

CHAMOA – PICF

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



Page laissée blanche intentionnellement

CHAMOA – PICF

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

La CHaîne Algorithmique Modulaire Ouvrages d'Art (Chamoa) a été développée sous le pilotage du CEREMA/DTeclTM par :

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

Et validé avec l'appui de :

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

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

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

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

Sommaire

Avant-propos	6
Chapitre 1 – Conception générale des ouvrages de type PICF	7
Chapitre 2 – Méthode de calcul en application des Eurocodes des ouvrages de type PICF	9
1 - Présentation du programme	9
2 - Actions prises en compte	10
3 - Calculs de structure et Modélisation	14
4 - Optimisations	23
5 - Principes de justifications	23
Chapitre 3 – Description des données nécessaires au calcul d'un ouvrage de type PICF par la chaîne CHAMOA.....	27
1 - Description des données	27
2 - Données administratives	29
3 - Géométrie de l'ouvrage.....	30
4 - Charges permanentes	37
5 - Actions variables hors trafic.....	39
6 - Charges d'exploitation.....	40
7 - Matériaux et critères réglementaires	45
Chapitre 4 – Note de calculs commentée	49
1 - Description de l'exemple d'application d'un ouvrage de type PICF	49
2 - Fichiers de données bruts	57
3 - Introduction à la note de calculs commentée	61
4 - Note de calculs commentée	62
5 - Fichiers intermédiaires de calcul des efforts du PICF	88
Annexes	111
1 - Annexes génériques	111
2 - Effet Marston.....	112
3 - Calcul du Module de réaction du sol k	114

Avant-propos

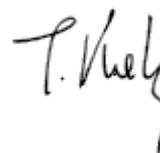
La CHaîne Algorithmique Modulaire Ouvrages d'Art (Chamoa) est destinée à justifier les ouvrages courants conformément aux règles Eurocodes. Ce projet s'inscrit dans la continuité des programmes de ponts types du Sétra qui ont permis de justifier plusieurs milliers d'ouvrages courants depuis les premiers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

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

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

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

Thierry Kretz



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

Chapitre 1 – Conception générale des ouvrages de type PICF

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 PICF-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 PICF 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 PICF

1 - Présentation du programme

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

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.

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 - 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 :

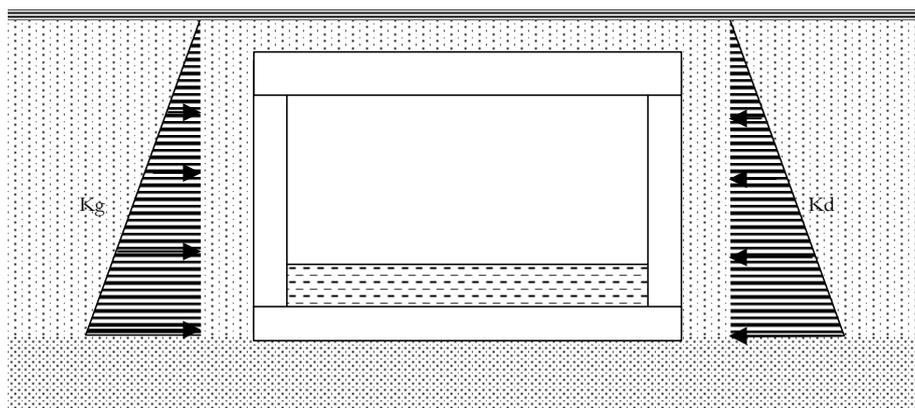


Figure 1 – Poussée des terres

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 piédroit.

Généralement la nature des terres de part et d'autre de l'ouvrage est identique, la poussée des terres sur les deux piédroits 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 ou de radier 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 piédroits, on fait souvent un calcul enveloppe en prenant deux valeurs extrêmes de K (K_{max} et K_{min}).

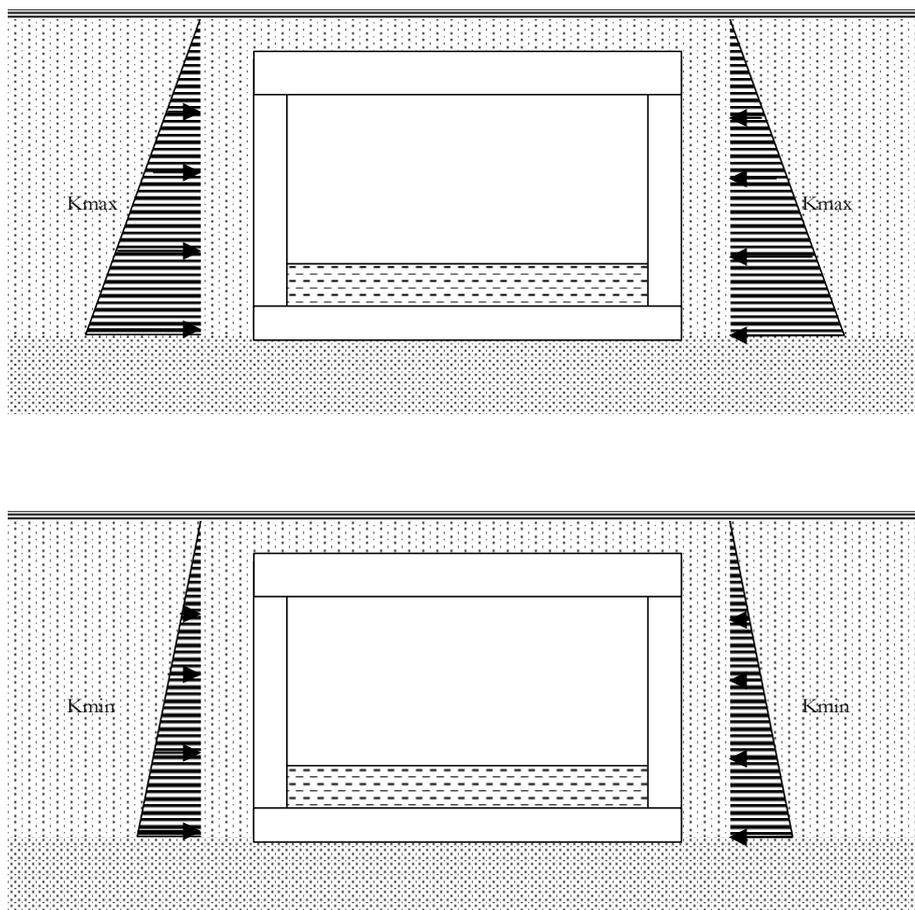


Figure 2 – Valeurs minimale et maximale de la poussée des terres

La poussée maximale permet de prendre en compte l'effet de flexion des piédroits (déplacement horizontal des piédroits) 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 piédroit).

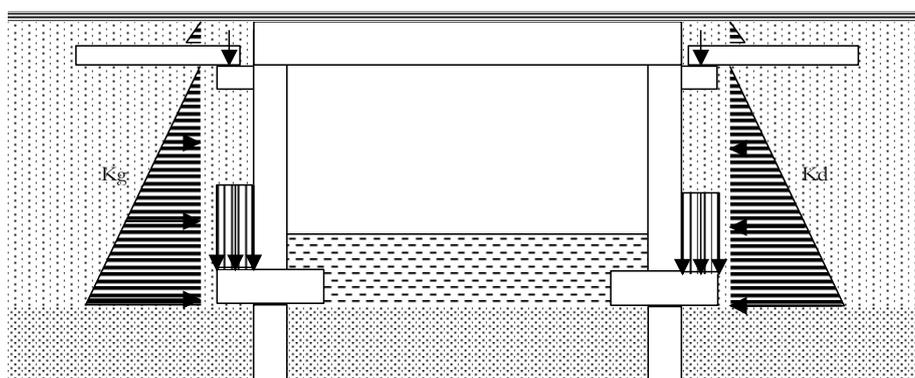


Figure 3 – Poussée des terres et dalles de transition

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 piédroit 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 piédroit.

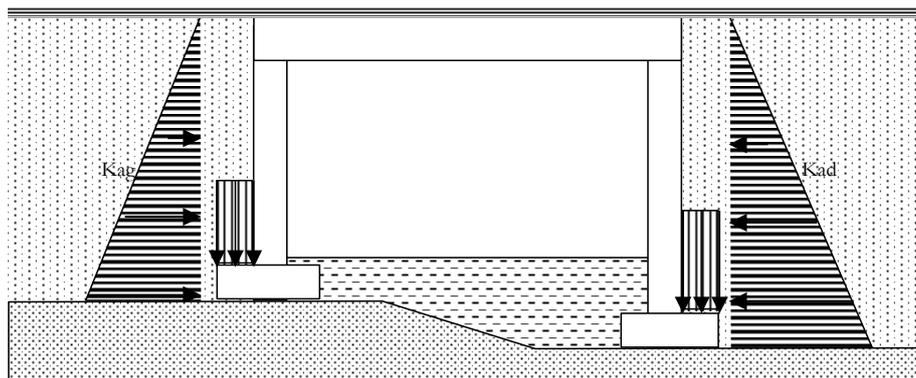


Figure 4 – Poussée des terres avec piédroits de hauteur différente

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 .

2.1.3 - 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

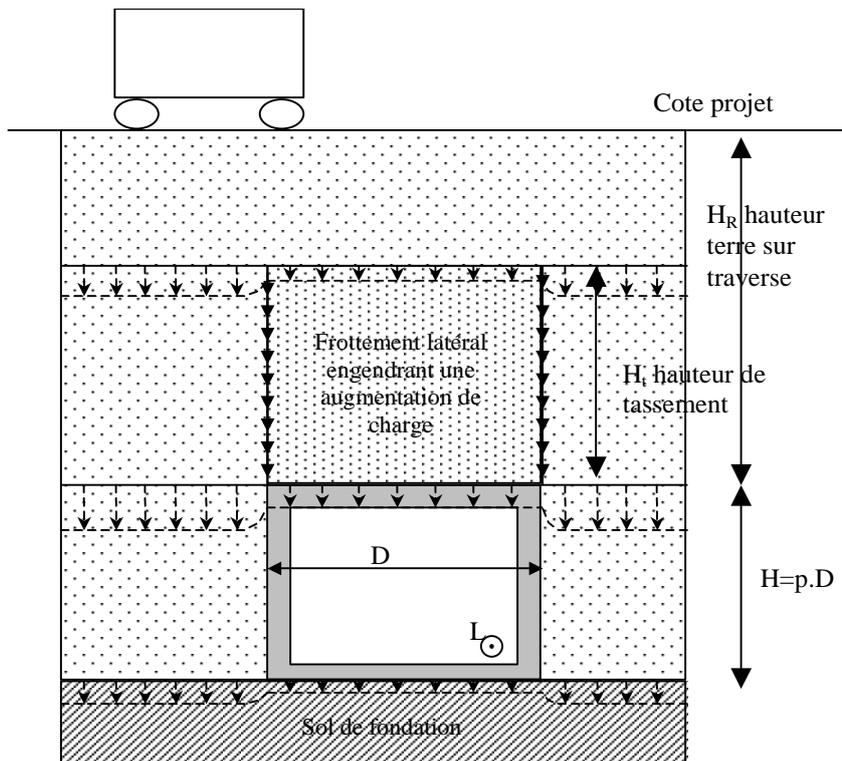


Figure 5 – Coupe transversale caractérisant le tassement des terres autour d'un cadre

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

2.1.4 - Remblai intérieur

Le remblai intérieur intervient par le poids qu'il exerce sur le radier pour les cadres ou 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.

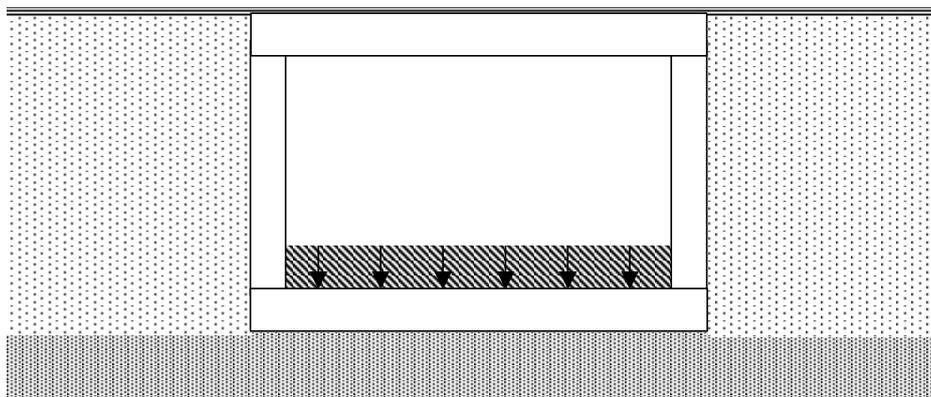


Figure 6 – Effet des remblais intérieurs sur les radiers

Par ailleurs, la poussée des terres intérieures sur les piliers 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.

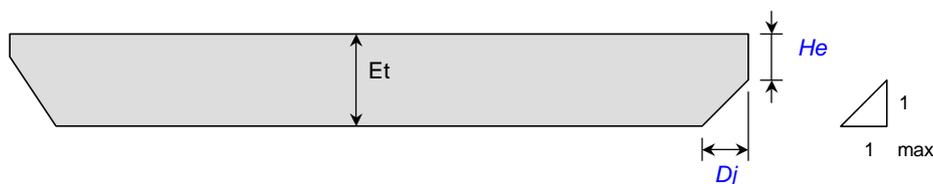


Figure 7 – Traverses des cadres et portiques

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 piliers, puis de la traverse. Les déformations des piliers sont ainsi libérées.

Dans le cas d'un PICF, le phasage induit un moment en pied de piliers, alors que la non prise en compte du phasage aurait fait apparaître une traction dans la traverse

3.2 - Modélisation du cadre

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

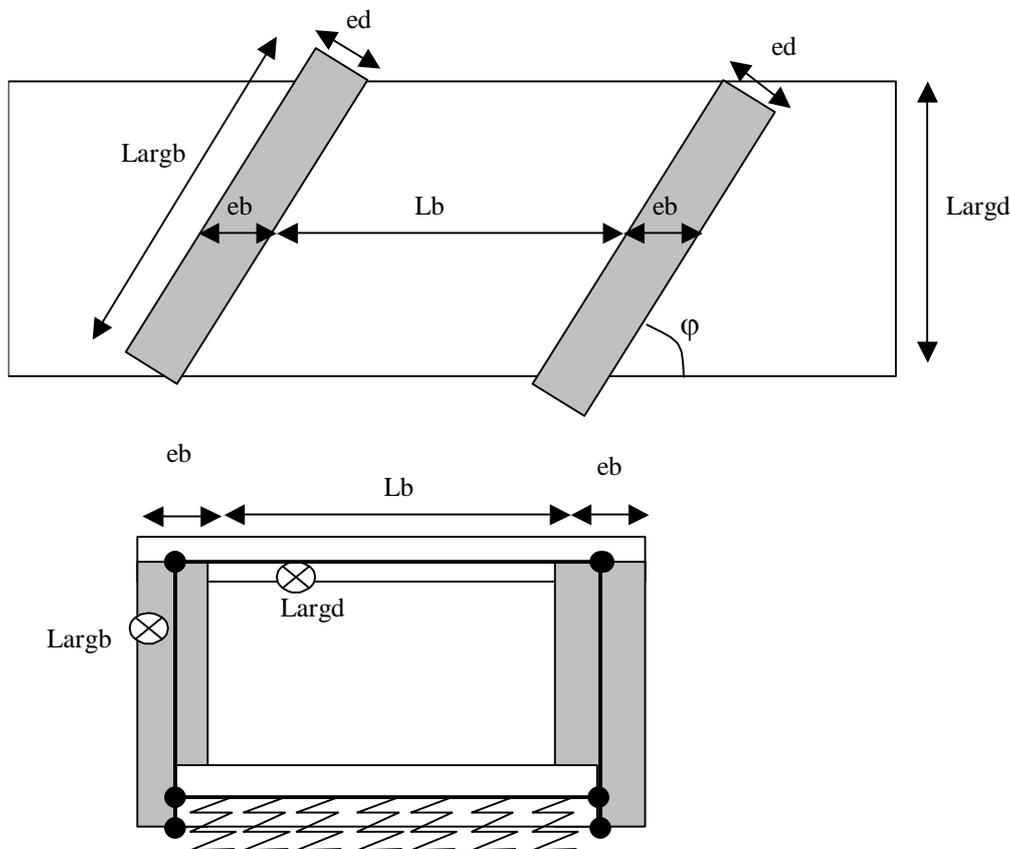


Figure 8 – Modélisation d'un cadre

3.2.1 - Géométrie

Caractéristique mécanique (A et I)

- Traverse supérieure : Largeur droite ($Larg_d$) et épaisseur traverse (e_b)
- Piédroit : Largeur droite ($Larg_d$) et épaisseur biaise traverse (e_b)
- Radier : Largeur droite ($Larg_d$) et épaisseur radier

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 radier pour tenir compte de la poussée des terres sur toute la hauteur du piédroit.

Le radier est modélisé par une barre sur sol élastique. Le radier est replacé à sa position réelle verticale (centre d'inertie). Le ressort linéique vertical est modélisé selon le calcul présenté dans le document annexe « Calcul du Module de réaction du sol k ». Un ressort linéique horizontal est introduit au niveau du radier avec de faibles caractéristiques pour bloquer les déplacements horizontaux.

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.

Radier : Le poids des terres s'effectue avec les charges réelles, c'est-à-dire avec la longueur effective de radier (longueur biaise réelle à partir du nu des piédroits) et la largeur droite de tablier.

Piédroit : La poussée des terres s'effectue avec les charges réelles, c'est-à-dire avec la largeur biaise de tablier (largeur réelle du piédroit) et sur la hauteur du piédroit et du radier. Ceci a néanmoins pour conséquence d'augmenter l'effort de compression dans la traverse, mais cela a une incidence limitée surtout si celle-ci est calculée en flexion simple. 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 et en pied.

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).

3.2.3 - Efforts pour justifications

Traverse et Radier : Ils sont obtenus pour la largeur droite. ($Larg_d$)

Piédroit : Ils 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 aux dossiers pilotes qui corrigeait par $1/\sin(\varphi)$.

3.3 - Diffusion des charges mobiles

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

3.4 - Modélisation des Charges mobiles sur remblais

3.4.1 - 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.

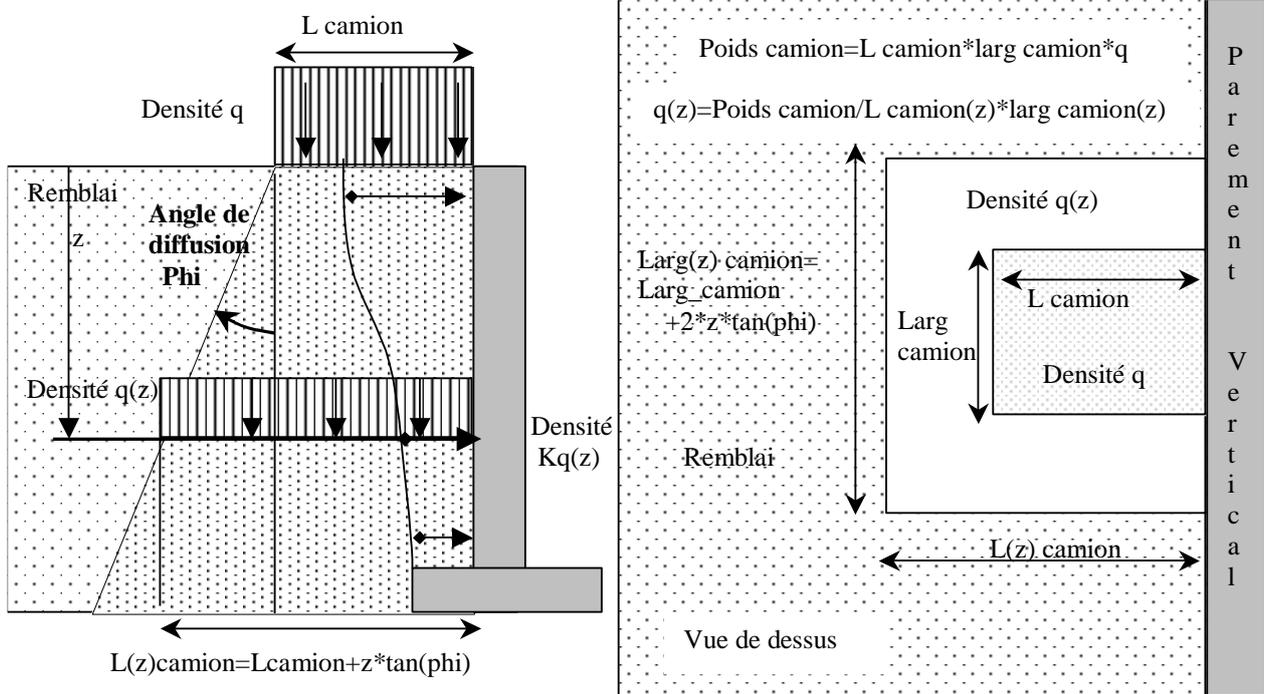


Figure 9 – Diffusion d'un impact dans le remblai selon l'EN1991-2§4.9

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.

