



CALCUL DE PONT TYPE

NOTICE D'UTILISATION ET DE FONCTIONNEMENT

Calcul, aux Eurocodes, de pont route de type cadre fermé.



Sommaire :

1. Possibilités du logiciel.....	3
2. Comment utiliser le programme de calcul	5
1. Enregistrement.....	6
2. Utilisation	6
3. Bordereau	6
3. Comment remplir le bordereau	7
4. Comment fonctionne le programme ?.....	15
1. Ouvrage modélisé.....	16
2. Cas de charges	18
2.1 Liste des cas de charge	18
2.2 Détails des charges permanentes	23
2.3 Détails des charges d'exploitation.....	23
2.4 Détails des sollicitations sismiques	25
3. Sollicitations dans les directions de ferrailage	27
3.1 Dispositions du ferrailage.....	27
3.1 Calcul des sollicitations dans les directions de ferrailage	28
4. Combinaisons	28
5. Présentation des sollicitations.....	30
5.1 Présentation des points de mesure du Radier	31
5.2 Présentation des points de mesure du Piédroit	31
5.3 Présentation des points de mesure de la Traverse	32
6. Matériaux.....	32
7. Calculs des sections Béton Armé	32
7.1 Enrobage et bras de levier	32
7.2 Loi contrainte-déformation des matériaux.....	33
7.3 Calculs menés	34
7.4 Ferrailage de répartition.....	35
7.5 Résultats.....	35
7.6 Synthèse proposée dans la note de calcul	35
8. Quantitatif estimatif.....	35
9. Annexes	36
9.1 Note SETRA d'Octobre 1982 sur les Transports Exceptionnels Annexe 5 - Convois types pour la vérification des Ouvrages d'Art	36
9.2 Extrait du fascicule 61 titre II : définition des charges Militaires	37

1.

Possibilités du logiciel

Le programme permet de calculer les ponts route de type cadre fermé suivant les règlements Eurocodes.

Le biais n'est pas limité et même les ouvrages fortement biais peuvent être modélisés.

Les charges d'exploitations LM1, LM2, LM3, LM4 peuvent être sélectionnées, ainsi que les convois exceptionnels. Une phase travaux est aussi possible par la modélisation d'un remblai provisoire et d'engins de chantier.

La traverse supérieure accueille une chaussée d'une largeur maximale de 32,99m (10 voies conventionnelles maximum) ainsi que des trottoirs, dispositifs de retenu, talus et bermes. Un ouvrage enterré est modélisable par une épaisseur de remblai sur traverse.

Par ailleurs, le biais de franchissement peut être différent du biais géométrique de l'ouvrage (généralement le cas des franchissements très biais pour lesquels le biais géométrique de l'ouvrage est souvent limité).

L'ouvrage est modélisé en 3 dimensions et les dimensions exactes des piédroits, traverse et radier sont prises en compte.

Le programme inclut les sollicitations sismiques selon la réglementation Française.

2. **Comment utiliser le programme de** **calcul**

L'utilisation du programme n'est possible qu'après enregistrement auprès de calculOA (info@calculOA.eu).

Ensuite, la démarche est très simple, il suffit d'envoyer un bordereau de donnée rempli par mail pour obtenir la note de calcul en retour.

La durée de traitement varie en fonction de la complexité et des dimensions de l'ouvrage (en général quelques heures).

1. Enregistrement

Contactez calculOA par e-mail : info@calculOA.eu afin de vous enregistrer et d'obtenir un code entreprise. Ce code devra être conservé et sera reporté dans le bordereau sur la ligne correspondante (voir Partie 3 – comment remplir le bordereau). L'enregistrement consiste en la signature d'un protocole d'utilisation des services de calculOA.

2. Utilisation

Une fois enregistré, il suffit de compléter le formulaire excel et de le renvoyer par mail à l'adresse suivante : commande_pont_cadre_route@calculoa.eu

Attention, l'envoi d'un formulaire à cette adresse fait office de commande. Si vous souhaitez d'avantage d'information avant la commande : info@calculOA.eu

Vous pouvez renommer le formulaire excel, rajouter d'autres onglets ou même intégrer l'onglet « calculOA_cadre_route » dans un autre fichier. Par contre, il ne faut pas renommer l'onglet « calculOA_cadre_route ».

Une fois le traitement de votre commande achevé par calculOA, vous recevez, à l'adresse e-mail indiquée dans le bordereau, la note de calcul et ses annexes.

3. Bordereau

Le bordereau de commande se présente sous la forme d'un fichier « .xls » (version xls 2003, sans macro ni script). Il ne devrait donc pas être nécessaire de modifier les paramètres de sécurité de votre tableur pour ouvrir et compléter le bordereau.

Ce bordereau peut être récupéré soit sur notre site internet www.calculoa.eu soit en le demandant par mail à info@calculOA.eu

Le remplissage de ce bordereau fait l'objet du chapitre suivant.

3.

Comment remplir le bordereau

Le bordereau de donnée se présente sous la forme d'un fichier excel ne contenant qu'un seul onglet. Les cases à remplir par l'utilisateur sont les cases vertes ; la colonne à droite de chaque case indique l'unité à utiliser ou donne des indications sur les informations à fournir. Les cases qui ne doivent pas être modifiées sont verrouillées.

Les pages suivantes présentent, le bordereau excel et des informations pour aider à compléter chaque donnée requise.

unités	
Information commande	
titre du projet	Projet de contournement de Tat
sous-titre projet	OA05 - RD35 passage chemin r
Société et nom de personne qui commande	SICAUTE - M. DURANT
telephone	
mail	
référence client	
Imputation commande	
Règlement à appliquer : Eurocode seul? Ou avec DAN Française ?	fra

Informations :

- titre, sous-titre... : permet de personnaliser la page de garde de la note de calcul avec les indications relatives au projet, au stade de l'étude, au client, Ces cases apparaissent dans la note de calcul et sont totalement libre.
- Société et nom de la personne qui commande : renseignements à compléter ; apparaît également dans la note de calcul.
- téléphone : indiquer le numéro de téléphone de la personne qui commande. N'apparaît pas dans la note de calcul mais permet à calculOA de vous joindre facilement en cas de besoin.
- mail : indiquer le mail à utiliser dans les correspondances (validation de commande, ...). CalculOA ne répondra pas à l'expéditeur mais au mail noté ici (nécessaire suivant la configuration de votre messagerie d'entreprise)
- référence client : indiquer ici le code fourni par calculOA. Ce code permet de vous identifier et de gérer la facturation.
- imputation commande : peut être laissé vide. Vous permet d'indiquer un code qui sera repris sur les factures. Ce code est propre à votre entreprise et est facultatif.
- règlement : indiquer EUR ou FRA pour appliquer l'Eurocode seul ou avec les Annexes Nationales Françaises

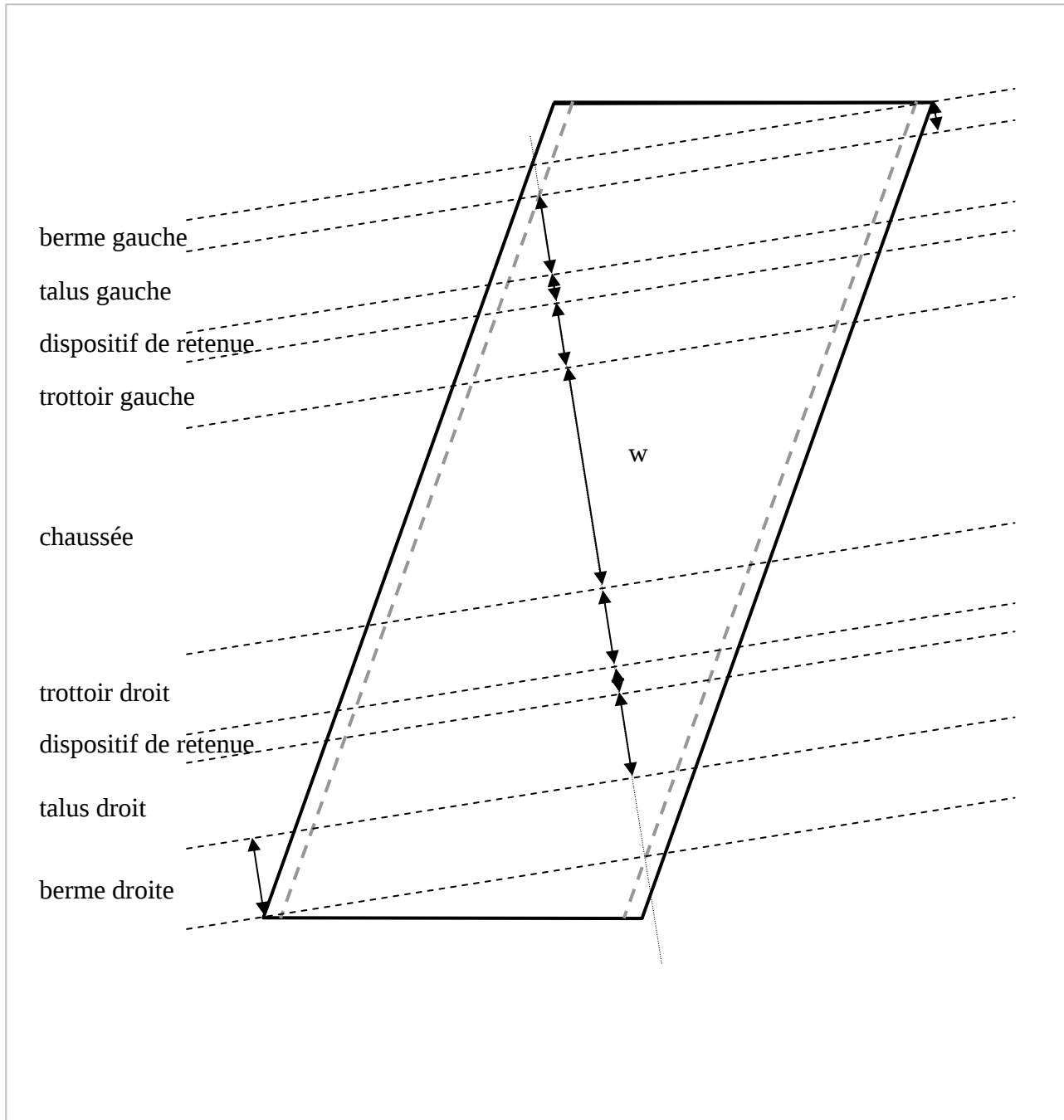
Données		
Données géométriques de l'ouvrage :		
ouverture droite		8,7 m
biais mécanique de l'ouvrage		80 g
longueur radier		28 m
longueur piédroit		28 m
épaisseur piédroits (épaisseur droite)		0,4 m
épaisseur traverse		0,35 m
épaisseur radier		0,5 m
hauteur libre à l'axe (entre face sup radier et face inf traverse)		4,35 m
niveau inférieur du radier (côte Z)		168,74 m
biais de franchissement de la voie portée		51 g
largeur de la berme de gauche		0 m
largeur du talus de gauche		1,4 m
largeur dispositif de rive gauche		0,28 m
largeur du trottoir de gauche		3,86 m
largeur de la chaussée (4.2.3) entre dispositif de retenu ou bordure extérieurs		6 m
largeur du trottoir de droite		1,86 m
largeur dispositif de rive gauche		0,28 m
largeur du talus de droite		1,4 m
largeur de la berme de droite		0 m
Vérification de la pente des talus	ok	
Valeur calculée de la longueur de la traverse (longueur biaise)		15,86 m

Informations :

- données géométriques : compléter avec les données géométriques de l'ouvrage : Ouverture droite, Biais mécanique de l'ouvrage exprimé en grad, Longueur du radier, Longueur des piédroits, Epaisseur piédroits, traverse, radier en mètre, Hauteur libre entre face supérieure du radier et intrados de la traverse, Niveau inférieure du radier : indiquer la cote (en Z) de la face inférieure du radier,
- Biais de franchissement : correspond au biais réel entre les voies portées et les voies franchies (inférieur ou égal au biais géométrique)
- Les valeurs de la traverse sont données perpendiculairement à l'axe de la voie portée : largeur de la berme de gauche (peut être nul), largeur du talus de gauche (peut être nul), largeur Dispositif de rive gauche et droit : indiquer la largeur d'un éventuel dispositif de retenue (ou autre) en m (peut être pris égal à zéro), Largeur du trottoir gauche et droit : indiquer la largeur d'un éventuel trottoir (ou autre) en m (peut être pris égal à zéro).
- Largeur de chaussée entre dispositif de retenu ou bordure : indiquer la largeur de la chaussée prise entre trottoirs.

