFF 2 TABLIER et REBLAI profil DEF

ENV 4520 'LM1 ultime AFF 2 TABLIER et REBLAI profil DEF'

EFFORT MZ

REAC MZ

SURCH 4510

ENV 4480 1.350000

LM1 ultime AFF 2 profil DEF

LM1 caracteristique AFF 2 REBLAI profil DEF

FIN

```

...
Lignes supprimées
...
# CHARGE : LM3 VS R/EG C2 caracteristique AFF 3 profil DEF

TABLIER

CLASSE TRAFIC 2

ZONE_TRANS
1 LARG 11.000 # Chaussee

BARRES 2

LDIF 0.9074

REP_TRANS
KBARRE 2 KTRANS 1.42822 # Dyn : 1.00000 K : 1.42822

FIN

SURCH 4820 'LM3 VS R/EG C2 caracteristique AFF 3 profil DEF'
EFFORT MZ
REAC MZ
LM3 CV_C2 ZONEVS 1 YVS 1.0000 10.0000 ABS POND 1.100000
LM1 FREQ
ZONE 1
FIN

EXEC SURCH 4820

# CHARGE : LM3 VS R/EG C2 caracteristique AFF 3 REMBLAI profil DEF

ACTIVER APPUIS 3

CHARGE 2430 'Charge d exploitation sur le remblai a gauche'
BARRES
2 LIN XL 0.00000000 0.03535552 REL FY -229.342 -229.342 LOC
1 LIN XL 0.00000000 0.10000000 REL FY 96.5238 88.1404 LOC
1 LIN XL 0.10000000 0.20000000 REL FY 88.1404 81.4260 LOC
1 LIN XL 0.20000000 0.30000000 REL FY 81.4260 75.8999 LOC
1 LIN XL 0.30000000 0.40000000 REL FY 75.8999 71.2529 LOC
1 LIN XL 0.40000000 0.50000000 REL FY 71.2529 67.2762 LOC
1 LIN XL 0.50000000 0.60000000 REL FY 67.2762 63.8241 LOC
1 LIN XL 0.60000000 0.70000000 REL FY 63.8241 60.7911 LOC
1 LIN XL 0.70000000 0.80000000 REL FY 60.7911 58.0082 LOC
1 LIN XL 0.80000000 0.90000000 REL FY 58.0082 55.4680 LOC
1 LIN XL 0.90000000 1.00000000 REL FY 55.4680 52.6049 LOC
13 LIN XL 0.00000000 1.00000000 REL FY 50.7285 50.7285 LOC
11 LIN XL 0.00000000 0.82935257 REL FY -144.524 -144.524 LOC
FIN

EXEC CHARGES 2430

DESACTIVER APPUIS 3

ACTIVER APPUIS 2

CHARGE 2440 'Charge d exploitation sur le remblai a droite'
BARRES
2 LIN XL 0.96464448 1.00000000 REL FY -229.342 -229.342 LOC
3 LIN XL 0.00000000 0.10000000 REL FY -96.5238 -88.1404 LOC
3 LIN XL 0.10000000 0.20000000 REL FY -88.1404 -81.4260 LOC
3 LIN XL 0.20000000 0.30000000 REL FY -81.4260 -75.8999 LOC
3 LIN XL 0.30000000 0.40000000 REL FY -75.8999 -71.2529 LOC
3 LIN XL 0.40000000 0.50000000 REL FY -71.2529 -67.2762 LOC
3 LIN XL 0.50000000 0.60000000 REL FY -67.2762 -63.8241 LOC
3 LIN XL 0.60000000 0.70000000 REL FY -63.8241 -60.7911 LOC
3 LIN XL 0.70000000 0.80000000 REL FY -60.7911 -58.0082 LOC
3 LIN XL 0.80000000 0.90000000 REL FY -58.0082 -55.4680 LOC
3 LIN XL 0.90000000 1.00000000 REL FY -55.4680 -52.6049 LOC
43 LIN XL 0.00000000 1.00000000 REL FY -50.7285 -50.7285 LOC
42 LIN XL 0.17064743 1.00000000 REL FY -144.524 -144.524 LOC
FIN

EXEC CHARGES 2440

DESACTIVER APPUIS 2

ENV 4830 'LM3 VS R/EG C2 caracteristique AFF 3 REMBLAI profil DEF'
EFFORT MZ
REAC MZ
CHARGE 2430 # Charge d exploitation sur le remblai a gauche
CHARGE 2440 # Charge d exploitation sur le remblai a droite
FIN

# CHARGE : LM3 VS R/EG C2 caracteristique AFF 3 TABLIER et REMBLAI profil DEF

ENV 4840 'LM3 VS R/EG C2 caracteristique AFF 3 TABLIER et REMBLAI profil DEF'
EFFORT MZ
REAC MZ
SURCH 4820 # LM3 VS R/EG C2 caracteristique AFF 3 profil DEF
ENV 4830 1.000000 # LM3 VS R/EG C2 caracteristique AFF 3 REMBLAI profil DEF
FIN

```

CHARGE : LM3 VS R/EG C2 frequent AFF 3 profil DEF

TABLIER

CLASSE TRAFIC 2

ZONE_TRANS
1 LARG 11.000 # Chaussée

BARRES 2

LDIF 0.9074

REP_TRANS
KBARRE 2 KTRANS 1.43239 # Dyn : 1.00000 K : 1.43239

FIN

SURCH 4850 'LM3 VS R/EG C2 frequent AFF 3 profil DEF'
EFFORT MZ
REAC MZ
LM3 CV_C2 ZONEVS 1 YVS 1.0000 10.0000 ABS POND 0.935000 # Pond VS : 1.100000 Psi1 VS : 0.850000
LM1 FREQ
ZONE 1

FIN

EXEC SURCH 4850

CHARGE : LM3 VS R/EG C2 ultime AFF 3 profil DEF

TABLIER

CLASSE TRAFIC 2

ZONE_TRANS
1 LARG 11.000 # Chaussée

BARRES 2

LDIF 0.9074

REP_TRANS
KBARRE 2 KTRANS 1.35990 # Dyn : 1.00000 K : 1.35990

FIN

SURCH 4860 'LM3 VS R/EG C2 ultime AFF 3 profil DEF'
EFFORT MZ
REAC MZ
LM3 CV_C2 ZONEVS 1 YVS 1.0000 10.0000 ABS POND 1.100000
LM1 FREQ
POND 1.350000 # Gamma Q : 1.35
ZONE 1

FIN

EXEC SURCH 4860

CHARGE : LM3 VS R/EG C2 ultime AFF 3 TABLIER et REBLAI profil DEF

ENV 4870 'LM3 VS R/EG C2 ultime AFF 3 TABLIER et REBLAI profil DEF'
EFFORT MZ
REAC MZ
SURCH 4860 # LM3 VS R/EG C2 ultime AFF 3 profil DEF
ENV 4830 1.350000 # LM3 VS R/EG C2 caractéristique AFF 3 REBLAI profil DEF

FIN

CHARGE : LM1 et trottoirs (gr1a) caractéristique AFF 2 profil DEF

ENV 4880 COMB 'LM1 et trottoirs (gr1a) caractéristique AFF 2 profil DEF'
EFFORT MZ
REAC MZ
ENV 4490 # LM1 caractéristique AFF 2 TABLIER et REBLAI profil DEF
ENV 4730 # Trottoir LM1 (3 kN/m2) caractéristique AFF 2 TABLIER et REBLAI profil DEF

