

MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT ET DU LOGEMENT

SERVICE D'ÉTUDES TECHNIQUES DES ROUTES ET AUTOROUTES

AGENCE DU SUD-EST

50, Avenue du Maréchal de Lattre de Tassigny MACON 71 - Tel: 38.30.82

OUVRAGES TYPES POUR AUTOROUTES

OUVRAGES HYDRAULIQUES

AQUEDUCS PREFABRIQUÉS

O.H.A.P.ab 64

B O R D E R E A U

==:==:==:==:==:==:==:==:==

1 - CHARGES DES TERRES ET SURCHARGES ROULANTES :

- 1.1 - Evaluation des charges et surcharges
- 1.2 - Guide pour l'établissement d'une note de calcul

2 - AQUEDUCS EN BETON ARME :

- 2.1 - Notice technique
- 2.2 - Note de calcul
- 2.3 - Exemple numérique
- 2.4 - Dossiers des têtes d'ouvrage

3. - AQUEDUCS PREFABRIQUES EN ACIER :

- 3.1 - Note aux utilisateurs
- 3.2 - Notice technique
- 3.3 - Caractéristiques générales - Tableaux de dimensionnement

MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT ET DU LOGEMENT

SERVICE D'ÉTUDES TECHNIQUES DES ROUTES ET AUTOROUTES

AGENCE DU SUD-EST

50, Avenue du Maréchal de Lattre de Tassigny MACON 71 - Tel. 38.30.82

OUVRAGES TYPES POUR AUTOROUTES

OUVRAGES HYDRAULIQUES

O.H.A.P. a b 64

**CHARGES DE TERRE
ET SURCHARGES ROULANTES**

1

B O R D E R E A U

==:==:==:==:==:==:==:==:==:

1. - CHARGES DES TERRES ET SURCHARGES ROULANTES :

1.1 - Evaluation des charges et surcharges

1.2 - Guide pour l'établissement d'une note de calcul

MINISTERE des TRAVAUX PUBLICS et des TRANSPORTS

SERVICE SPECIAL DES AUTOROUTES

38 rue Liancourt PARIS 14^e SEG. 37.74

OUVRAGES TYPES POUR AUTOROUTES

OUVRAGES HYDRAULIQUES

EVALUATION DES CHARGES DE TERRE
ET DES SURCHARGES ROULANTES

OH.AP 1.64

A. CHARGES DE TERRE

B. SURCHARGES ROULANTES

①

ETUDE D'OUVRAGES HYDRAULIQUES		INGENIEUR EN CHEF CHEF DU SERVICE
INGENIEURS T.P.E.	INGENIEURS P.C.	
J. BEAUDOIN A. ROUX	J. DUFOUR C. VILA	A. THIEBAULT
PARIS SEPTEMBRE 1964		

S O M M A I R E

A - CHARGES DUES AUX REMBLAIS

I - GENERALITES

II - ELEMENTS DE BASE

II-1 - Considérations théoriques qualitatives

II-2 - Plan d'égal tassement

II-3 - Divers types d'installations

II-3-1 - Classement des installations

II-3-2 - en tranchée

II-3-3 - en remblai

II-3-4 - cas de charge le plus sévère

II-3-5 - Installations à flanc de coteau

II-4 - Essais

III - THEORIE DU PROFESSEUR MARSTON

III-1 - Définition

III-2 - Notations

III-3 - Installation en tranchée

III-4 - Installation en remblai indéfini

III-4-1 - Détermination de la charge

III-4-2 - Cas où $H < H_t$

III-4-3 - Cas où $H > H_t$

III-4-4 - Cas où H augmente indéfiniment

III-4-5 - Calcul de H_t et K

III-4-6 - Utilisation de l'abaque

III-5 - Evaluation du coefficient r

III-6 - Densité des terres

IV - CAS D'INSTALLATION PARTICULIERE

IV-1 - Aqueduc dans une tranchée large

IV-2 - Aqueduc partiellement en remblai

IV-3 - Aqueduc en remblai avec tranchée de décompression

B - EFFET DES SURCHARGES ROULANTES

I - EVALUATION DE LA SURCHARGE Q_2

II - EVALUATION DE LA CHARGE P_H

II-1 - Base théorique

II-2 - Calcul pratique de P_H

II-2-1 - Utilisation des tableaux de Holl et Newmark

II-2-2 - Cas des surcharges concentrées

II-2-3 - Cas des surcharges uniformément réparties en surface

II-2-4 - Surcharges à considérer pour les autoroutes

II-3 - Evaluation du coefficient de transmission

BIBLIOGRAPHIE

A - CHARGES DUES AUX REMBLAIS

I - GENERALITES

La charge appliquée à un aqueduc par les remblais qui le recouvrent est fonction :

- du type d'aqueduc et de sa flexibilité
- de la compressibilité du sol de fondation et des terrains latéraux
- des conditions d'installation du tuyau (en tranchée ou en remblai indéfini)
- de la hauteur et des caractéristiques du remblai et notamment de sa résistance au cisaillement de sa densité et de sa compressibilité.

Ces multiples facteurs font de l'évaluation de la charge due aux terres un problème complexe qui étant donné son importance pour la vie de l'ouvrage mérite une attention particulière.

Quoique des études intéressantes (bibliographies n° 1 et 2) aient été faites, ce problème n'a, à notre connaissance, pas reçu à ce jour de solution vraiment satisfaisante. Le cas des ouvrages sous remblai, cas le plus courant des ouvrages sous autoroutes, est d'ailleurs plus mal connu que celui des ouvrages en tranchée, qui intéresse principalement les égouts.

La théorie du Professeur MARSTON, Directeur du Collège de l'Etat d'Iowa paraît être actuellement celle qui donne les meilleurs renseignements qualitatifs sur le comportement des ouvrages et des terres, et quantitatifs sur la valeur des charges appliquées aux ouvrages.

Etablie et vérifiée à partir d'un certain nombre d'essais elle est assez largement utilisée aux U.S.A. et dans les pays étrangers.

Les développements qui suivent sont basés sur cette théorie.

II - ELEMENTS DE BASE

II-1 - Considérations théoriques qualitatives

La pression verticale des terres sur les aqueducs enterrés varie largement avec :

- le tassement t des terres surmontant l'aqueduc
- le tassement T des terres adjacentes

Avec l'hypothèse de plans de glissement verticaux encadrant l'aqueduc, les trois schémas ci-joints relatifs à 3 cas particuliers (figures 1, 2, 3), permettent de préciser qualitativement l'influence des valeurs relatives de T et t sur la charge supportée par l'aqueduc.

La figure 1 illustre l'installation d'un aqueduc rigide sur une fondation incompressible. Dans ce cas (en supposant le remblai de hauteur suffisante) les terres latérales à l'aqueduc se déplacent vers le bas par rapport à celles surmontant l'aqueduc du fait de la rigidité de la conduite et du caractère incompressible de la fondation : T est supérieur à t . Une partie du poids des terres latérales est donc reportée sur le prisme de terre surmontant l'aqueduc. La charge de terre sur l'aqueduc est dans ce cas supérieure à celle du poids du prisme de terre le surmontant.

La figure 2 illustre le cas où la somme de la déflexion verticale de l'aqueduc et du tassement de la fondation est égale au tassement du plan des terres initialement situé au niveau de la clé de l'aqueduc : t est égal à T . La charge des terres sur l'aqueduc est sensiblement égale au poids du prisme de terre le surmontant.

La figure 3 illustre l'installation d'une conduite flexible sur une fondation compressible. Dans ce cas (en supposant le remblai de hauteur suffisante) le prisme de terre surmontant l'aqueduc tasse plus que les terres latérales : t est supérieur à T : la charge sur l'aqueduc est dans ce cas inférieure au poids des terres le surmontant.

II-2 - Plan d'égal tassement

Dans tout remblai suffisamment haut, il y a un plan horizontal dit plan d'égal tassement au-dessus duquel la pression due aux terres est la même pour les terres au-dessus de l'aqueduc et pour les terres latérales, l'existence de ce plan est lié à l'étalement des déformations au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la clef de voûte.