- La feuille excel vérifie les pentes des talus (le message « erreur » est affiché si la pente dépasse une pente à 3 pour 2) et calcule automatiquement, pour vérification par l'utilisateur, la longueur de la traverse.

Dans le cas où le biais de franchissement est différent du biais géométrique, les largeurs des bermes sont données à leur point minimum comme le montre le schéma ci-dessous.



Données de chargement

charge d'exploitation

classe de l'ouvrage	1
durée de vie de l'ouvrage	100 ans
LM1 - charges concentrées et uniformément réparties	oui
LM2 - essieu unique	o
LM3 - véhicules spéciaux	oui
LM4 - charge de foule	oui
Engins de chantier	oui
Détails LM3 - Véhicules spéciaux à prendre en compte :	
Vitesse de circulation LM3 (pour tous les convois)	N
3ème classe (classe C)	
C2	n
4ème classe (classe D)	
D.2F.1	n
D.3F.1	oui
D.3F.2	n
5ème classe (classe E)	
E.2F.1	n
E.3F.1	n
E.3F.2	oui
Véhicules Militaires	
Convoi M 80	n
Convoi M 120	oui
Détails engins de chantier	
engin de terrassement 23m3 suivant NA	oui
engin de terrassement 34m3 suivant NA	oui
épaisseur de remblai sur traverse en phase chantier	0,3 m

Informations :

Charge d'exploitation :

- classe de l'ouvrage : 1 ou 2 pour les DAN Française (en cas de sélection du règlement EUR, la valeur n'est pas prise en compte).
- Durée de vie de l'ouvrage à indiquer en année.
- Pour les différentes charges d'exploitation, remplir chaque case par oui ou non ;
- Faire de même pour les détails relatifs au chargement LM3 et engin de chantier.
- Epaisseur remblai de chantier : Indiquer en mètre l'épaisseur totale de remblai à prendre en compte en phase chantier (y compris épaisseur de l'étanchéité ou de protection). Les engins de chantiers circuleront sur cette épaisseur de remblai.

charges permanentes**Sur la traverse supérieure**

épaisseur étanchéité	0,04 m
hauteur de terre sur traverse (ouvrage en service)	0,5 m
épaisseur revêtement de chaussée	0,08 m
charge ramené par le trottoir de gauche	5,7 kN/m ²
charge ramené par le trottoir de droite	6,8 kN/m ²
charge ramené par le dispositif en rive gauche de tablier	11,3 kN/m ²
charge ramené par le dispositif en rive droite de tablier	12,6 kN/m ²

A l'intérieur du cadre

hauteur intérieur des terres	0,5 m
charge d'exploitation à l'intérieur du cadre	10 kN/m ²

Informations :**Charges permanentes :**

- Sur la traverse : les épaisseurs sont à donner en mètre :
 - Epaisseur de l'étanchéité
 - Hauteur de terre sur la traverse ouvrage en service (hauteur prise en compte pour vérifier les talus)
 - Epaisseur de revêtement définitif
- Les charges surfaciques sont à donner en kN/m² : trottoirs et dispositif en rive de tablier (dispositif de retenu, BN4, Garde-Corps, mur, ...)
- A l'intérieur du cadre :
 - Hauteur de terre : indiquer la hauteur des terres à l'intérieur du cadre (charge permanente)
 - Charge d'exploitation : indiquer la charge surfacique à prendre en compte comme charge d'exploitation à l'intérieur du cadre.

Hypothèses

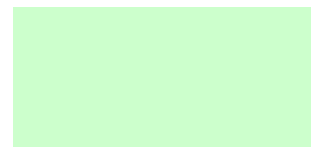
pois propre de l'étanchéité sur la traverse	24 kN/m ³
pois propre du revêtement de chaussée	22 kN/m ³
pois propre des terres (à l'arrière des piédroits, int du cadre, ...)	20 kN/m ³
module de réaction verticale longue durée sous le radier	18 Mpa/m
coefficient de frottement interne des remblais (situé à l'arrière des piédroits)	30 °
rapport entre modules court terme et long terme (=CT / LT)	2
pois propre du béton	25 kN/m ³
résistance en compression caractéristique du béton du cadre : fck =	30 MPa
classe d'exposition : sup traverse	X0, XC3
(suivant EN 1992-1-1 tab 4,1) inf traverse et int piédroits et sup radier	XF1
ext piédroits et inf radier	XS2, XA1
Limite élastique des aciers (Mpa) : fyk	500 Mpa
Classe de ductilité des aciers	B
Etendue de variation uniforme de température : $\Delta T_{N,con}$	10 °C
$\Delta T_{N,exp}$	30 °C
Gradient thermique : $\Delta T_{M,heat}$ (=0 si pas de gradient)	12 °C
$\Delta T_{M,cool}$ (=0 si pas de gradient)	8 °C
Paramètre R de Marston	0,7

Informations :

Hypothèses :

- les valeurs des poids propre (étanchéité, revêtement, terres) sont à donner en kN/m³.
- le module de réaction vertical sous la fondation est à calculer suivant l'annexe F3 du Fascicule 62 titre V.
- le coefficient de frottement des terres à l'arrière des piédroits en degrés (sert au calcul du coefficient de poussée des terres).
- rapport entre les modules de sol à court terme et à long terme
- poids propre du béton en kN/m³.
- indiquer la classe de résistance en compression du béton (fck)
- classes d'exposition : les différentes faces de l'ouvrage sont réparties en 3 familles :
 - extrados de la traverse,
 - intrados traverse, extrados radier et faces intérieures des piédroits,
 - faces en contact avec la terre : intrados radier et faces contre terre des piédroits.
 Pour chaque famille, préciser la classe d'exposition. Indiquer la ou les classes retenues séparées par des virgules ou espaces.
- indiquer la limite élastique de l'acier (Dans la version actuelle, la limite élastique fixée à 500MPa)
- et la classe de ductilité de l'acier (B par défaut) : A, B ou C. (Dans la version actuelle, la classe de ductilité de l'acier est limitée à la seule classe B)
- Variation de température :
 - o Etendue de la variation uniforme en contraction (appliqué à la traverse)
 - o Etendue de la variation uniforme en dilatation (appliqué à la traverse)
 - o Valeur du gradient thermique avec face la plus chaude : extrados traverse
 - o Valeur du gradient thermique avec face la plus chaude : intrados traverse
- Indiquer le paramètre R de Marston pour calculer le coefficient de Marston :
 - o 0,7 (0.5 à 0.8) : ouvrage cadre sur sol ordinaire
 - o 1.0 : ouvrage cadre sur rocher ou sol indéformable
 (Paramètre pris en compte que si la hauteur de terre n'est pas nulle.)

Hypothèse sismique :
Zone de sismicité (selon classement décret 2010-1255)
catégorie d'importance de l'ouvrage
Classe de sol
Coefficient topographique S_T
Valeur moyenne de la vitesse des ondes de cisaillement



m/s

Informations :

Hypothèses sismiques :

- Zone de sismicité :

- Très faible : indiquer 1
- Faible : indiquer 2
- Modéré : indiquer 3
- Moyenne : indiquer 4
- Forte : indiquer 5

Si l'ouvrage est situé en zone de sismicité « très faible », les règles parasismiques ne sont pas appliquées.

- Catégorie d'importance de l'ouvrage : 1, 2, 3 ou 4

Si la catégorie d'ouvrage est catégorie 1, les règles parasismiques ne sont pas appliquées.

- Classe de sol : A, B, C, D ou E

- Coefficient topographique S_T :

- Valeur moyenne de la vitesse des ondes de cisaillement : indiquer la valeur en m/s. Cette valeur correspond à $V_{s,30}$ (tel que défini dans le guide « Ponts en zone sismique » du SETRA : chapitre 4.2.3 classe de sol)

Si l'ouvrage est situé en zone de sismicité « très faible » ou si la catégorie d'ouvrage est catégorie 1, les règles parasismiques ne sont pas appliquées, les autres données ne sont pas utiles.

De même, si la hauteur de remblai sur la traverse ne dépasse pas 50% de la portée biaise, la valeur moyenne de la vitesse des ondes de cisaillement n'est pas utile (voir chapitre 4).

4. Comment fonctionne le programme ?

Déroulement général d'un calcul :

Le programme modélise l'ouvrage en 3 dimensions à partir des données du bordereau.

Les bonnes propriétés physiques des matériaux (caractéristiques mécaniques du béton, raideur du sol, coefficient de poisson, ...) sont affectées au modèle en fonction de la durée d'application de la charge (courte durée ou longue durée) et du type de modélisation (ELS, ELU).

Les charges sont appliquées précisément à leurs positions réelles en fonction des données géométriques (largeur des dispositifs de retenue en rive, des trottoirs, ...).

Après calcul, les sollicitations obtenues sont calculées dans les directions réelles de ferrillages selon l'annexe 12A du BPEL puis sont combinées.

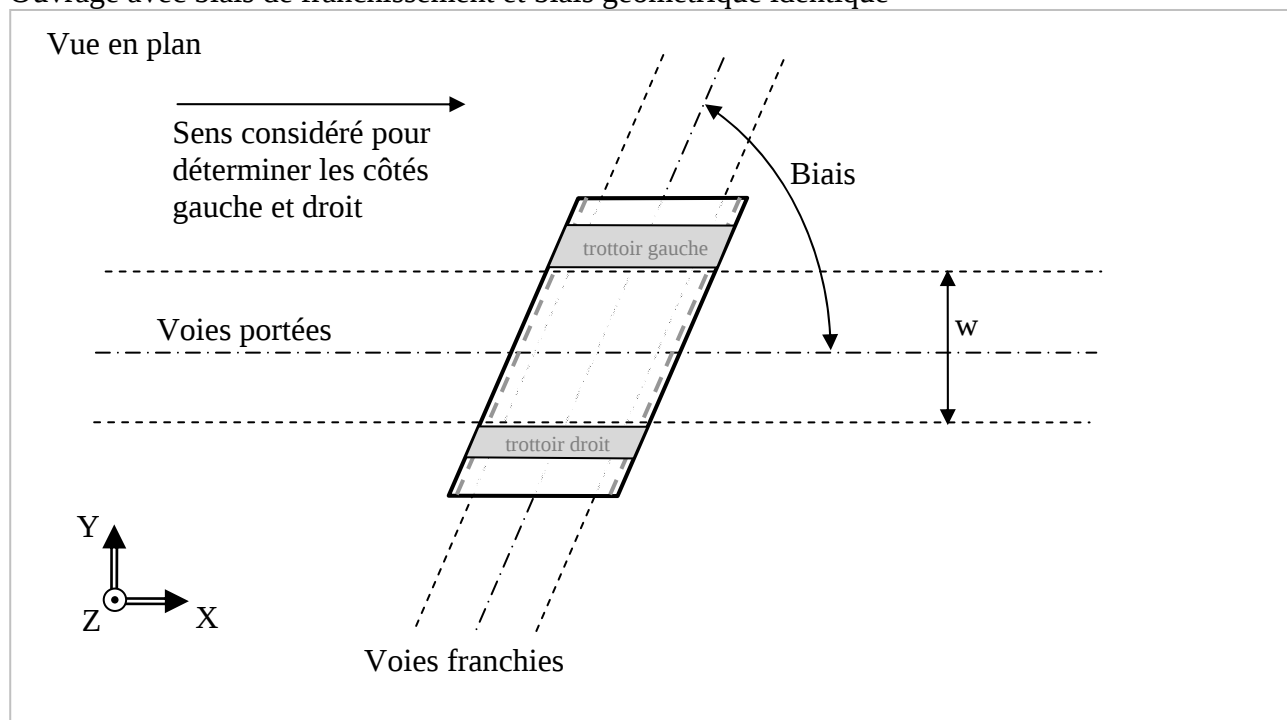
Enfin un calcul béton armé est réalisé pour chaque combinaison et chaque point de calcul.