FIN

CHARGE : LM1 et trottoirs (gr1a) frequent AFF 2 profil DEF

ENV 4890 COMB 'LM1 et trottoirs (gr1a) frequent AFF 2 profil DEF'
EFFORT MZ
REAC MZ
SURCH 4500 # LM1 frequent AFF 2 profil DEF

FIN

CHARGE : LM1 et trottoirs (gr1a) combinaison AFF 2 profil DEF

ENV 4900 COMB 'LM1 et trottoirs (gr1a) combinaison AFF 2 profil DEF'
EFFORT MZ
REAC MZ
SURCH 4500 # LM1 frequent AFF 2 profil DEF
ENV 4750 # Trottoir LM1 (3 kN/m2) combinaison AFF 2 profil DEF

FIN

```

# CHARGE : LM1 et trottoirs (grla) ultime AFF 2 profil DEF

ENV      4910 COMB 'LM1 et trottoirs (grla) ultime AFF 2 profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      4520
ENV      4770
FIN

# LM1 ultime AFF 2 TABLIER et REMBLAI profil DEF
# Trottoir LM1 (3 kN/m2) ultime AFF 2 TABLIER et REMBLAI profil DEF

# ENVELOPPES DES CHARGES D'EXPLOITATION, PROFIL PROVISOIRE

ENV      2450      'Enveloppe Q frequentes compatibles avec T profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
SURCH   4320
ENV      4380
ENV      4440
FIN

# LM3 VS generalise 100 frequent AFF 1 profil PRV
# Chantier 23 m3 frequent AFF 1 profil PRV
# Chantier 34 m3 frequent AFF 1 profil PRV

ENV      2470      'Enveloppe Q frequentes incompatibles avec T profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
CHARGE   10
FIN

# Charge nulle

ENV      2490      'Enveloppe Q caracteristiques compatibles avec T profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      4310
ENV      4370
ENV      4430
FIN

# LM3 VS generalise 100 caracteristique AFF 1 TABLIER et REMBLAI profil PRV
# Chantier 23 m3 caracteristique AFF 1 TABLIER et REMBLAI profil PRV
# Chantier 34 m3 caracteristique AFF 1 TABLIER et REMBLAI profil PRV

ENV      2510      'Enveloppe Q caracteristiques incompatibles avec T profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
CHARGE   10
FIN

# Charge nulle

ENV      2530      'Enveloppe Q combinaison profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
CHARGE   10
FIN

# Charge nulle

ENV      2550      'Enveloppe Q ultimes compatibles avec T profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      4340
ENV      4400
ENV      4460
FIN

# LM3 VS generalise 100 ultime AFF 1 TABLIER et REMBLAI profil PRV
# Chantier 23 m3 ultime AFF 1 TABLIER et REMBLAI profil PRV
# Chantier 34 m3 ultime AFF 1 TABLIER et REMBLAI profil PRV

ENV      2570      'Enveloppe Q ultimes incompatibles avec T profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
CHARGE   10
FIN

# Charge nulle

ENV      2590      'Enveloppe Q accidentelles profil PRV'
EFFORT MZ
REAC    MZ
CHARGE   10
FIN

# Charge nulle

# ENVELOPPES DES CHARGES D'EXPLOITATION, PROFIL DEFINITIF

ENV      2460      'Enveloppe Q frequentes compatibles avec T profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
SURCH   4850
ENV      4890
FIN

# LM3 VS R/EG C2 frequent AFF 3 profil DEF
# LM1 et trottoirs (grla) frequent AFF 2 profil DEF

ENV      2480      'Enveloppe Q frequentes incompatibles avec T profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      4560
FIN

# LM2 frequent AFF 2 profil DEF

ENV      2500      'Enveloppe Q caracteristiques compatibles avec T profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      4610
ENV      4670
ENV      4840
ENV      4880
FIN

# MC 80 caracteristique AFF 2 TABLIER et REMBLAI profil DEF
# MC 120 caracteristique AFF 2 TABLIER et REMBLAI profil DEF
# LM3 VS R/EG C2 caracteristique AFF 3 TABLIER et REMBLAI profil DEF
# LM1 et trottoirs (grla) caracteristique AFF 2 profil DEF

ENV      2520      'Enveloppe Q caracteristiques incompatibles avec T profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      4550
FIN

# LM2 caracteristique AFF 2 TABLIER et REMBLAI profil DEF

ENV      2540      'Enveloppe Q combinaison profil DEF'
EFFORT MZ

```

```

REAC  MZ
ENV    4900          # LM1 et trottoirs (grla) combinaison AFF 2 profil DEF
FIN

ENV    2560          'Enveloppe Q ultimes compatibles avec T profil DEF'
EFFORT MZ
REAC  MZ
ENV    4640          # MC 80 ultime AFF 2 TABLIER et REMBLAI profil DEF
ENV    4700          # MC 120 ultime AFF 2 TABLIER et REMBLAI profil DEF
ENV    4870          # LM3 VS R/EG C2 ultime AFF 3 TABLIER et REMBLAI profil DEF
ENV    4910          # LM1 et trottoirs (grla) ultime AFF 2 profil DEF
FIN

ENV    2580          'Enveloppe Q ultimes incompatibles avec T profil DEF'
EFFORT MZ
REAC  MZ
ENV    4580          # LM2 ultime AFF 2 TABLIER et REMBLAI profil DEF
FIN

ENV    2600          'Enveloppe Q accidentelles profil DEF'
EFFORT MZ
REAC  MZ
SURCH 4780          # TS trottoir long. a gauche accidentel AFF 2 profil DEF
SURCH 4790          # TS trottoir trans. a gauche accidentel AFF 2 profil DEF
SURCH 4800          # TS trottoir long. a droite accidentel AFF 2 profil DEF
SURCH 4810          # TS trottoir trans. a droite accidentel AFF 2 profil DEF
FIN

# ENVELOPPES PREDEFINIES, PROFIL PROVISOIRE

ENV    3870          'Engins de chantier frequent profil PRV'
EFFORT MZ
REAC  MZ
ENV    4380          # Chantier 23 m3 frequent AFF 1 profil PRV
ENV    4440          # Chantier 34 m3 frequent AFF 1 profil PRV
FIN

ENV    3850          'Engins de chantier caracteristique profil PRV'
EFFORT MZ
REAC  MZ
ENV    4370          # Chantier 23 m3 caracteristique AFF 1 TABLIER et REMBLAI profil PRV
ENV    4430          # Chantier 34 m3 caracteristique AFF 1 TABLIER et REMBLAI profil PRV
FIN

ENV    3890          'Engins de chantier ultime profil PRV'
EFFORT MZ
REAC  MZ
ENV    4400          # Chantier 23 m3 ultime AFF 1 TABLIER et REMBLAI profil PRV
ENV    4460          # Chantier 34 m3 ultime AFF 1 TABLIER et REMBLAI profil PRV
FIN

ENV    3390          'LM3 VS seul frequent profil PRV'
EFFORT MZ
REAC  MZ
SURCH 4320          # LM3 VS generalise 100 frequent AFF 1 profil PRV
FIN

ENV    3410          'LM3 VS seul caracteristique profil PRV'
EFFORT MZ
REAC  MZ
ENV    4310          # LM3 VS generalise 100 caracteristique AFF 1 TABLIER et REMBLAI profil PRV
FIN

ENV    3430          'LM3 VS seul ultime profil PRV'
EFFORT MZ
REAC  MZ
ENV    4340          # LM3 VS generalise 100 ultime AFF 1 TABLIER et REMBLAI profil PRV
FIN

# ENVELOPPES PREDEFINIES, PROFIL DEFINITIF

ENV    3260          'LM1 et trottoirs (grla) frequent profil DEF'
EFFORT MZ
REAC  MZ
ENV    4890          # LM1 et trottoirs (grla) frequent AFF 2 profil DEF
FIN

ENV    3280          'LM1 et trottoirs (grla) caracteristique profil DEF'
EFFORT MZ
REAC  MZ
ENV    4880          # LM1 et trottoirs (grla) caracteristique AFF 2 profil DEF
FIN

ENV    3300          'LM1 et trottoirs (grla) combinaison profil DEF'
EFFORT MZ
REAC  MZ
ENV    4900          # LM1 et trottoirs (grla) combinaison AFF 2 profil DEF
FIN

ENV    3320          'LM1 et trottoirs (grla) ultime profil DEF'
EFFORT MZ
REAC  MZ
ENV    4910          # LM1 et trottoirs (grla) ultime AFF 2 profil DEF
FIN

ENV    3340          'LM2 frequent profil DEF'
EFFORT MZ
REAC  MZ