Le niveau H_t de ce plan est celui pour lequel le tassement dû au poids de remblai d'épaisseur $H - H_t$ sur les terres de hauteur H_t au-dessus de l'aqueduc plus la déflexion de l'aqueduc plus le tassement de la fondation est égal au tassement des terres latérales et de leur sol d'appui au-dessous du niveau H_t .

II-3 - Divers types d'installations (voir figures 4 et 5).

II-3-1 - On peut classer les installations courantes en deux types principaux :

- aqueduc en tranchée
- aqueduc en remblai

II-3-2 - En tranchée

Le prisme de terre au-dessus de l'aqueduc tendant à tasser plus que les terres latérales transmet par frottement, sur les parois de la tranchée, une partie de son poids aux terres latérales. Il y a allègement. Ce phénomène est communément connu sous la dénomination d'«effets voûte».

L'allègement est plus important dans le cas d'un aqueduc flexible que dans celui d'un aqueduc rigide du fait de la déflexion du diamètre vertical. L'allègement est également plus grand avec une fondation compressible qu'avec une fondation rigide.

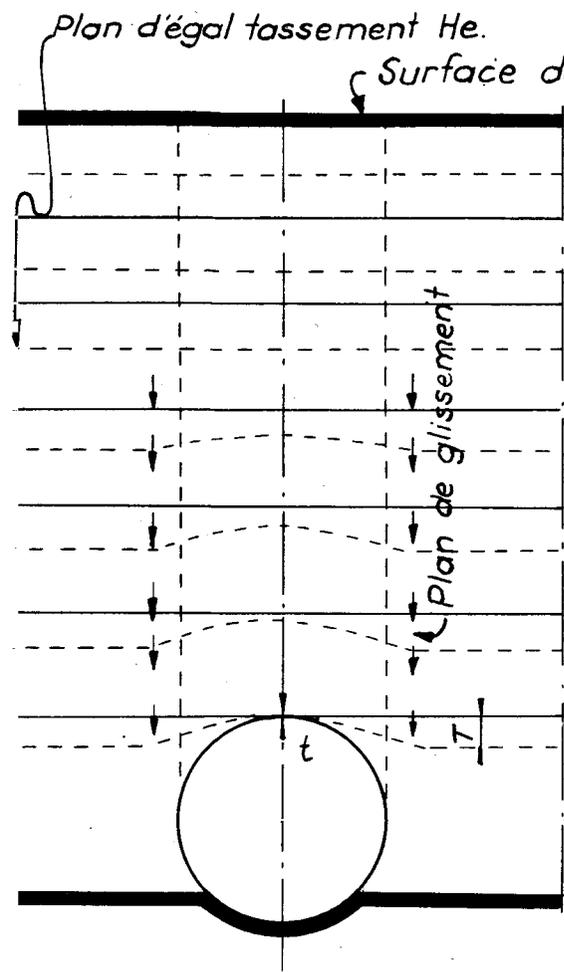


Fig.1

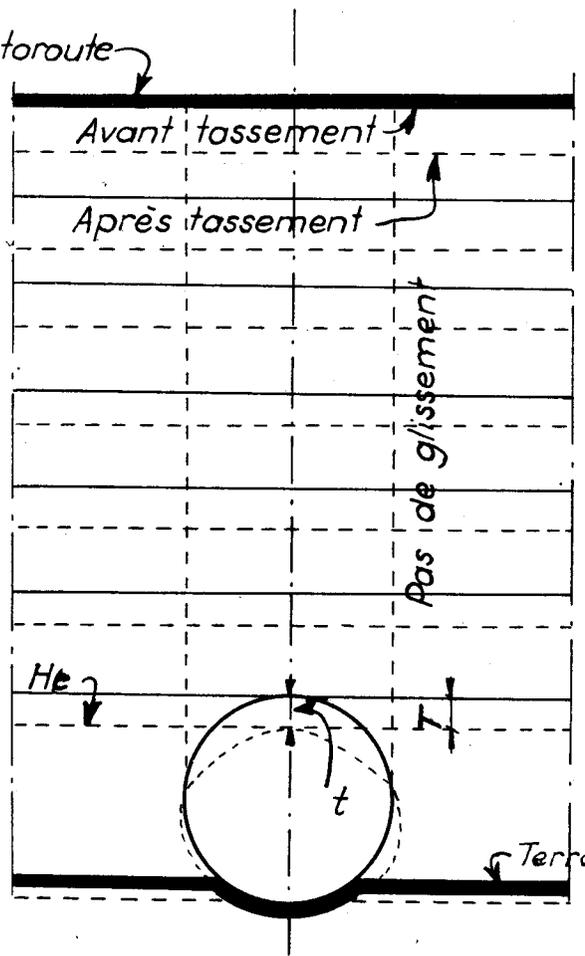


Fig.2

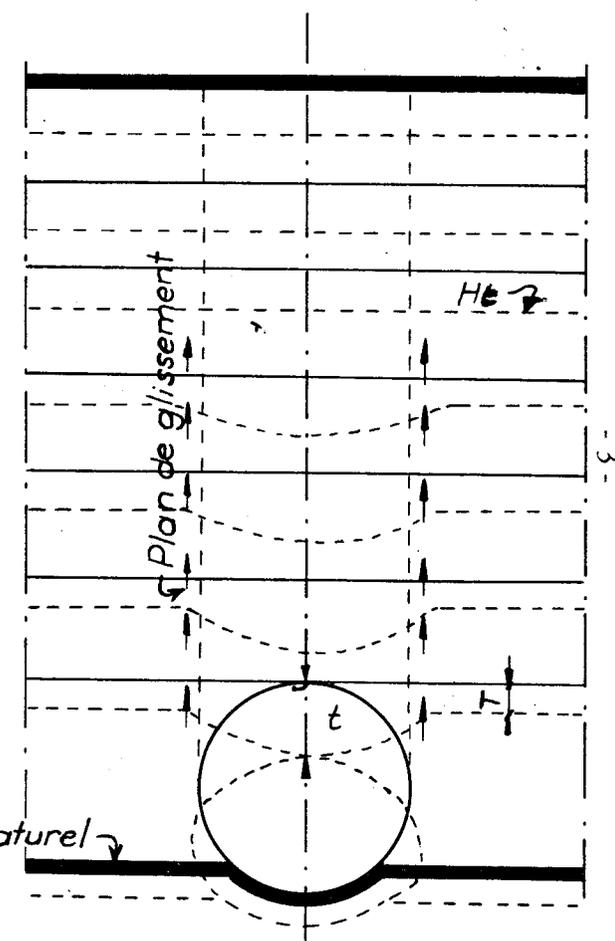


Fig.3

TRANCHEE

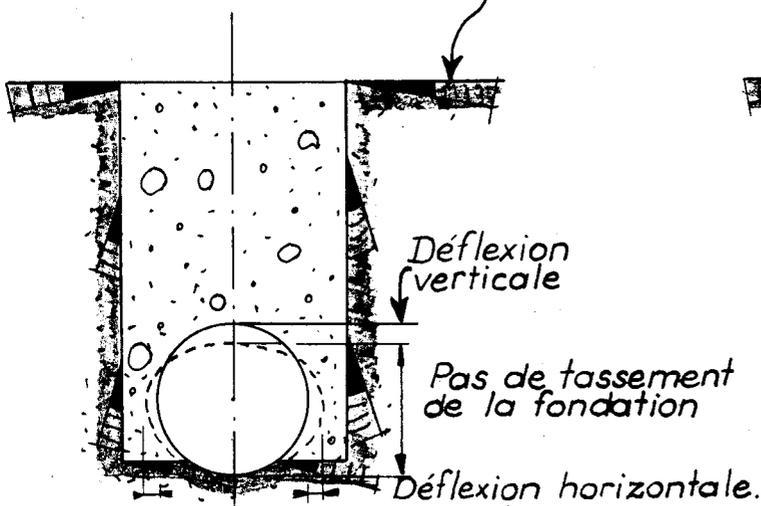
AQUEDUC

Fig. 4

FLEXIBLE

CAS I

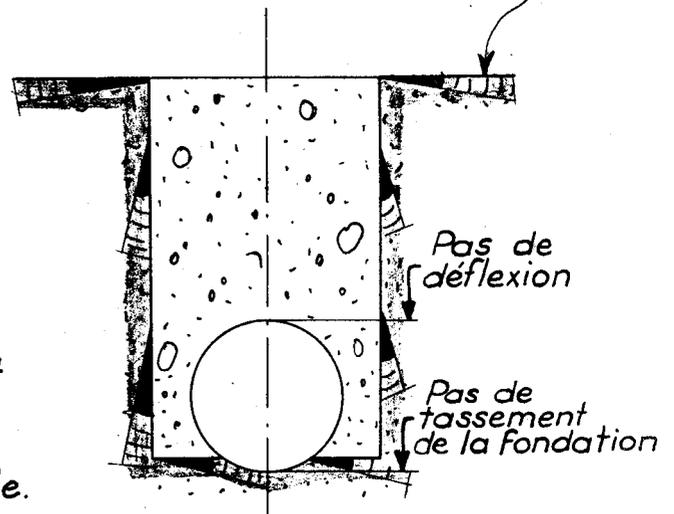
Surface de l'autoroute