Etant donné que la modélisation est en 3 dimensions, aucun coefficient de type Guyon-Massonnet n'est utilisé.

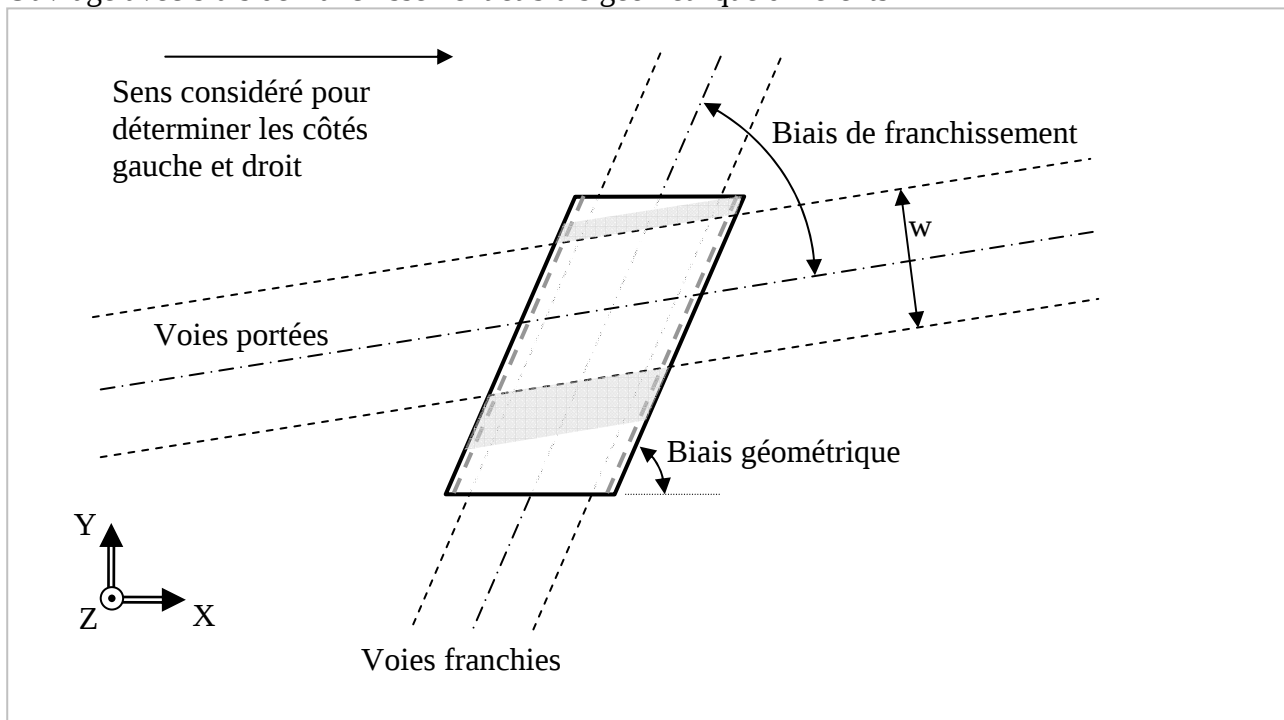
L'analyse structurale menée est de 1^{er} ordre (élastique linéaire) avec comportement linéaire des matériaux.

1. Ouvrage modélisé

Ouvrage avec biais de franchissement et biais géométrique identique



Ouvrage avec biais de franchissement et biais géométrique différents



Vue en perspective

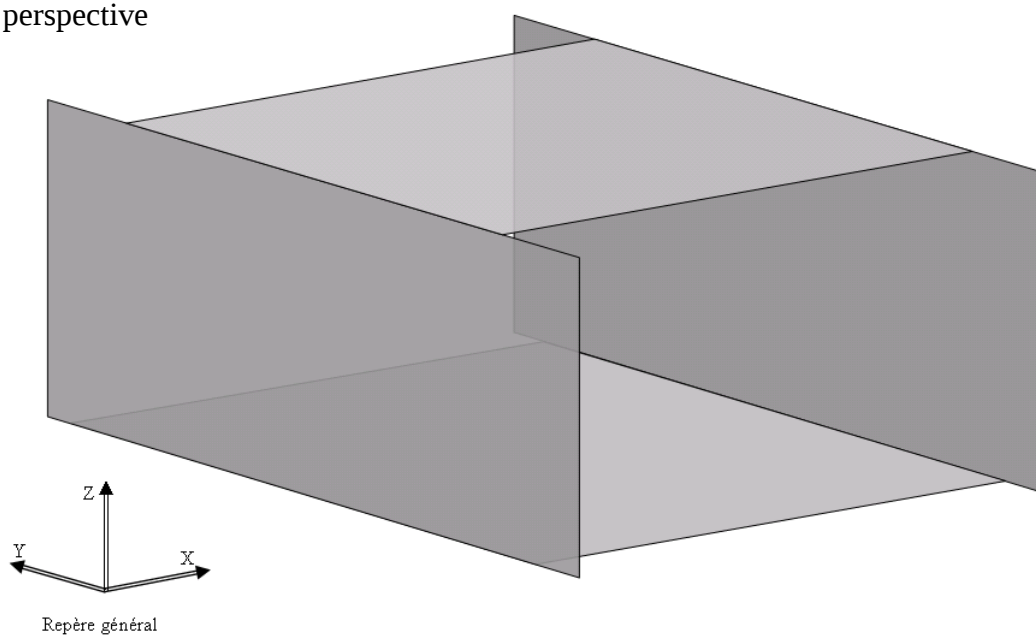
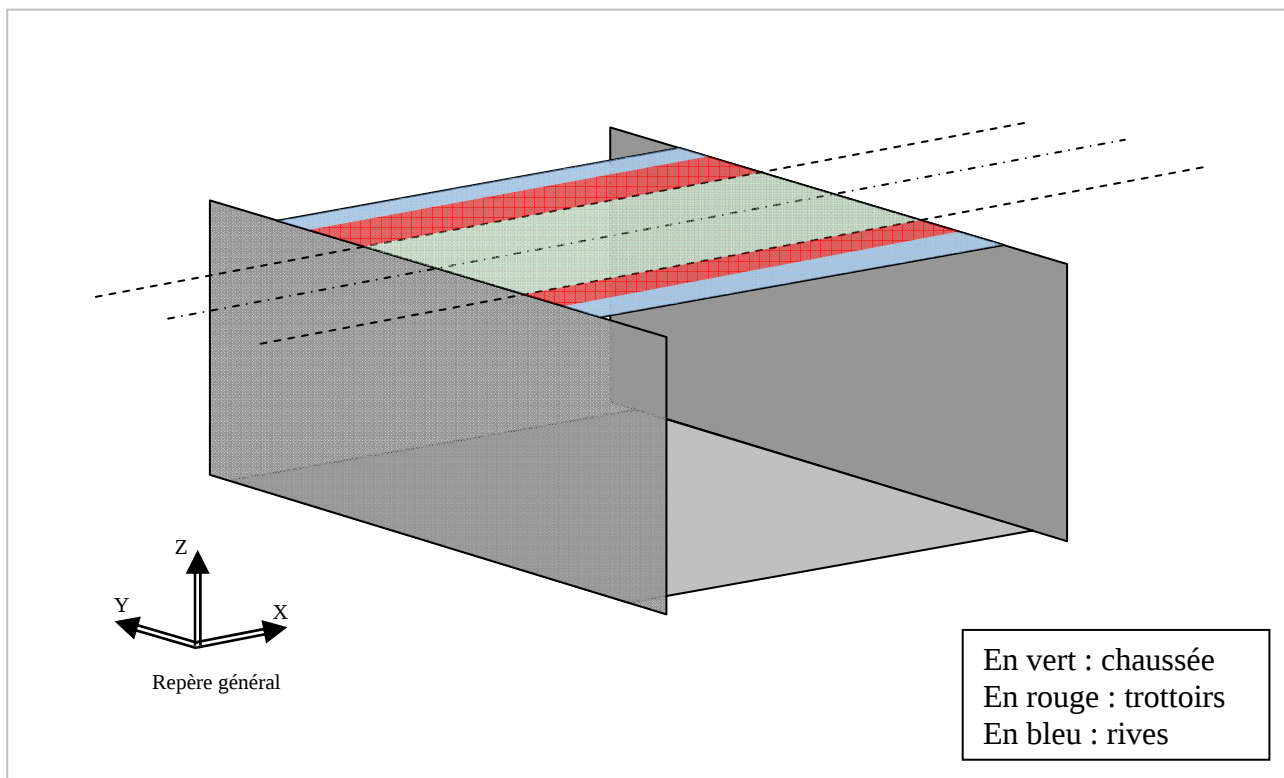


Illustration de la disposition des zones de chargement de la traverse : chaussée, trottoirs et rives.



Les trottoirs sont supposés non franchissable et la chaussée est donc comprise entre trottoirs.

L'Eurocode 0 précise (§4.2 (8)) que « Différentes valeurs seront utilisées pour tenir compte de la durée de la charge. » => Une modélisation utilisant les valeurs caractéristiques des matériaux pour une durée « courte » de charge est faite pour les charges variables et accidentelles (Q et A) et une modélisation avec propriété des matériaux « longue » durée est faite pour les actions permanentes (G)

La classification des actions est donnée au chapitre 4.1.1 de l'EC0.

De même, le coefficient de poisson affecté au matériau béton est de 0,2 pour les combinaisons ELS et 0,0 pour les combinaisons ELU.