```

```

ENV      4560                # LM2 frequent AFF 2 profil DEF
FIN

ENV      3360                'LM2 caracteristique profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      4550                # LM2 caracteristique AFF 2 TABLIER et REMBLAI profil DEF
FIN

ENV      3380                'LM2 ultime profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      4580                # LM2 ultime AFF 2 TABLIER et REMBLAI profil DEF
FIN

ENV      3460                'LM3 avec LM1 frequent profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
SURCH   4850                # LM3 VS R/EG C2 frequent AFF 3 profil DEF
FIN

ENV      3480                'LM3 avec LM1 caracteristique profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      4840                # LM3 VS R/EG C2 caracteristique AFF 3 TABLIER et REMBLAI profil DEF
FIN

ENV      3500                'LM3 avec LM1 ultime profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      4870                # LM3 VS R/EG C2 ultime AFF 3 TABLIER et REMBLAI profil DEF
FIN

ENV      3760                'Charges militaires caracteristique profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      4610                # MC 80 caracteristique AFF 2 TABLIER et REMBLAI profil DEF
ENV      4670                # MC 120 caracteristique AFF 2 TABLIER et REMBLAI profil DEF
FIN

ENV      3780                'Charges militaires ultime profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      4640                # MC 80 ultime AFF 2 TABLIER et REMBLAI profil DEF
ENV      4700                # MC 120 ultime AFF 2 TABLIER et REMBLAI 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

# Combinaison d'etude des fleches a l'infini

COMB   330      'Evolution : T = INFINI avec tassements probables profil PRV'
COMB   2100                # Action nominale poids propre + superstructures (+ remblais) profil PRV
COMB   2190                # Tassements probables
FIN

COMB   340      'Evolution : T = INFINI avec tassements probables profil DEF'
COMB   2110                # Action nominale poids propre + superstructures (+ remblais) profil DEF
COMB   2190                # Tassements probables
FIN

```

...
Lignes supprimées
...

12.5 - Fichiers des efforts de flexion transversale Guyon

Cas du PIPO sur *semelles fixes avec remblai*

```

...
Lignes supprimées
...

--- RESULTATS DE L'ENVELOPPE : 730 ---

Titre : Enveloppe poids propre min/max ossature seule
TRAVERSE Y 0.0000 2.2500 4.5000 6.7500 9.0000 11.250 13.500 15.750 18.000
          Min 0.0000 16.978 23.532 25.807 26.348 25.807 23.532 16.978 0.0000
          Max 0.0000 16.978 23.532 25.807 26.348 25.807 23.532 16.978 0.0000

--- RESULTATS DE L'ENVELOPPE : 740 ---

Titre : Enveloppe poids propre min/max ossature seule Nu = 0
TRAVERSE Y 0.0000 2.2500 4.5000 6.7500 9.0000 11.250 13.500 15.750 18.000
          Min 0.0000 0.21740 0.23013 0.19035 0.17202 0.19035 0.23013 0.21740 0.0000
          Max 0.0000 0.21740 0.23013 0.19035 0.17202 0.19035 0.23013 0.21740 0.0000

...
Lignes supprimées
...

--- RESULTATS DE LA SURCHARGE : 4470 ---

Titre : LMI caracteristique AFF 2 profil DEF
TRAVERSE Y 0.0000 2.2500 4.5000 6.7500 9.0000 11.250 13.500 15.750 18.000
          Min 0.0000 -9.0936 -9.5789 -7.2144 -.96552 -7.2156 -9.6309 -9.1433 0.0000
          Max 0.0000 22.494 76.068 94.115 96.542 93.598 76.073 22.493 0.0000

--- RESULTATS DE LA SURCHARGE : 4500 ---

Titre : LMI frequent AFF 2 profil DEF
TRAVERSE Y 0.0000 2.2500 4.5000 6.7500 9.0000 11.250 13.500 15.750 18.000
          Min 0.0000 -6.2621 -6.6295 -4.9516 -.51110 -4.9521 -6.6685 -6.2993 0.0000
          Max 0.0000 15.865 52.496 65.838 67.341 65.405 52.502 15.865 0.0000

--- RESULTATS DE LA SURCHARGE : 4510 ---

Titre : LMI ultime AFF 2 profil DEF
TRAVERSE Y 0.0000 2.2500 4.5000 6.7500 9.0000 11.250 13.500 15.750 18.000
          Min 0.0000 -28.144 -28.520 -24.665 -27.040 -24.672 -28.527 -28.213 0.0000
          Max 0.0000 9.9785 63.123 79.982 82.981 80.028 63.140 9.9786 0.0000

...
Lignes supprimées
...