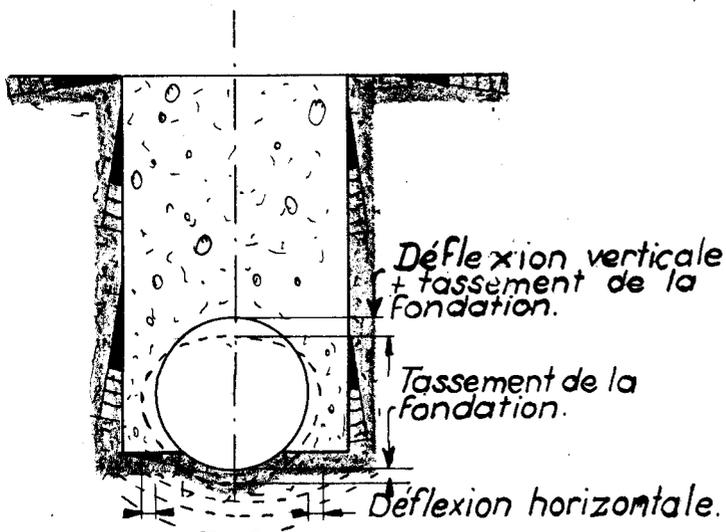
RIGIDE

CAS II

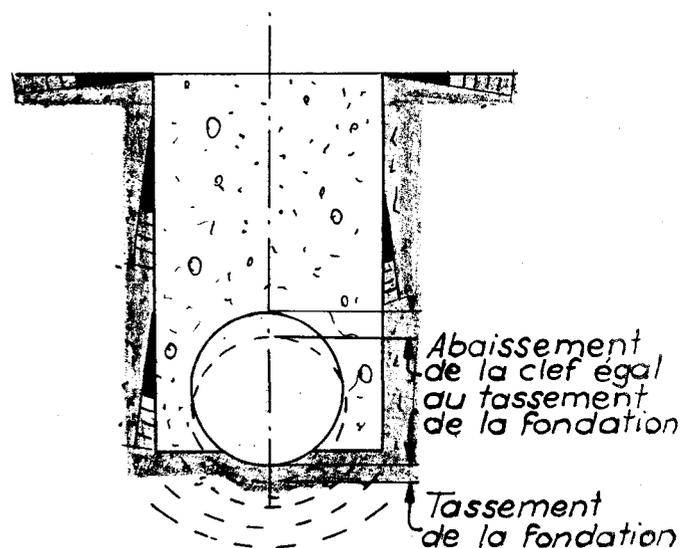
Surface de l'autoroute



CAS III



CAS IV



REMBLAI

AQUEDUC

FLEXIBLE

Fig 4

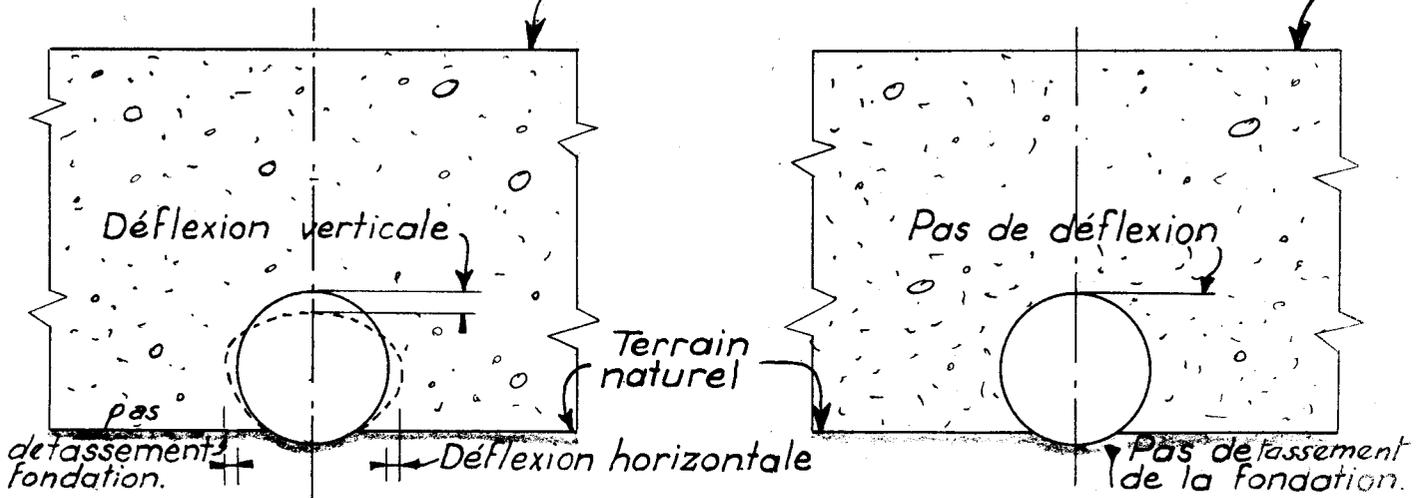
RIGIDE

CAS V

Surface de l'autoroute

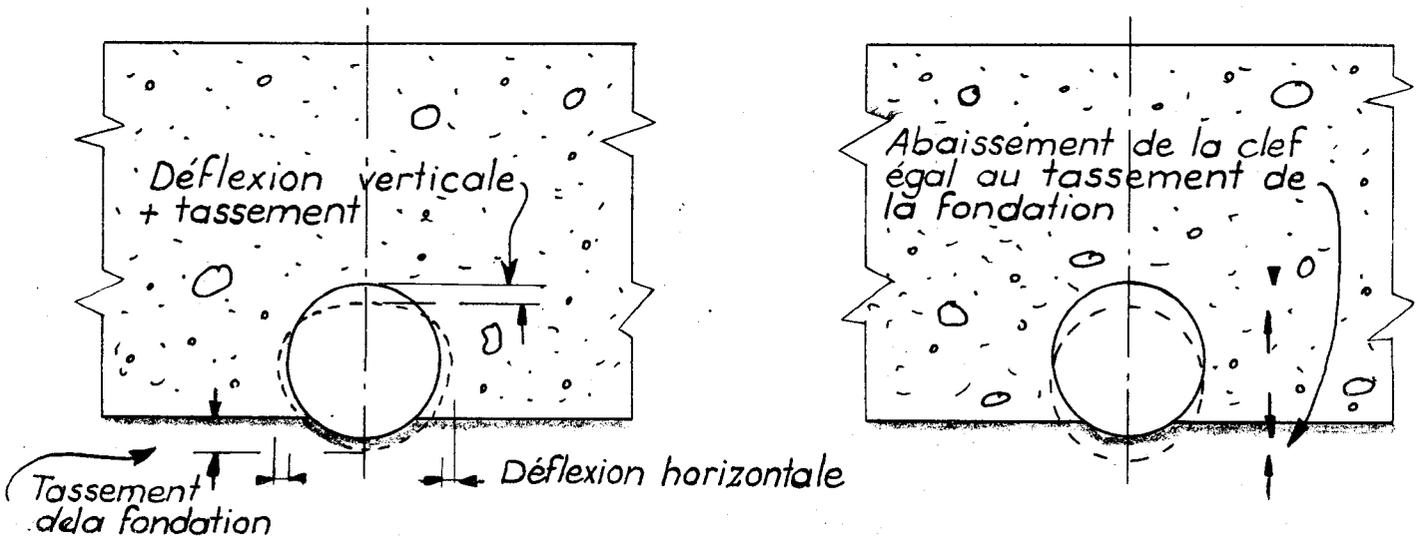
CAS VI

Surface de l'autoroute



CAS VII

CAS VIII



II-3-3 - En remblai

Contrairement au cas de la tranchée, les terres latérales ont tendance à tasser plus que le prisme de terre surmontant l'aqueduc. Elles transmettent à celui-ci, par frottement, une partie de leur poids. Il y a alourdissement. Comme pour le cas d'installation en tranchée la charge est plus faible avec un aqueduc flexible qu'avec un aqueduc rigide, avec une fondation compressible qu'avec une fondation incompressible.

II-3-4 - Dans tous les cas d'installation représentés par les figures 4 le cas de charge le plus sévère pour le tuyau est le cas VI.

II-3-5 - Pour une installation à flanc de coteau (fig. 5) on implantera l'aqueduc avec une revanche suffisante par rapport au versant des thalwegs de façon à lui assurer une assise stable et à le placer en dehors de la zone de glissement superficiel qui le surchargerait.

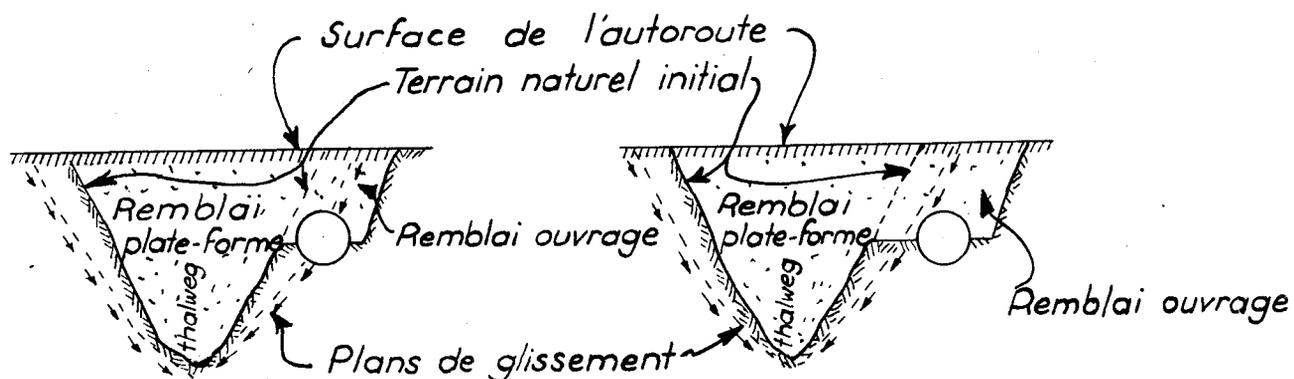


Fig. 5

II-4 - Essais

Des essais ont été effectués principalement aux U.S.A. sous la direction du Professeur MARSTON et de ses successeurs sur des aqueducs de diverses rigidités, ils ont mis en lumière :