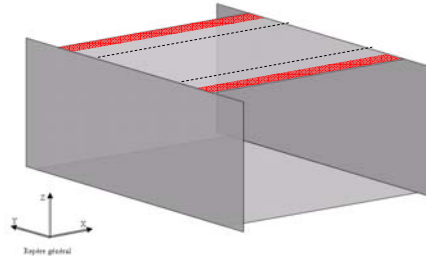
2. Cas de charges

2.1 Liste des cas de charge

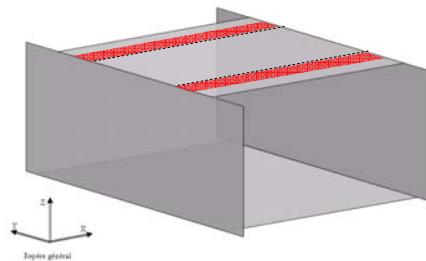
Les cas de charge pris en compte sont les suivants :

- Poids propre de la structure
Calculé à partir de la densité du béton indiquée au bordereau ainsi que des dimensions de l'ouvrage.
- Poids propre de l'étanchéité
Calculé à partir de la densité indiquée au bordereau et appliqué entre les trottoirs de la traverse. (Peut être pris égal à zéro)

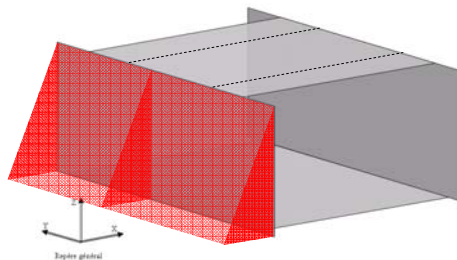
- Poids propre du revêtement de chaussée
Calculé à partir de la densité indiquée au bordereau et appliqué entre les trottoirs de la traverse. (Peut être pris égal à zéro)
- Poids propre des dispositifs de rive
Permet de modéliser les charges permanentes des dispositifs de retenue (BN4, ...) placé en rive de traverse. Appliqué sur la surface de rive, de gauche ou de droite, de la largeur spécifiée au bordereau. (Peut être pris égal à zéro)



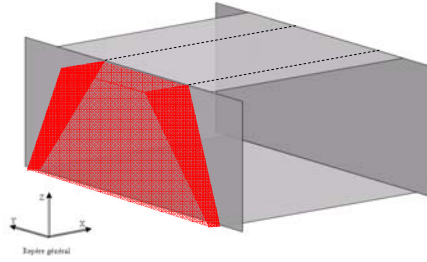
- Poids propre des trottoirs
Permet de modéliser les charges permanentes (bordures, matériaux de remplissage, canalisations, ...) des trottoirs placés en bordure de chaussée. La charge de chaque trottoirs est définie pour chaque côté dans le bordereau. Appliqué sur la surface de la traverse, à gauche ou à droite de la chaussée, sur la largeur spécifiée au bordereau. (Peut être pris égal à zéro)



- Poussée des terres (sur piédroits gauche et droite)
Modélise la poussée des terres à l'arrière des piédroits. La poussée est calculée avec le coefficient de poussée active K_a et est appliqué sur toute la surface du piédroit selon un axe normal au piédroit.

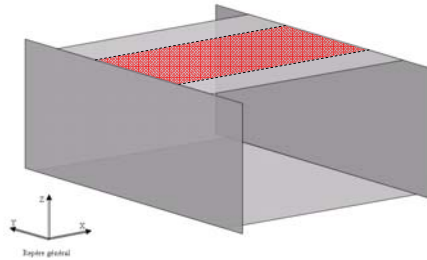


- Surcharge d'exploitation sur les piédroits
Modélise la poussée ramenée par les charges d'exploitation. Est appliqué normalement à la surface du piédroit et sur chaque piédroit. La valeur de cette surcharge est décroissante à partir de la largeur de la chaussée car elle se diffuse (à 30°) dans le remblai. (charge sur l'autre piédroit non représentée)



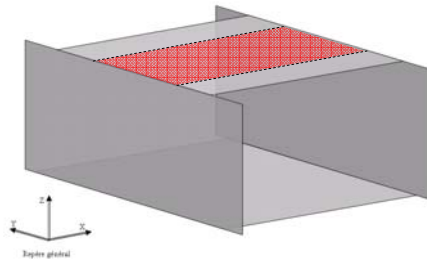
- LM1

Enveloppe + et - de la circulation sur la chaussée de la traverse. La charge est détaillée plus loin dans ce document (page 23).



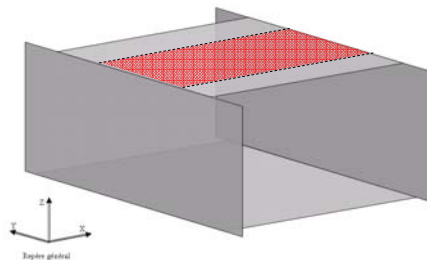
- LM2

Enveloppe + et - de la circulation sur la chaussée de la traverse. La charge est détaillée plus loin dans ce document (page 24).



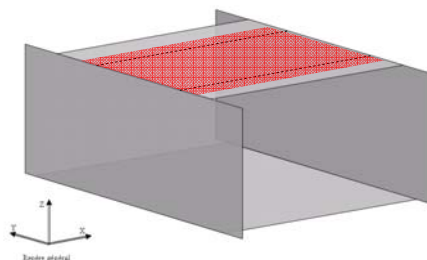
- LM3

Enveloppe + et - de la circulation sur la chaussée de la traverse. La charge est détaillée plus loin dans ce document (page 24).



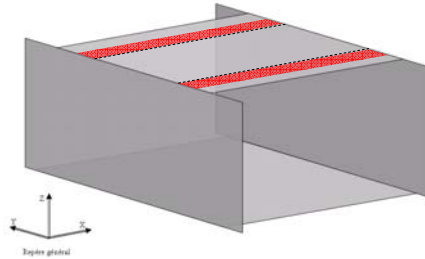
- LM4

Charge de foule appliquée sur trottoirs et chaussée. La charge est détaillée plus loin dans ce document (page 25).



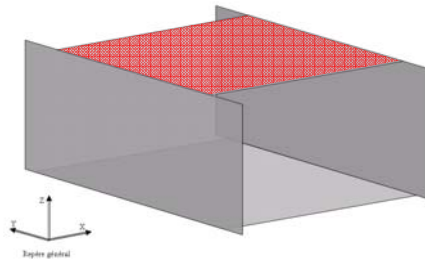
- Charge d'exploitation des trottoirs

Permet de modéliser les charges d'exploitation des trottoirs placés en bordure de chaussée. La charge est appliquée sur la surface de la traverse, à gauche ou à droite de la chaussée, sur la largeur spécifiée au bordereau. La valeur caractéristique de la charge est de 5kN/m^2 , la valeur de combinaison est de 3kN/m^2 .



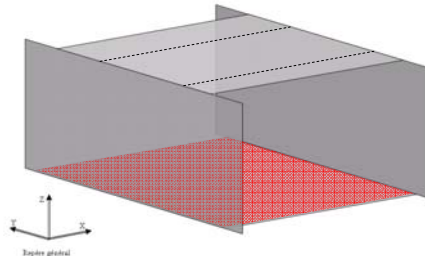
- Température

Modélise les variations de température appliquées à la traverse. Une variation uniforme de température (contraction et dilatation) peut être appliquée de même qu'un gradient vers le haut ou vers le bas.



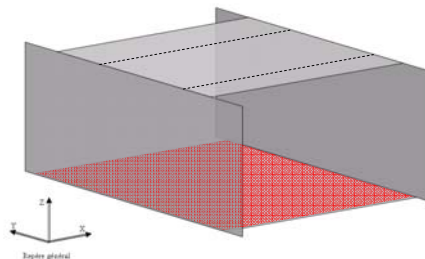
- Charge d'exploitation à l'intérieur du cadre

Modélise les charges d'exploitation à l'intérieur du cadre (route, eau, ...).



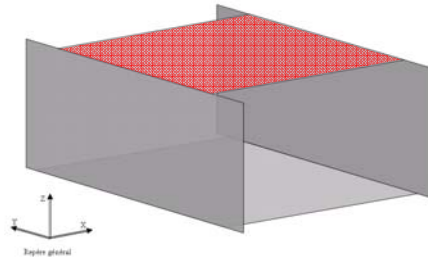
- Poids propre des terres à l'intérieur du cadre

Modélise le poids propre des terres disposées à l'intérieur du cadre. La charge est calculée à partir de la valeur du poids propre des terres du bordereau. Charge appliquée sur tout le radier. (Est nulle si la hauteur de terre intérieure est prise égal à zéro)

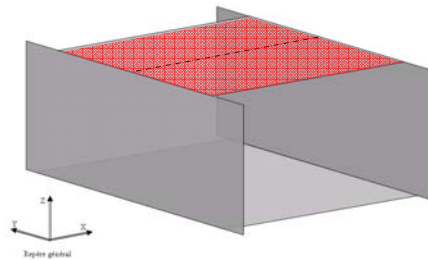


- Poids propre du remblai en phase travaux

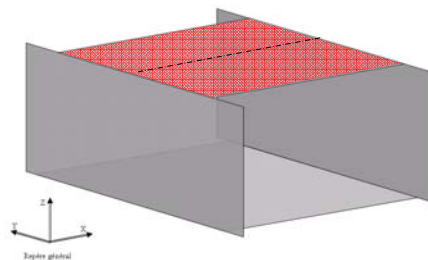
Est calculé à partir de l'épaisseur indiquée au bordereau. Est appliqué sur toute la surface de la traverse. (Peut être pris égal à zéro)



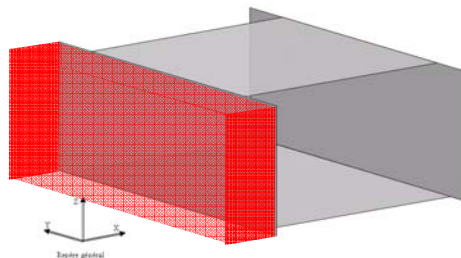
- Circulation engin de terrassement 23m^3
Enveloppe + et - de la circulation de l'engin sur la traverse. La charge est détaillée plus loin dans ce document (page 24).



- Circulation engin de terrassement 34m^3
Enveloppe + et - de la circulation de l'engin sur la traverse. La charge est détaillée plus loin dans ce document (page 24).



- Sollicitations sismiques
Incrément de poussée sismique.
La charge est détaillée plus loin dans ce document (page 24).



L'ouvrage étant monolithique et en partie enterré, les forces centrifuge et transversale ou de vent ne sont pas prises en compte.

2.2 Détails des charges permanentes

Les différentes charges permanentes sont définies à partir des données du bordereau.

Les variations des charges permanentes prises en compte, dans les combinaisons, sont les suivantes :

Structure	+/- 0%	(selon EC0 4.1.2(5) et EC 1-1-1 5.2.3(5))
Etanchéité	+/- 20%	(coefficients 0.8 – 1.2)
Revêtement de chaussée	+/- 20%	(coefficients 0.8 – 1.2)
Trottoirs	+/- 0%	} (considéré comme structure cf au-dessus)
Dispositifs de rives	+/- 0%	
Poussée des terres	+/- 33%	coefficient Ka multiplié par 0.66 ou par 1.33

2.3 Détails des charges d'exploitation

L'utilisateur a la possibilité d'utiliser les charges d'exploitations LM1, LM2, LM3, LM4 et engins de chantier.

LM1

La chaussée est considérée sans terre-plein central.

L'Eurocode est appliqué pour déterminer le nombre de voies conventionnelles (cf tableau 4.1) :

Largeur de la chaussée w	Nombre de voies conventionnelles	Largeur d'une voie conventionnelle w	Largeur de l'aire résiduelle
$w < 5.4\text{m}$	1	3 m	w - 3m
$5.4\text{m} \leq w < 6\text{m}$	2	w / 2	0
$6\text{m} \leq w$	partie entière (w/3)	3 m	w - 3*nb de voie

Si la largeur de la chaussée est inférieure à 3m (donc pas de voie conventionnelle), le cas de charge LM1 n'est pas étudié même s'il a été coché dans le bordereau.