```

Annexes

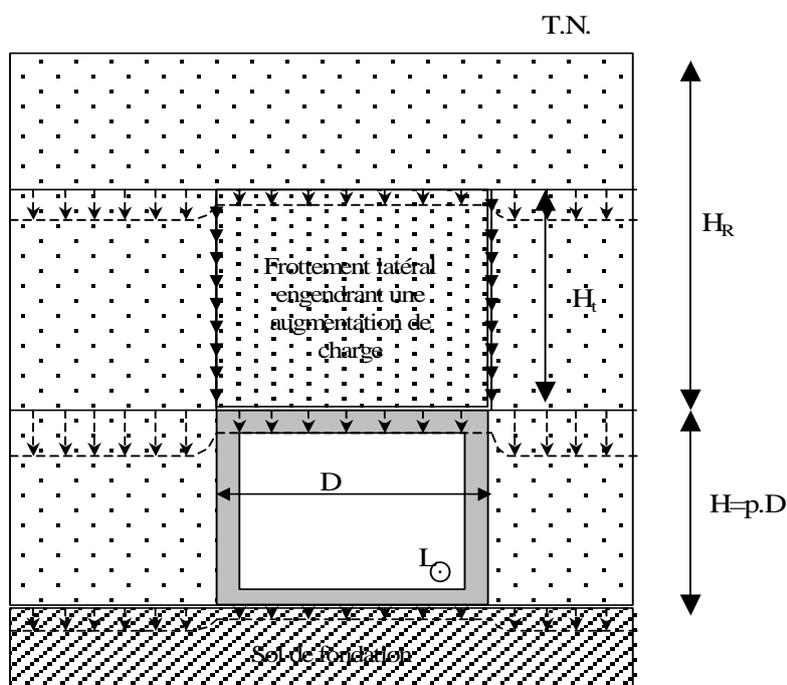
13 - Annexes génériques

Un document CHAMOA Annexe rassemble toutes les annexes non spécifiques au type d'ouvrage, en particulier, on y retrouve les combinaisons d'actions.

14 - Effet Marston

La charge de remblai appliquée sur la traverse supérieure est augmentée d'un coefficient amplificateur C_r dit de Marston pour tenir compte de l'effet de tassement du sol hors ouvrage. Ce coefficient dépend d'un paramètre dit de Marston noté R .

Valeur de R	
0	Pas d'effet Marston
0,7 (0,5 à 0,8)	Conduite rigide (cas des cadres) sur sol ordinaire
1,0	Conduite rigide (cas des cadres) sur rocher ou sol indéformable



Coupe transversale caractérisant le tassement des terres autour d'un cadre

On rappelle les principaux résultats de calcul:

On calcule la hauteur H_t de tassement qui est solution de l'équation:

$$e^{\varepsilon 2k\mu \frac{H_t}{D}} - \varepsilon 2k\mu \frac{H_t}{D} = 1 + \varepsilon 2k\mu pR$$

- D : dimension horizontale droite du cadre
- $p=H/D$: ratio de la dimension verticale H du cadre sur la dimension horizontale D

$$k\mu = \max \left[\tan \varphi \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) \right] = \max \left[\tan \frac{\pi}{6} \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\pi}{6} \right) \right] = 0,1925$$

- k : coefficient de poussée des terres (rapport de la contrainte verticale sur la contrainte horizontale des terres)
- μ : coefficient de frottement des terres

Si le sol tasse plus que la conduite rigide enterrée : $R > 0$, $\varepsilon = +1$ (cas des cadres de pont type)

Si le sol tasse moins que la conduite flexible enterrée : $R < 0$, $\varepsilon = -1$ (cas des buses métalliques)

Le coefficient amplificateur C_r sur le poids du remblai est:

- si la hauteur de remblai H_r est inférieure à H_t :

$$C_r = \frac{e^{\varepsilon 2k\mu \frac{H_R}{D}} - 1}{\varepsilon 2k\mu \frac{H_R}{D}}$$

- si la hauteur de remblai H_r est supérieure à H_t :

$$C_r = \frac{e^{\varepsilon 2k\mu \frac{H_t}{D}} - 1}{\varepsilon 2k\mu \frac{H_R}{D}} + \frac{H_R - H_t}{H_R} e^{\varepsilon 2k\mu \frac{H_t}{D}} \text{ si } R > 0$$

$$C_r = \frac{e^{\varepsilon 2k\mu \frac{H_t}{D}} - 1}{\varepsilon 2k\mu \frac{H_R}{D}} + \frac{H_R - D}{H_R} e^{\varepsilon 2k\mu \frac{H_t}{D}} \text{ si } R < 0$$

Le poids du remblai sur la traverse par unité de largeur est alors obtenu par :

$$\frac{P}{L} = k_i \cdot C_r \cdot \gamma \cdot H_R \cdot D$$

- k_i : coefficient d'incertitude (en général 0,90 et 1,10)
- γ : densité des terres de remblai au dessus de la traverse du cadre

15 - Avertissement sur le dimensionnement des PIPO sur pieux

Les efforts calculés dans les pieux ne prennent pas en compte un éventuel frottement négatif sur les piédroits se répercutant dans les pieux, ni de frottement négatif sur les pieux eux même, ni d'ailleurs d'une éventuelle poussée latérale, qui est encore plus néfaste.

En principe, ceci devrait être détecté par le géotechnicien lorsqu'on vérifie la portance des pieux (La portance n'étant pas vérifiée dans CHAMOA)

Ce que est pris en compte au titre de l'effet Marston, c'est l'augmentation apparente du poids du remblai situé au-dessus du tablier, c'est à dire le véritable effet Marston (largement prépondérant pour les cadres sous haut remblai).

Il n'y a pas besoin qu'un portique sur pieux soit enterré pour qu'un frottement négatif se développe, il suffit que les pieux traversent un mauvais sol et soient ancrés dans un substratum de bonne qualité.

Dans les cas de frottement négatif et/ou de poussées latérales, il faut une étude géotechnique complémentaire pour bien dimensionner les pieux en flexion.

16 - Calcul du Module de réaction du sol k

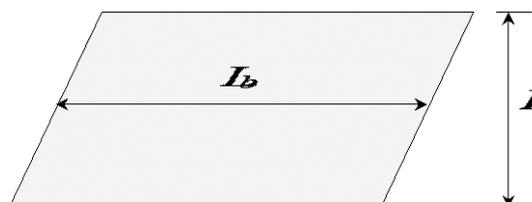
Conformément au fascicule 62 titre V, les semelles ou les radiers sont calculés suivant l'hypothèse de Winkler (ou de Westergaard), consistant à admettre que la réaction du sol sous un point de la fondation est liée au déplacement vertical de ce point par une relation de la forme :

$$\sigma_v = k_v \cdot \delta_v \quad \text{pour les déplacements à long terme.}$$

$$\sigma_i = k_i \cdot \delta_i \quad \text{pour les déplacements à court terme.}$$

k est un module de réaction du sol (MPa/m) qui sert à la modélisation des ressorts sous la semelle. Généralement, on admet $k_i \simeq 2 \cdot k_v$, bien que l'on sache que, pour les sols granulaires très poreux, $k_i \simeq k_v$.

Dans tous les cas, on fait l'hypothèse qu'une semelle ou, surtout, un radier biaise de dimension biaise L_b (selon l'axe du profil en long) et de dimension droite D (normalement à l'axe du profil en long) se comporte comme une fondation rectangulaire de mêmes dimensions (et donc de même surface).