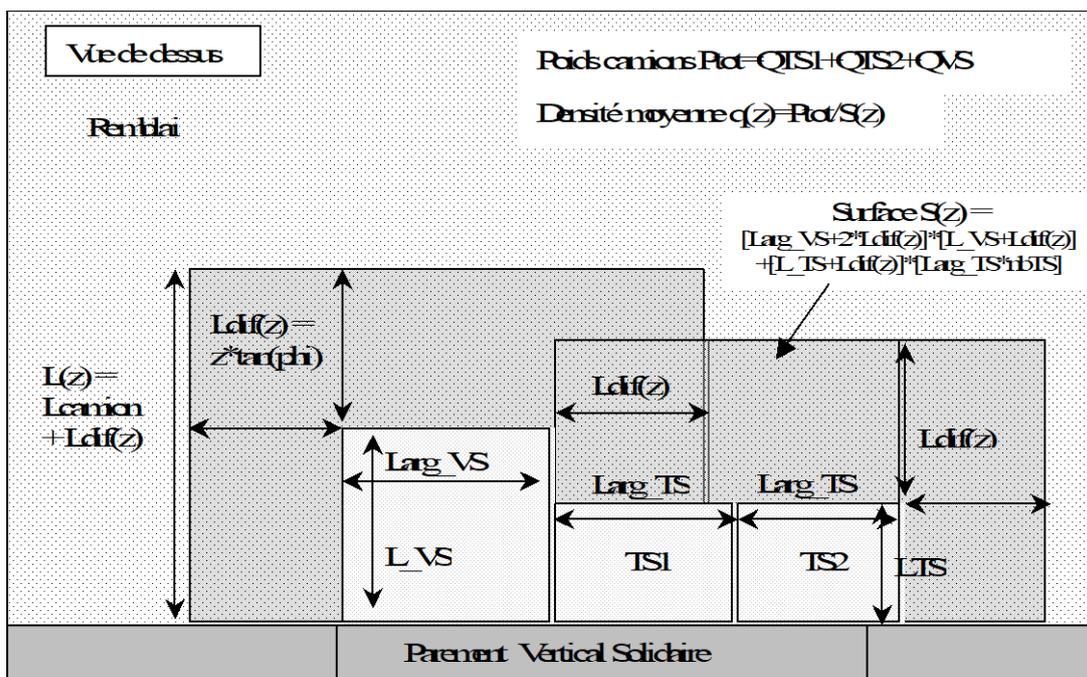


Figure 10 – Diffusion de plusieurs impacts dans le remblai selon l'EN1991-2.

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
 - 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

3.4.2 - 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.

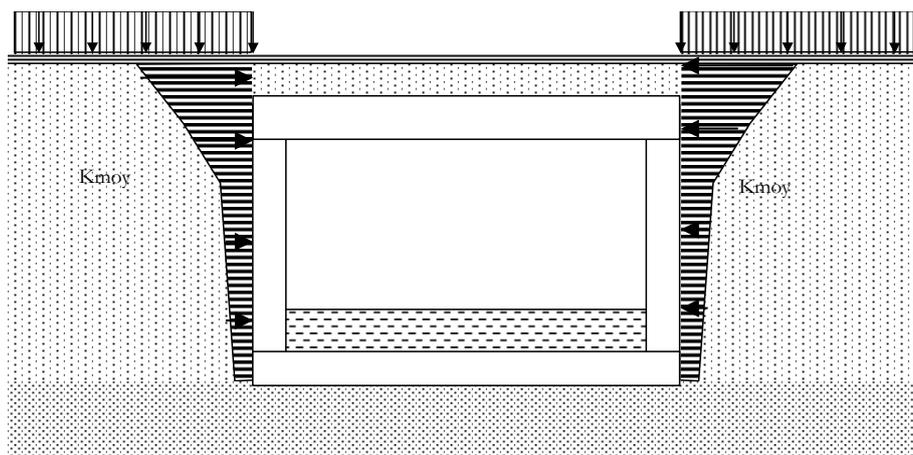


Figure 11 – Poussée due aux charges d'exploitation

3.5 - 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.

3.6 - 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 .

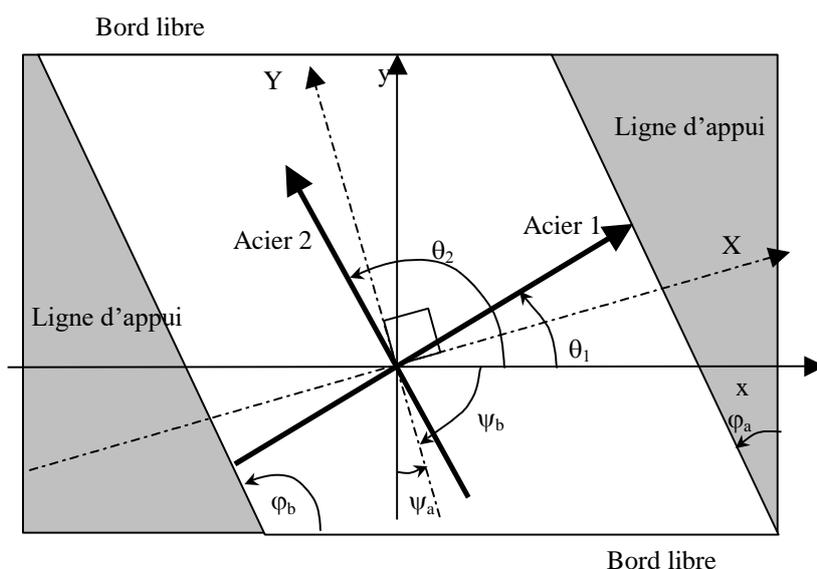


Figure 12 – Représentation conventionnelle avec angles positifs

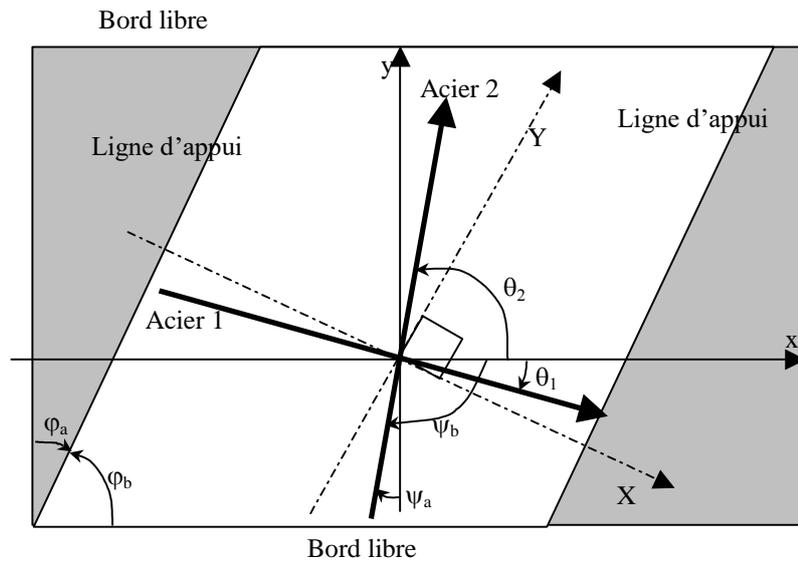


Figure 13 – Application aux cas de Chamoa

- 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).

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

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

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

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 cadres

Les épaisseurs de la traverse, des piédroits gauche et droite, du radier peuvent être optimisées pour vérifier les calculs de justifications en flexion et à l'effort tranchant. On augmente alors l'épaisseur de 2cm en 2cm jusqu'à obtenir l'épaisseur suffisante, ou bien on indique qu'il n'y a pas de solution 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 de la norme que le taux de ferrailage ne dépasse pas un taux maximum, pour être capable de ferrailer l'ouvrage.

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. Ces lois sont décrites dans une première partie.

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 les annexes génériques. 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)
- Radier : Largeur droite ($Larg_d$) et épaisseur radier

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
- $\sigma_s = f_{yk}$

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

Dimensionnement des aciers minimum, de peau et planchers

Section minimale d'armatures tendues

Le dimensionnement de ces aciers répond aux articles 9.2.1.1 et 9.3.1.1 de l'Eurocode 2.

Selon l'article 9.2.1.1, la section minimale d'armatures tendues est définie de la manière suivante.

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

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 ($A_{s,min} = 3 \text{ cm}^2 \times \text{largeur}_d \text{ droite}$) 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 minimum 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).

5.1.2 - Flexion transversale

Dimensionnements effectués

Le programme Chamoia 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

5.2 - Pour les parties en béton armé, Chamoia 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. 3.5 - 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 ferraillage peut être plus important que le ferraillage 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.

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

Ferrailage minimum

Les règles de ferrailage minimum suivantes sont appliquées :

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

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).

radier

Le ferrailage transversal du radier 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)

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

Le ferrailage transversal dans le radier doit être tel que la quantité d'aciers transversaux mis en place sur chaque fibre est au moins identique à 50% de la quantité d'aciers transversaux mis en place en fibre inférieure du tablier.

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

5.3 - 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).

Voir document Annexes Génériques.

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

1 - Description des données

Ce chapitre décrit l'ensemble des données nécessaires à la définition d'un ouvrage de type PICF 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 ChamoA, sans que l'utilisateur ait la possibilité de les modifier dans la présente version de ChamoA. 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. Elle définissent également les voies de rattachement de l'ouvrage.

Identification du calcul

Données :

<code>Programme</code>	SW	PICF
<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 créés lors de l'exécution du calcul. Elle permettent d'identifier la note de calcul sans ambiguïté

Identification du responsable juridique de la note de calculs.

Données :

<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 ».

Chamoia 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.

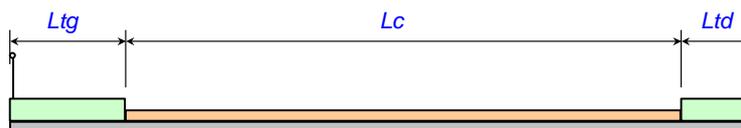


Figure 15 – Profil en travers sans remblai

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

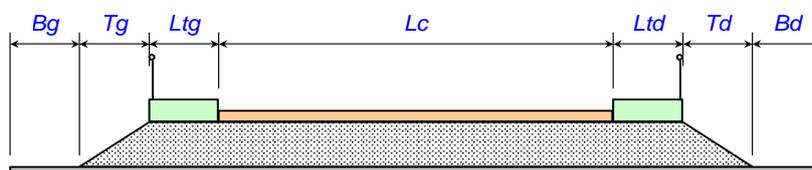


Figure 16 – Profil en travers avec remblai

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

Données :

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

Données complémentaires en utilisation extra-réglémentaire :

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

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

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

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

NOTE 3 : les épaisseurs de diffusion de chaussée et de trottoirs ne servent pas au calcul des descentes de charges permanentes de chaussée et de trottoir. Ces épaisseurs correspondent à la hauteur à franchir avant d'atteindre l'extrados de la dalle nue. Elles comprennent donc l'étanchéité et l'enrobé pour la chaussée et

l'épaisseur de trottoir et l'étanchéité pour les trottoirs. Il vaut mieux sous-estimer ces valeurs pour être sécuritaire (c'est à dire prendre "0" ou l'épaisseur minimale de la couche de chaussée (en général 6 ou 7cm d'enrobé et 1cm d'étanchéité). Les épaisseurs pour les calculs de descentes de charges de chaussée et de trottoirs sont définies dans les superstructures.

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.

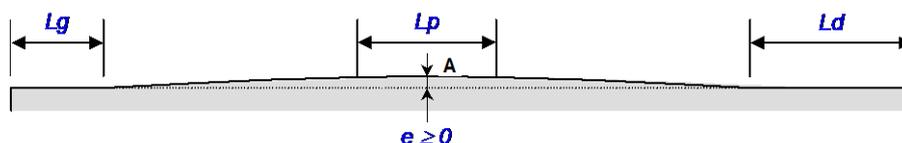


Figure 17 – Bombement de l'extrados

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 pénétrations est identique et modéré (compris entre 70 et 100 grades).

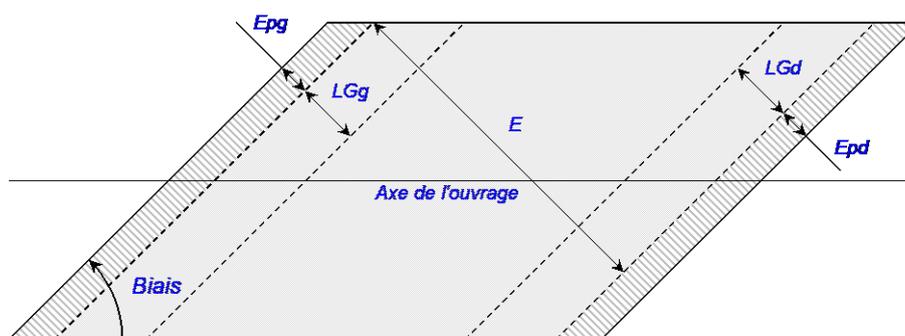


Figure 18 – Géométrie en plan

Données :

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

3.4 - Coupe longitudinale du tablier

L'ouvrage est supposé avoir un extradados horizontal et des goussets symétriques.

Deux possibilités sont proposées :

- Goussets standard.
- Goussets personnalisés.

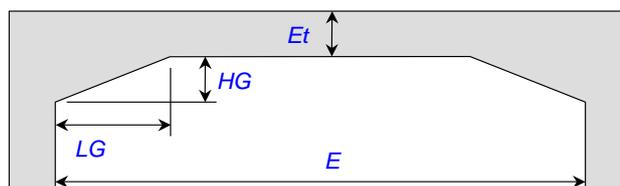


Figure 19 – Coupe longitudinale

Données :

<i>E</i>	R	Ouverture droite.
<i>Et</i>	R	Épaisseur de la traverse.
<i>(Optim_Et)</i>	SW	< <u>MINIMUM</u> , FIXE > Optimisation de l'épaisseur
<i>(Incl)</i>	SW	< <u>VERTICAUX</u> , INCLINES > Inclinaison des goussets

Commentaires :

- L'interface permet de préciser si l'épaisseur de la traverse est fixe 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.
 - $E \leq 3 \text{ m}$ $LG = 0,20$ $Hg = 0,20$
 - $3 \text{ m} < E \leq 5 \text{ m}$ $LG = 0,60$ $Hg = 0,30$
 - $E > 5 \text{ m}$ $LG = 0,90$ $Hg = 0,30$

Données complémentaires pour les goussets personnalisés :

<i>LG</i>	R	Longueur droite des goussets.
<i>HG</i>	R	Épaisseur des goussets.

3.5 - Coupe transversale du tablier

Deux options sont proposées :

- Dalle rectangulaire.
- Dalle avec chanfreins symétriques.

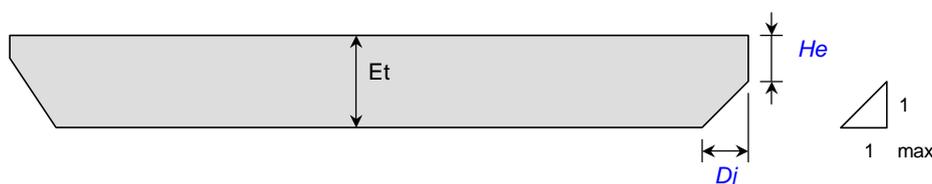


Figure 20 – Coupe transversale de la traverse

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

Les piédroits sont symétriques en hauteur et en épaisseur. Par convention, la hauteur des piédroits est comptée entre le nu de la traverse et le nu du radier.

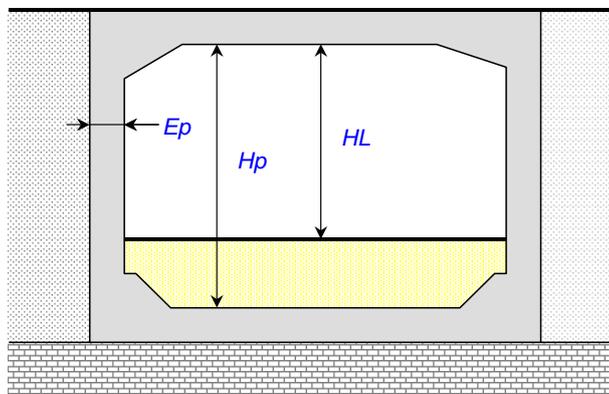


Figure 21 – Piédroits

Données :

- Hp R Hauteur des piédroits.
- Ep R Épaisseur droite (normale aux piédroits) des piédroits.
- Optim SW < MINIMUM, FIXE > Optimisation de l'épaisseur des piédroits

Commentaires :

- 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 - Coupe longitudinale du radier

Les goussets inférieurs sont symétriques. Dans la plupart des cas, ils sont munis de méplats en partie supérieure. L'interface permet d'opter pour des goussets de dimensions standard ou de dimensions personnalisées.

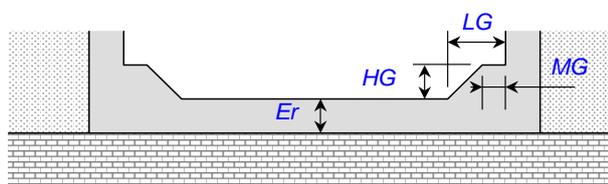


Figure 22 – Radier

Données :

- Er R Épaisseur du radier.
- Optim SW < MINIMUM, FIXE > Optimisation de l'épaisseur des piédroits

Commentaires :

- L'interface permet de préciser si l'épaisseur du radier est invariable ou s'il s'agit d'une valeur minimale pouvant être augmentée par le programme.
- 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 ≤ 2 m LG = 0,30 Hg = 0.20 Mg = 0.10
 - 2 m < E ≤ 4 m LG = 0,50 Hg = 0.30 Mg = 0.20
 - E > 4 m LG = 0,70 Hg = 0.50 Mg = 0.20

Données complémentaires pour les goussets personnalisés :

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

MG R Longueur du méplat des goussets inférieurs

3.8 - 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.

3.8.1 - Poids volumique des remblais

Données :

- (P_v) R Poids volumique moyen des remblais [20 kN/m³].
- (k_1), (k_2) R Coefficients donnant le poids caractéristique minimal et maximal :
- [1.00] pour les remblais techniques et intérieurs
 - [0.90], [1.10] pour le remblai sur le tablier.

3.8.2 - 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).

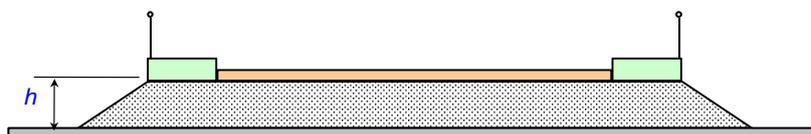


Figure 23 – Remblai sur tablier

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

Données :

- h R Hauteur de remblai sur le tablier à mi travée [0.00].
- R R Coefficient de Marston. Ne concerne que les portiques et cadres enterrés. En général :
- [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.
- $Pent_r$ R Pente droite longitudinale ($\tan(\alpha)$) du remblai par rapport à l'extrados du tablier [0.00].