- 1°) L'importance de la rigidité des conduites

- 2°) la grande influence quant aux charges supportées par les ouvrages enterrés, particulièrement pour les ouvrages rigides, de leur installation soit en remblai, soit en tranchée.

Pour les ouvrages rigides les charges mesurées dans le cadre des essais pour le cas du remblai indéfini se sont avérées être de 1,5 à 2 fois le poids de terre surmontant l'aqueduc, la charge augmentant sensiblement après le remblaiement.

Pour les ouvrages flexibles, les mêmes charges étaient voisines du poids des terres surmontant la conduite.

- 3°) la variation des pressions sur la périphérie d'une conduite. La dispersion des résultats des essais ne permet, toutefois, d'en tirer que des indications qualitatives. La figure 6 donne dans le cas d'essais de l'American Railway Engineering Association les valeurs comparées des pressions verticales et latérales.

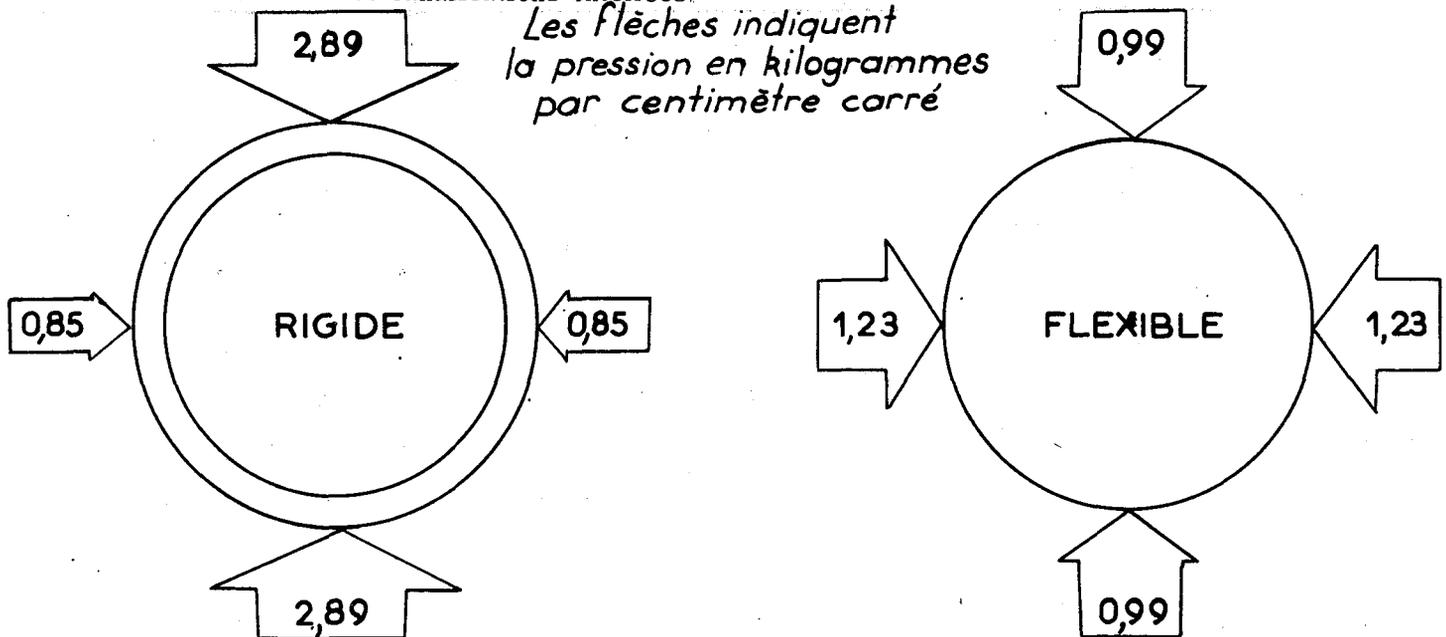
Pour une conduite rigide la pression à la clé est beaucoup plus élevée que la pression latérale.

Pour une conduite flexible la pression est assez peu variable autour de la conduite.

- 4°) l'existence d'une hauteur limite H_t à partir de laquelle les tassements de la conduite et de la couche de terre adjacente restaient les mêmes au cours des chargements ultérieurs.