Le calcul du module de sol k_v , qui n'est pas une caractéristique intrinsèque du sol, résulte de l'estimation du tassement à long terme de la semelle ou du radier soumis à une pression uniforme. Pour cela, deux approches sont possibles :

16.1 - Pressiomètre Ménard

Le fascicule 62 titre V, annexe F3, donne directement l'expression de k_v à partir des caractéristiques pressiométriques du sol (Module E_M et coefficient rhéologique α , qui sont des caractéristiques intrinsèques, et qui sont fournis par des essais pressiométriques) :

$$\frac{1}{k_v} = \frac{\alpha}{9} \frac{B}{E_M} \lambda_c + \frac{2}{9} \frac{B_0}{E_M} \left(\lambda_d \frac{B}{B_0} \right)^\alpha \quad (1)$$

Avec :

- B_0 : longueur conventionnelle = 0,60 m.
- B : « largeur de la fondation » = $\min(D, L_b)$
- L : « longueur de la fondation » = $\max(D, L_b)$

λ_c et λ_d sont des facteurs de forme obtenus par interpolation linéaire à partir du tableau suivant (fascicule 62 titre V, annexe F2) :

L/B	1	2	3	5	20 à infini
λ_c	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
λ_d	1,12	1,53	1,78	2,14	2,65

Comme il a été dit, il apparaît clairement que le coefficient k_v n'est pas une caractéristique intrinsèque du sol, mais dépend des dimensions de la fondation.

Il est également intéressant de signaler que cette même formule sert de base au calcul du coefficient de réaction latérale des pieux avec $L/B \rightarrow \infty$.

16.2 - Essais de laboratoire ou estimation empirique

Dans ce cas, le sol est assimilé à un milieu élastique caractérisé par son pseudo-module d'Young E_{sol} et, plus accessoirement, son coefficient de Poisson ν . Ces caractéristiques peuvent être soit déduites d'essais en laboratoire (fascicule 62 titre V Annexe E1), soit estimées de manière empirique, par exemple en s'appuyant sur les indications fournies dans le dossier pilote PIPO74 pièce 2.2 ou PICF-EL 91, annexe 2, (valeurs en MPa) :

Type de sol	argil e	limo n	sabl e	sable et gravier
Sur consolidé ou très serré	80	70	180	300
Normalement consolidé ou serré	55	50	150	170
Sous consolidé altéré et remanié ou lâche	30	15	30	

Roche	
très peu fracturée	1600
Normale	1100
Très fracturé	800
Très altéré	160

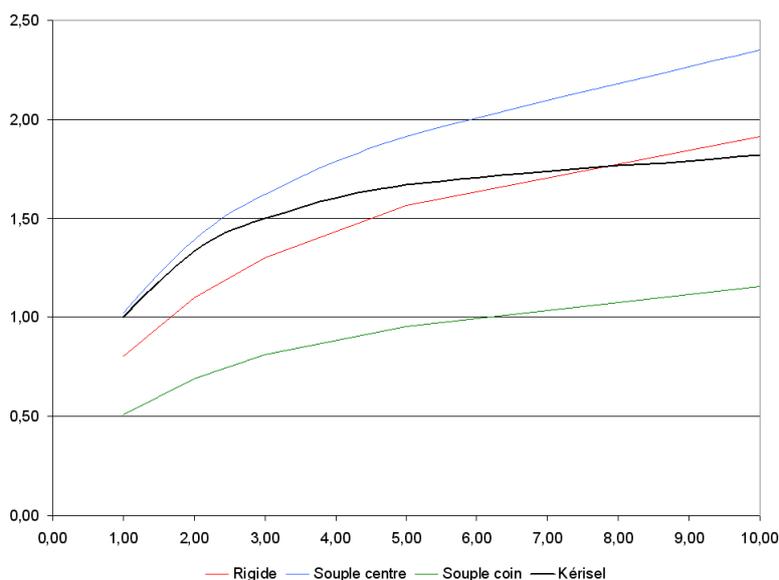
On peut alors appliquer le fascicule 62 titre V Annexe F2, qui reprend les résultats classiques de Boussinesq et Giraud :

$$w = C_f \cdot (1 - \nu^2) \cdot B \cdot \frac{p}{E_{sol}} \quad (2)$$

C_f étant donné en fonction de L/B et de la nature de la fondation par :

L/B	1	2	3	5	10
Fondation rigide	0,88	1,21	1,43	1,72	2,18
Fondation souple centre	1,12	1,53	1,78	2,10	2,58
Fondation souple coin	0,56	0,76	0,89	1,05	1,27

En supposant $\nu \simeq 0,3$, on obtient les graphes suivants pour le coefficient $C_f \cdot (1 - \nu^2)$ en fonction de L/B :



Dans son traité de Mécanique des sols (1966 - p126-127) J. Kérisel a proposé l'expression suivante pour ce facteur, quoi qu'avec des notations différentes (voir graphique, trait noir) :

$$C_f \cdot (1 - \nu^2) \simeq \frac{2L}{L+B} \quad (3)$$

dont on remarque qu'elle surestime un peu les tassements théoriques d'une fondation carrée.

Le rapprochement des expressions (2) et (3) donne alors :

$$w \simeq \frac{2B}{E_{SOL}} \frac{L}{L+B} \cdot p$$

Soit :

$$k_v = \frac{E_{SOL} L+B}{2B L} \quad (4)$$

Cette expression a été retenue (aux notations près) par le dossier pilote PICF 67 (pièce 2.5 p. 3), puis par le dossier PIPO 74 pièce 2, sous forme simplifiée, du fait que $B \ll L$ pour les PIPO :

$$k_v = \frac{E_{SOL}}{2B}$$

Elle a ensuite été reprise sous cette dernière forme par le dossier PICF-EL 91, ce qui constitue sans doute une approximation abusive ou involontaire, dans la mesure où B est du même ordre de grandeur que L et que l'on sait que l'équation (4) a déjà tendance à être pessimiste pour les fondations carrées.

En conclusion, il semble que (4) puisse être retenue dans tous les cas pour l'estimation de k_v à partir de E_{sol} et des dimensions de la fondation :

$$k_v = \frac{E_{SOL} L+B}{2B L} \quad (4)$$

- B : « largeur de la fondation » = $\min(D, L_b)$
- L : « longueur de la fondation » = $\max(D, L_b)$

17 - Optimisation d'une semelle

Le paragraphe suivant présente la liste des justifications étudiées dans le logiciel ChamoA.

Dans ce qui suit, on cherche à optimiser une semelle en largeur et en excentrement par rapport à l'axe de descente des charges (notamment le piedroit d'un PIPO), en fonction des différents cas de charge appliqués (N_i, M_i), ainsi que des critères propres au dimensionnement des semelles.

Faute de mieux, on fait l'hypothèse restrictive que les efforts appliqués ne dépendent pas de la géométrie de la semelle, ce qui est faux en pratique (notamment en raison du poids des remblais). Il s'agit donc d'une optimisation *locale* (détermination de la semelle de largeur minimale capable de reprendre l'ensemble des cas de charge imposés), qui devra être suivie d'une réévaluation *globale* des efforts (détermination des nouveaux cas de charge en fonction des modifications de la semelle), jusqu'à convergence de l'ensemble.

17.1 - Etude d'une semelle centrée

On commence par étudier le comportement d'une semelle centrée, et plus particulièrement le domaine d'interaction de celle-ci sous l'effet des différents critères réglementaires habituels.

La semelle, de largeur B , est sollicitée par un torseur (N, M) avec, sans nuire à la généralité, $M > 0$.

Conformément aux errements habituels, on suppose que le diagramme de contraintes sous la semelle est linéaire et on raisonne sur une longueur unité.