Le modèle de charge LM1 se décompose en 2 :

- UDL => voies conventionnelles et aire résiduelle (charges surfaciques)
- TS => essieu double (circulant dans l'axe des voies conventionnelles)

Les voies conventionnelles sont placées sur toute la largeur de la chaussée. Toutes les positions possibles des voies conventionnelles sur la largeur de la chaussée sont donc étudiées. Pour chaque cas étudié, l'aire résiduelle est distribuée de chaque côté et entre les voies conventionnelles.

D'autre part, le logiciel ne recherche pas l'ordre des voies donnant l'effet le plus défavorable (EN 1991-2 4.2.4) mais calcule toutes les permutations possibles de manière exhaustive.

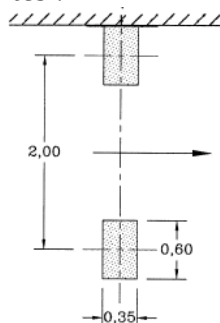
Les charges concentrées des essieux sont diffusées dans l'épaisseur de l'étanchéité et du revêtement de chaussée par un angle de 45° (EC1.2 §3.4.6).

La valeur de l'effort maximal de freinage est déterminée à partir de la formule (4.6) de l'EC1-2 4.4.1 (2).

LM2 : essieu double

En cas de sélection de cette charge, la charge des 2 essieux est disposée en tous points entre trottoirs. La charge de l'essieu est : $\beta_Q \cdot Q_{ak}$ avec $\beta_Q = 0.8$ pour DAN Française et $Q_{ak} = 400\text{kN}$

Les dimensions de l'essieu sont les suivantes :



Les charges concentrées des essieux sont diffusées dans l'épaisseur d'étanchéité et de revêtement de chaussée par un angle de 45°.

LM3 : Engins Spéciaux

Les convois exceptionnels de 1^{ère} et 2^{ème} classe étant couverts par le modèle LM1, seuls les convois de 3^{ème}, 4^{ème} et 5^{ème} classes sont proposés au choix.

Les véhicules spéciaux sont définis suivant l'annexe 5 de la note SETRA d'octobre 1982 « Transports Exceptionnels Définition Des Convois-Types Et Règles Pour La Vérification Des Ouvrages D'Art ».

Neuf convois exceptionnels types LM3 sont proposés :

1. C2
2. D2F1
3. D3F1
4. D3F2
5. E2F1
6. E3F1
7. E3F2
8. M80
9. M120

Ces convois circulent seul (non mêlés aux autres charges roulantes) et sur un axe centré entre les trottoirs.

La vitesse de circulation du convoi, faible ou normal, est aussi prise en compte pour le calcul du coefficient dynamique.

Les charges concentrées des essieux sont diffusées dans l'épaisseur d'étanchéité et de revêtement de chaussée par un angle de 45°.

LM3 : Engins de Chantier

Les 2 engins de chantier proposés sont ceux définis dans l'Annexe Nationale : engin de terrassement de 23m³ et engin de terrassement de 34m³ :

calculOA - Calcul de Pont Type

Notice pont route de type cadre fermé aux Eurocodes

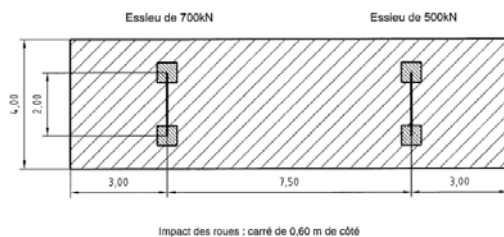


Figure 4.1(NA) — Modèle de charge pour un engin de terrassement de 23 m³

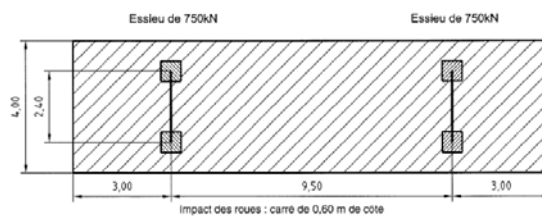


Figure 4.2(NA) — Modèle de charge pour un engin de terrassement de 34 m³

Les conditions de circulation de ces engins de chantier sont les suivantes :

- un seul véhicule sur l'ouvrage
- le véhicule circule dans l'axe de la traverse
- le véhicule circule à vitesse normale

L'épaisseur de remblai en phase chantier est à compléter dans le bordereau de donnée.

Les charges concentrées des essieux sont diffusées dans l'épaisseur de remblai par un angle de 30°.

LM4 : chargement de foule

La foule est modélisée par une charge surfacique de 5kN/m² disposée entre les dispositifs de retenue (donc incluant les éventuels trottoirs).

2.4 Détails des sollicitations sismiques

Pour la détermination des sollicitations sismiques, l'analyse pseudo statique est utilisée.

Les coefficients sismiques k_h et k_v sont calculés selon les formules suivantes :

- o $k_h = a_g \cdot S \cdot S_T / g$
- o $k_v = 0,5 k_h$

Les valeurs de l'accélération de calcul (a_g) et du paramètre caractéristique du sol (S) sont définies à partir de la catégorie d'ouvrage et de la zone de sismicité selon les tableaux du décret 2010-1254 du 22 octobre 2010.

Sollicitations verticales

La masse propre de l'ouvrage et tous les éléments liés sont accélérés avec le coefficient sismique vertical k_v .

Sollicitations horizontales

⇒ Si l'ouvrage est fortement enterré, c'est-à-dire que la hauteur de remblai sur la traverse est supérieure à la moitié de la portée biaise, les sollicitations horizontales sont calculées par la méthode de déplacement imposé (approche en déformation). Dans le cas contraire, les sollicitations horizontales sont calculées par la méthode de l'incrément de poussée dynamique (approche en force).

Par conséquent, si l'ouvrage n'est pas fortement enterré, la valeur moyenne de la vitesse des ondes de cisaillements ne sont utile (et la case peut être laissée vide dans le bordereau).

Approche en déformation :

La déformation de l'ouvrage à obtenir est calculée à partir de γ_s :

calculOA - Calcul de Pont Type

Notice pont route de type cadre fermé aux Eurocodes

$$\gamma_s = \frac{v_g}{v_s} = \frac{ST_c a_g}{2\pi v_s}$$

La déformation vaut : $\Delta_{ds} = H \cdot \gamma_s$ (H hauteur du piédroit)

Les valeurs du paramètre caractéristique du sol (S), de limite supérieure des périodes correspondant au palier d'accélération spectrale constante (T_c) et de l'accélération de calcul (a_g) sont fonctions de la catégorie d'ouvrage et de la zone de sismicité selon les tableaux du décret 2010-1254 du 22 octobre 2010.

La valeur moyenne de la vitesse des ondes de cisaillement (V_s) est une donnée du bordereau. Cette valeur peut être déterminée à partir notamment du tableau de définition des classes de sol (voir guide SETRA) ou de la formule ($V_s = V_{s,30}$) :

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

Une pression uniforme (ΔE_d) est appliquée sur le piédroit afin d'obtenir la déformation Δ_{ds} .

Approche en force :

Le coefficient de poussée des terres de Mononobe-Okabe (K) est calculé selon la formule suivante (EC 1998-5 Annexe E) :

si $\beta \leq \phi'_d - \theta$

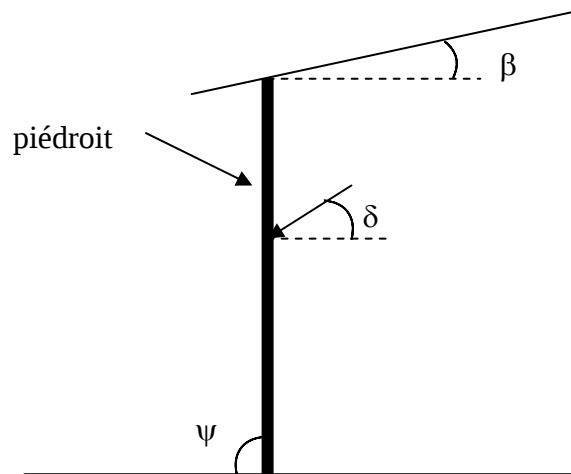
$$K = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \theta - \delta_d) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi'_d + \delta_d) \sin(\phi'_d - \beta - \theta)}{\sin(\psi - \theta - \delta_d) \sin(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

si $\beta > \phi'_d - \theta$

$$K = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \theta - \delta_d)}$$

Avec :

$$\phi'_d = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \phi'}{\gamma_{\phi'}} \right) \quad \delta_d = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \delta}{\gamma_{\phi'}} \right) \quad \gamma_{\phi'} = 1,25$$



Dans le cas du pont cadre fermé :

$\beta = 0$	
$\Psi = \pi/2$	(car piédroit vertical)
$\delta_{ad} = 0$	(voir guide SETRA conception des ponts en zone sismique § 4.5.7)

La pression dynamique appliquée sur le piédroit est alors de :

$$\Delta E_d = 1/2 \cdot \gamma \cdot (1 + kv) K \cdot H^2$$

3. Sollicitations dans les directions de ferrailage

3.1 Dispositions du ferrailage

Les directions des armatures longitudinales et transversales sont déterminées en fonction du biais de l'ouvrage et du coefficient de forme η (η = largeur droite / ouverture droite).

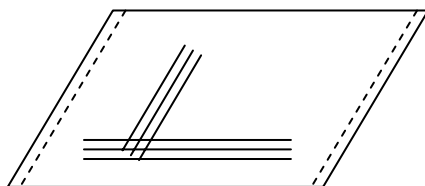
(Pour réaliser un calcul avec une orientation différente du ferrailage, contactez-nous.)

Les armatures de tranchant sont supposées être toujours disposées à 90°.

Biais entre 100gr et 70gr

Ferrailage longitudinal : parallèle aux bords libres

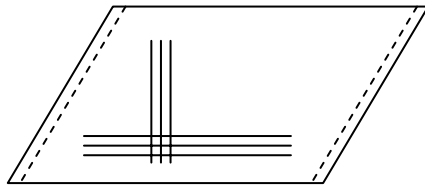
Ferrailage transversal : parallèle aux piédroits



Biais inférieur à 70gr et $\eta < 2$

Ferraillage longitudinal : parallèle aux bords libres

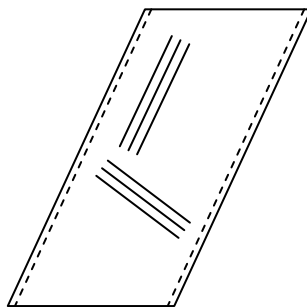
Ferraillage transversal : perpendiculaire aux bords libres



Biais inférieur à 70gr et $\eta > 2$

Ferraillage longitudinal : perpendiculaire aux piédroits

Ferraillage transversal : parallèle aux piédroits



3.1 Calcul des sollicitations dans les directions de ferraillage

Les sollicitations obtenues par la modélisation éléments finis (MXX, MXY, MYX, NXX, NXY, NYX, VY) servent à calculer les sollicitations dans les directions de ferraillage déterminées ci-avant. Pour cela, l'annexe 12A du BPEL est appliquée.

Conformément aux directives du SETRA et la méthode de calcul retenu dans leur dossier pilote, le calcul fissuré/non fissuré est retenu :

- Pour le moment longitudinal, le calcul en section non fissuré est retenu.
- Pour le moment transversal, le calcul en section fissuré est retenu.

Après calcul, les sollicitations obtenues sont : MX, MY, NX, NY et V.