- 5°) la répartition sensiblement uniforme des charges verticales sur la paroi supérieure des canalisations enterrées.

Les flèches indiquent la pression en kilogrammes par centimètre carré



*Extrait de "Handbook of Drainage and Construction Products"
par the Armco International Corporation.*

III - THEORIE DU PROFESSEUR MARSTON

III-1 - Tirée de celle qui est utilisée pour le calcul des silos, cette théorie est basée sur l'hypothèse d'un remblai pulvérulent et sur celle déjà évoquée de deux plans de glissement verticaux encadrant la conduite. De l'existence d'un plan d'égal tassement il résulte que pour les hauteurs de remblais supérieures à H_t les forces de frottement n'agissent que sur la hauteur H_t , et les terres au-dessus de H_t ne jouent que le rôle d'une surcharge répartie uniformément.

Nous donnons ci-dessous les formules théoriques auxquelles conduit la théorie dans les deux catégories d'installations : en tranchée et en remblai.

III-2 - Notations - Voir figures 8 et 9

- Ht distance verticale mesurée entre la génératrice supérieure de la buse et le plan d'égal tassement ;
- H hauteur totale de remblai sur la buse, mesurée entre la génératrice supérieure de la buse, et le plan supérieur de la chaussée de l'autoroute ;
- D diamètre extérieur de la buse ;
- p rapport de la distance verticale entre le plan du terrain supposé incompressible sur lequel s'appuie l'ouvrage et le plan horizontal (plan critique) passant par la génératrice extérieure supérieure du tuyau au diamètre extérieur du tuyau ;
- k rapport entre les pressions horizontales et verticales dans un remblai indéfini ;
- $u = \operatorname{tg} \varphi$, φ angle de frottement interne du remblai
- γ densité du remblai
- Q charge verticale due au remblai sur l'unité de longueur d'aqueduc

III-3 - Installation en tranchée

On obtient directement la charge sur un élément de longueur unité de l'aqueduc Q_1

$$Q_1 = \frac{1 + \frac{1}{2 \frac{Ku}{B} H}}{e \frac{2 \frac{Ku}{B}}{B}} \gamma B$$

Dans cette formule B est la largeur de la tranchée au niveau de la génératrice supérieure de l'aqueduc.

Cette formule a été traduite par les courbes de la figure 7

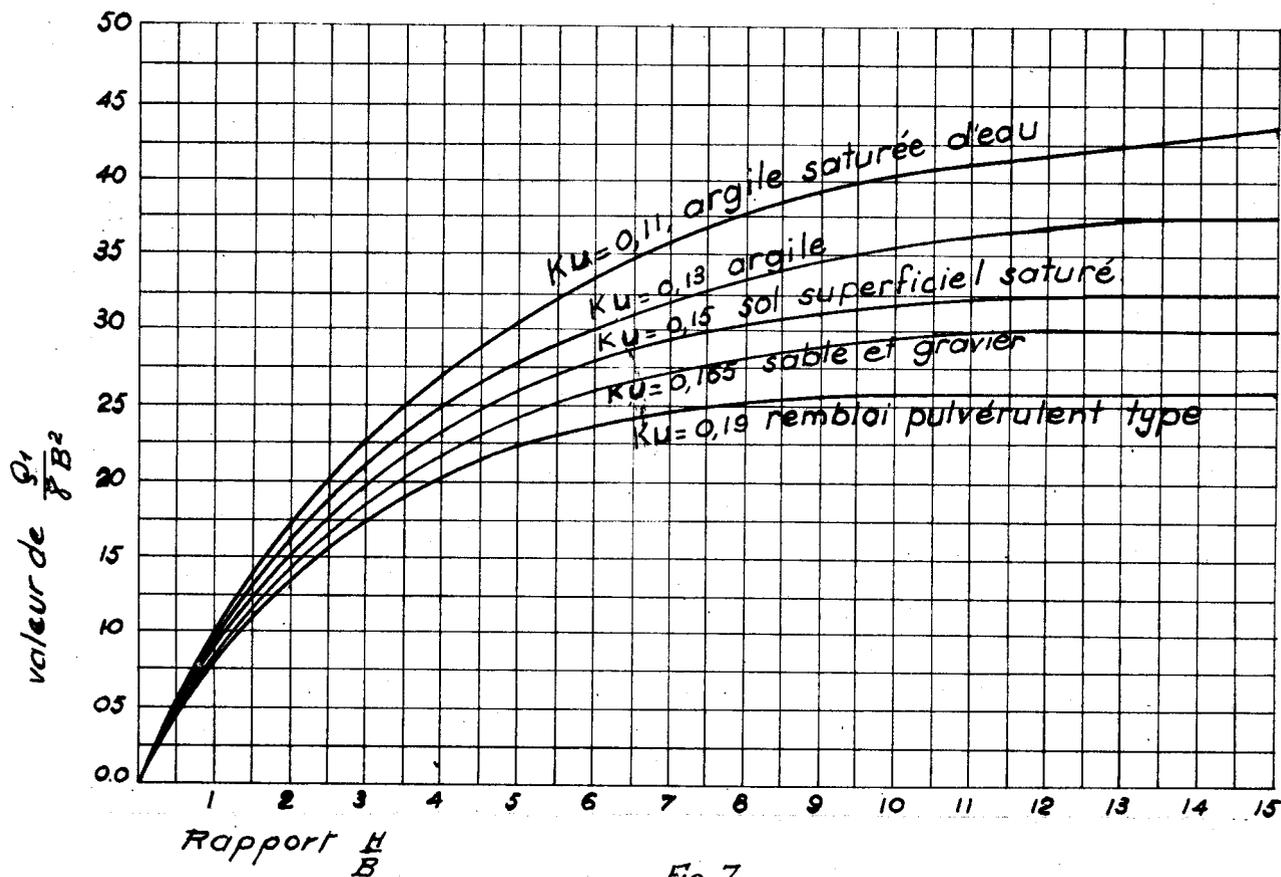


Fig 7

III-4 - Installation en remblai indéfini

III-4-1 - La théorie permet de déterminer la charge Q_1 par la formule

$$Q_1 = K \gamma DH$$

dans laquelle K est le rapport entre la charge supportée par la conduite et le poids du prisme de terre à parois latérales verticales qui la surmonte.

Il convient de distinguer deux cas suivant que la hauteur du remblai est inférieure ou supérieure à la hauteur H_t du plan d'égal tassement.

III-4-2 - Cas où $H < H_t$

$$K = \pm \frac{e^{-\frac{2ku}{D}H} - 1}{\frac{2kuH}{D}}$$

le signe - correspond au cas peu fréquent où il y a allègement

le signe + correspond au cas le plus fréquent où il y a concentration des charges

III-4-3 - Cas où $H > H_t$

Dans ce cas le calcul de H_t fait intervenir le coefficient r dénommé « rapport tassement flèche » qui est le rapport de la différence entre l'abaissement de la clé de l'ouvrage et l'abaissement des terres latérales au niveau du plan horizontal passant par cette clé (dénommé plan critique) et du tassement de la tranche de terre située entre le terrain sur lequel s'appuie l'ouvrage et le plan critique (tranche de terre dont la hauteur est pD sur la figure 8).