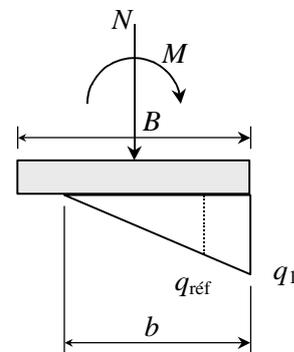


Figure 44

17.1.1 - Limitation de la contrainte de référence

Exprimons que la contrainte dite « de référence », aux 3/4 de la largeur comprimée, est limitée à q_{max} .

On a, lorsque toute la semelle est comprimée ($\frac{M}{N} \leq \frac{B}{6}$) :

$$q = \frac{N}{S} + \frac{M}{I} \cdot y \Rightarrow q_1 = \frac{N}{B} + \frac{6M}{B^2} q_2 = \frac{N}{B} - \frac{6M}{B^2} q_{ref} = \frac{3q_1 + q_2}{4} = \frac{N}{B} + \frac{3M}{B^2}$$

Soit :

$$M \leq \frac{B}{3} (B \cdot q_{max} - N) \quad (28.1)$$

Lorsque la semelle est en partie décomprimée ($\frac{M}{N} > \frac{B}{6}$), on a :

$$\left. \begin{array}{l} \frac{q_1 \cdot b}{2} = N \\ \frac{b}{3} = \frac{B}{2} - \frac{M}{N} \end{array} \right\} \Rightarrow q_{ref} = \frac{3}{4} q_1 = \frac{N}{B - 2 \frac{M}{N}}$$

Soit :

$$M \leq \frac{N}{2} \left(B - \frac{N}{q_{max}} \right) \quad (28.2)$$

Il est à noter que le fascicule 62, titre V du CCTG permet également d'adopter le modèle de Meyerhof quel que soit l'état de compression de la semelle, soit :

$$\left. \begin{aligned} q_{ref} \cdot b' &= N \\ \frac{b'}{2} &= \frac{B}{2} - \frac{M}{N} \end{aligned} \right\} \Rightarrow q_{ref} = \frac{N}{B - \frac{2M}{N}}$$

ce qui revient à respecter l'équation (28.2) et elle seule dans tous les cas.

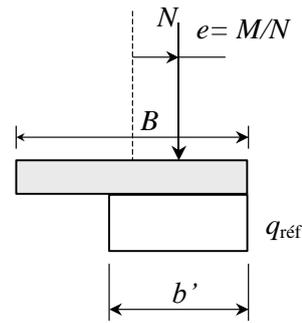


Figure 45

17.1.2 - Limitation de la surface décomprimée

Exprimons que la surface comprimée de la semelle doit être au minimum égale à $\alpha \cdot B$ (dans l'hypothèse d'un diagramme de contraintes triangulaire) :

$$b = \frac{3B}{2} - \frac{3M}{N} \geq \alpha \cdot B \Rightarrow \frac{M}{N} \leq \frac{3 - 2\alpha}{6} \cdot B \quad (28.3)$$

17.1.3 - Diagramme d'interaction

Finalement, les inégalités (28.1), (28.2) et (28.3) amènent à un diagramme d'interaction ayant l'allure suivante :

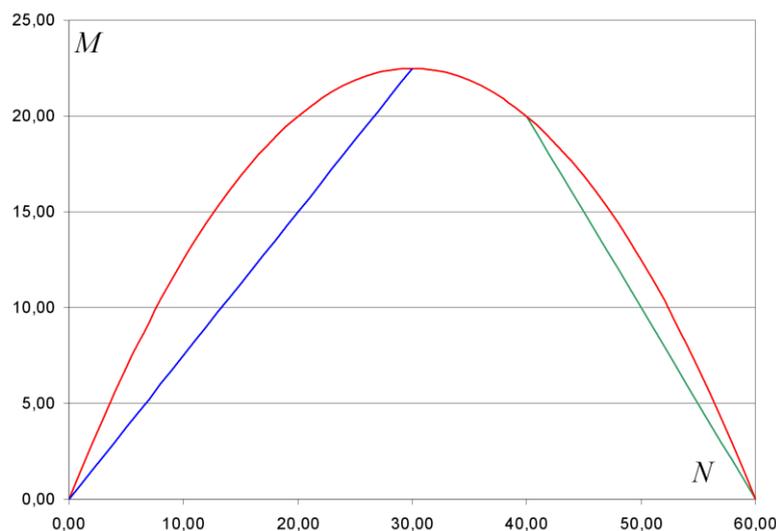


Figure 46

Il est général composé de trois parties, dans l'ordre des N croissants :

Une droite correspondant à la limitation de surface décomprimée.

Une parabole correspondant à la limitation de la contrainte de référence avec décompression (cette parabole correspond au modèle de Meyerhof).

Une deuxième droite correspondant à la limitation de la contrainte de référence sans décompression (droite qui n'existe pas dans le modèle de Meyerhof).

Il est à noter que lorsque l'on ne tolère pas de décompressions (par exemple aux ELS fréquents), la partie parabolique disparaît et le diagramme est alors formé de deux droites.

17.2 - Etude du cas général

N et M décrivent un domaine donné par l'étude de l'ouvrage (ce domaine est supposé en première approximation indépendant de la semelle, c'est-à-dire de B et e). Il s'agit de déterminer l'ensemble des couples (B, e) tels que le diagramme d'interaction associé à (B, e) , noté $D(B, e)$, contienne entièrement le domaine décrit par N et M . Dans la pratique, le domaine (N, M) est un nuage de points associé à l'étude des cas de charge.

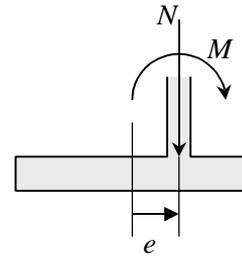


Figure 47

17.2.1 - Hypothèses

Par analogie avec l'étude précédente, on suppose que le diagramme d'interaction de la semelle en son centre de gravité est défini de la façon suivante :

$$|M| \leq \Phi(B, N)$$

où Φ est une fonction convexe positive, définie en N sur l'intervalle $[N_{\min}(B), N_{\max}(B)]$ et telle que :

$$\Phi(B, N_{\min}(B)) = \Phi(B, N_{\max}(B)) = 0$$

On suppose par ailleurs que $N_{\min}(B)$ et $N_{\max}(B)$ sont croissantes avec B . Dans la plupart des cas (hypothèse que l'on conservera par la suite), où aucune contrainte minimum sur le sol n'est imposée, on aura :

$$\begin{aligned} N_{\min}(B) &= 0 \\ N_{\max}(B) &= B \cdot q_{\max} \end{aligned} \tag{28.4}$$

Pour tout e , un point (N, M) appartiendra à $D(B, e)$ si et seulement si $(N, M + Ne)$ appartient à $D(B, 0)$ défini ci-dessus.

La transformation qui associe N à N et $M + Ne$ à M conserve la convexité. On en déduit que la convexité de $D(B, 0)$ entraîne celle de $D(B, e)$ pour tout e . Il s'ensuit qu'un nuage de points (N_i, M_i) sera entièrement contenu dans $D(B, e)$ si et seulement si les sommets du plus petit périmètre convexe circonscrit le sont. L'étude peut donc se limiter à ces sommets.