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].

3.8.3 - Remblais techniques

L'interface propose deux options :

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

Coefficients de poussée

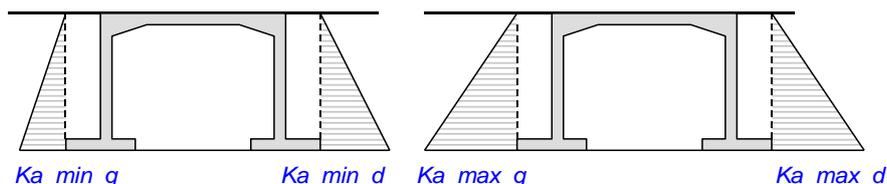


Figure 24 – Poussée des terres

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** ».

3.8.4 - Remblai au-dessus du radier

Données :

- HL R Hauteur libre.

Données complémentaires en utilisation avancée :

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

La commande ne se distingue de celle d'un PIPO que par l'absence du coefficient de poussée passive

3.9 - Sol de fondation sur radier

Données d'élasticité :

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

- Définition à partir du pseudo module d'Young :
Esol R Pseudo module d'Young différé du sol (MPa).
- Définition à partir des caractéristiques pressiométriques :
Em R Module pressiométrique du sol (MPa).
Alpha R Coefficient rhéologique α .
- Définition à partir du module de réaction surfacique :
kv R Module de réaction différé surfacique vertical du sol (MPa/m).

Donnée supplémentaire :

- Rho* R Rapport entre les modules instantané et soutenu [2.00].

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-réglémentaire :

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.

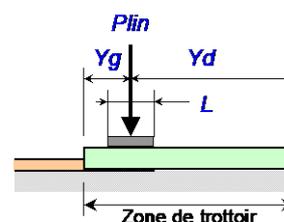


Figure 25 – Équipements des trottoirs

Données en utilisation standard :

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

`Cote` SW < GAUCHE, DROITE >.

< `Yg, Yd` > R Distance entre le centre de la charge et le côté choisi de la zone.

`Plin` R Poids linéique de l'équipement.

`(L)` R Largeur de l'équipement [0.00].

Données complémentaires en utilisation extra-réglémentaire :

`(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.

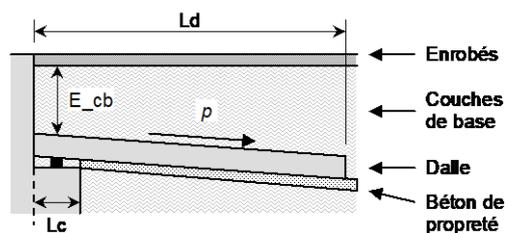


Figure 26 – Dalle de transition

Données en utilisation standard :

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

<i>(Pv_en), (k1_en), (k2_en)</i>	R	Enrobés.	[24.00], [0.80], [1.40].
<i>(Pv_cb), (k1_cb), (k2_cb)</i>	R	Couches de base.	[22.00], [0.95], [1.05].
<i>(Pv_d), (k1_d), (k2_d)</i>	R	Dalle.	[25.00], [0.95], [1.05].
<i>(Pv_bp), (k1_bp), (k2_bp)</i>	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 :

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

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.

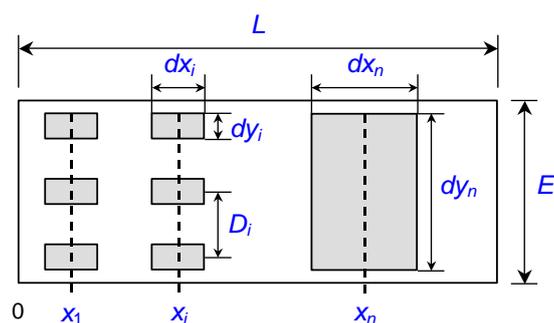


Figure 27 – Véhicule généralisé

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)	Poids de chaque essieu(kN).
<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 28 – Bandes neutralisées

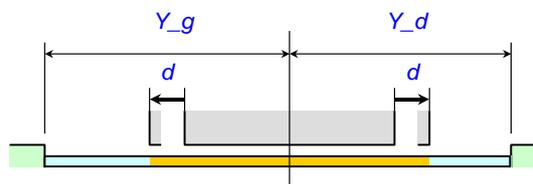


Figure 29 – Axe de roulement et débattement

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 30 – 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 :

`Trottoir` SW < `TROTTOIR GAUCHE`, `TROTTOIR DROIT` >.
`bn_g`, `bn_d`, `bn` 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 :

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

Données en utilisation extra-réglementaire :

`(classe)` 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) :

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

Commentaires :

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

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

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 LM_1 et LM_2 se déplacent sur toute la largeur de la chaussée dans tous les cas.
- Pour les charges de type LM_3 , les restrictions de chaussée délimitent le déplacement du véhicule spécial (VS). Le LM_1 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 deux types de béton : béton de structure et béton de dalles de transition. En cas d'absence du béton de dalles de transition, celui est pris identique à celui de la structure, sauf s'il s'agit de BHP ($f_{c28} > 50$ Mpa).

Données générales :

(Titre)	Ch	Titre du béton.
fck	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	< <u>PARALLELE PARALLELE</u> , 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.

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 >),
                (RADIER < TOUT, TERRE, AIR>),
                (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 fck 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 :

$Partie_oa$ CHM (TABLIER < TOUT, EXTRADOS, INTRADOS >),
(PIEDROITS < TOUT, TERRE, AIR >),
(RADIER < TOUT, TERRE, AIR >),
(DALLES_TRANSITION), (PIEUX)

W_k 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 ChamoA.

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 PICF », présentant de façon exhaustive l'ensemble des données et options de ChamoA. Pour un type d'ouvrage, plusieurs jeux de données sont nécessaires pour permettre d'illustrer convenablement les possibilités de ChamoA.

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 ChamoA ainsi qu'aux nombreuses annexes méthodologiques.

1 - Description de l'exemple d'application d'un ouvrage de type PICF

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

Pour illustrer les différentes options possibles, deux exemples de PICF sont utilisés.

1.1 - Le PICF *avec remblai*

- comprend un profil provisoire et un profil définitif
- a un remblai sur la traverse
- ne dispose pas de dalle de transition
- supporte des charges de chantier

1.2 - Le PICF *sans remblai*

- comprend un seul profil définitif
- n'a pas de remblai sur la traverse
- comprend des dalles de transition des deux côtés

1.3 - Description des jeux de données

1.3.1 - Géométrie et remblais

Deux profils en travers sont définis sur l'ouvrage *avec remblai*

- 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.

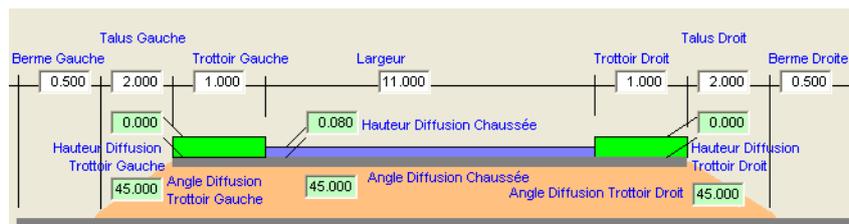


Figure 31 – Profil définitif de l'ouvrage avec remblai

- 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.

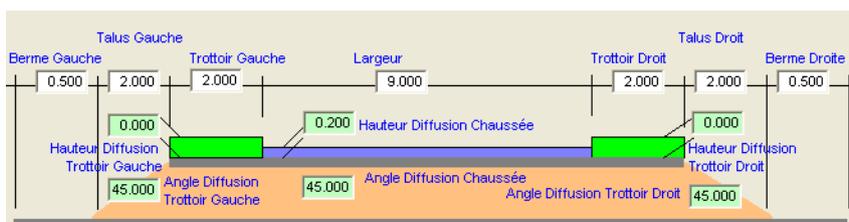


Figure 32 – Profil provisoire de l'ouvrage avec remblai

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 cadre. 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 *sans remblai* comprend un seul profil en travers :

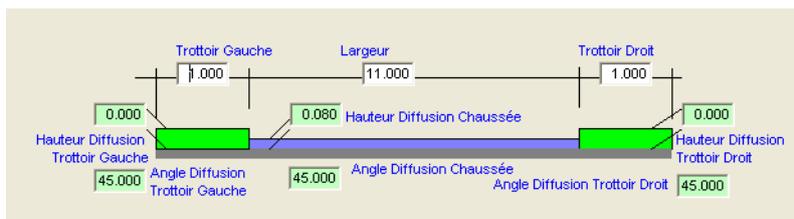


Figure 33 – Profil définitif de l'ouvrage sans remblai

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

Ces caractéristiques sont à définir dans plusieurs séries de données (coupe longitudinale, radier, piédroits et remblai au dessus du radier).

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 dalle est une dalle rectangulaire (les possibilités de dalle chanfreinées sont décrites dans les ouvrages PIPO). Les dalles de l'ouvrage *avec remblai* et de l'ouvrage *sans remblai* ne diffèrent que par leur largeur droite D_t .

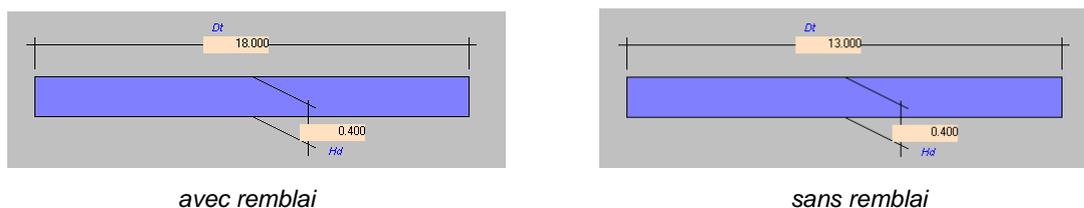


Figure 34 – Coupe transversale droite de l'ouvrage

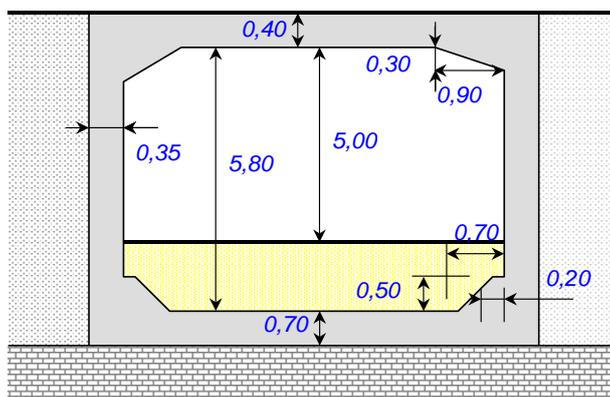


Figure 35 – Coupe longitudinale biaisée de l'ouvrage

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

Dalles de transition

L'ouvrage *sans remblai* ne comporte pas de dalles de transition.

L'ouvrage *avec remblai* comporte des dalles de transition de caractéristiques suivantes :

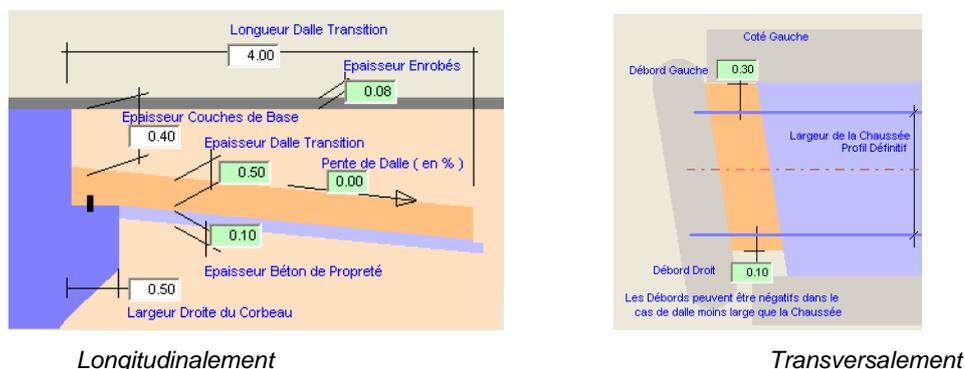


Figure 36 – Caractéristiques des dalles de transition

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 Chamoia.

Les valeurs par défaut des poids volumiques sont utilisées.

1.3.2 - 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 du radier* 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.

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 cadre 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* permettent d'évaluer la raideur du sol porteur. Le radier est en effet une dalle posée sur un sol élastique. Parmi les trois méthodes possibles, nous avons opté de caractériser le sol par son module d'Young, pris égal à 100 MPa. L'annexe « Calcul du Module de réaction du sol k », fournit les indications permettant d'accéder à ces paramètres à partir d'essais géotechniques ou de manière plus empirique.

1.3.3 - Superstructures

Les superstructures ne comprennent que des charges d'enrobé et d'étanchéité décrites par leurs épaisseurs (0,08 et 0,03 m pour l'ouvrage *sans remblai* et de 0,20 et 0,00 m de l'ouvrage *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.

1.3.4 - 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.

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

$$T_{e,max} = T_{max} + 1 = 40 + 1 = 41^{\circ}\text{C}$$

puis :

$$\Delta T_{N,exp} = T_{e,max} - T_0 = 41 - 10 = 31^{\circ}\text{C}$$

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

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 :

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

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

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

- Pour l'ouvrage *avec remblai*, supportant 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 m d'épaisseur, nous retenons une valeur défavorable de 50 mm de revêtement, conduisant à des coefficients égaux à 1,0. On a alors :

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

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

1.3.5 - 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 *avec remblai* pour le profil provisoire.
- 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 (*ouvrage avec remblai*)

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

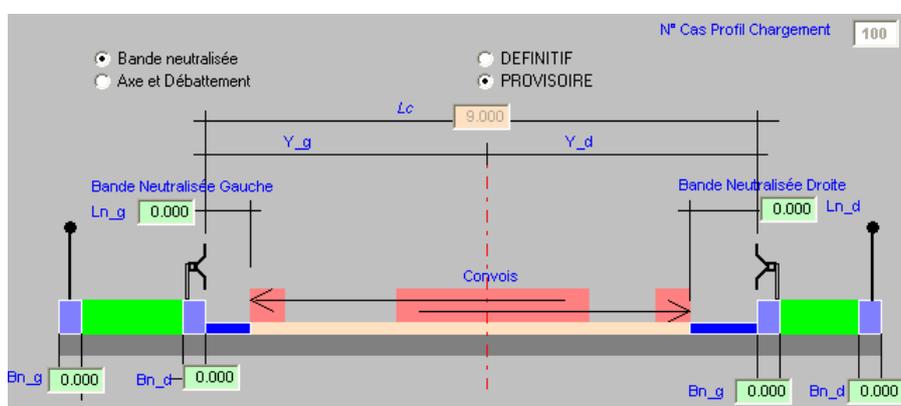


Figure 37 – Profil de chargement 100 associé au profil provisoire

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).

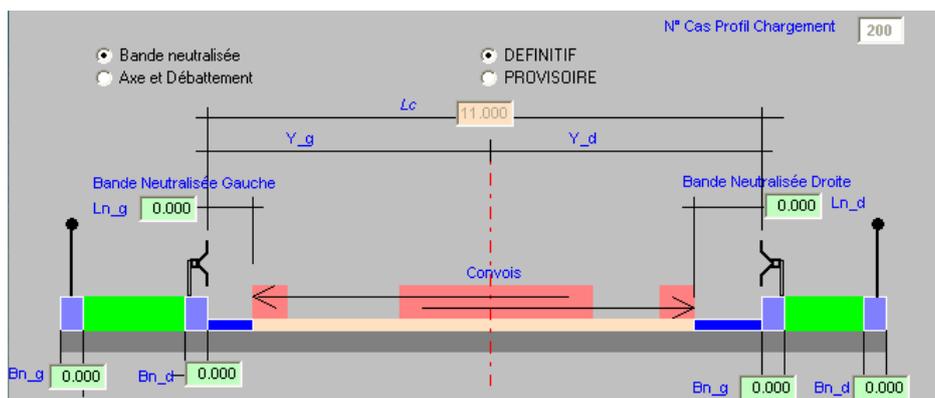


Figure 38 – Profil de chargement 200 associé au profil définitif

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/m^2 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.

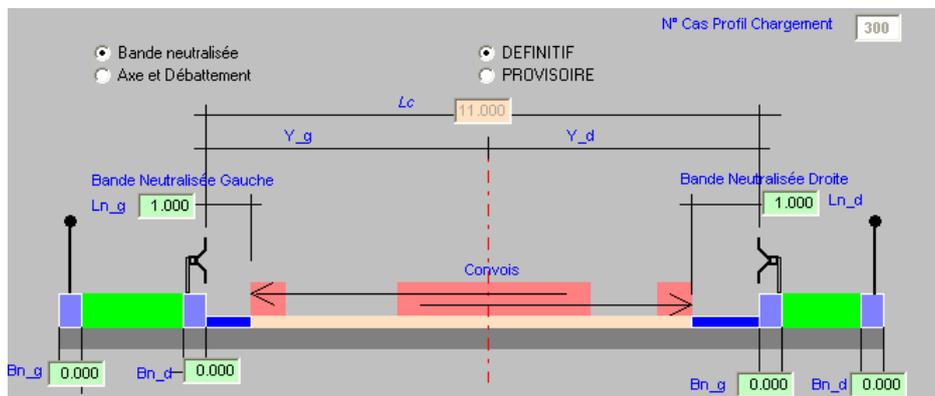


Figure 39 – Profil de chargement 300 associé au profil définitif

Ce profil de chargement reçoit les charges de service suivantes :

- Charges de LM3 généralisée correspondant au convoi C2 (convoi de 120 tonnes).
 - Les options choisie 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.

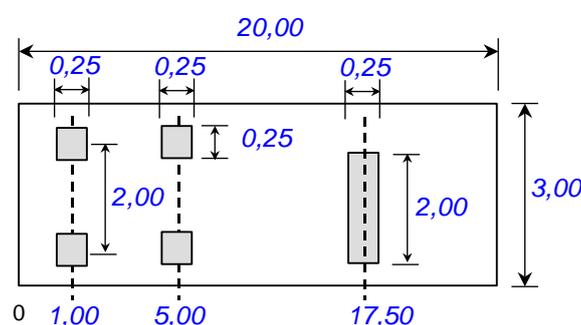


Figure 40 – Géométrie du véhicule spécial

1.3.6 - 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 : 80 %

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 *sans remblai*, 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.

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		Radier	
extrados	intrados	côté terre	côté air	extrados	Intrados
3 cm	3 cm	3 cm	3 cm	3 cm	3 cm
Dalles de transition					
inférieur	supérieur				
3 cm	3 cm				

Ouverture de fissures

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

2 - 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.