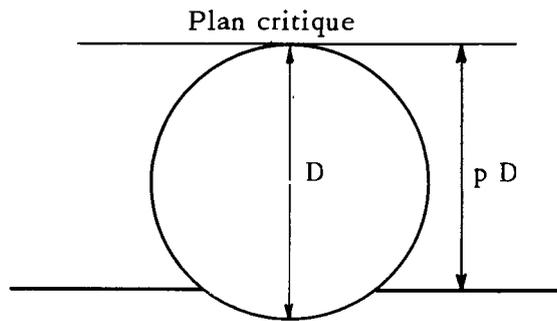
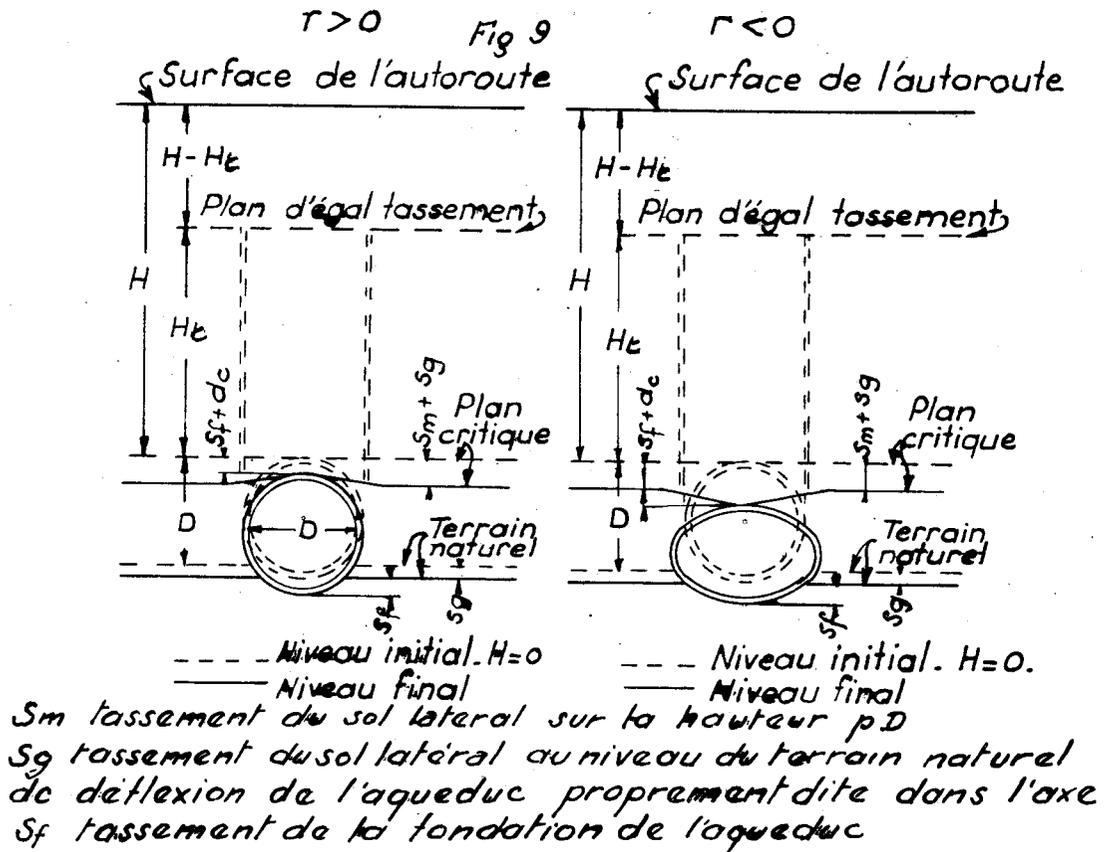


fig. 8



Avec les notations de la figure 9 :

$$r = \frac{(S_m + S_g) - (S_f + dc)}{S_m}$$

Si r est positif (la clé de la conduite s'abaisse moins que les terres latérales situées au même niveau).

H_t est donné par l'équation

$$e^{2ku \frac{H_t}{D}} + 2ku \frac{H_t}{D} = 1 + 2ku pr$$

puis K par

$$K = e^{2ku \frac{H_t}{D}} + \frac{1}{H} \left[e^{\frac{2ku \frac{H_t}{D}}{2ku} - 1} - \frac{H_t}{D} e^{2ku \frac{H_t}{D}} \right]$$

Si r est négatif (la clé de la conduite s'abaisse plus que les terres latérales situées au même niveau).

...

Ht est donné par l'équation

$$e^{-2 ku \frac{Ht}{D}} + 2 ku \frac{Ht}{D} = 1 - 2 kpr$$

puis K par

$$K = \frac{1}{e^{-2 ku \frac{Ht}{D}} + \frac{H}{D}} + \frac{1}{\frac{H}{D}} \left[\frac{1 - e^{-2 ku \frac{Ht}{D}}}{2 ku} - \frac{\frac{Ht}{D}}{e^{-2 ku \frac{Ht}{D}} + \frac{H}{D}} \right]$$

III-4-4 - Pour H augmentant indéfiniment K tend vers la valeur

$$K = e^{-2 ku \frac{Ht}{D}}$$

Ht est généralement inférieur à 2 D si $k < 1$

inférieur à 3 D si $k > 1$

III-4-5 - Dans les deux cas r positif et r négatif le groupe de deux équations permet à partir des données : ku , p , $\frac{H}{D}$ et r de calculer H_t et K c'est à dire la charge répartie sur la conduite.

III-4-6 - Les formules précédentes ont été traduites pour diverses valeurs de pr par l'abaque de la figure 10 dans le cas où $ku = 0,1924$. (Cette valeur correspond au maximum de la fonction

$$\operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi - \varphi}{4} \right)$$

lorsque φ varie de 0 à $\frac{\pi}{2}$)

La faible influence des variations de φ sur la valeur de Q_1 permet d'utiliser pratiquement cet abaque dans les cas courants.

...