17.2.2 - Recherche du domaine « brut » admissible pour B et e

Prenons un point (N_i, M_i) inclus dans $D(B, e)$, cela se traduit par : $|M_i + N_i e| \leq \Phi(B, N_i)$, soit :

$$\left| e + \frac{M_i}{N_i} \right| \leq \frac{\Phi(B, N_i)}{N_i} \tag{28.5}$$

Sur un diagramme $D(B, e)$, l'ensemble des couples (N_i, M_i) tels que (N_i, M_i) appartienne à $D(B, e)$ est donc symétrique par rapport à la droite :

$$e = -\frac{M_i}{N_i}$$

et s'étend sur l'intervalle de valeurs de B telles que :

$$N_{\min}(B) \leq N_i \leq N_{\max}(B)$$

soit, avec les hypothèses (28.4) : $B \geq \frac{N_i}{q_{\max}}$

Le domaine finalement admissible sera l'intersection de tous les domaines précédents lorsque les couples (N_i, M_i) parcourent les sommets du polygone convexe des charges.

Notons qu'en raison de l'expression (28.5), une condition suffisante pour qu'une solution existe est que $\frac{\Phi(B, N_i)}{N_i}$ tende vers l'infini avec B pour tout N , ce qui est vrai si l'on adopte, par exemple, le modèle de Meyerhof, dont le domaine Φ est défini par l'équation (28.2).

S'il n'existe qu'un cas de charge et aucune autre contrainte, on retrouve la solution optimale évidente :

$$e = -\frac{M_i}{N_i} B = \frac{N_i}{q_{\max}}$$

17.2.3 - Contraintes géométriques

Une fois le domaine « brut » trouvé, il est au minimum nécessaire d'imposer que le piedroit soit porté par la semelle, c'est-à-dire, si E représente l'épaisseur du piedroit :

$$|e| \leq \frac{B - E}{2} = \overline{e_{max}}$$

Plus généralement, on peut imposer, en désignant conventionnellement par T le débord à gauche (talon) et P le débord à droite (patin) :

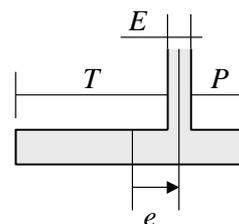


Figure 48

- T minimum (au moins 0), maximum ou fixe.
- P minimum (au moins 0), maximum ou fixe.

Les inéquations sur les minimums s'écrivent :

$$-\overline{e_{max}} + T_{min} \leq e \leq \overline{e_{max}} - P_{min} \quad (28.6)$$

Comme pour les conditions géotechniques, ces inéquations peuvent toujours être satisfaites pour B suffisamment grand.

Les inéquations sur les maximums s'écrivent :

$$\overline{e_{max}} - P_{max} \leq e \leq T_{max} - \overline{e_{max}} \quad (28.7)$$

Contrairement aux précédentes, l'augmentation de B dans ces inéquations restreint le domaine admissible.

Le cas des valeurs fixes peut quant à lui être considéré comme deux contraintes simultanées sur le minimum et le maximum.

17.3 - Exemple

À titre d'exemple, pour permettre de visualiser les raisonnements ci-dessus, considérons une semelle soumise aux trois cas de charge suivants :

$$M1 = 200 \text{ kN} \quad M1 = 300 \text{ kN.m} \quad \text{ELS fréquent}$$

$$M2 = 300 \text{ kN} \quad M2 = 200 \text{ kN.m} \quad \text{ELS rare}$$

$$M3 = 500 \text{ kN} \quad M3 = 500 \text{ kN.m} \quad \text{ELU fondamental}$$

Les critères de dimensionnement sont les suivants :

a) $q_{\max 1} = 400 \text{ kPa}$ aux ELS, $q_{\max 2} = 600 \text{ kPa}$ aux ELU.

b) soulèvement :

- 0 % ELS fréquents
- 25 % ELS rares
- 50 % ELU fondamentaux

D'après les paragraphes 1 et 2, les fonctions $\frac{\Phi(B,N)}{N}$ prennent les formes suivantes :

$$\frac{\Phi(B,N)}{N} = \inf \left\{ \frac{B}{6}; \frac{1}{2} \left(B - \frac{N}{q_{\max 1}} \right); \frac{B}{3} \left(\frac{B \cdot q_{\max 1}}{N} - 1 \right) \right\} \quad \text{ELS fréquent}$$

$$\frac{\Phi(B,N)}{N} = \inf \left\{ \frac{B}{4}; \frac{1}{2} \left(B - \frac{N}{q_{\max 1}} \right); \frac{B}{3} \left(\frac{B \cdot q_{\max 1}}{N} - 1 \right) \right\} \quad \text{ELS rare}$$

$$\frac{\Phi(B,N)}{N} = \inf \left\{ \frac{B}{3}; \frac{1}{2} \left(B - \frac{N}{q_{\max 2}} \right); \frac{B}{3} \left(\frac{B \cdot q_{\max 2}}{N} - 1 \right) \right\} \quad \text{ELU fondamental}$$

Pour N donné, on constate que ces fonctions sont formées de deux segments de droite correspondant respectivement à la limitation de la surface décomprimée et à la limitation de la contrainte de référence lorsque la semelle est en partie décomprimée, ainsi que d'une fraction de parabole correspondant à la limitation de la contrainte de référence lorsque la semelle est entièrement comprimée.

En outre, ces fonctions ne sont positives que pour $B \geq N/q_{\max}$, résultat évident par ailleurs.

Le graphique ci-après montre les domaines admissibles pour les cas de charge 1, 2 et 3. Leur intersection est délimitée par le cône de sommet A, qui résulte des conditions relatives au soulèvement pour les cas de charge 1 et 2.