2.1 - PICF avec remblai

```

BLOC PROGRAMME PICF
  VERSION IHM " "
  CALCUL "0100" SUFFIXE "0"
  DATE "20/11/08" HEURE "10:19:00"
FIN

BLOC COMMANDITAIRE
  SOCIETE ""
  RESPONSABLE "YYY"
FIN

BLOC OUVRAGE "PICF sans DDT avec remblai sur traverse profil def. et prov. Dimensionnement"
  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 8.500
  H_DALLE 0.400 MINIMUM
  GOUSSETS VERTICAUX LARGEUR 0.900 HAUTEUR 0.300
FIN

BLOC COUPE_TRANSVERSALE
  OPTION RECTANGULAIRE
FIN

BLOC PIEDROITS
  HAUTEUR 5.800 EPAISSEUR 0.350 MINIMUM
FIN

BLOC COUPE_RADIER
  EPAISSEUR 0.700 MINIMUM GOUSSETS LARGEUR 0.700 HAUTEUR 0.200 MEPLAT 0.500
FIN

BLOC GEOMETRIE_EN_PLAN
  BIAIS 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 SOL_SEMELLE
E_SOL 100.00
FIN

BLOC REMBLAI_INTERIEUR
HAUTEUR_LIBRE 5.000 POIDS_VOL 20.000 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 0.200 POIDS_VOL 24.000 K_MIN 1.000 K_MAX 1.000
TROTTOIR DROIT EPAISSEUR 0.200 POIDS_VOL 24.000 K_MIN 1.000 K_MAX 1.000
FIN

BLOC SUPERSTRUCTURES_PROVISOIRE
ETANCHEITE EPAISSEUR 0.000
ENROBES EPAISSEUR 0.200
TROTTOIR GAUCHE EPAISSEUR 0.000 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 REMBLAI_TABLIER_DEFINITIF
HAUTEUR 0.800 MARSTON 0.700
FIN

BLOC REMBLAI_TABLIER_PROVISOIRE
HAUTEUR 0.800 MARSTON 0.700
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 R AVEC_SILICE RH 80
LOI_ELU PARABOLE_RECTANGLE
FIN

BLOC ACIER_PASSIF
LIMITE_ELASTIQUE 500.00 LOI_ELU ELASTOPLASTIQUE
FIN

BLOC ENROBAGES_BA
TABLIER_EXTRADOS 0.03
TABLIER_INTRADOS 0.03
PIEDROITS_TOUT 0.03
RADIER_TOUT 0.03
FIN

BLOC OUVERTURES_FISSURES
TABLIER_TOUT 0.30
PIEDROITS_TOUT 0.30
RADIER_TOUT 0.30
FIN

```

2.2 - PICF sans remblai

```

BLOC PROGRAMME PICF
VERSION_IHM " "
CALCUL "0101" SUFFIXE "0"
DATE "20/11/08" HEURE "10:19:09"
FIN

BLOC COMMANDITAIRE
SOCIETE ""
RESPONSABLE "YYY"
FIN

BLOC SETRA
RESPONSABLE "Non connu."
FIN

BLOC OUVRAGE "PICF avec DDT profil def. Dimensionnement"
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 8.500
H_DALLE 0.400 MINIMUM
GOUSSETS VERTICAUX LARGEUR 0.900 HAUTEUR 0.300
FIN

BLOC COUPE_TRANSVERSALE
OPTION RECTANGULAIRE
FIN

BLOC PIEDROITS
HAUTEUR 5.800 EPAISSEUR 0.350 MINIMUM
FIN

BLOC COUPE_RADIER
EPAISSEUR 0.700 MINIMUM GOUSSETS LARGEUR 0.700 HAUTEUR 0.200 MEPLAT 0.500
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 SOL_SEMELLE
E_SOL 100.00
FIN

BLOC REMBLAI_INTERIEUR
HAUTEUR_LIBRE 5.000 POIDS_VOL 20.000 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 REMBLAI_TABLIER_DEFINITIF
HAUTEUR 0.000
FIN

BLOC SUPERSTRUCTURES_DEFINITIF
ETANCHEITE EPAISSEUR 0.030
ENROBES EPAISSEUR 0.080
TROTTOIR_GAUCHE EPAISSEUR 0.200 POIDS_VOL 24.000 K_MIN 1.000 K_MAX 1.000

```

```

TROTTOIR DROIT EPAISSEUR 0.200 POIDS_VOL 24.000 K_MIN 1.000 K_MAX 1.000
FIN
BLOC DALLES_TRANSITION TOUTES
LONGUEUR 4.00 DEBORD_GAUCHE 0.30 DEBORD_DROIT 0.10
CORBEAU_LARGEUR 0.50
COUCHE_BASE EPAISSEUR 0.40
DALLE_TRANSITION EPAISSEUR 0.50
FIN
BLOC EFFET_THERMIQUE "Effet thermique en phase Définitive"
UNIFORME_RAPIDE MAX 30.00 MIN -20.00
GRADIENT_POSITIF 12.00 NEGATIF -6.00
FIN
BLOC BETON_STRUCTURE ""
FCR 35.00 CIMENT R SANS_SILICE RH 80
FIN
BLOC BETON_DALLES_TRANS ""
FCR 25.00
FIN
BLOC ACIER_PASSIF
LIMITE_ELASTIQUE 500.00 LOI_ELU ELASTOPLASTIQUE
FIN
BLOC ENROBAGES_BA
TABLIER_EXTRADOS 0.03
TABLIER_INTRADOS 0.03
PIEDROITS_TOUT 0.03
RADIER_TOUT 0.03
DALLES_TRANSITION 0.03
FIN
BLOC OUVERTURES_FISSURES
TABLIER_TOUT 0.30
PIEDROITS_TOUT 0.30
RADIER_TOUT 0.30
DALLES_TRANSITION 0.30
FIN