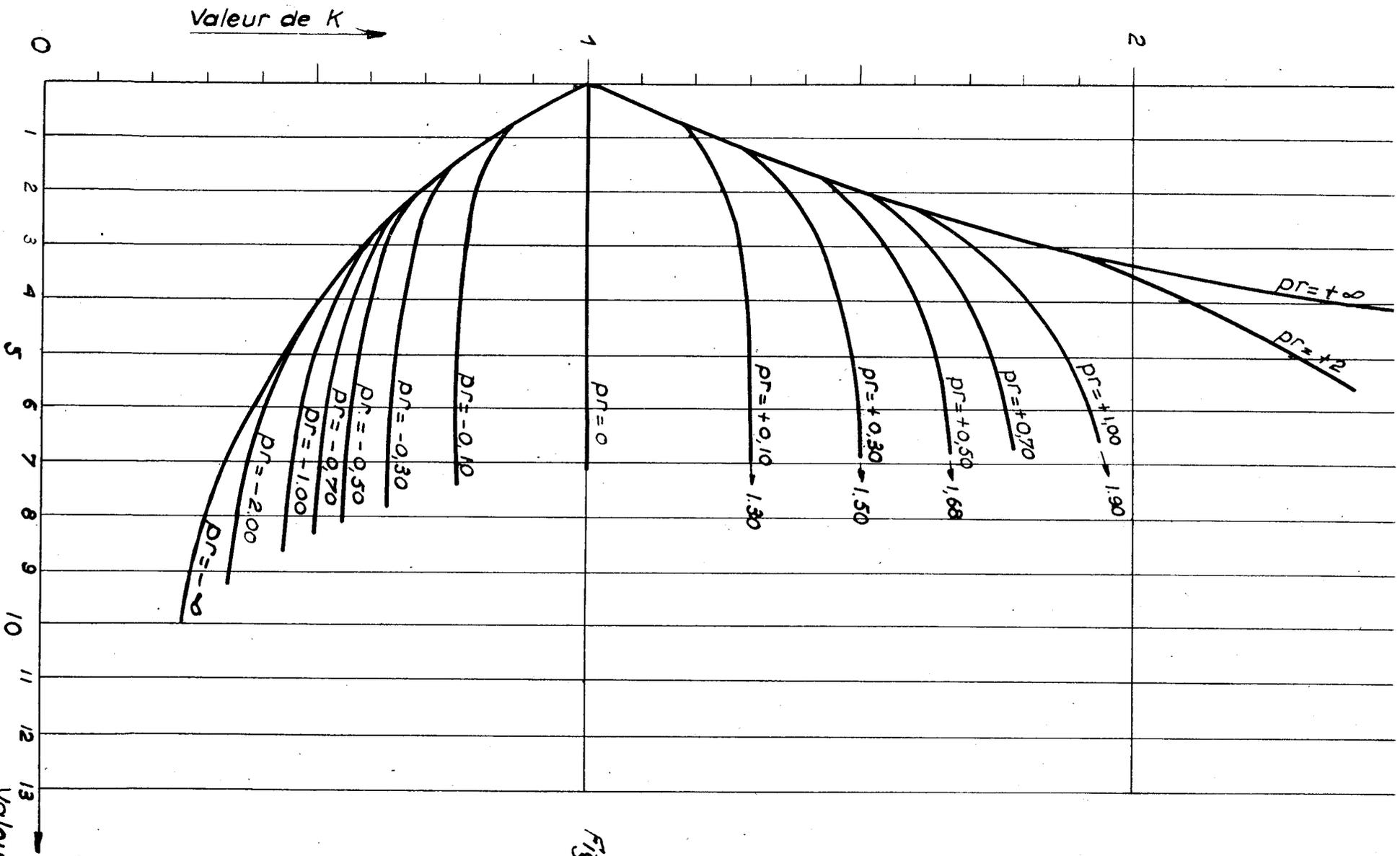


Fig 10

Valeur de H

III-5 - Evaluation du coefficient r

L'évaluation de r est délicate. A défaut de mesure et de calcul de tassement et de déflexion, difficile et non indispensable en général, elle est faite empiriquement compte tenu des conditions locales rencontrées.

Selon Spangler les chiffres suivants basés sur des observations et essais pourraient être adoptés dans les cas suivants :

Aqueduc flexible avec des remblais latéraux insuffisamment compactés	$r = - 0,4$ à 0
Aqueduc flexible avec remblais latéraux bien compactés	$r = - 0,2$ à $0,8$
Aqueduc rigide sur rocher ou fondation incompressible	$r = + 1$
Aqueduc rigide sur fondation "moyenne"	$r = + 0,5$ à $+0,8$
Aqueduc rigide sur fondation compressible	$r = 0$ à $+ 0,5$

Les valeurs les plus courantes pour r seraient :

dans le cas d'aqueducs rigides $r = + 0,7$

dans le cas d'aqueducs flexibles $r = 0$

III-6 - Densité des terres

La densité des terres sera évaluée en fonction des conditions locales. Pour un calcul d'avant-projet à défaut d'une connaissance plus précise on adoptera :

$$\gamma = 2\ 000\ \text{kg/m}^3$$

IV - CAS D'INSTALLATION PARTICULIERE

IV-1 - Aqueduc dans une tranchée large

Au-delà d'une certaine largeur de tranchée la charge n'est plus celle supportée par un aqueduc en tranchée, telle qu'elle a été définie plus haut, mais celle que supporterait l'aqueduc dans les conditions d'installation en remblai indéfini.

La valeur de cette largeur de tranchée de l'ordre de 2 à 3 fois le diamètre est donnée par les courbes de la figure 10.

...

IV-2 - Aqueduc partiellement en remblai

Suivant la hauteur de la tranchée et les conditions de tassement, la charge sur l'aqueduc est variable entre le minimum correspondant aux conditions d'installation en tranchée complète et γBH (B largeur de la tranchée).

IV-3 - Aqueduc en remblai avec tranchée de décompression

Pour les remblais importants sur les aqueducs rigides, en vue de réduire les charges élevées auxquelles ils seraient soumis, on peut exécuter une tranchée dans le remblai au-dessus de l'aqueduc et la remblayer avec des matériaux compressibles non compactés. Si la compressibilité de ce matelas est suffisante pour que le tassement des terres sur l'aqueduc soit supérieur ou égal à celui des terres latérales, la charge de terre ne dépassera alors pas γDH .

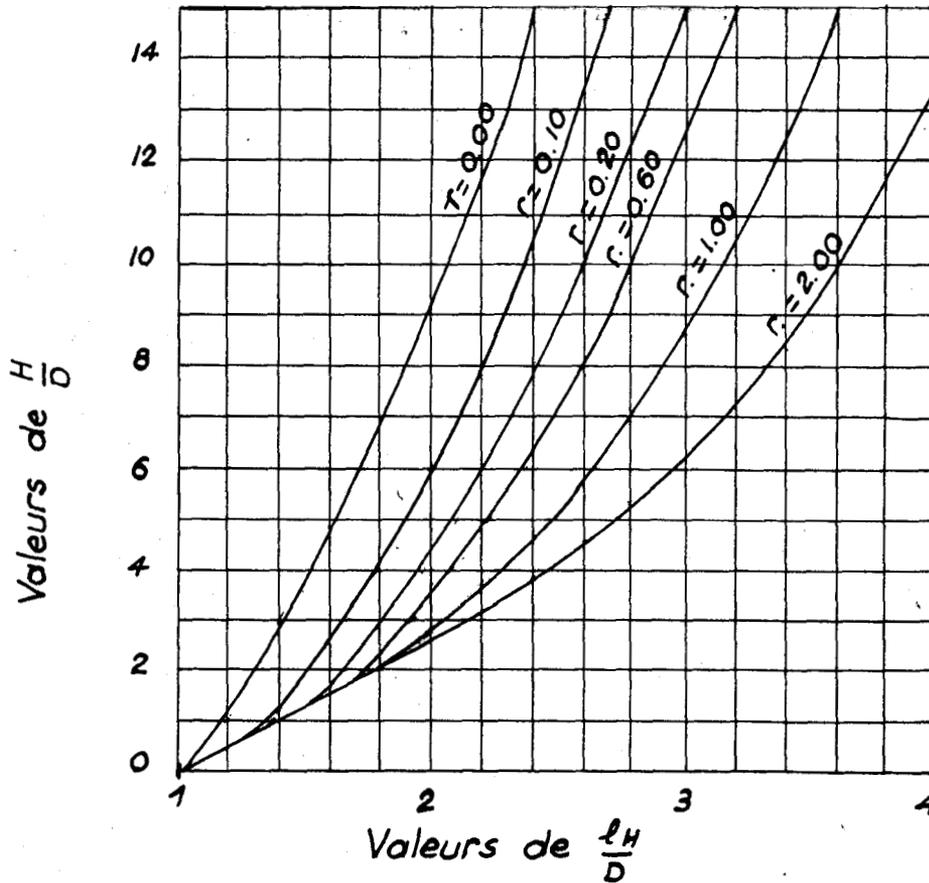


Fig 11

B - EFFET DES SURCHARGES ROULANTES

- I - Les surcharges supportées par les aqueducs enterrés sont d'autant plus importantes que la hauteur de remblai qui les recouvre est plus faible.

Elles seront évaluées par la formule

$$Q_2 = \frac{1}{l} \times l \times P_H$$

dans laquelle

- Q_2 est la charge moyenne sur la section d'aqueduc considérée, en kilogrammes par mètre linéaire
- l est la longueur de la section d'aqueduc prise en compte pour le calcul, en mètres. Dans le cas d'ouvrages préfabriqués cette longueur sera celle des éléments constitutifs si elle est inférieure à 1,00 mètre, 1,00 mètre dans le cas contraire.
- I est le coefficient de transmission
- P_H est la valeur de la fraction de la surcharge P agissant à la profondeur H sur la section d'aqueduc de longueur l , en kilogrammes. H est la plus faible profondeur par rapport à la surface de roulement de l'autoroute de la génératrice supérieure de l'ouvrage.

II - EVALUATION DE LA CHARGE P_H

II-1 - Base théorique

La charge P_H est évaluée à partir de l'équation de Boussinesq donnant les contraintes dans un solide élastique homogène semi-indéfini. L'hypothèse du solide élastique appliquée à des remblais pulvérulents est évidemment inexacte. On constate en effet dans le cas de remblais pulvérulents une majoration des contraintes par rapport à celles calculées pour un solide élastique.

Cette majoration est difficile à évaluer et dans les cas courants elle peut être négligée parce que la hauteur de recouvrement du tuyau est suffisante.

C'est seulement si le tuyau est à une faible profondeur qu'il faudrait en tenir compte.