4. Combinaisons

Les combinaisons utilisées par le programme sont les suivantes (combinaison type STR) :

ELS Carac :

$$1 G_{\text{sup}} + 1 G_{\text{inf}} + \left| \begin{array}{l} \text{TS} + \text{UDL} + q_{\text{fk}} \\ g_{r_i} \quad i=1a, 3, 4, 5 \\ g_{r_{1b}} \\ 0,75 \text{ TS} + 0,4 \text{ UDL} + 0,4 q_{\text{fk}} \end{array} \right|$$

ELS Freq :

$$1 G_{\text{sup}} + 1 G_{\text{inf}} + \begin{cases} 0,75 \text{ TS} + 0,4 \text{ UDL} + q_{\text{fk}} \\ 0,75 \text{ gr}_4 \\ 0,75 \text{ gr}_{1b} \end{cases}$$

ELS quasi permanent :

$$1 G_{\text{sup}} + 1 G_{\text{inf}}$$

ELU Fond :

$$1,35 G_{\text{sup}} + 1 G_{\text{inf}} + \begin{cases} 1,35 (\text{TS} + \text{UDL} + q_{\text{fk}}) \\ 1,35 \text{ gr}_i \text{ } i=1b, 3, 4, 5 \\ 1,35 (0,75 \text{ TS} + 0,4 \text{ UDL} + 0,4 q_{\text{fk}}) \end{cases}$$

ELU Sismique :

E_{Ed} est composé de l'action verticale qui s'applique à G et de l'action horizontale ΔE_d .

$$G \begin{cases} + k_v G + 0,3 \Delta E_d & (\text{soit : } (1 + k_v) G + 0,3 \Delta E_d) \\ - k_v G + 0,3 \Delta E_d & (\text{soit : } (1 - k_v) G + 0,3 \Delta E_d) \\ + 0,3 k_v G + \Delta E_d & (\text{soit : } (1 + 0,3 * k_v) G + \Delta E_d) \\ - 0,3 k_v G + \Delta E_d & (\text{soit : } (1 - 0,3 * k_v) G + \Delta E_d) \end{cases}$$

Les groupes gr sont les suivants :

$$\begin{cases} \text{gr}_{1a} = 0,75 \text{ TS} + 0,4 \text{ UDL} + 0,4 q_{\text{fk}} \text{ (à } 3\text{kN/m}^2\text{)} \\ \text{gr}_{1b} = 0,75 \text{ LM2} \\ \text{gr}_3 = \text{trottoirs caractéristiques (5kN/m}^2\text{)} \\ \text{gr}_4 = \text{LM4} + \text{trottoirs caractéristiques (5kN/m}^2\text{)} \\ \text{gr}_5 = \text{LM3} \end{cases}$$

Température :

ΔT_M : gradient thermique ($\Delta T_{M,\text{heat}}$ ou $\Delta T_{M,\text{cool}}$)

ΔT_N : variation uniforme (contraction : $\Delta T_{N,\text{con}}$ / dilatation : $\Delta T_{N,\text{exp}}$)

Combinaisons servant à établir les enveloppes T_k+ et T_k- :

$$\begin{aligned} \Delta T_M + \omega_N \Delta T_N \\ \omega_M \Delta T_M + \Delta T_N \end{aligned}$$

Avec :

$$\begin{cases} \omega_N = 0,35 \\ \omega_M = 0,75 \end{cases}$$

La note de calcul récapitule toutes les combinaisons étudiées.

Les valeurs de pondération de certaines combinaisons peuvent parfois surprendre, elles proviennent de multiplication de différents facteurs :

$1,35 \times 0,75 =$	1.0125
$1,35 \times 0,4 =$	0.54
$1,35 \times 5 =$	6.25
$0,4 \times 5 =$	2.0

$0.4 \times 5 \times 1.35 =$	2.7
$0.75 \times 0.75 =$	0.5625

Aucune combinaison ne considère un cas de remblaiement dissymétrique des terres.

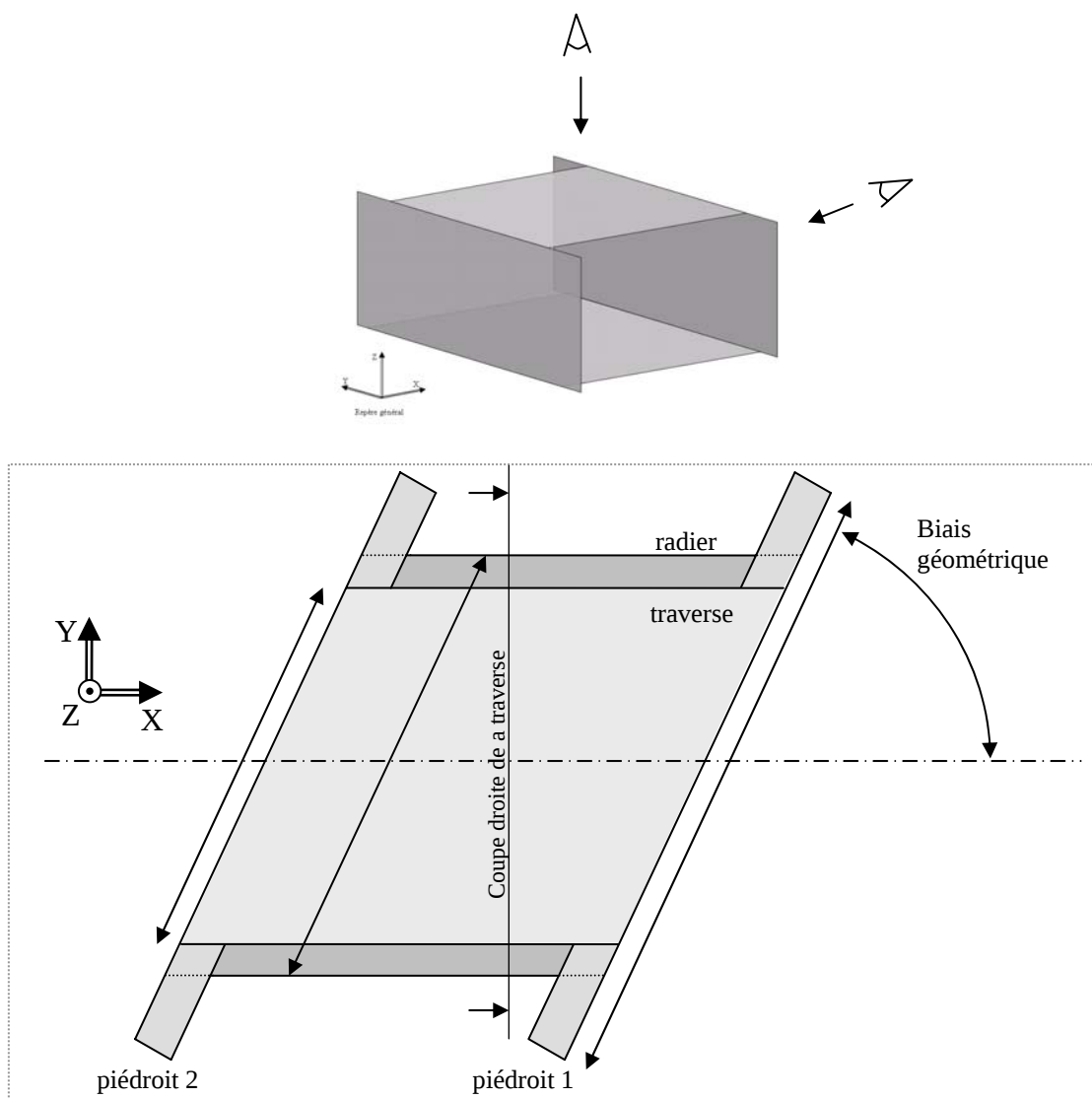
5. Présentation des sollicitations

La note de calcul fourni les sollicitations aux 484 points de mesures de la structure les sollicitations internes. Les 484 points de mesures sont répartis à raison d'un maillage de 11 points par 11 points sur le radier, les 2 piédroits et la traverse.

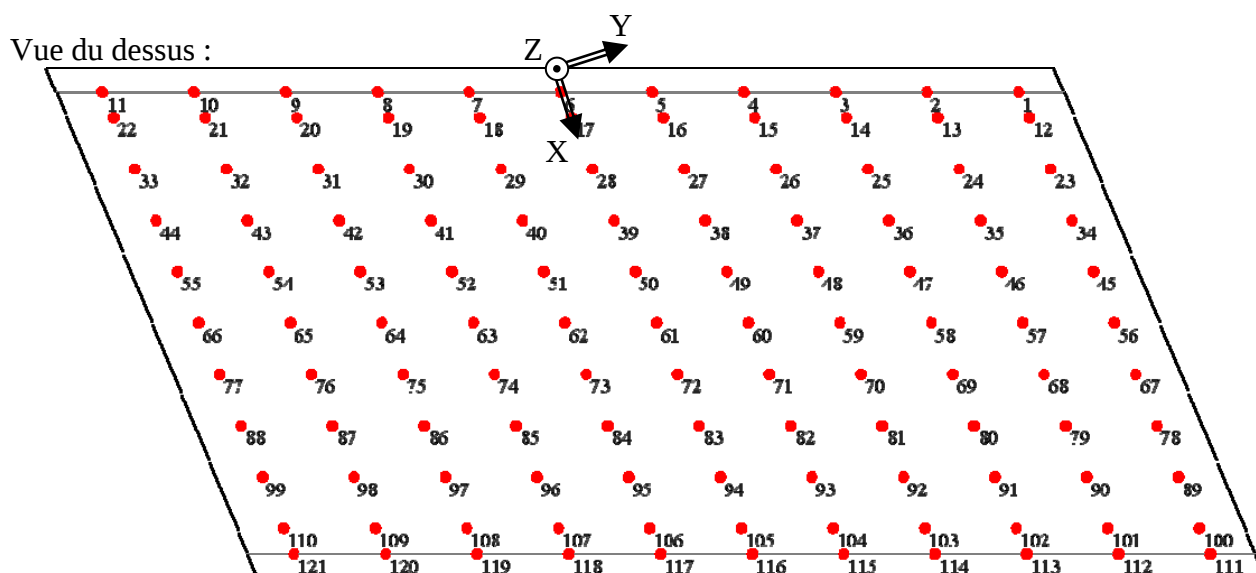
Les efforts dans les directions des ferrillages sont :

- MX : moment suivant l'axe longitudinal en kN.m / ml
- MY : moment suivant l'axe transversal en kN.m / ml
- NX : effort normal suivant axe longitudinal en kN / ml
- NY : effort normal suivant axe transversal en kN / ml
- V : effort tranchant en kN / m²

Direction prise pour les présentations des points de mesures :