```

3 - 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.

```

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.

4 - 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 .

4.1 - 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.

4.1.1 - PICF avec remblai

PROGRAMME PICF

Calcul : 0100
Suffixe : 0
Date : 20/11/08
Heure : 10:19:00

COMMANDITAIRE :

Societe : Non connue.
Responsable : YYY

SETRA :

Responsable : Non connu.

OUVRAGE : PICF sans DDT avec remblai sur traverse profil def. et prov. Dimensionnement

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

COUPE LONGITUDINALE :

Portee : 8.500
Epaisseur de la dalle : 0.400 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

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
Berme droite : 0.500

LARGEUR DU TABLIER : 18.000

COUPE TRANSVERSALE RECTANGULAIRE

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

Aire : 7.20000000
Inertie : 0.09600000
V : 0.20000000
W : 0.20000000
Rendement : 0.33333333

Perimetre a l'air : 18.80000000

GEOMETRIE EN PLAN :

Biais : 70.00

PIEDROITS :

Hauteur : 5.800
Epaisseur : 0.350 AUGMENTABLE

COUPE DU RADIER :

Epaisseur du radier : 0.700 AUGMENTABLE
Longueur des goussets : 0.700
Hauteur des goussets : 0.200
Meplats : 0.500

SOL DE FONDATION :

Pseudo-module Esol : 100.000 MPa
Module surfacique Kv : 7.910 MPa (calcule par le programme)
Rapport Ki / Kv : 2.000

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 : 5.000
Poids volumique : 20.000
Coefficient k min : 1.000
Coefficient k max : 1.000

REMBLAI SUR LE TABLIER EN PHASE PROVISOIRE :

Hauteur : 0.800
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 : 1.017 (calcule par le programme)

REMBLAI SUR LE TABLIER EN PHASE DEFINITIVE :

Hauteur : 0.800
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 : 1.017 (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 : 0.200	Pv : 24.00	k1 : 1.000	k2 : 1.000
Trottoir droit	: E : 0.200	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 R
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
Radier : 0.030 m

OUVERTURES DES FISSURES :

Tablier : 0.30 mm
Piedroits : 0.30 mm

Radier : 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

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

4.1.2 - PICF sans remblai

PROGRAMME PICF

Calcul : 0101
 Suffixe : 0
 Date : 20/11/08
 Heure : 10:19:09

COMMANDITAIRE :

Societe : Non connue.
 Responsable : YYY

SETRA :

Responsable : Non connu.

OUVRAGE : PICF avec DDT profil def. Dimensionnement

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

COUPE LONGITUDINALE :

Portee : 8.500
 Epaisseur de la dalle : 0.400 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 : 4.000
 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 : 0.500 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 RECTANGULAIRE

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

Aire : 5.20000000
 Inertie : 0.06933333
 V : 0.20000000
 W : 0.20000000
 Rendement : 0.33333333
 Perimetre a l'air : 13.80000000

GEOMETRIE EN PLAN :

Biais : 70.00

PIEDROITS :

Hauteur : 5.800
 Epaisseur : 0.350 AUGMENTABLE

COUPE DU RADIER :

Epaisseur du radier : 0.700 AUGMENTABLE
 Longueur des goussets : 0.700
 Hauteur des goussets : 0.200
 Meplats : 0.500

SOL DE FONDATION :

Pseudo-module Esol : 100.000 MPa
 Module surfacique Kv : 8.862 MPa (calcule par le programme)
 Rapport Ki / Kv : 2.000

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 : 5.000
 Poids volumique : 20.000
 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 : 0.200 Pv : 24.00 k1 : 1.000 k2 : 1.000
 Trottoir droit : E : 0.200 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 R
 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
 Radier : 0.030 m
 Dalles transition : 0.030 m

OUVERTURES DES FISSURES :

Tablier : 0.30 mm
 Piedroits : 0.30 mm
 Radier : 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 Definitive

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

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
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 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 : 2 Profil de chargement : 300 reglement EUROCODES

Classe chaussee : 2
 Chaussee : Modele de charges LM3 VS Vehicule R/EG C2 LENT

MODIFICATIONS EXTRA-REGLEMENTAIRES : AUCUNE

4.2 - Synthèse de résultats de flexion longitudinale

4.2.1 - PICF avec remblai

Travée équivalente

CARACTERISTIQUES EQUIVALENTES

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

Barre	M1	M2	x1	x2	L	Le	EIe	Be	Psi
TRAVERSE	5686.1	5686.1	1.3205	8.6121	9.9326	7.2916	0.3271E+07	18.0000	70.0000
	[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 5.1 - Fichiers pour le calcul de la portée équivalente en fin de 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

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

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

Les coefficients de répartition transversale Guyon sont fournis dans le fichier intermédiaire (5.2 - Fichiers des facteurs de coefficients transversaux Guyon en fin de chapitre 4). Ce fichier fournit les coefficients de répartition transversale pour différentes fibres transversales sur le profil de l'ouvrage par type de charge .

Le fichier de calcul ST1 est fourni en 5.3 - Fichiers pour le calcul de la flexion longitudinale, en fin de chapitre 4, celui-ci détaille les différents cas de charges permanentes et d'exploitation, et les combinaisons détaillées.

Effets des charges permanentes

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	-1023.5	-605.00	-3.2178	-183.02	-1880.7	0.0000	136.50	-3559.0
		Max	-1023.5	-302.50	-3.2178	-74.873	-1453.4	0.0000	136.50	-2721.0
PIEDROIT_G	0.635	Min	-919.02	63.567	-.81688	39.553	-1682.1	0.0000	95.783	-2403.0
		Max	-919.02	127.13	-.81688	96.684	-1300.0	0.0000	95.783	-1900.2
...										
<i>Lignes supprimées</i>										
...										
TRAVERSE	0.000	Min	1023.5	302.50	3.2178	74.873	1453.4	0.0000	-136.50	2721.0
		Max	1023.5	605.00	3.2178	183.02	1880.7	0.0000	-136.50	3559.0
...										
<i>Lignes supprimées</i>										
...										
RADIER	0.000	Min	21.349	-2467.7	20.792	-600.84	81.491	0.0000	-270.70	-3215.6
		Max	21.349	-1233.9	20.792	-245.80	105.45	0.0000	-270.70	-1602.8
...										
<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	-1023.5	-605.00	-3.2178	-183.02	-1840.4	0.0000	136.50	-3518.6
		Max	-1023.5	-302.50	-3.2178	-74.873	-1461.7	0.0000	136.50	-2729.3
...										
<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.

La note de calcul principale fournit ici :

- [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 le radier 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 flechissants extremes

Enveloppe thermique PSI 1 : 0.600 [2]
 Enveloppe thermique PSI 2 : 0.500 [3]

Barre	Abscisse	Enveloppe ch. perm.	Enveloppe thermique	Q frequent compat.T	Q frequent incompat.T	ELS frequ.
[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[11]
PIEDROIT_G	0.000 Min	-3559.0	-475.05	-427.51	0.0000	-4224.0
	Max	-2721.0	579.87	0.27494	0.0000	-2373.1

...
 Lignes supprimées
 ...

PROFIL DEFINITIF : EFFORTS A L'ELS FREQUENT

- Moments flechissants extremes

Enveloppe thermique PSI 1 : 0.600
 Enveloppe thermique PSI 2 : 0.500

Barre	Abscisse	Enveloppe ch. perm.	Enveloppe thermique	Q frequent compat.T	Q frequent incompat.T	ELS frequ.
PIEDROIT_G	0.000 Min	-3518.6	-475.05	-1021.4	-237.14	-4777.5
	Max	-2729.3	579.87	0.67890E-02	0.0000	-2381.3

...
 Lignes supprimées
 ...

PROFIL PROVISOIRE : EFFORTS A L'ELS CARACTERISTIQUE

- Moments flechissants extremes

Enveloppe thermique PSI 0 : 0.600 [11]

Barre	Abscisse	Enveloppe ch. perm.	Enveloppe thermique	Q caract. compat.T	Q caract. incompat.T	Q combinaison	ELS caract.
[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]
PIEDROIT_G	0.000 Min	-3559.0	-475.05	-427.51	0.0000	0.0000	-4271.5
	Max	-2721.0	579.87	177.07	0.0000	0.0000	-2141.2

...
 Lignes supprimées
 ...

PROFIL DEFINITIF : EFFORTS A L'ELS CARACTERISTIQUE

- Moments flechissants extremes

Enveloppe thermique PSI 0 : 0.600

Barre	Abscisse	Enveloppe ch. perm.	Enveloppe thermique	Q caract. compat.T	Q caract. incompat.T	Q combinaison	ELS caract.
PIEDROIT_G	0.000 Min	-3518.6	-475.05	-1143.2	-316.18	-762.06	-4946.9
	Max	-2729.3	579.87	369.21	109.84	0.78361E-02	-2012.1

...
 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 l'effet thermique T_k .
- [3] Coefficient de combinaison des valeurs quasi-permanentes de l'effet thermique T_k .
- [4] Partie d'ouvrage étudiée
- [5] Abscisse absolue le long de la partie d'ouvrage
- [6] Enveloppes ELS des effets des charges permanentes G_k (obtenue page précédente [13])
- [7] Enveloppes ELS des effets thermiques (combinaisons gradient - dilatation) T_k
- [8] Enveloppes ELS des effets des charges d'exploitation Q_k compatibles avec la température T_k (LM1,...)
- [9] Enveloppes ELS des effets des charges d'exploitation Q_k incompatibles avec la température T_k (LM2)
- [10] Enveloppes ELS des effets des charges d'exploitation Q_k de combinaison

[11] Enveloppes totales ELS fréquent
ou caractéristique ([6]+max(psi1*[7];psi2*[7]+[8] ;[9])
([6]+max([7]+[10];psi0*[7]+[8] ;[9]))

Effets aux ELU

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

- Moments flechissants extremes [2]

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

Barre [7]	Abscisse [8]	Enveloppe ch. perm. [9]	Q ultime compat.T [10]	Q ultime incompat.T [11]	Q combinaison [12]	ELU fond. [13]
PIEDROIT_G	0.000	Min -4804.7	-577.13	0.0000	0.0000	-5381.7
		Max -2721.0	239.04	0.0000	0.0000	-2482.0

...
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 -2826.0	-217.00	0.0000	0.0000	-3042.9
		Max -1138.9	84.634	0.0000	0.0000	-1054.3

...
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 les différents profils :

- [1] État Limite Ultime Fondamental
- [2] Études des moments fléchissants extrêmes et des efforts tranchants extrêmes.
- [3] Coefficient de combinaison ELU des charges permanentes G_k .
- [4] Coefficient GAMMA (1,5) de combinaison ELU de l'effet thermique T_k et prise en compte DZETA (0) du thermique à l'ELU
- [5] PSI_0 (0,6) : Coefficient de combinaison fréquente de l'effet thermique T_k
- [6] Coefficient GAMMA (1,35) de combinaison ELU de l'effet des charges mobiles Q_k
- [7] Partie d'ouvrage
- [8] Abscisse d'étude le long de la partie d'ouvrage
- [9] Enveloppes ELU des effets des charges permanentes G_k
- [10] Enveloppes ELU des effets des charges d'exploitation Q_k compatibles avec la température T_k (LM1,...) (les coefficients de pondération GAMMA sont inclus)
- [11] Enveloppes ELU des effets des charges d'exploitation Q_k incompatibles avec la température T_k (LM2)
- [12] Enveloppes ELU des effets des charges d'exploitation Q_k de combinaison (avec T_k)
- [13] Enveloppes ELU fondamentales
 [13] défavorable = [9]+min([10];[11]) AN min : -4804,65-577,13=-5381,7
 [13] favorable = [9]+max([10];[11]) AN max : -2721,0-239,04=-2482,0

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 -427.51	-427.51	-577.13	-71.815	-71.815	-96.951		
		Max 0.27494	177.07	239.04	0.54246E-01	11.460	15.471		
...									
<i>Lignes supprimées</i>									
...									
Barre	Abscisse	LM1 frequent	LM1 caract.	LM1 combinaison	LM1 ultime	LM2 frequent	LM2 caract.	LM2 ultime	LM3 frequent
[2]	[3]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]	[15]	[16]	[17]
TRAVERSE	4.966	Min -1095.7	-1621,5	-1111.6	-2189.1	-374.26	-499.02	-673.68	-1373.6
		Max 0.0000	31.759	0.0000	42.874	0.0000	9.6146	12.980	0.0000
...									
<i>Lignes supprimées</i>									
...									
Barre	Abscisse	LM3 caract.	LM3 ultime	Militaires caract.	Militaires ultime				
[2]	[3]	[18]	[19]	[20]	[21]				
...									
<i>Lignes supprimées</i>									
...									

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

4.2.2 - PICF sans remblai

Les résultats sont complétés par des résultats sur les dalles de transition comme s'il s'agissait de travées supplémentaires indépendantes. Le cas de charge effet des dalles de transition comme charge permanente est également fourni en plus.

4.3 - Flexion transversale de la traverse

Cas du PICF avec remblai

MOMENTS FLECHISSANTS	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
			MY EXTREMES	APRES FISSURATION	CALCULES	SUIVANT L'ANNEXE 12 DU BPEL
[1]			M_APP	My	Mx	
TRAVERSE	CARA Min		0.0000	0.0000	0.0000	""
TRAVERSE	CARA Max		383.90	97.954	343.91	"LM1 et trottoirs (grla) caracteristique AFF 2 profil DEF"
TRAVERSE	FREQ Min		0.0000	0.0000	0.0000	""
TRAVERSE	FREQ Max		342.89	94.669	298.53	"Chantier 23 m3 frequent AFF 1 profil PRV"
TRAVERSE	ULTI Min		-20.310	-20.310	0.0000	"LM1 et trottoirs (grla) ultime AFF 2 profil DEF"
TRAVERSE	ULTI Max		419.65	59.387	433.28	"LM1 et trottoirs (grla) ultime AFF 2 profil DEF"
TRAVERSE	ACCI Min		0.0000	0.0000	0.0000	""
TRAVERSE	ACCI Max		221.28	45.140	211.85	"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. 5.4 - Fichiers des efforts de flexion transversale Guyon en fin de 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.

4.4 - Flèches à vide

Cas du PICF 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	-0.0101	0.0000	-0.0101	0.0000
TRAVERSE	0.497	-0.0111	-0.0010	-0.0111	-0.0010
TRAVERSE	0.993	-0.0125	-0.0024	-0.0125	-0.0024
TRAVERSE	1.490	-0.0141	-0.0040	-0.0141	-0.0040
TRAVERSE	1.987	-0.0158	-0.0057	-0.0158	-0.0057
TRAVERSE	2.483	-0.0175	-0.0073	-0.0175	-0.0074
TRAVERSE	2.980	-0.0190	-0.0088	-0.0190	-0.0089
TRAVERSE	3.476	-0.0202	-0.0101	-0.0202	-0.0101
TRAVERSE	3.973	-0.0211	-0.0110	-0.0212	-0.0111
TRAVERSE	4.470	-0.0217	-0.0116	-0.0218	-0.0116
TRAVERSE	4.966	-0.0219	-0.0118	-0.0220	-0.0118
TRAVERSE	5.463	-0.0217	-0.0116	-0.0218	-0.0116
TRAVERSE	5.960	-0.0211	-0.0110	-0.0212	-0.0111
TRAVERSE	6.456	-0.0202	-0.0101	-0.0202	-0.0101
TRAVERSE	6.953	-0.0190	-0.0088	-0.0190	-0.0089
TRAVERSE	7.449	-0.0175	-0.0073	-0.0175	-0.0074
TRAVERSE	7.946	-0.0158	-0.0057	-0.0158	-0.0057
TRAVERSE	8.443	-0.0141	-0.0040	-0.0141	-0.0040
TRAVERSE	8.939	-0.0125	-0.0024	-0.0125	-0.0024
TRAVERSE	9.436	-0.0111	-0.0010	-0.0111	-0.0010
TRAVERSE	9.933	-0.0101	0.0000	-0.0101	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

4.5 - 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 encatrement

LIGNES D'INFLUENCE DES MOMENTS FLECHISSANTS SUR LA TRAVERSE

Barre [1]	Abscisse [2]	- Origine - [3]	- Milieu - [3]	-Extremite- [3]
TRAVERSE	0.000	-.16697E-01	-.32861E-01	-.49026E-01
TRAVERSE	0.497	0.19476	-.10866	0.84559E-01
TRAVERSE	0.993	0.37525	-.20261	0.21279
TRAVERSE	1.490	0.52619	-.31473	0.33424
TRAVERSE	1.987	0.64902	-.44500	0.44750
TRAVERSE	2.483	0.74515	-.59344	0.55113
TRAVERSE	2.980	0.81600	-.76003	0.64371
TRAVERSE	3.476	0.86301	-.94479	0.72383
TRAVERSE	3.973	0.88758	-1.1477	0.79005
TRAVERSE	4.470	0.89115	-1.3688	0.84096
TRAVERSE	4.966	0.87514	-1.6080	0.87514
TRAVERSE	5.463	0.84096	-1.3688	0.89115
TRAVERSE	5.960	0.79005	-1.1477	0.88758
TRAVERSE	6.456	0.72383	-.94479	0.86301
TRAVERSE	6.953	0.64371	-.76003	0.81600
TRAVERSE	7.449	0.55113	-.59344	0.74515
TRAVERSE	7.946	0.44750	-.44500	0.64902
TRAVERSE	8.443	0.33424	-.31473	0.52619
TRAVERSE	8.939	0.21279	-.20261	0.37525
TRAVERSE	9.436	0.84559E-01	-.10866	0.19476
TRAVERSE	9.933	-.49023E-01	-.32862E-01	-.16692E-01

LIGNES D'INFLUENCE DES EFFORTS NORMAUX EN TETE DES PIEDROITS

Barre	Abscisse	Piedroit G	Piedroit D
TRAVERSE	0.000	1.0033	-.32548E-02
TRAVERSE	0.497	0.96109	0.38905E-01
TRAVERSE	0.993	0.91636	0.83644E-01
TRAVERSE	1.490	0.86933	0.13067
TRAVERSE	1.987	0.82029	0.17971
TRAVERSE	2.483	0.76953	0.23047
TRAVERSE	2.980	0.71735	0.28265
TRAVERSE	3.476	0.66401	0.33599
TRAVERSE	3.973	0.60982	0.39018
TRAVERSE	4.470	0.55505	0.44495
TRAVERSE	4.966	0.50000	0.50000
TRAVERSE	5.463	0.44495	0.55505
TRAVERSE	5.960	0.39018	0.60982
TRAVERSE	6.456	0.33599	0.66401
TRAVERSE	6.953	0.28265	0.71735
TRAVERSE	7.449	0.23047	0.76953
TRAVERSE	7.946	0.17971	0.82029
TRAVERSE	8.443	0.13067	0.86933
TRAVERSE	8.939	0.83644E-01	0.91636
TRAVERSE	9.436	0.38905E-01	0.96109
TRAVERSE	9.933	-.32540E-02	1.0033

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

Barre	Abscisse	- Origine -
TRAVERSE	0.000	0.77083E-06
TRAVERSE	0.497	0.10770E-05
TRAVERSE	0.993	0.14304E-05
TRAVERSE	1.490	0.18123E-05
TRAVERSE	1.987	0.22040E-05
TRAVERSE	2.483	0.25869E-05
TRAVERSE	2.980	0.29421E-05
TRAVERSE	3.476	0.32510E-05
TRAVERSE	3.973	0.34948E-05
TRAVERSE	4.470	0.36548E-05
TRAVERSE	4.966	0.37123E-05
TRAVERSE	5.463	0.36548E-05
TRAVERSE	5.960	0.34948E-05
TRAVERSE	6.456	0.32510E-05
TRAVERSE	6.953	0.29421E-05
TRAVERSE	7.449	0.25869E-05
TRAVERSE	7.946	0.22040E-05
TRAVERSE	8.443	0.18123E-05
TRAVERSE	8.939	0.14304E-05
TRAVERSE	9.436	0.10770E-05
TRAVERSE	9.933	0.77083E-06

4.6 - Justification sous sollicitations normales

Cette partie de la note de calcul n'est commentée que pour l'exemple du PICF sans remblai, comportant des dalles de transition.

4.6.1 - 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
 et pour la largeur totale 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 :
 * $A_{s,min} = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot Act / \sigma_{s, a l ELS}$ 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 piedroits: 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 ferraillement non sectionnel
 * traverse et dalles de transition : $A_{s,trans} \geq 0,2 \times A_{s,long}$
 * piedroits : $A_{s,horiz} \geq 0,25 \times A_{s,vert}$
 * radier : $A_{s,trans} \geq 0,5 \times A_{s,trans\ traverse}$

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 correspondants 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.

4.6.2 - Aciers passifs longitudinaux

 Calcul des aciers passifs longitudinaux

Sections d'aciers de la traverse :

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

section	[3]	[4]	[5]	[6]	[2] aciers supérieurs				[10]	[2] aciers inférieurs						
					[7]	[8]	[9]	/ml		flex	fiss	minten	min	total	/ml	
barre	abs	!	flex	fiss	minten	min	total	/ml	!	flex	fiss	minten	min	total	/ml	!
TRAVERSE	0.00	!	330.3	59.9	96.3	39.0	330.3	25.4	!	0.0	0.0	0.0	39.0	39.0	3.0	!
TRAVERSE	0.05	!	299.2	59.9	96.3	39.0	299.2	23.0	!	36.2	0.0	96.3	39.0	96.3	7.4	!
TRAVERSE	0.10	!	194.5	56.9	96.3	39.0	194.5	15.0	!	95.1	59.9	96.3	39.0	96.3	7.4	!
TRAVERSE	0.15	!	112.3	57.0	96.3	39.0	112.3	8.6	!	161.1	59.9	96.3	39.0	161.1	12.4	!
TRAVERSE	0.20	!	55.7	57.0	96.3	39.0	96.3	7.4	!	225.0	59.9	96.3	39.0	225.0	17.3	!
TRAVERSE	0.25	!	20.4	57.0	96.3	39.0	96.3	7.4	!	280.7	59.9	96.3	39.0	280.7	21.6	!
TRAVERSE	0.30	!	0.0	0.0	96.3	39.0	96.3	7.4	!	326.5	59.9	96.3	39.0	326.5	25.1	!
TRAVERSE	0.35	!	0.0	0.0	0.0	39.0	39.0	3.0	!	360.2	59.9	96.3	39.0	360.2	27.7	!
TRAVERSE	0.40	!	0.0	0.0	0.0	39.0	39.0	3.0	!	381.6	59.9	96.3	39.0	381.6	29.4	!
TRAVERSE	0.45	!	0.0	0.0	0.0	39.0	39.0	3.0	!	390.8	59.9	96.3	39.0	390.8	30.1	!
TRAVERSE	0.50	!	0.0	0.0	0.0	39.0	39.0	3.0	!	392.4	59.9	96.3	39.0	392.4	30.2	!
TRAVERSE	0.55	!	0.0	0.0	0.0	39.0	39.0	3.0	!	390.7	59.9	96.3	39.0	390.7	30.1	!
TRAVERSE	0.60	!	0.0	0.0	0.0	39.0	39.0	3.0	!	381.3	59.9	96.3	39.0	381.3	29.3	!
TRAVERSE	0.65	!	0.0	0.0	0.0	39.0	39.0	3.0	!	359.8	59.9	96.3	39.0	359.8	27.7	!
TRAVERSE	0.70	!	0.0	0.0	96.3	39.0	96.3	7.4	!	326.1	59.9	96.3	39.0	326.1	25.1	!
TRAVERSE	0.75	!	20.6	57.0	96.3	39.0	96.3	7.4	!	280.8	59.9	96.3	39.0	280.8	21.6	!
TRAVERSE	0.80	!	55.9	57.0	96.3	39.0	96.3	7.4	!	224.8	59.9	96.3	39.0	224.8	17.3	!
TRAVERSE	0.85	!	112.8	57.0	96.3	39.0	112.8	8.7	!	160.6	59.9	96.3	39.0	160.6	12.4	!
TRAVERSE	0.90	!	194.5	56.9	96.3	39.0	194.5	15.0	!	94.6	59.9	96.3	39.0	96.3	7.4	!
TRAVERSE	0.95	!	299.2	59.9	96.3	39.0	299.2	23.0	!	36.0	0.0	96.3	39.0	96.3	7.4	!
TRAVERSE	1.00	!	330.3	59.9	96.3	39.0	330.3	25.4	!	0.0	0.0	0.0	39.0	39.0	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
PIEDRT_G	0.00	!	0.0	0.0	0.0	43.8	43.8	3.0	!	343.4	56.1	93.5	43.8	343.4	23.5	!
PIEDRT_G	0.10	!	0.0	0.0	93.5	43.8	93.5	6.4	!	296.1	55.6	93.5	43.8	296.1	20.3	!
PIEDRT_G	0.20	!	22.1	54.6	93.5	43.8	93.5	6.4	!	217.8	55.2	93.5	43.8	217.8	14.9	!
PIEDRT_G	0.30	!	46.6	54.1	93.5	43.8	93.5	6.4	!	158.0	54.3	93.5	43.8	158.0	10.8	!
PIEDRT_G	0.40	!	58.6	54.3	93.5	43.8	93.5	6.4	!	104.4	53.8	93.5	43.8	104.4	7.2	!
PIEDRT_G	0.50	!	77.3	53.8	93.5	43.8	93.5	6.4	!	59.0	0.0	93.5	43.8	93.5	6.4	!
PIEDRT_G	0.60	!	72.0	53.4	93.5	43.8	93.5	6.4	!	27.6	0.0	93.5	43.8	93.5	6.4	!
PIEDRT_G	0.70	!	49.7	53.0	93.5	43.8	93.5	6.4	!	22.1	52.0	93.5	43.8	93.5	6.4	!
PIEDRT_G	0.80	!	3.2	52.5	93.5	43.8	93.5	6.4	!	74.5	52.6	93.5	43.8	93.5	6.4	!
PIEDRT_G	0.90	!	0.0	0.0	0.0	43.8	43.8	3.0	!	216.7	52.1	93.5	43.8	216.7	14.8	!
PIEDRT_G	1.00	!	0.0	0.0	0.0	43.8	43.8	3.0	!	298.0	51.7	93.5	43.8	298.0	20.4	!

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
PIEDRT_D	0.00	!	0.0	0.0	0.0	43.8	43.8	3.0	!	343.2	56.1	93.5	43.8	343.2	23.5	!
PIEDRT_D	0.10	!	0.0	0.0	93.5	43.8	93.5	6.4	!	296.0	55.6	93.5	43.8	296.0	20.3	!
PIEDRT_D	0.20	!	18.3	54.6	93.5	43.8	93.5	6.4	!	218.7	55.2	93.5	43.8	218.7	15.0	!
PIEDRT_D	0.30	!	42.8	54.1	93.5	43.8	93.5	6.4	!	157.8	54.3	93.5	43.8	157.8	10.8	!
PIEDRT_D	0.40	!	56.3	54.3	93.5	43.8	93.5	6.4	!	105.2	53.8	93.5	43.8	105.2	7.2	!
PIEDRT_D	0.50	!	77.3	53.8	93.5	43.8	93.5	6.4	!	59.9	0.0	93.5	43.8	93.5	6.4	!
PIEDRT_D	0.60	!	72.0	53.4	93.5	43.8	93.5	6.4	!	29.1	0.0	93.5	43.8	93.5	6.4	!
PIEDRT_D	0.70	!	49.7	53.0	93.5	43.8	93.5	6.4	!	22.9	52.0	93.5	43.8	93.5	6.4	!
PIEDRT_D	0.80	!	3.1	52.5	93.5	43.8	93.5	6.4	!	74.1	52.6	93.5	43.8	93.5	6.4	!
PIEDRT_D	0.90	!	0.0	0.0	0.0	43.8	43.8	3.0	!	215.8	52.1	93.5	43.8	215.8	14.8	!
PIEDRT_D	1.00	!	0.0	0.0	0.0	43.8	43.8	3.0	!	297.1	51.7	93.5	43.8	297.1	20.4	!

Sections d aciers du radier :

 largeur du radier : 13.00 m

section	!	aciers superieurs						!	aciers inferieurs						!	
		barre	abs	flex	fiss	minten	min		total	/ml	flex	fiss	minten	min		total
RADIER	0.00	!	40.4	0.0	174.5	39.0	174.5	13.4	!	106.2	78.9	174.5	39.0	174.5	13.4	!
RADIER	0.10	!	160.7	78.8	174.5	39.0	174.5	13.4	!	68.5	78.9	174.5	39.0	174.5	13.4	!
RADIER	0.20	!	233.2	78.9	174.5	39.0	233.2	17.9	!	0.0	0.0	174.5	39.0	174.5	13.4	!
RADIER	0.30	!	267.7	78.9	174.5	39.0	267.7	20.6	!	0.0	0.0	0.0	39.0	39.0	3.0	!
RADIER	0.40	!	275.1	78.9	174.5	39.0	275.1	21.2	!	0.0	0.0	0.0	39.0	39.0	3.0	!
RADIER	0.50	!	277.2	78.9	174.5	39.0	277.2	21.3	!	0.0	0.0	0.0	39.0	39.0	3.0	!
RADIER	0.60	!	276.4	78.9	174.5	39.0	276.4	21.3	!	0.0	0.0	0.0	39.0	39.0	3.0	!
RADIER	0.70	!	268.1	78.9	174.5	39.0	268.1	20.6	!	0.0	0.0	0.0	39.0	39.0	3.0	!
RADIER	0.80	!	232.8	78.9	174.5	39.0	232.8	17.9	!	0.0	0.0	174.5	39.0	174.5	13.4	!
RADIER	0.90	!	161.2	78.8	174.5	39.0	174.5	13.4	!	68.1	78.9	174.5	39.0	174.5	13.4	!
RADIER	1.00	!	40.2	0.0	174.5	39.0	174.5	13.4	!	105.7	78.9	174.5	39.0	174.5	13.4	!

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						!	
		barre	abs	flex	fiss	minten	min		total	/ml	flex	fiss	minten	min		total
DDT_G	0.00	!	0.0	0.0	0.0	34.2	34.2	3.0	!	0.0	0.0	85.8	34.2	85.8	7.5	!
DDT_G	0.50	!	0.0	0.0	0.0	34.2	34.2	3.0	!	107.0	56.9	85.8	34.2	107.0	9.4	!
DDT_G	1.00	!	0.0	0.0	0.0	34.2	34.2	3.0	!	0.0	56.9	85.8	34.2	85.8	7.5	!

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
DDT_D	0.00	!	0.0	0.0	0.0	34.2	34.2	3.0	!	0.0	0.0	85.8	34.2	85.8	7.5	!
DDT_D	0.50	!	0.0	0.0	0.0	34.2	34.2	3.0	!	107.2	56.9	85.8	34.2	107.2	9.4	!
DDT_D	1.00	!	0.0	0.0	0.0	34.2	34.2	3.0	!	0.0	56.9	85.8	34.2	85.8	7.5	!

La note de calcul principale fournit les quantités d'aciers longitudinaux nécessaires 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.
- Radier : la largeur prise en compte est la largeur droite
- Dalle de transition : si elles existent, la largeur prise en compte est la largeur droite.

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 :

$$A_{s,min} \cdot \sigma_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} \text{ (Cf. 5.1.1 -Flexion longitudinale du chapitre 2)}$$

- [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 :

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

- [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 40 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 :

- Acier supérieur : 0 cm²
- Acier inférieur : 392,4 cm²

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

$$M_{ELS,QP} = 1,22 \text{ MN.m, et } N_{ELS,QP} = 0,36 \text{ MN}$$

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

Avec :

$$\left. \begin{aligned} \sigma_c &= \frac{N_{ELS,QP}}{A_c} = \frac{0,36}{13 \times 0,4} = 0,069 \text{ MN.m}^2 \\ h &= 0,4 \text{ m} \\ h^* &= h = 0,4 \text{ car } h > 1\text{m} \\ k_1 &= 1,5 \text{ car } N_{ELS,QP} \text{ est un effort de compression} \\ f_{ct,eff} &= \max(f_{ctm}; 2,9) = 3,2 \text{ MPa pour un béton C35 / 45} \end{aligned} \right\} k_c = 0,4 \left\{ 1 - \frac{\sigma_c}{k_1 \left(\frac{h}{h^*} \right) \cdot f_{ct,eff}} \right\} = 0,39$$

– $k = 0,93$ (interpolation entre $k = 1,0$ si $h \leq 300\text{mm}$, $k = 0,65$ si $h \geq 800$)

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

– 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 $A_{ct} = 2,54 \text{ m}^2$.

$$\text{Au total, } A_{s,min} = \frac{(k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct})}{\sigma_s} = \frac{0,395 \times 0,93 \times 3,2 \times 2,545}{500} = 59,9 \text{ cm}^2$$

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 $M_{ELS,CARA} = 3,9 \text{ MN.m}$, et $N_{ELS,CARA} = 0,68 \text{ MN}$.

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \text{ et } A_{s,min} \leq 0,0013 \cdot b_t \cdot d \text{ avec,}$$

– $f_{ctm} = 3,2 \text{ MPa}$ pour un béton C35/45

– $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$

– $d = 0,37\text{m}$ (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 $b_t = 13 \text{ m}$ (La section est rectangulaire de 13 m de largeur)

Au total,

$$\left. \begin{aligned} 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d &= 0,26 \times \frac{3,2}{500} \times 13 \times 0,37 = 80,04 \text{ cm}^2 \\ 0,0013 \cdot b_t \cdot d &= 0,0013 \times 13 \times 0,37 = 62,53 \text{ cm}^2 \end{aligned} \right\} A_{s,min,ten} = 80,04 \text{ cm}^2 \text{ dans le cas d'une dalle.}$$

Le coefficient 1.2 n'est plus appliqué dans chamoas.

aciers minimum : Ces aciers correspondent à 3 cm^2 par mètre de largeur de la section soit 39 cm^2 en fibre supérieure et 39 cm^2 en fibre inférieure.

4.6.3 - Aciers passifs transversaux

 Calcul des aciers passifs transversaux

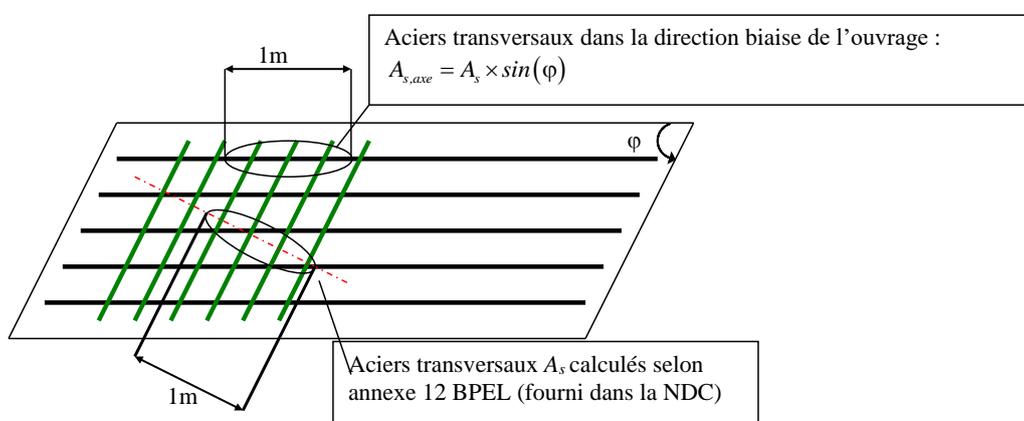
Quantité d aciers calculée pour 1 ml dans la direction perpendiculaire aux aciers
 pour avoir la quantité par ml selon l axe de l ouvrage , multiplier par 0.8910 [11]

Sections d aciers de la traverse :

section	!	aciers superieurs						!	aciers inferieurs						!			
barre	[12]	abs	!	flex	fiss	minten	min	non sec	[13]	total	!	flex	fiss	minten	min	non sec	total	!
TRAVERSE	!			0.0			3.0	16.6		16.6	!	33.3			3.0	6.1	33.3	!

[11] Le programme se limitant au cas des ouvrages peu biaisés, les aciers transversaux du tablier sont orientés dans la direction parallèle aux lignes d'appui. Les efforts transversaux donnés précédemment (Cf. 4.3 - 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 des aciers transversaux (largeur de 1m suivant coupe en rouge).



La quantité d'aciers par mètre linéaire selon l'axe de l'ouvrage peut être obtenue en multipliant la quantité d'acier fournie par $\sin(\varphi)$ (Ce point ne sert qu'au calcul 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 $\varphi = 70$ grades : $\sin(\varphi) = 0,8910$.

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

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

[14] 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 : $A_{s,long,max} = 30,2 \text{ cm}^2/\text{m} \rightarrow A_{s,trans} = 0,2 \times 30,2 = 6,0 \text{ cm}^2/\text{m}$

– Fibre supérieure :

$$\left. \begin{aligned} A_{s, long, sup} &= 25,4 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow A_{s, trans, sup, non sec} > 0,25 \times 25,4 = 7,55 \text{ cm}^2/\text{m} \\ A_{s, trans, inf} &= 33,2 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow A_{s, trans, sup, non sec} > 0,50 \times 33,2 = 16,6 \text{ cm}^2/\text{m} \end{aligned} \right\} A_{s, trans, sup, non sec} = 16,6 \text{ cm}^2$$

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 :

Sections d aciers des dalles de transition :														
section		aciels superieurs						aciels inferieurs						
barre	abs	flex	fiss	minten	min	non sec	total	flex	fiss	minten	min	non sec	total	
DDT_G	!	0.0			3.0	5.0	5.0	!	10.1		3.0	1.9	10.1	!
DDT_D	!	0.0			3.0	5.0	5.0	!	10.1		3.0	1.9	10.1	!

Sections d aciers horizontaux dans les piedroits :

Sections d aciers horizontaux dans les piedroits :														
section		aciels interieurs						aciels exterieurs						
barre	!													
PIEDRT_G	!				min	non sec	total				min	non sec	total	
PIEDRT_G	!				3.0	3.8	3.8	!			3.0	3.8	3.8	!
PIEDRT_D	!				3.0	3.8	3.8	!			3.0	3.8	3.8	!

Sections d aciers transversaux dans le radier :

Sections d aciers transversaux dans le radier :														
section		aciels inferieurs						aciels superieurs						
barre	!													
RADIER	!				min	non sec	total				min	non sec	total	
RADIER	!				3.0	16.6	16.6	!			3.0	16.6	16.6	!

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

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

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

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

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

Exemple numérique

Aciers non sectionnels du piédroit gauche :

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

$$A_{s, long, max} = 20,3 + 6,4 = 26,7 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow A_{s, trans} \geq 0,25 \times A_{s, long} = 6,75 \text{ cm}^2/\text{m}$$

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 0,75 cm²/m d'acier transversaux pour que les règles de ferrailage non sectionnel soit respectée. On ajoute donc la moitié du manque d'acier transversaux sur chacune des faces.

Au total, on a donc :

$$A_{s, trans, int \acute{e}rieur, non sec} = A_{s, trans, min, int \acute{e}rieur} + \frac{A_{s, trans} - (A_{s, trans, min, int \acute{e}rieur} + A_{s, trans, min, ext \acute{e}rieur})}{2} = 3,0 + \frac{6,75 - (3,0 + 3,0)}{2} = 3,3 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

$$A_{s, trans, ext \acute{e}rieur, non sec} = A_{s, trans, min, ext \acute{e}rieur} + \frac{A_{s, trans} - (A_{s, trans, min, int \acute{e}rieur} + A_{s, trans, min, ext \acute{e}rieur})}{2} = 3,0 + \frac{6,75 - (3,0 + 3,0)}{2} = 3,3 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

Aciers non sectionnels du radier :

Aciers inférieurs :

$$\left. \begin{array}{l} A_{s,trans,inf} \geq 0,2 \times A_{s,long,inf} = 0,2 \times 21,3 = 4,3 \text{ cm}^2/m \\ A_{s,trans,inf} \geq 0,5 \times A_{s,trans,inf,transverse} = 0,5 \times 33,2 = 16,6 \text{ cm}^2/m \end{array} \right\} A_{s,trans,inf} = 16,6 \text{ cm}^2/m$$

Aciers supérieurs :

$$\left. \begin{array}{l} A_{s,trans,sup} \geq 0,2 \times A_{s,long,sup} = 0,2 \times 13,4 = 2,7 \text{ cm}^2/m \\ A_{s,trans,sup} \geq 0,5 \times A_{s,trans,inf,transverse} = 0,5 \times 33,2 = 16,6 \text{ cm}^2/m \end{array} \right\} A_{s,trans,sup} = 16,6 \text{ cm}^2/m$$

4.7 - Justifications sous sollicitations tangentes

Les extraits suivants sont relatifs à l'ouvrage 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 z_ut = 0.284 [13] et [14] [15] et [16]															
bw = 20.202															
0.00	3314.6	0.0	3203.9	31825.8	3535.6	33.7	191.2	179.3	191.2	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
0.64	3022.4	0.0	3203.9	31825.8	3535.6	33.7	191.2	163.5	191.2	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
1.27	2669.4	0.0	3203.9	31825.8	3535.6	33.7	191.2	144.4	191.2	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
1.91	2206.3	0.0	3203.9	31825.8	3535.6	33.7	191.2	119.3	191.2	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
2.54	1633.3	0.0	3203.9	31825.8	3535.6	33.7	191.2	88.3	191.2	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
3.17	1004.2	0.0	3203.9	31825.8	3535.6	33.7	191.2	54.3	191.2	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
3.81	598.8	0.0	3203.9	31825.8	3535.6	33.7	191.2	32.4	191.2	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
4.45	1448.6	0.0	3203.9	31825.8	3535.6	33.7	191.2	78.3	191.2	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
5.08	2460.4	0.0	3203.9	31825.8	3535.6	33.7	191.2	133.1	191.2	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
5.71	3582.2	0.0	3203.9	31825.8	3582.2	33.7	191.2	193.7	193.7	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
6.35	4813.9	0.0	3203.9	31825.8	4813.9	33.7	191.2	260.4	260.4	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
Barre n° 2 TRAVERSE z_ut= 0.324															
0.00	5799.3	0.0	3123.3	32408.0	5799.3	33.7	170.4	274.5	274.5	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
0.50	5322.4	0.0	3123.3	32408.0	5322.4	33.7	170.4	251.9	251.9	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
0.99	4825.0	0.0	3123.3	32408.0	4825.0	33.7	170.4	228.3	228.3	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
1.49	4327.0	0.0	3123.3	32408.0	4327.0	33.7	170.4	204.8	204.8	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
1.99	3828.6	0.0	3123.3	32408.0	3828.6	33.7	170.4	181.2	181.2	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
2.48	3330.6	0.0	3123.3	32408.0	3600.3	33.7	170.4	157.6	170.4	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
2.98	2833.9	0.0	3123.3	32408.0	3600.3	33.7	170.4	134.1	170.4	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
3.48	2339.1	0.0	3123.3	32408.0	3600.3	33.7	170.4	110.7	170.4	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
3.97	1846.9	0.0	3123.3	32408.0	3600.3	33.7	170.4	87.4	170.4	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
4.47	1357.9	0.0	3123.3	32408.0	3600.3	33.7	170.4	64.3	170.4	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
4.97	872.5	0.0	3123.3	32408.0	3600.3	33.7	170.4	41.3	170.4	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
5.46	1357.9	0.0	3123.3	32408.0	3600.3	33.7	170.4	64.3	170.4	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
5.96	1846.9	0.0	3123.3	32408.0	3600.3	33.7	170.4	87.4	170.4	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
6.46	2338.9	0.0	3123.3	32408.0	3600.3	33.7	170.4	110.7	170.4	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
6.95	2833.6	0.0	3123.3	32408.0	3600.3	33.7	170.4	134.1	170.4	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
7.45	3330.2	0.0	3123.3	32408.0	3600.3	33.7	170.4	157.6	170.4	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
7.95	3828.1	0.0	3123.3	32408.0	3828.1	33.7	170.4	181.2	181.2	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
8.44	4326.3	0.0	3123.3	32408.0	4326.3	33.7	170.4	204.7	204.7	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
8.94	4824.2	0.0	3123.3	32408.0	4824.2	33.7	170.4	228.3	228.3	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
9.44	5323.1	0.0	3123.3	32408.0	5323.1	33.7	170.4	251.9	251.9	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
9.93	5820.0	0.0	3123.3	32408.0	5820.0	33.7	170.4	275.4	275.4	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
Barre n° 3 PIEDROIT DROITE z_ut= 0.284															
0.00	3314.6	0.0	3203.9	31825.8	3535.6	33.7	191.2	179.3	191.2	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
0.64	3022.4	0.0	3203.9	31825.8	3535.6	33.7	191.2	163.5	191.2	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
1.27	2669.4	0.0	3203.9	31825.8	3535.6	33.7	191.2	144.4	191.2	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
1.91	2206.3	0.0	3203.9	31825.8	3535.6	33.7	191.2	119.3	191.2	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
2.54	1633.3	0.0	3203.9	31825.8	3535.6	33.7	191.2	88.3	191.2	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
3.17	1004.2	0.0	3203.9	31825.8	3535.6	33.7	191.2	54.3	191.2	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
3.81	598.8	0.0	3203.9	31825.8	3535.6	33.7	191.2	32.4	191.2	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
4.45	1448.6	0.0	3203.9	31825.8	3535.6	33.7	191.2	78.3	191.2	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
5.08	2460.4	0.0	3203.9	31825.8	3535.6	33.7	191.2	133.1	191.2	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
5.71	3582.2	0.0	3203.9	31825.8	3582.2	33.7	191.2	193.7	193.7	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
6.35	4813.9	0.0	3203.9	31825.8	4813.9	33.7	191.2	260.4	260.4	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
Barre n° 4 RADIER z_ut= 0.567															
0.00	7358.2	0.0	4634.0	56714.0	7358.2	33.7	170.4	199.0	199.0	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
0.99	4874.1	0.0	4634.0	56714.0	6300.5	33.7	170.4	131.8	170.4	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
1.99	2981.4	0.0	4634.0	56714.0	6300.5	33.7	170.4	80.6	170.4	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
2.98	1882.7	0.0	4634.0	56714.0	6300.5	33.7	170.4	50.9	170.4	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
3.97	1105.9	0.0	4634.0	56714.0	6300.5	33.7	170.4	29.9	170.4	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
4.97	398.3	0.0	4634.0	56714.0	6300.5	33.7	170.4	10.8	170.4	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
5.96	1117.4	0.0	4634.0	56714.0	6300.5	33.7	170.4	30.2	170.4	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
6.95	1891.3	0.0	4634.0	56714.0	6300.5	33.7	170.4	51.1	170.4	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
7.95	2979.6	0.0	4634.0	56714.0	6300.5	33.7	170.4	80.6	170.4	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
8.94	4863.1	0.0	4634.0	56714.0	6300.5	33.7	170.4	131.5	170.4	2950	ELU	fondamental	sans	prec.	profil DEF
9.93	7335.8	0.0	4634.0	56714.0	7335.8	33.7	170.4	198.4	198.4	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 § 9.6.4(1)]

lorsque la section des armatures verticales est supérieure à $0.02*Ac$,

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

- $s_{cl,tmax} = \text{Min}(20*\phi_v ; \text{evoile} ; 400 \text{ mm})$

[EC-2-1-1 § 9.5.3]

Ce tableau récapitule les résultats des justifications sous sollicitations tangentes conformément au chapitre 2

5.3 - Sollicitations tangentes.

ESTIMATION DU POIDS D'ACIER D'EFFORT TRANCHANT
 LE POIDS D'ACIER SERA SUPERIEUR A LA VALEUR SUIVANTE :
 $P_{min_ET} = 2056$. kg

partie d'ouv	longueur barre(m)	Volume de beton de la barre(m3)	quantite etriers (kg)	ratio (kg/m3)
PIEDROIT G	6.3	44.9	312.4	7.0
TRAVERSE	9.9	71.5	561.8	7.9
PIEDROIT D	6.3	44.9	312.4	7.0
RADIER	9.9	125.2	869.1	6.9
total		286.5	2055.6	7.2

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 cm^2/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 (ne concerne pas les PICF 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.

Exemple numérique :

Les efforts sont calculés pour la pleine largeur des barres. Il s'agit de la largeur droite pour la traverse supérieure, le radier et les dalles de transition éventuelles, et de largeur biaisée pour les piédroits. Les largeurs sont évaluées au droit du centre de gravité de la section brute. La traverse supérieure étant rectangulaire pour l'ouvrage *avec remblai*, les largeurs droites de la traverse et du radier sont égales à la largeur de la dalle soit 18,00 m. La largeur des piédroits est la largeur biaisée = $18 / \sin(70 \text{ gr}) = 20,20 \text{ m}$.

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 :

$$\begin{aligned} b_w &= 18,00 \text{ m} \\ h &= 0,40 \text{ m} \\ d &= 0,9 \times h = 0,360 \text{ m} \\ z &= 0,9d = 0,9 \times 0,360 = 0,324 \text{ m} \end{aligned}$$

$V_{Ed} = 5799 \text{ kN}$ [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 :

$$\begin{aligned} V_{Rd,c} &= (v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d && \text{[EC2-1-1 Expr.(6.2.b)]} \\ N_{Ed} &= 0 \Rightarrow \sigma_{cp} = 0 \\ k &= \min \left(2; 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \right) = \min \left(2; 1 + \sqrt{\frac{200}{360}} \right) = 1,745 \\ v_{\min} &= 0,035 (k)^{\frac{3}{2}} \cdot (f_{ck})^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot (1,745)^{\frac{3}{2}} \cdot (35)^{\frac{1}{2}} = 0,481 \\ V_{Rd,c} &= (v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = (0,481 + 0) \times 18,00 \times 0,360 = 3,123 \text{ MN} = 3123 \text{ kN} \quad [4] \end{aligned}$$

On recherche l'inclinaison optimale des bielles qui est solution de l'équation en $t = \cot \theta_0$:

$$\begin{aligned} V_{Ed} t^2 - a \cdot t + (V_{Ed} - a \cdot \cot \alpha) &= 0 \text{ soit, pour } \alpha = \frac{\pi}{2} \Rightarrow \cot \alpha = 0 \\ V_{Ed} t^2 - a \cdot t + V_{Ed} &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{avec} \quad a &= \alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd} \\ \text{et} \quad \alpha_{cw} &= 1 \text{ en béton armé} \\ v_1 &= v = 0,6 (1 - f_{ck}/250) = 0,6 (1 - 35/250) = 0,516 \\ f_{cd} &= \frac{\alpha_{cc} f_{cf}}{\gamma_c} = \frac{1 \times 35}{1,5} = 23,33 \text{ MPa} \\ \text{d'où :} \quad a &= \alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd} = 1 \times 18 \times 0,324 \times 0,516 \times 23,33 = 70,217 \\ &4,826 t^2 - 70,217 \cdot t + 4,826 = 0 \\ &\Rightarrow t = 14,48 \Rightarrow \theta_0 = 3,95^\circ < \text{arccot}(1,5) = 33,7^\circ \end{aligned}$$

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

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

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

$$V_{Rd,max} = a \cdot \frac{(\cot \theta)}{(1 + \cot^2 \theta)} = 70,2178 \times 1,5 / (1 + 1,5^2) = 32,408 \text{ MN} = 32408 \text{ kN} \quad [5]$$

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

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{Ed}}{z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha} = \frac{5,799}{0,324 \times 500 / 1,15 \times (1,5 + 0) \times 1} = 0,02745,$$

soit $\boxed{274,5 \text{ cm}^2/m}$ [9]

Cette section est supérieure à la section minimale donnée par :

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq (0,08 \sqrt{f_{ck}}) / f_{yk} \cdot b_w \cdot \sin \alpha = (0,08 \sqrt{35}) / 500 \times 18 \times 1 = 0,0170 \quad [8]$$

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

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha = 5,799 \text{ MN}$$

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

On constate que $V_{Rd,max} = 32408 > V_{Ed} = 5799$. OK.

La démarche de calcul pour l'ouvrage *avec remblai* est tout à fait similaire. Les tableaux comprennent les résultats relatifs aux dalles de transition comme illustré ci-après.

5 - Fichiers intermédiaires de calcul des efforts du PICF

5.1 - Fichiers pour le calcul de la portée équivalente

Cas du PICF avec remblai

Fichier en Entrée