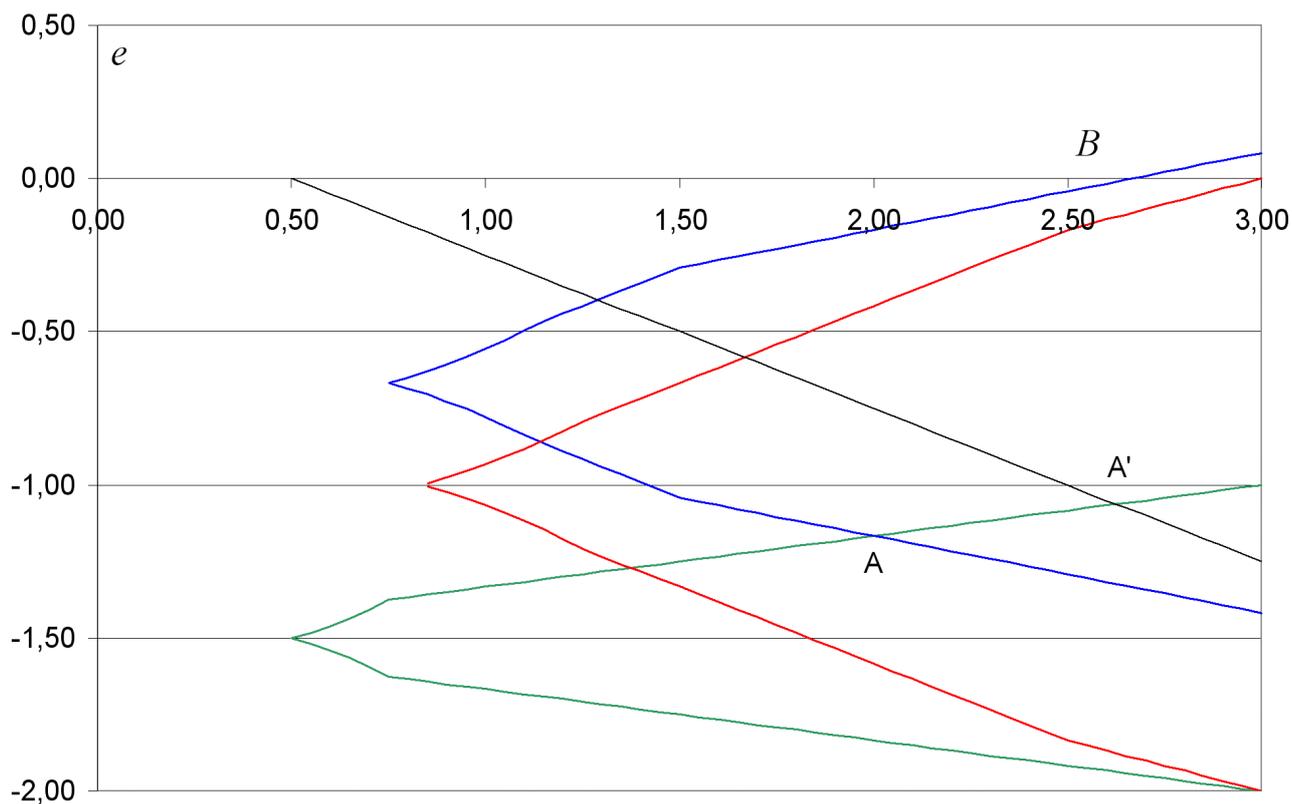


Figure 49

Si l'on suppose que la pile ou piédroit mesure 50 cm d'épaisseur, il faut de plus remplir les conditions :

$$-\frac{B}{2} + 0,25 \leq e \leq +\frac{B}{2} - 0,25$$

ce qui amène à choisir le point A'. B est alors donné par :

$$e = -\frac{B}{2} + 0,25 = -1,5 + \frac{B}{6}$$

soit $B = 2,625$ m, $e = -1,0625$ m, arrondi à $B = 2,65$ m, $e = -1,075$ m (semelle sans débord à gauche).

On voit que le sol est peu sollicité, puisque :

$$q_{\text{moyen}} = \frac{N}{\frac{3}{4}B} q_{\text{ref}} = \frac{3}{4} \cdot 2 \cdot q_{\text{moyen}} = \frac{2N}{B} = 150,9 \text{ kPa pour } 400 \text{ admissibles.}$$

17.4 - Optimisation

L'optimisation comporte deux parties distinctes :

Optimisation vis-à-vis des contraintes géotechniques et des contraintes de dimensions minimales, dont on sait qu'il existe toujours une solution pour B suffisamment grand.

Optimisation vis-à-vis des contraintes de dimensions maximales (ou fixes), qui se traduisent par des demi-plans délimités par des droites de pente $\pm \frac{B}{2}$, dont le domaine admissible tend à restreindre la dimension de B.

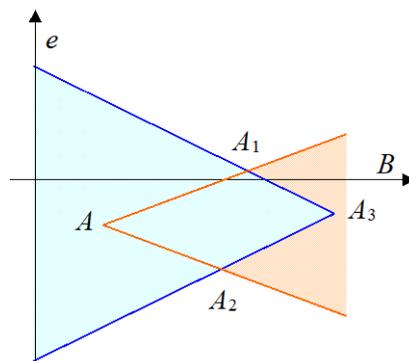


Figure 50

Soit A l'optimum correspondant à la partie 1 de l'optimisation, avec son domaine associé.

Si les contraintes supplémentaires sont des contraintes de dimensions maximales, deux cas peuvent se présenter :

Si les deux domaines n'ont pas de partie commune, il n'y a pas de solution.

Dans le cas contraire, A reste l'optimum.

Si les contraintes supplémentaires sont une ou deux contraintes de dimensions fixes, on peut rencontrer les cas suivants :

Si les deux domaines n'ont pas de partie commune, il n'y a pas de solution.

Si une des deux contraintes est une dimension fixe, l'optimum se situe en A_1 ou A_2 .

Si les deux contraintes sont des dimensions fixes, l'optimum se situe en A_3 . Il s'agit alors d'une vérification plutôt que d'un dimensionnement.

En pratique, on exprimera une contrainte de dimension fixe sous forme d'une contrainte de dimension minimale (qui possède toujours une solution), et une contrainte de dimension maximale très proche, ce qui ramène au cas précédent.

17.5 - Algorithmes

Deux algorithmes sont envisageables, suivant le degré de précision et de généralité désirés :

Si une grande précision n'est pas recherchée, on peut se contenter du modèle de Meyerhof, auquel cas toutes les contraintes ci-dessus s'expriment par l'intersection de convexes formés de segments de droites. Dans ce cas, une optimisation par la méthode du simplexe donne le résultat dans tous les cas de figure, et les aspects implémentation se résument à de la gestion de données.

Si, au contraire, on cherche une meilleure précision, ou la prise en compte d'autres types de lois, il faut programmer un algorithme « sur mesure ».

Dans cette deuxième hypothèse, l'algorithme d'optimisation peut être relativement simple, avec un mécanisme de fonctionnement externe un peu semblable à celui du paquetage « Section » :

Définition de lois standard pour les différents états limites. Dans un premier temps, on peut se limiter à des lois fonction de α et de q_{\max} du type ci-dessus.

Définition de l'épaisseur du piedroit.

Définition des contraintes géométriques minimales.

On transmet ensuite au module un tableau des sollicitations (N_i , M_i) et des états limites qui leur sont rattachés.

On peut ensuite imaginer un mécanisme en deux temps :

Partir de la largeur minimum absolue = $\max\left(\frac{N_i}{q_{max,i}}\right)$ et la multiplier par 2 jusqu'à obtenir une plage de e ouverte.

Procéder ensuite à un calcul par dichotomie jusqu'à obtenir une plage de e égale à ε fixé à l'avance.

Cette partie de l'optimisation possède théoriquement toujours une solution pour B suffisamment grand. Il suffit ensuite de vérifier que cette solution respecte les contraintes de dimensions maximales. Si ce n'est pas le cas, il n'y a pas de solution au problème.

17.6 - Formulaire

Largeur minimum :

$$B_{min} = \frac{N}{q_{max}} N = B_{min} \cdot q_{max}$$

Semelle entièrement comprimée.

$$\frac{M}{N} = \frac{B}{3} \left(\frac{B}{B_{min}} - 1 \right) \quad \text{pour} \quad \frac{M}{N} \leq \frac{B}{6} \Rightarrow B \leq \frac{3}{2} B_{min}$$

Semelle partiellement comprimée.

$$\frac{M}{N} = \frac{1}{2} (B - B_{min}) \quad \text{pour} \quad \frac{M}{N} \leq \frac{3-2\alpha}{6} \cdot B \Rightarrow B \leq \frac{3B_{min}}{2\alpha}$$

Semelle en limite de surface décomprimée.

$$\frac{M}{N} = \frac{3-2\alpha}{3} \cdot B$$

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.