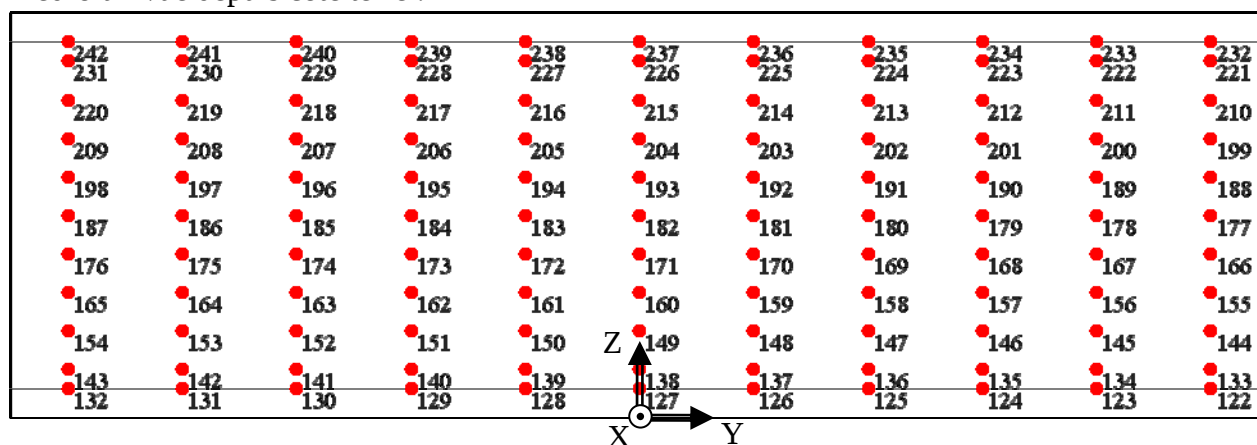


5.1 Présentation des points de mesure du Radier

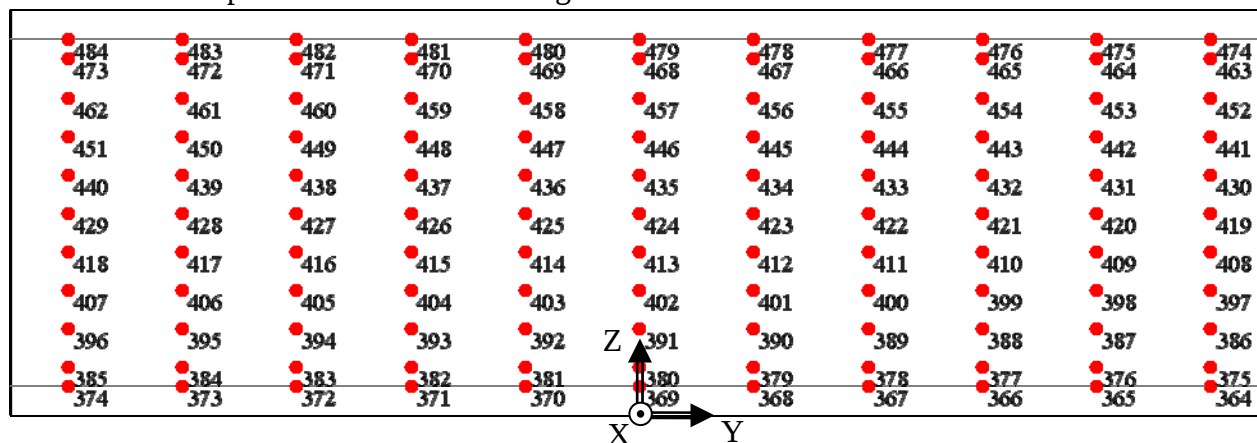


5.2 Présentation des points de mesure du Piédroit

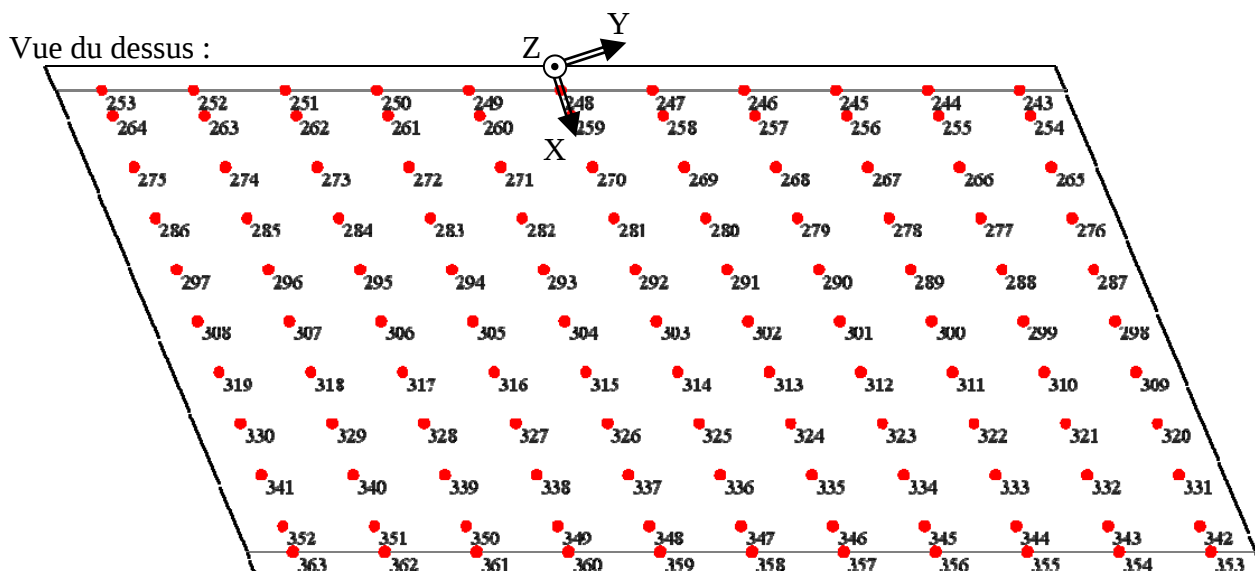
Piédroit 1 vue depuis côté terre :



Piédroit 2 vue depuis l'intérieur de l'ouvrage :



5.3 Présentation des points de mesure de la Traverse



6. Matériaux

Les poids propres (béton et autres matériaux) et le coefficient de frottement des terres à l'arrière des piédroits sont des données du bordereau.

Le coefficient de poussée, qui est calculé à partir de l'angle de frottement interne des terres, est le coefficient K_a .

Le rapport entre les modules élastiques du béton pris dans les modélisations court terme et long terme est de 3.

Le rapport entre module de sol CT et LT est fixé par l'utilisateur.

7. Calculs des sections Béton Armé

7.1 Enrobage et bras de levier

A partir des classes d'exposition du bordereau, sont calculées les classes structurales de chaque face de l'ouvrage.

La classe structurale de départ S4 est modulée par la durée de vie du projet et la classe de résistance du béton. Le critère d'enrobage compact n'est appliqué que pour la sous-face de la traverse.

La section d'armature mini est calculée et un diamètre équivalent est déterminé. Le diamètre de barre HA est déterminé en considérant que le calpinage des barres est de 5 barres par mètre linéaire, soit un espacement de 20cm.

A partir de la formule de l'enrobage nominal ci-dessous, la valeur de l'enrobage nominale mini (c_{nom}^*) est calculé en prenant comme diamètre de barre le diamètre déterminé pour le ferrailage minimum.

$$c_{nom}^* = \max \{ c_{min,b}^* ; c_{min,dur} ; 10 \text{ mm} \} + \Delta c_{dev}$$

↳ déterminé avec le ferrailage minimum.

Ensuite, un calcul itératif des sections BA est mené. Le premier calcul est mené en prenant comme enrobage la valeur c_{nom}^* . Les sections calculées permettent de définir, pour chacune des 6 faces, le diamètre maximal à mettre en œuvre. La valeur de c_{nom} est alors calculée à partir des diamètres de barre issus des calculs. Un nouveau calcul des sections BA est mené avec cette valeur d'enrobage. Cette boucle itérative est exécutée jusqu'à ce que le diamètre calculé ne modifie plus la valeur de l'enrobage c_{nom} .

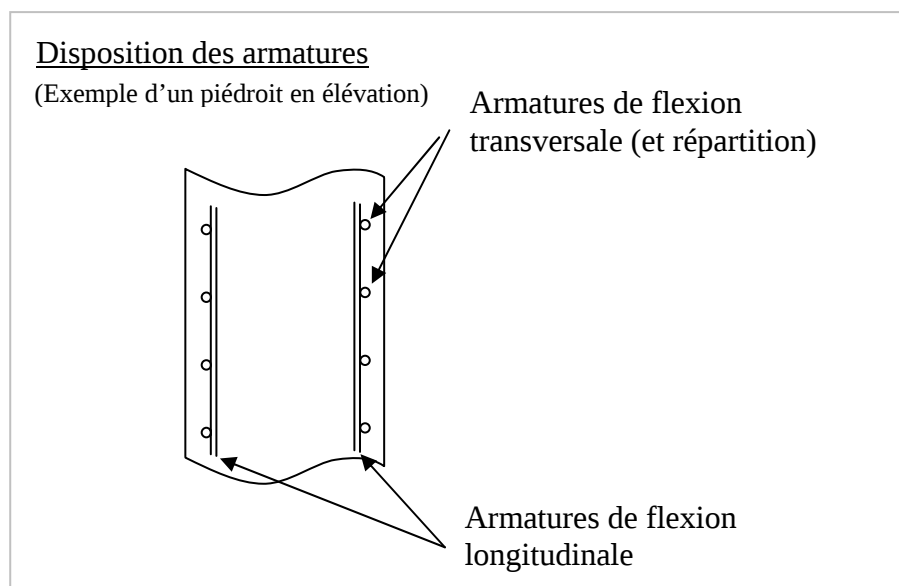
Cette méthode permet un calcul exact des enrobages et des sections d'acier à mettre en œuvre.

Les aciers de flexion longitudinale sont supposées être positionné, par rapport au parement de l'élément, derrière les aciers de répartition (ou acier de flexion transversale).

Le bras de levier pour les aciers de flexion longitudinale est donc augmenté forfaitairement de 10mm, par rapport à la valeur de l'enrobage, pour tenir compte de la présence du ferrailage de répartition.

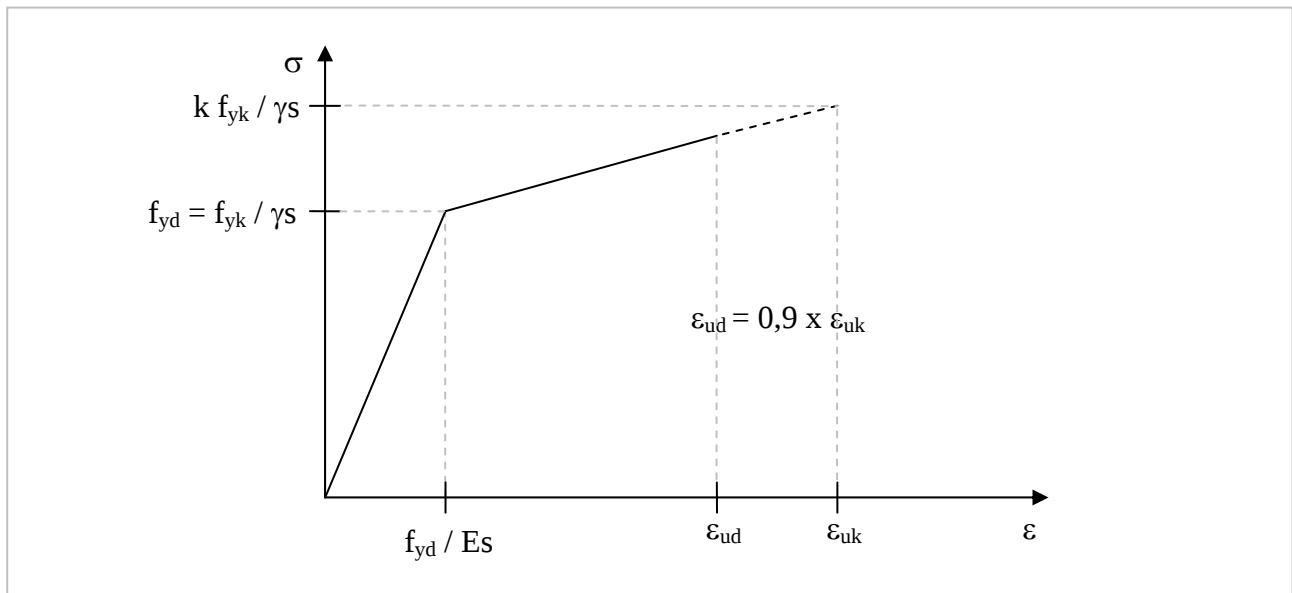
Le ferrailage des éléments est, par hypothèse, réalisé par 1 seule nappe sup et inf, à 1 seul lit d'armature.