```

OPTION PLANE
SORTIE '..\Projets\PICF_0100_0\Module_2\PICF_0100_0_PEQ.txt' non pagine

# NOEUDS

NOEUD 2 0.000000 0.000000 # Noeud gauche de la traverse
NOEUD 3 9.932587 0.000000 # Noeud droit de la traverse
NOEUD 1 0.000000 -6.350000 # Pied du piedroit gauche
NOEUD 4 9.932587 -6.350000 # Pied du piedroit droit
NOEUD 13 0.000000 -6.700000 # Noeud barre rigide a gauche
NOEUD 43 9.932587 -6.700000 # Noeud barre rigide a droite

# APPUIS

# 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 4 DE 1 A 4 # Radier
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 7.20000000 IZ 0.09600000 VY 0.20000000 WY 0.20000000
PROPRIETES 1 SX 7.07065530 IZ 0.09091860 VY 0.19640709 WY 0.19640709
PROPRIETES 13 SX 707.06552971 IZ 9.09186000 VY 0.19640709 WY 0.19640709
PROPRIETES 3 SX 7.07065530 IZ 0.09091860 VY 0.19640709 WY 0.19640709
PROPRIETES 43 SX 707.06552971 IZ 9.09186000 VY 0.19640709 WY 0.19640709

# 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 765.95745
CIMENT R
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 350.00000
CIMENT R
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 : RADIER

MATERIAU 50 'Beton pour etudes de phasage et court terme : RADIER'
E EC2 KNM2 FCK 35.000000
RO 25.000000
TEMP 0.10000000E-04
RH 80.000000
RM_EC 700.000000
CIMENT R
FIN

# Beton pour etude long terme : RADIER

MATERIAU 51 'Beton pour etude long terme : RADIER'
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 4 MATERIAU 50 # Radier

# CARACTERISTIQUES DE SOL ELASTIQUE - COURT TERME

PROPRIETES PSE 4 SX 12.60000000 IZ 0.51450000 VY 0.35000000 WY 0.35000000
ZONE 1 KFY 284752.8 KFX 10.000000

# 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	-914.13	-4966.3	-5686.1
2	0.199	-914.13	-4767.6	-4719.3
2	0.397	-914.13	-4569.0	-3791.9
2	0.596	-914.13	-4370.3	-2904.0
2	0.795	-914.13	-4171.7	-2055.6
2	0.993	-914.13	-3973.0	-1246.6
2	1.192	-914.13	-3774.4	-477.07
2	1.391	-914.13	-3575.7	252.99
2	1.589	-914.13	-3377.1	943.58
2	1.788	-914.13	-3178.4	1594.7
2	1.987	-914.13	-2979.8	2206.4

...
Lignes supprimées

2	8.145	-914.13	3178.4	1594.7
2	8.343	-914.13	3377.1	943.58
2	8.542	-914.13	3575.7	252.99
2	8.741	-914.13	3774.4	-477.07
2	8.939	-914.13	3973.0	-1246.6
2	9.138	-914.13	4171.7	-2055.6
2	9.337	-914.13	4370.3	-2904.0
2	9.535	-914.13	4569.0	-3791.9
2	9.734	-914.13	4767.6	-4719.3
2	9.933	-914.13	4966.3	-5686.1

Barre	Abscisse	Dx	Dy	Rz
2	0.000	-.18503E-04	0.72462E-02	0.38487E-02
2	0.199	-.17763E-04	0.80431E-02	0.41644E-02

...
Lignes supprimées

2	4.370	-.22204E-05	0.24192E-01	0.11999E-02
2	4.569	-.14802E-05	0.24391E-01	0.80393E-03
2	4.768	-.74012E-06	0.24511E-01	0.40316E-03
2	4.966	0.70273E-11	0.24551E-01	0.26961E-13
2	5.165	0.74013E-06	0.24511E-01	-.40316E-03
2	5.364	0.14803E-05	0.24391E-01	-.80393E-03
2	5.562	0.22204E-05	0.24192E-01	-.11999E-02

...
Lignes supprimées

2	9.535	0.17023E-04	0.88969E-02	-.44227E-02
2	9.734	0.17763E-04	0.80431E-02	-.41644E-02
2	9.933	0.18503E-04	0.72462E-02	-.38487E-02

5.2 - Fichiers des facteurs de coefficients transversaux Guyon

Cas du PICF 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
            1.0592    1.3253    1.9065    2.0899    2.0664    2.0899    1.9065    1.3253    1.0592

--- 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
            1.0592    1.3253    1.9065    2.0899    2.0664    2.0899    1.9065    1.3253    1.0592

--- 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
            1.0552    1.3864    1.8216    1.9493    1.9179    1.9493    1.8216    1.3864    1.0552

...
Lignes supprimées
...
    