Le dessin ci-dessous représente la disposition des aciers pris pour le calcul des sections béton armé (quelque soit l'élément de l'ouvrage : radier, piédroit, traverse).



7.2 Loi contrainte-déformation des matériaux

Le diagramme contrainte déformation retenu pour l'acier (tendu ou comprimé) est le diagramme bilinéaire à branche inclinée suivant :



Le diagramme contrainte déformation retenu pour le béton est le diagramme bi-linéaire.

7.3 Calculs menés

Le calcul des sections est fait en section fissurée.

La valeur du coefficient d'équivalence est fixée à 15 pour les bétons $\leq 50\text{MPa}$ et à 9 pour les bétons $> 50\text{MPa}$.

Les sollicitations dans la direction X sont utilisées pour le calcul de flexion longitudinale.

Les sollicitations dans la direction Y sont utilisées pour le calcul de flexion transversale.

L'effort tranchant V est utilisé pour le calcul des armatures de tranchant.

Le calcul est mené en flexion simple.

Un calcul en détermination de la section BA est mené pour l'ensemble des combinaisons, ELS et ELU. La section d'acier maxi est retenue.

Calculs ELS :

Les sections d'acier sont déterminées en limitant la contrainte :

- dans l'acier à : $0,8 f_{yk}$ sous combinaisons caractéristiques
- dans le béton à : $0,45 f_{ck}$ sous combinaisons quasi permanente
 $0,6 f_{ck}$ sous combinaisons caractéristiques, quelle que soit la classe d'exposition, ce qui permet, avec limitation de la contrainte dans l'acier à 300MPa , de s'affranchir d'une vérification du béton à la fatigue.

La vérification de l'ouverture des fissures est réalisée avec la méthode rustique en limitant la contrainte dans l'acier à 300MPa .

Calculs ELU :

Les sections d'acier sont déterminées, de manière usuelle avec la règle des pivots, en utilisant le diagramme de l'acier avec la branche inclinée.

Ferraillage minimum :

Le ferraillage minimum flexion est calculé à partir de la formule suivante : (EC2-1-1 9.2.1.1)

$$A_{s,min} = 0.26 \cdot f_{ctm} / f_{yk} \cdot b \cdot d \quad (f_{ctm} = \text{résistance béton à la traction}) \quad \text{et} \quad A_{s,min} \geq 0.0013 \cdot b \cdot d$$

Le ferraillage minimum au tranchant est calcul à partir de la formule suivante :

$$A_{sw}/s = b_w \cdot 0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}} / f_{yk} \quad (\text{en cm}^2/\text{m}^2)$$

7.4 Ferraillage de répartition

Les armatures de flexion transversale sont calculées en chaque point de mesure de la structure.

Le calcul mené considère que les nappes d'acier ne peuvent pas être sollicitées en compression.

7.5 Résultats

Les premiers résultats présentés correspondent valeurs issues du dimensionnement à l'ELS et l'ELU.

La synthèse des sections d'acier par nœud prend en compte également le ferraillage mini à appliquer dans les zones tendues et non tendues (3cm²/ml) ainsi que les dispositions constructives de ferraillage non sectionnel (ferraillage transversal > 0.2 (ou 0.25 pour les piédroits) x ferraillage longitudinal).

7.6 Synthèse proposée dans la note de calcul

Le chapitre 5.3 de la note de calcul propose une synthèse en plan d'un ferraillage possible pour l'ouvrage.

Les sections sont symétrisées et récapitulées par lignes de points de mesures de façon à simplifier le ferraillage à seulement 11 sections par élément d'ouvrage. La section maximale de chaque ligne est reportée dans cette synthèse.

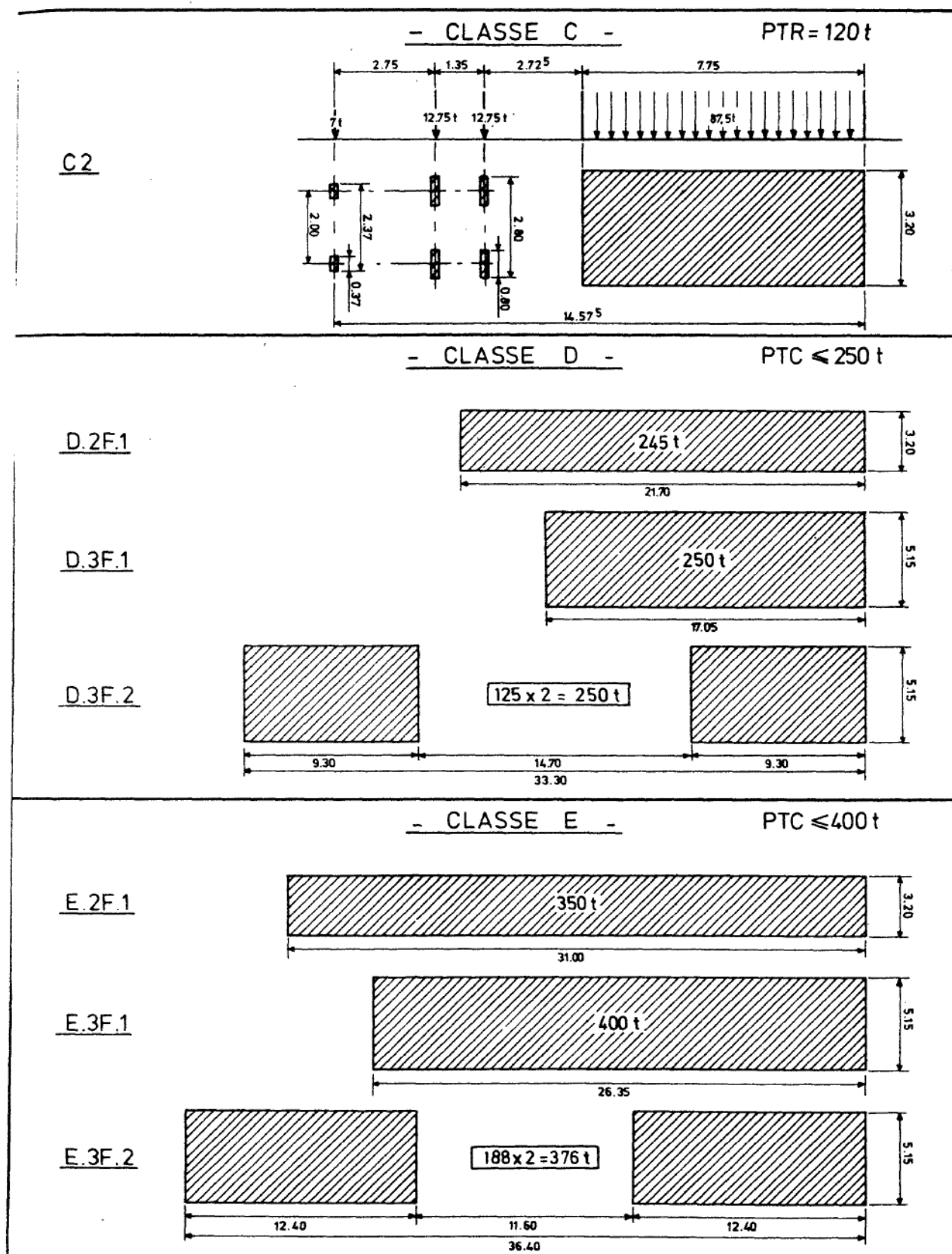
Les 11 sections pour le radier, un piédroit et la traverse sont présentées. Les valeurs d'enrobage ainsi que le diamètre d'acier pris en compte dans les calculs sont aussi donnés.

8. Quantitatif estimatif

A titre tout à fait indicatif, des estimations des quantités principales de l'ouvrage sont fournies.

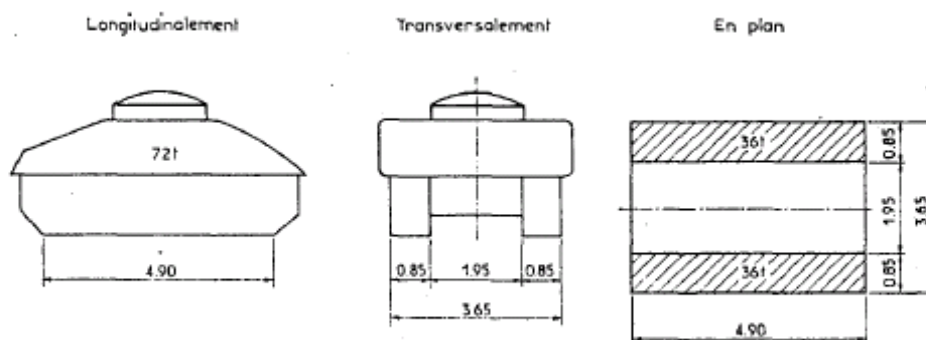
9. Annexes

9.1 Note SETRA d'Octobre 1982 sur les Transports Exceptionnels Annexe 5 - Convois types pour la vérification des Ouvrages d'Art



9.2 Extrait du fascicule 61 titre II : définition des charges Militaires

Convoi M80

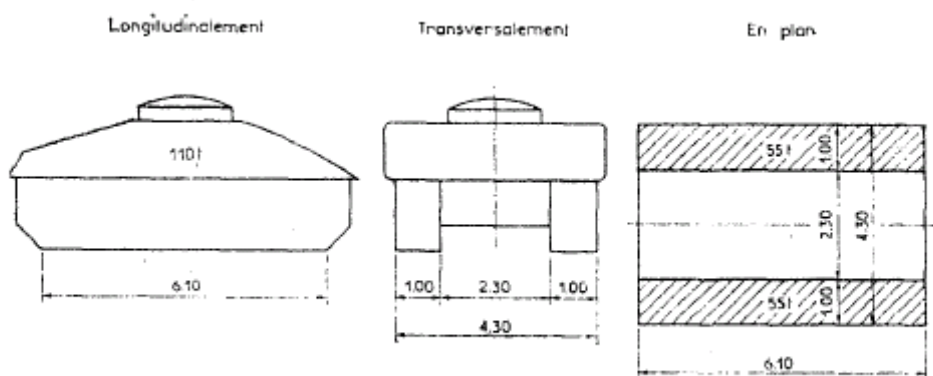


9.21. Un véhicule type du système M_e 80 comporte deux chenilles et répond aux caractéristiques suivantes :

Masse totale	72 t.
Longueur d'une chenille	4,90 m.
Largeur d'une chenille	0,85 m.
Distance d'axe en axe des deux chenilles	2,80 m.

Le rectangle d'impact de chaque chenille est supposé uniformément chargé.

Convoi M120



9.31. Un véhicule type du système M_c 120 comporte deux chenilles et répond aux caractéristiques suivantes :

Masse totale	110 t.
Longueur d'une chenille	6,10 m.
Largeur d'une chenille	1 m.
Distance d'axe en axe des deux chenilles	3,30 m.

Le rectangle d'impact de chaque chenille est supposé uniformément chargé.