```

5.3 - Fichiers pour le calcul de la flexion longitudinale

Cas du PICF avec remblai

```

OPTION PLANE
SORTIE '..\Projets\PICF_0100_0\Fichiers_Echanges\PICF_0100_0_STM.txt' non pagine

# NOEUDS
NOEUD      2  0.000000  0.000000 # Noeud gauche de la traverse
NOEUD      3  9.932587  0.000000 # Noeud droit de la traverse
NOEUD      1  0.000000 -6.350000 # Pied du piedroit gauche
NOEUD      4  9.932587 -6.350000 # Pied du piedroit droit
NOEUD     13  0.000000 -6.700000 # Noeud barre rigide a gauche
NOEUD     43  9.932587 -6.700000 # Noeud barre rigide a droite

# APPUIS
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      4  DE      1  A      4 # Radier
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  7.20000000  IZ  0.09600000  VY  0.20000000  WY  0.20000000
PROPRIETES  1  SX  7.07065530  IZ  0.09091860  VY  0.19640709  WY  0.19640709
PROPRIETES 13  SX  707.06552971  IZ  9.09186000  VY  0.19640709  WY  0.19640709
PROPRIETES  3  SX  7.07065530  IZ  0.09091860  VY  0.19640709  WY  0.19640709
PROPRIETES 43  SX  707.06552971  IZ  9.09186000  VY  0.19640709  WY  0.19640709

# 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
  4 SECTION 0.00 A 1.00 PAS  0.10000000 RELATIF # Radier
FIN

# DEFINITION DES BETONS
# Beton pour etudes de court terme et phasage avec retrait sans fluage : TRAVERSE
MATERIAU 10 "Beton pour etudes de court terme et 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   765.95745
CEMENT R
FIN

# Beton pour etudes de court terme et phasage avec fluage sans retrait : TRAVERSE

MATERIAU 11 "Beton pour etudes de court terme et 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   765.95745
CEMENT R
FIN

# Beton pour etude long terme : TRAVERSE

MATERIAU 12 "Beton pour etude long terme : TRAVERSE"
E      11359049.
RO      25.000000
TEMP    0.10000000E-04
FIN

# Beton pour etudes de court terme et phasage avec retrait sans fluage : PIEDROITS

MATERIAU 40 "Beton pour etudes de court terme et 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   350.00000
CEMENT R
FIN

# Beton pour etudes de court terme et phasage avec fluage sans retrait : PIEDROITS

MATERIAU 41 "Beton pour etudes de court terme et 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   350.00000
CEMENT R
FIN

# Beton pour etude long terme : PIEDROITS

MATERIAU 42 "Beton pour etude long terme : PIEDROITS"
E      11359049.
RO      25.000000
TEMP    0.10000000E-04
FIN

# Beton pour etudes de court terme : RADIER

MATERIAU 50 "Beton pour etudes de court terme : RADIER"
E EC2 KNM2 FCK 35.000000
RO      25.000000
TEMP    0.10000000E-04
RH      80.000000
RM_EC   700.00000
CEMENT R
FIN

# Beton pour etudes de court terme et phasage avec fluage sans retrait : RADIER

MATERIAU 51 "Beton pour etudes de court terme et phasage avec fluage sans retrait : RADIER"
E EC2 KNM2 FCK 35.000000
RO      25.000000
TEMP    0.10000000E-04
FLUAGE EC2
RH      80.000000
RM_EC   700.00000
CEMENT R
FIN

# Beton pour etude long terme : RADIER

MATERIAU 52 "Beton pour etude long terme : RADIER"
E      11359049.
RO      25.000000
TEMP    0.10000000E-04
FIN

# AFFECTATION DES BETONS - COURT TERME OU PHASAGE AVEC FLUAGE SEUL

CONSTANTES 2          MATERIAU 11 # Traverse
CONSTANTES 1, 13, 3, 43  MATERIAU 41 # Piedroits
CONSTANTES 4          MATERIAU 51 # Radier

# CARACTERISTIQUES DE SOL ELASTIQUE - LONG TERME

PROPRIETES PSE 4 SX 12.60000000 IZ 0.51450000 VY 0.35000000 WY 0.35000000

```

```

ZONE 1 KFY 142376.4 KFX 10.00000
# POIDS PROPRE OSSATURE SEULE
PHASAGE 710 "Poids propre ossature seule"
DATE 28.00 # Date de decoffrage
ACTIVER BARRES 4 # Radier
CHARGE POIDS PROPRE 4
ACTIVER BARRES 13, 43 # Barres rigides
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 - COURT TERME OU PHASAGE AVEC RETRAIT SEUL
CONSTANTES 2 MATERIAU 10 # Traverse
CONSTANTES 1, 13, 3, 43 MATERIAU 40 # Piedroits
CONSTANTES 4 MATERIAU 50 # Radier
# ETUDE DU RETRAIT
PHASAGE 240 "Retrait : T = INFINI"
DATE 28.00 # Date de decoffrage
ACTIVER BARRES 4 AGE 28.00 # Radier
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 12 # Traverse
CONSTANTES 1, 13, 3, 43 MATERIAU 42 # Piedroits
CONSTANTES 4 MATERIAU 52 # Radier
# 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
# Coefficient de Marston calcule : 1.016923
CHARGE 790 "Remblai sur le tablier profil PRV"
BARRES 2 UNIFORME FY -244.062
FIN
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 790, 750, 830, 870, 910

```

```

# Enveloppes avec superstructures provisoires
ENV      2020 COMB "Enveloppe superstructures profil PRV"
EFFORT MZ
REAC    MZ
CHARGE  790    0.900000  1.100000 # Remblai sur le tablier profil PRV
CHARGE  750    0.800000  1.200000 # Chape sur tablier profil PRV
CHARGE  830    0.800000  1.400000 # Enrobes sur tablier profil PRV
CHARGE  870    1.000000  1.000000 # Trottoir gauche profil PRV
CHARGE  910    1.000000  1.000000 # Trottoir droit profil PRV
FIN

# Action nominale avec superstructures provisoires
COMB     2040      "Action nominale superstructures profil PRV"
CHARGE  790          # Remblai sur le tablier profil PRV
CHARGE  750          # Chape sur tablier profil PRV
CHARGE  830          # Enrobes sur tablier profil PRV
CHARGE  870          # Trottoir gauche profil PRV
CHARGE  910          # Trottoir droit profil PRV
FIN

# Superstructures definitives
# Coefficient de Marston calcule : 1.016923
CHARGE  800      "Remblai sur le tablier profil DEF"
BARRES 2 UNIFORME FY -244.062
FIN

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 -4.80000
FIN

CHARGE  920      "Trottoir droit profil DEF"
BARRES 2 UNIFORME FY -4.80000
FIN

EXEC CHARGES 800, 760, 840, 880, 920

# Enveloppes avec superstructures definitives
ENV      2030 COMB "Enveloppe superstructures profil DEF"
EFFORT MZ
REAC    MZ
CHARGE  800    0.900000  1.100000 # Remblai sur le tablier profil DEF
CHARGE  760    0.800000  1.200000 # Chape sur tablier profil DEF
CHARGE  840    0.800000  1.400000 # Enrobes sur tablier profil DEF
CHARGE  880    1.000000  1.000000 # Trottoir gauche profil DEF
CHARGE  920    1.000000  1.000000 # Trottoir droit profil DEF
FIN

# Action nominale avec superstructures definitives
COMB     2050      "Action nominale superstructures profil DEF"
CHARGE  800          # Remblai sur le tablier profil DEF
CHARGE  760          # Chape sur tablier profil DEF
CHARGE  840          # Enrobes sur tablier profil DEF
CHARGE  880          # Trottoir gauche profil DEF
CHARGE  920          # Trottoir droit profil DEF
FIN

# CHARGES PERMANENTES DES DALLES DE TRANSITION
ENV      1570 COMB "Enveloppe DDT et remblai sur DDT profil PRV"
EFFORT MZ
REAC    MZ
CHARGE  10          # Charge nulle
FIN

COMB     1610      "Poids propre nominal DDT et remblai sur DDT profil PRV"
CHARGE  10          # Charge nulle
FIN

ENV      1580 COMB "Enveloppe DDT et remblai sur DDT profil DEF"
EFFORT MZ
REAC    MZ
CHARGE  10          # Charge nulle
FIN

COMB     1620      "Poids propre nominal DDT et remblai sur DDT profil DEF"
CHARGE  10          # Charge nulle
FIN

# CHARGES PERMANENTES DE POIDS PROPRE ET DE POUSSEE DES TERRES
# Action des remblais techniques
CHARGE  1670      "Poussee quasi triangulaire des remblais k = 1 a gauche"

```

```

BARRES
  1 LIN XL 0.00000000 1.00000000 REL FY  80.8075      2646.45      LOC
 13 LIN XL 0.00000000 1.00000000 REL FY  2646.45      2787.86      LOC
FIN
CHARGE 1680      "Poussee quasi triangulaire des remblais k = 1 a droite"
BARRES
  3 LIN XL 0.00000000 1.00000000 REL FY -80.8075      -2646.45      LOC
 43 LIN XL 0.00000000 1.00000000 REL FY -2646.45      -2787.86      LOC
FIN
EXEC CHARGES 1670, 1680
ENV 1710 COMB "Action nominale des remblais techniques ka min"
EFFORT MZ
REAC MZ
CHARGE 1670      0.250000      # Poussee quasi triangulaire des remblais k = 1 a gauche
CHARGE 1680      0.250000      # Poussee quasi triangulaire des remblais k = 1 a droite
FIN
ENV 1720 COMB "Action nominale des remblais techniques ka max"
EFFORT MZ
REAC MZ
CHARGE 1670      0.500000      # Poussee quasi triangulaire des remblais k = 1 a gauche
CHARGE 1680      0.500000      # Poussee quasi triangulaire des remblais k = 1 a droite
FIN
ENV 1740      "Action des remblais techniques"
EFFORT MZ
REAC MZ
ENV 1710      1.000000      # Action nominale des remblais techniques ka min
ENV 1720      1.000000      # Action nominale des remblais techniques ka max
ENV 1710      1.000000      # Action nominale des remblais techniques ka min
ENV 1720      1.000000      # Action nominale des remblais techniques ka max
FIN
COMB 1730      "Action nominale des remblais techniques ka moyen"
CHARGE 1670      0.375000      # Poussee quasi triangulaire des remblais k = 1 a gauche
CHARGE 1680      0.375000      # Poussee quasi triangulaire des remblais k = 1 a droite
FIN
# Action du remblai situe sur le tablier
CHARGE 1750      "Poussee rectangulaire des remblais k = 1 a gauche profil PRV"
BARRES
  1 LIN XL 0.00000000 1.00000000 REL FY  323.230      323.230      LOC
 13 LIN XL 0.00000000 1.00000000 REL FY  323.230      323.230      LOC
FIN
EXEC CHARGES 1750
CHARGE 1770      "Poussee rectangulaire des remblais k = 1 a droite profil PRV"
BARRES
  3 LIN XL 0.00000000 1.00000000 REL FY -323.230      -323.230      LOC
 43 LIN XL 0.00000000 1.00000000 REL FY -323.230      -323.230      LOC
FIN
EXEC CHARGES 1770
ENV 1830 COMB "Action nominale du remblai sur le tablier ka min profil PRV"
EFFORT MZ
REAC MZ
CHARGE 1750      0.250000      # Poussee rectangulaire des remblais k = 1 a gauche profil PRV
CHARGE 1770      0.250000      # Poussee rectangulaire des remblais k = 1 a droite profil PRV
FIN
ENV 1850 COMB "Action nominale du remblai sur le tablier ka max profil PRV"
EFFORT MZ
REAC MZ
CHARGE 1750      0.500000      # Poussee rectangulaire des remblais k = 1 a gauche profil PRV
CHARGE 1770      0.500000      # Poussee rectangulaire des remblais k = 1 a droite profil PRV
FIN
ENV 1890      "Action sur remblais techniques du remblai sur tablier profil PRV"
EFFORT MZ
REAC MZ
ENV 1830      0.900000      # Action nominale du remblai sur le tablier ka min profil PRV
ENV 1830      1.100000      # Action nominale du remblai sur le tablier ka min profil PRV
ENV 1850      0.900000      # Action nominale du remblai sur le tablier ka max profil PRV
ENV 1850      1.100000      # Action nominale du remblai sur le tablier ka max profil PRV
FIN
COMB 1870      "Action nominale du remblai sur le tablier ka moyen profil PRV"
CHARGE 1750      0.375000      # Poussee rectangulaire des remblais k = 1 a gauche profil PRV
CHARGE 1770      0.375000      # Poussee rectangulaire des remblais k = 1 a droite profil PRV
FIN
CHARGE 1760      "Poussee rectangulaire des remblais k = 1 a gauche profil DEF"
BARRES
  1 LIN XL 0.00000000 1.00000000 REL FY  323.230      323.230      LOC
 13 LIN XL 0.00000000 1.00000000 REL FY  323.230      323.230      LOC
FIN
EXEC CHARGES 1760
CHARGE 1780      "Poussee rectangulaire des remblais k = 1 a droite profil DEF"
BARRES
  3 LIN XL 0.00000000 1.00000000 REL FY -323.230      -323.230      LOC

```

```

43 LIN XL 0.00000000 1.00000000 REL FY -323.230 -323.230 LOC
FIN
EXEC CHARGES 1780
ENV 1840 COMB "Action nominale du remblai sur le tablier ka min profil DEF"
EFFORT MZ
REAC MZ
CHARGE 1760 0.250000 # Poussee rectangulaire des remblais k = 1 a gauche profil DEF
CHARGE 1780 0.250000 # Poussee rectangulaire des remblais k = 1 a droite profil DEF
FIN
ENV 1860 COMB "Action nominale du remblai sur le tablier ka max profil DEF"
EFFORT MZ
REAC MZ
CHARGE 1760 0.500000 # Poussee rectangulaire des remblais k = 1 a gauche profil DEF
CHARGE 1780 0.500000 # Poussee rectangulaire des remblais k = 1 a droite profil DEF
FIN
ENV 1900 "Action sur remblais techniques du remblai sur tablier profil DEF"
EFFORT MZ
REAC MZ
ENV 1840 0.900000 # Action nominale du remblai sur le tablier ka min profil DEF
ENV 1840 1.100000 # Action nominale du remblai sur le tablier ka min profil DEF
ENV 1860 0.900000 # Action nominale du remblai sur le tablier ka max profil DEF
ENV 1860 1.100000 # Action nominale du remblai sur le tablier ka max profil DEF
FIN
COMB 1880 "Action nominale du remblai sur le tablier ka moyen profil DEF"
CHARGE 1760 0.375000 # Poussee rectangulaire des remblais k = 1 a gauche profil DEF
CHARGE 1780 0.375000 # Poussee rectangulaire des remblais k = 1 a droite profil DEF
FIN
# Action du remblai interieur
CHARGE 1930 "Poids des terres sur le radier"
BARRES
4 LIN XL 0.01977401 0.98022599 REL FY -288.000 -288.000 LOC
FIN
EXEC CHARGES 1930
ENV 1960 COMB "Action du remblai interne"
EFFORT MZ
REAC MZ
CHARGE 1930 1.000000 1.000000 # Poids des terres sur le radier
FIN
# Action globale des remblais hors tablier
ENV 1980 COMB "Enveloppe action des remblais profil PRV"
EFFORT MZ
REAC MZ
ENV 1740 # Action des remblais techniques
ENV 1890 # Action sur remblais techniques du remblai sur tablier profil PRV
ENV 1960 # Action du remblai interne
FIN
COMB 2000 "Action nominale des remblais profil PRV"
COMB 1730 # Action nominale des remblais techniques ka moyen
COMB 1870 # Action nominale du remblai sur le tablier ka moyen profil PRV
CHARGE 1930 # Poids des terres sur le radier
FIN
ENV 1990 COMB "Enveloppe action des remblais profil DEF"
EFFORT MZ
REAC MZ
ENV 1740 # Action des remblais techniques
ENV 1900 # Action sur remblais techniques du remblai sur tablier profil DEF
ENV 1960 # Action du remblai interne
FIN
COMB 2010 "Action nominale des remblais profil DEF"
COMB 1730 # Action nominale des remblais techniques ka moyen
COMB 1880 # Action nominale du remblai sur le tablier ka moyen profil DEF
CHARGE 1930 # Poids des terres sur le radier
FIN
# ENVELOPPES POIDS PROPRE, SUPERSTRUCTURES, REMBLAIS
ENV 2060 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 2020 # Enveloppe superstructures profil PRV
ENV 1980 # Enveloppe action des remblais profil PRV
ENV 1570 # Enveloppe DDT et remblai sur DDT profil PRV
FIN
COMB 2100 "Poids propre + superstructures (+ remblais) nominal profil PRV"
PHASAGE 240 # Retrait : T = INFINI
PHASAGE 710 # Poids propre ossature seule
COMB 2040 # Action nominale superstructures profil PRV
COMB 2000 # Action nominale des remblais profil PRV
COMB 1610 # Poids propre nominal DDT et remblai sur DDT profil PRV
FIN

```

```

ENV      2070 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      2030     # Enveloppe superstructures profil DEF
ENV      1990     # Enveloppe action des remblais profil DEF
ENV      1580     # Enveloppe DDT et remblai sur DDT profil DEF
FIN

COMB     2110     "Poids propre + superstructures (+ remblais) nominal profil DEF"
PHASAGE 240      # Retrait : T = INFINI
PHASAGE 710      # Poids propre ossature seule
COMB     2050     # Action nominale superstructures profil DEF
COMB     2010     # Action nominale des remblais profil DEF
COMB     1620     # Poids propre nominal DDT et remblai sur DDT profil DEF
FIN

# TASSEMENTS D'APPUI NULS POUR PICF

# Enveloppe des tassements probables

COMB     2190     'Tassements probables'
CHARGE   10      # Charge nulle
FIN

# Enveloppe des tassements aleatoires

ENV      2330     'Enveloppe tassements aleatoires'
EFFORT MZ
REAC    MZ
CHARGE   10      # Charge nulle
FIN

# AFFECTATION DES BETONS - COURT TERME OU PHASAGE

CONS 2      MATERIAU 10 # Traverse
CONS 1, 13, 3, 43 MATERIAU 40 # Piedroits
CONS 4      MATERIAU 50 # Radier

# CARACTERISTIQUES DE SOL ELASTIQUE - COURT TERME

PROPRIETES PSE 4 SX 12.60000000 IZ 0.51450000 VY 0.35000000 WY 0.35000000
ZONE 1 KFY 284752.8 KFX 10.00000

# 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

...
Lignes supprimées
...

# CHARGE : LM3 VS generalise 100 caracteristique AFF 1 profil PRV

TABLIER

CLASSE TRAFIC 2

ZONE_TRANS
1 LARG 9.000 # Chaussee

BARRES 2

LDIF 0.8619

REP_TRANS
KBARRE 2 KTRANS 3.13483 # Dyn : 1.50000 K : 2.08988

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 0.04650150 REL FY -5.46598 -5.46598 LOC
  1 LIN XL 0.00000000 0.10000000 REL FY 2.30048 2.26108 LOC
  1 LIN XL 0.10000000 0.20000000 REL FY 2.26108 2.22301 LOC
  1 LIN XL 0.20000000 0.30000000 REL FY 2.22301 2.18619 LOC
  1 LIN XL 0.30000000 0.40000000 REL FY 2.18619 2.15058 LOC
  1 LIN XL 0.40000000 0.50000000 REL FY 2.15058 2.11611 LOC
  1 LIN XL 0.50000000 0.60000000 REL FY 2.11611 2.08273 LOC
  1 LIN XL 0.60000000 0.70000000 REL FY 2.08273 2.05038 LOC
  1 LIN XL 0.70000000 0.80000000 REL FY 2.05038 2.01902 LOC
  1 LIN XL 0.80000000 0.90000000 REL FY 2.01902 1.98861 LOC
  1 LIN XL 0.90000000 1.00000000 REL FY 1.98861 1.95910 LOC
  13 LIN XL 0.00000000 1.00000000 REL FY 1.94320 1.94320 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 0.95349850 1.00000000 REL FY -5.46598 -5.46598 LOC
  3 LIN XL 0.00000000 0.10000000 REL FY -2.30048 -2.26108 LOC
  3 LIN XL 0.10000000 0.20000000 REL FY -2.26108 -2.22301 LOC
  3 LIN XL 0.20000000 0.30000000 REL FY -2.22301 -2.18619 LOC
  3 LIN XL 0.30000000 0.40000000 REL FY -2.18619 -2.15058 LOC
  3 LIN XL 0.40000000 0.50000000 REL FY -2.15058 -2.11611 LOC
  3 LIN XL 0.50000000 0.60000000 REL FY -2.11611 -2.08273 LOC
  3 LIN XL 0.60000000 0.70000000 REL FY -2.08273 -2.05038 LOC

```

```

3 LIN XL 0.70000000 0.80000000 REL FY -2.05038 -2.01902 LOC
3 LIN XL 0.80000000 0.90000000 REL FY -2.01902 -1.98861 LOC
3 LIN XL 0.90000000 1.00000000 REL FY -1.98861 -1.95910 LOC
43 LIN XL 0.00000000 1.00000000 REL FY -1.94320 -1.94320 LOC
FIN
EXEC CHARGES 2440
DESACTIVER APPUIS 2
ENV 4300 'LM3 VS generalise 100 caracteristique AFF 1 REBLAI 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 REBLAI profil PRV
ENV 4310 'LM3 VS generalise 100 caracteristique AFF 1 TABLIER et REBLAI 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 REBLAI 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 0.8619
REP_TRANS
KBARRE 2 KTRANS 3.13483 # Dyn : 1.50000 K : 2.08988
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 # Chaussee
BARRES 2
LDIF 0.8619
REP_TRANS
KBARRE 2 KTRANS 2.92398 # Dyn : 1.50000 K : 1.94932
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 REBLAI profil PRV
ENV 4340 'LM3 VS generalise 100 ultime AFF 1 TABLIER et REBLAI 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 REBLAI profil PRV
FIN

```

```
# CHARGE : Chantier 23 m3 caracteristique AFF 1 profil PRV

TABLIER

CLASSE TRAFIC 2

ZONE_TRANS
1 LARG 9.000 # Chaussee

BARRES 2

LDIF 0.8619

REP_TRANS
KBARRE 2 KTRANS 3.16785 # Dyn : 1.50000 K : 2.11190

FIN

SURCH 4350 'Chantier 23 m3 caracteristique AFF 1 profil PRV'
EFFORT MZ
REAC MZ
CONVOI 1009
ZONE 1
FIN

EXEC SURCH 4350

...
Lignes supprimées
...
```

```
# CHARGE : LM1 caracteristique AFF 2 profil DEF

TABLIER

CLASSE TRAFIC 2

ZONE_TRANS
1 LARG 11.000 # Chaussee

BARRES 2

LDIF 0.7419

REP_TRANS
KBARRE 2 KTRANS 1.73170 # Dyn : 1.00000 K : 1.73170

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 0.04650150 REL FY -247.653 -247.653 LOC
1 LIN XL 0.00000000 0.10000000 REL FY 104.230 94.7980 LOC
1 LIN XL 0.10000000 0.20000000 REL FY 94.7980 87.1068 LOC
1 LIN XL 0.20000000 0.30000000 REL FY 87.1068 80.7153 LOC
1 LIN XL 0.30000000 0.40000000 REL FY 80.7153 75.3197 LOC
1 LIN XL 0.40000000 0.50000000 REL FY 75.3197 70.7041 LOC
1 LIN XL 0.50000000 0.60000000 REL FY 70.7041 66.7107 LOC
1 LIN XL 0.60000000 0.70000000 REL FY 66.7107 63.2216 LOC
1 LIN XL 0.70000000 0.80000000 REL FY 63.2216 60.1340 LOC
1 LIN XL 0.80000000 0.90000000 REL FY 60.1340 56.9567 LOC
1 LIN XL 0.90000000 1.00000000 REL FY 56.9567 54.1029 LOC
13 LIN XL 0.00000000 1.00000000 REL FY 52.6506 52.6506 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 0.95349850 1.00000000 REL FY -247.653 -247.653 LOC
3 LIN XL 0.00000000 0.10000000 REL FY -104.230 -94.7980 LOC
3 LIN XL 0.10000000 0.20000000 REL FY -94.7980 -87.1068 LOC
3 LIN XL 0.20000000 0.30000000 REL FY -87.1068 -80.7153 LOC
3 LIN XL 0.30000000 0.40000000 REL FY -80.7153 -75.3197 LOC
3 LIN XL 0.40000000 0.50000000 REL FY -75.3197 -70.7041 LOC
3 LIN XL 0.50000000 0.60000000 REL FY -70.7041 -66.7107 LOC
3 LIN XL 0.60000000 0.70000000 REL FY -66.7107 -63.2216 LOC
3 LIN XL 0.70000000 0.80000000 REL FY -63.2216 -60.1340 LOC
3 LIN XL 0.80000000 0.90000000 REL FY -60.1340 -56.9567 LOC
3 LIN XL 0.90000000 1.00000000 REL FY -56.9567 -54.1029 LOC
43 LIN XL 0.00000000 1.00000000 REL FY -52.6506 -52.6506 LOC
```

```

FIN
EXEC CHARGES 2440
DESACTIVER APPUIS 2
ENV      4480      'LM1 caracteristique AFF 2 REBLAI 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 : 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      # LM1 caracteristique AFF 2 profil DEF
  ENV    4480      1.000000      # 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  0.7419
  REP_TRANS
  KBARRE 2 KTRANS 1.75304 # Dyn : 1.00000 K : 1.75304
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  0.7419
  REP_TRANS
  KBARRE 2 KTRANS 1.64668 # Dyn : 1.00000 K : 1.64668
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      # LM1 ultime AFF 2 profil DEF
  ENV    4480      1.350000      # LM1 caracteristique AFF 2 REBLAI profil DEF
FIN
...
Lignes supprimées
...
# CHARGE : LM1 et trottoirs (grla) caracteristique AFF 2 profil DEF
ENV      4880 COMB 'LM1 et trottoirs (grla) caracteristique AFF 2 profil DEF'
  EFFORT MZ
  REAC   MZ
  ENV    4490      # LM1 caracteristique AFF 2 TABLIER et REBLAI profil DEF
  ENV    4730      # Trottoir LM1 (3 kN/m2) caracteristique AFF 2 TABLIER et REBLAI profil DEF
FIN

```

```

# CHARGE : LM1 et trottoirs (grla) frequent AFF 2 profil DEF
ENV      4890 COMB 'LM1 et trottoirs (grla) frequent AFF 2 profil DEF'
EFFORT MZ
REAC   MZ
SURCH  4500          # LM1 frequent AFF 2 profil DEF
FIN

# CHARGE : LM1 et trottoirs (grla) combinaison AFF 2 profil DEF
ENV      4900 COMB 'LM1 et trottoirs (grla) 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          # LM1 ultime AFF 2 TABLIER et REMBLAI profil DEF
ENV      4770          # Trottoir LM1 (3 kN/m2) ultime AFF 2 TABLIER et REMBLAI profil DEF
FIN

# ENVELOPPES DES CHARGES D'EXPLOITATION, PROFIL PROVISOIRE
ENV      2450          'Enveloppe Q frequentes compatibles avec T profil PRV'
EFFORT MZ
REAC   MZ
SURCH  4320          # LM3 VS generalise 100 frequent AFF 1 profil PRV
ENV      4380          # Chantier 23 m3 frequent AFF 1 profil PRV
ENV      4440          # Chantier 34 m3 frequent AFF 1 profil PRV
FIN

ENV      2470          'Enveloppe Q frequentes incompatibles avec T profil PRV'
EFFORT MZ
REAC   MZ
CHARGE  10          # Charge nulle
FIN

ENV      2490          'Enveloppe Q caracteristiques compatibles avec T profil PRV'
EFFORT MZ
REAC   MZ
ENV      4310          # LM3 VS generalise 100 caracteristique AFF 1 TABLIER et REMBLAI profil PRV
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      2510          'Enveloppe Q caracteristiques incompatibles avec T profil PRV'
EFFORT MZ
REAC   MZ
CHARGE  10          # Charge nulle
FIN

ENV      2530          'Enveloppe Q combinaison profil PRV'
EFFORT MZ
REAC   MZ
CHARGE  10          # Charge nulle
FIN

ENV      2550          'Enveloppe Q ultimes compatibles avec T profil PRV'
EFFORT MZ
REAC   MZ
ENV      4340          # LM3 VS generalise 100 ultime AFF 1 TABLIER et REMBLAI profil PRV
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      2570          'Enveloppe Q ultimes incompatibles avec T profil PRV'
EFFORT MZ
REAC   MZ
CHARGE  10          # Charge nulle
FIN

ENV      2590          'Enveloppe Q accidentelles profil PRV'
EFFORT MZ
REAC   MZ
CHARGE  10          # Charge nulle
FIN

# ENVELOPPES DES CHARGES D'EXPLOITATION, PROFIL DEFINITIF
ENV      2460          'Enveloppe Q frequentes compatibles avec T profil DEF'
EFFORT MZ
REAC   MZ
SURCH  4850          # LM3 VS R/EG C2 frequent AFF 3 profil DEF
ENV      4890          # LM1 et trottoirs (grla) frequent AFF 2 profil DEF
FIN

ENV      2480          'Enveloppe Q frequentes incompatibles avec T profil DEF'
EFFORT MZ
REAC   MZ
ENV      4560          # LM2 frequent AFF 2 profil DEF
FIN

```

```

ENV      2500      'Enveloppe Q caracteristiques compatibles avec T profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      4610      # MC 80 caracteristique AFF 2 TABLIER et REMLAI profil DEF
ENV      4670      # MC 120 caracteristique AFF 2 TABLIER et REMLAI profil DEF
ENV      4840      # LM3 VS R/EG C2 caracteristique AFF 3 TABLIER et REMLAI profil DEF
ENV      4880      # LM1 et trottoirs (grla) caracteristique AFF 2 profil DEF
FIN

ENV      2520      'Enveloppe Q caracteristiques incompatibles avec T profil DEF'
EFFORT MZ
REAC    MZ
ENV      4550      # LM2 caracteristique AFF 2 TABLIER et REMLAI profil DEF
FIN

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 REMLAI profil DEF
ENV      4700      # MC 120 ultime AFF 2 TABLIER et REMLAI profil DEF
ENV      4870      # LM3 VS R/EG C2 ultime AFF 3 TABLIER et REMLAI 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 REMLAI 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 REMLAI profil PRV
ENV      4430      # Chantier 34 m3 caracteristique AFF 1 TABLIER et REMLAI 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 REMLAI profil PRV
ENV      4460      # Chantier 34 m3 ultime AFF 1 TABLIER et REMLAI 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 REMLAI 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 REMLAI 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
...
```

5.4 - Fichiers des efforts de flexion transversale Guyon

Cas du PICF 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 7.4171 9.0787 9.3927 9.4347 9.3927 9.0787 7.4171 0.0000
          Max 0.0000 7.4171 9.0787 9.3927 9.4347 9.3927 9.0787 7.4171 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 -7.5802 -7.1890 -5.3747 -7.1287 -5.4286 -7.1910 -7.5847 0.0000
          Max 0.0000 9.4445 48.421 64.136 64.970 64.047 48.442 9.4446 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 -5.3441 -5.0632 -3.7303 -5.0433 -3.7839 -5.0625 -5.3450 0.0000
          Max 0.0000 6.8356 33.838 45.800 46.367 45.741 33.855 6.8356 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 -22.155 -20.429 -19.162 -23.868 -19.385 -20.414 -22.149 0.0000
          Max 0.0000 0.41740 39.825 52.465 53.843 52.337 39.961 0.41731 0.0000

...
Lignes supprimées
...

--- RESULTATS DE LA SURCHARGE : 4710 ---

Titre : Trottoir LMI (3 kN/m2) 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 -.88612E-02 -.24085E-01 -.19336 -.23693 -.19272 -.24286E-01 -.89350E-02 0.0000
          Max 0.0000 1.0627 0.45073 0.0000 0.0000 0.0000 0.44700 1.0539 0.0000

--- RESULTATS DE L'ENVELOPPE : 4750 ---

Titre : Trottoir LMI (3 kN/m2) combinaison 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 -.35445E-02 -.96342E-02 -.77342E-01 -.94772E-01 -.77088E-01 -.97144E-02 -.35740E-02 0.0000
          Max 0.0000 0.42509 0.18029 0.0000 0.0000 0.0000 0.17880 0.42158 0.0000

--- RESULTATS DE LA SURCHARGE : 4760 ---

Titre : Trottoir LMI (3 kN/m2) 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 -.16851E-01 -.92233E-01 -.53160 -.51354 -.52911 -.92233E-01 -.16991E-01 0.0000
          Max 0.0000 0.94117 0.20135 0.0000 0.0000 0.0000 0.19969 0.93339 0.0000

...
Lignes supprimées
...

```


Annexes

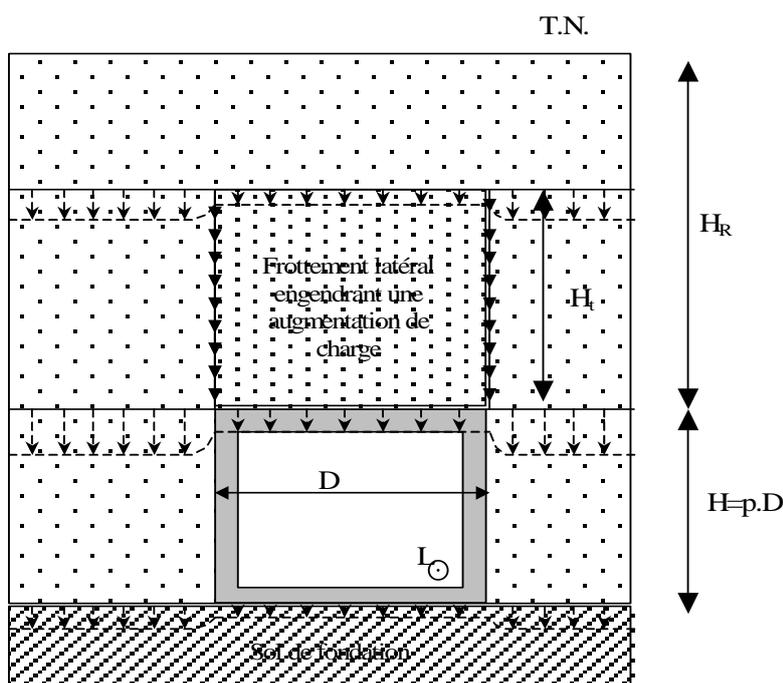
1 - Annexes génériques

Un document CHAMOA Annexe rassemble toutes les annexes non spécifiques au type d'ouvrage, en particulier , on y retrouve les combinaisons d'actions.

2 - 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 d'égal 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

$$k\mu = \max \left[\tan \varphi \cdot \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) \right] = \left[\tan \frac{\pi}{6} \cdot \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\pi}{6} \right) \right] = 0,1925$$

- 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 cadre 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

3 - Calcul du Module de réaction du sol k

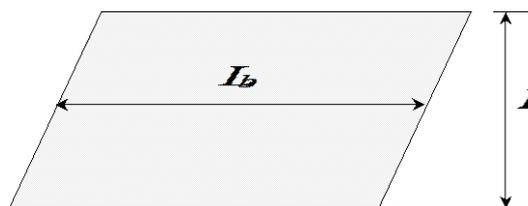
Conformément au fascicule 62 titre V, les semelles ou les radiers sont calculés suivant l'hypothèse de Winkler (ou de Westergaard), consistant à admettre que la réaction du sol sous un point de la fondation est liée au déplacement vertical de ce point par une relation de la forme :

$$\sigma_v = k_v \cdot \delta_v \quad \text{pour les déplacements à long terme.}$$

$$\sigma_i = k_i \cdot \delta_i \quad \text{pour les déplacements à court terme.}$$

k est un module de réaction du sol (MPa/m) qui sert à la modélisation des ressorts sous la semelle. Généralement, on admet $k_i \approx 2 \cdot k_v$, bien que l'on sache que, pour les sols granulaires très poreux, $k_i \approx k_v$.

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 :

3.1 - 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 $L/B \rightarrow \infty$.

3.2 - 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

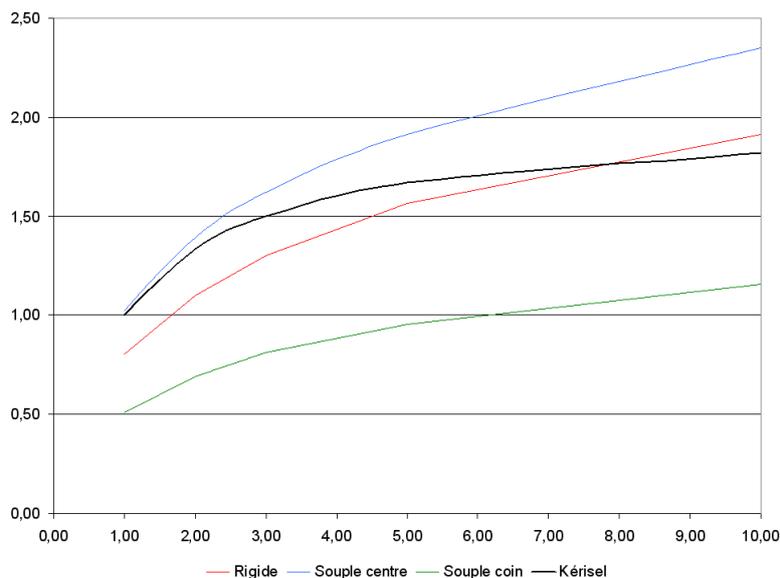
On peut alors appliquer le fascicule 62 titre V Annexe F2, qui reprend les résultats classiques de Boussinesq et Giraud :

$$w = C_f \cdot (1 - \nu^2) \cdot B \cdot \frac{p}{E_{SOL}} \quad (2)$$

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 $\nu \approx 0,3$, 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) :

$$C_f \cdot (1 - \nu^2) \approx \frac{2L}{L+B} \quad (3)$$

dont on remarque qu'elle surestime un peu les tassements théoriques d'une fondation carrée.

Le rapprochement des expressions (2) et (3) donne alors :

$$w \approx \frac{2B}{E_{SOL}} \frac{L}{L+B} \cdot p$$

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 :

$$k_v = \frac{E_{SOl} L+B}{2B} \frac{L}{L} \quad (4)$$

- B : « largeur de la fondation » = $\min(D, L_b)$
- L : « longueur de la fondation » = $\max(D, L_b)$

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.