La formule de Boussinesq est la suivante

$$P = \frac{3 P H^3}{2 \pi R^5}$$

- où p est la pression unitaire en un point du remblai
H la profondeur de ce point sous la surface du remblai
P la charge concentrée appliquée à la surface du remblai
R la distance entre le point considéré et le point d'application de la charge P

II-2 - Calcul pratique de PH

II-2-1 - Le calcul est facilité par les tableaux ci-après dus à Holl et Newmark, qui sont le résultat de l'intégration de la formule de Boussinesq et qui permettent d'évaluer.

- la pression moyenne, sur une aire rectangulaire de dimensions X, Y à une profondeur H pour une charge ponctuelle placée au droit d'un angle de cette aire,
- la pression due à une surcharge uniformément répartie en surface sur une aire rectangulaire de dimension X, Y en un point situé à l'aplomb d'un angle de cette aire à une profondeur H.

Dans les deux cas la pression est

$$pH = \frac{C P}{X Y}$$

où le coefficient C est défini dans les tableaux (fig. 12) à l'aide des paramètres

$$m = \frac{X}{H}$$

$$n = \frac{Y}{H}$$

II-2-2 - Cas des surcharges concentrées

Les surcharges concentrées seront considérées comme ponctuelles au niveau du sol.

Etant donnée la valeur prescrite pour la hauteur minimale de recouvrement l'erreur ainsi faite est négligeable.

Pour le calcul du coefficient C :

- lorsque la surcharge sera en un point quelconque au-dessus du rectangle considéré; celui-ci sera divisé en quatre rectangles et le coefficient C sera la somme des quatre coefficients correspondants.

...

Fig 12

m	n											
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
0.1	0.00470	0.00917	0.01323	0.01678	0.01978	0.02223	0.02420	0.02576	0.02698	0.02794	0.02926	0.03007
0.2	0.00917	0.01790	0.02585	0.03280	0.03866	0.04348	0.04735	0.05042	0.05283	0.05471	0.05733	0.05894
0.3	0.01323	0.02585	0.03735	0.04742	0.05593	0.06294	0.06858	0.07308	0.07661	0.07938	0.08323	0.08561
0.4	0.01678	0.03280	0.04742	0.06024	0.07111	0.08009	0.08734	0.09314	0.09770	0.10129	0.10631	0.10941
0.5	0.01978	0.03866	0.05593	0.07111	0.08403	0.09473	0.10340	0.11035	0.11584	0.12018	0.12626	0.13003
0.6	0.02223	0.04348	0.06294	0.08009	0.09473	0.10688	0.11679	0.12474	0.13105	0.13605	0.14309	0.14749
0.7	0.02420	0.04735	0.06858	0.08734	0.10340	0.11679	0.12772	0.13653	0.14356	0.14914	0.15703	0.16199
0.8	0.02576	0.05042	0.07308	0.09314	0.11035	0.12474	0.13653	0.14607	0.15371	0.15978	0.16843	0.17389
0.9	0.02698	0.05283	0.07661	0.09770	0.11584	0.13105	0.14356	0.15371	0.16185	0.16835	0.17766	0.18357
1.0	0.02794	0.05471	0.07938	0.10129	0.12018	0.13605	0.14914	0.15978	0.16835	0.17522	0.18508	0.19139
1.2	0.02926	0.05733	0.08323	0.10631	0.12626	0.14309	0.15703	0.16843	0.17766	0.18508	0.19584	0.20278
1.4	0.03007	0.05894	0.08561	0.10941	0.13003	0.14749	0.16199	0.17389	0.18357	0.19139	0.20278	0.21020
1.6	0.03058	0.05994	0.08709	0.11135	0.13241	0.15028	0.16515	0.17739	0.18737	0.19546	0.20731	0.21510
1.8	0.03080	0.06058	0.08804	0.11260	0.13395	0.15207	0.16720	0.17967	0.18986	0.19814	0.21032	0.21836
2.0	0.03111	0.06100	0.08867	0.11342	0.13496	0.15326	0.16856	0.18119	0.19152	0.19994	0.21235	0.22058
2.5	0.03138	0.06155	0.08948	0.11450	0.13628	0.15483	0.17036	0.18321	0.19375	0.20236	0.21512	0.22364
3.0	0.03150	0.06178	0.08982	0.11495	0.13684	0.15550	0.17113	0.18407	0.19470	0.20341	0.21633	0.22499
4.0	0.03158	0.06194	0.09007	0.11527	0.13724	0.15598	0.17168	0.18469	0.19540	0.20417	0.21722	0.22600
5.0	0.03160	0.06199	0.09014	0.11537	0.13737	0.15612	0.17185	0.18488	0.19561	0.20440	0.21749	0.22632
6.0	0.03161	0.06201	0.09017	0.11541	0.13741	0.15617	0.17191	0.18496	0.19569	0.20449	0.21760	0.22644
8.0	0.03162	0.06202	0.09018	0.11543	0.13744	0.15621	0.17195	0.18500	0.19574	0.20455	0.21767	0.22652
10.0	0.03162	0.06202	0.09019	0.11544	0.13745	0.15622	0.17196	0.18502	0.19576	0.20457	0.21769	0.22654
∞	0.03162	0.06202	0.09019	0.11544	0.13745	0.15623	0.17197	0.18502	0.19577	0.20458	0.21770	0.22656

m.	n										
	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0	∞
0.1	0.03058	0.03090	0.03111	0.03138	0.03150	0.03158	0.03160	0.03161	0.03162	0.03162	0.03162
0.2	0.03094	0.06058	0.06100	0.06155	0.06178	0.06194	0.06199	0.06201	0.06202	0.06202	0.06202
0.3	0.03709	0.06804	0.06867	0.06948	0.06982	0.09007	0.09014	0.09017	0.09018	0.09019	0.09019
0.4	0.04135	0.11260	0.11342	0.11450	0.11495	0.11527	0.11537	0.11541	0.11543	0.11544	0.11544
0.5	0.13241	0.13395	0.13496	0.13628	0.13684	0.13724	0.13737	0.13741	0.13744	0.13745	0.13745
0.6	0.15028	0.15207	0.15326	0.15483	0.15550	0.15598	0.15612	0.15617	0.15621	0.15622	0.15623
0.7	0.16515	0.16720	0.16856	0.17036	0.17113	0.17168	0.17185	0.17191	0.17195	0.17196	0.17197
0.8	0.17739	0.17967	0.18119	0.18321	0.18407	0.18469	0.18488	0.18496	0.18500	0.18502	0.18502
0.9	0.18737	0.18986	0.19152	0.19375	0.19470	0.19540	0.19561	0.19569	0.19574	0.19576	0.19577
1.0	0.19546	0.19814	0.19994	0.20236	0.20341	0.20417	0.20440	0.20449	0.20455	0.20457	0.20458
1.2	0.20731	0.21032	0.21235	0.21512	0.21633	0.21722	0.21749	0.21760	0.21767	0.21769	0.21770
1.4	0.21510	0.21836	0.22058	0.22364	0.22499	0.22600	0.22632	0.22644	0.22652	0.22654	0.22656
1.6	0.22025	0.22372	0.22610	0.22940	0.23088	0.23200	0.23236	0.23249	0.23258	0.23261	0.23263
1.8	0.22372	0.22736	0.22986	0.23334	0.23495	0.23617	0.23656	0.23671	0.23681	0.23684	0.23686
2.0	0.22610	0.22986	0.23247	0.23514	0.23782	0.23912	0.23954	0.23970	0.23981	0.23985	0.23987
2.5	0.22940	0.23334	0.23614	0.24010	0.24196	0.24344	0.24392	0.24412	0.24425	0.24429	0.24432
3.0	0.23088	0.23495	0.23782	0.24196	0.24394	0.24554	0.24603	0.24630	0.24646	0.24650	0.24654
4.0	0.23200	0.23617	0.23912	0.24344	0.24554	0.24729	0.24791	0.24817	0.24836	0.24842	0.24846
5.0	0.23256	0.23656	0.23954	0.24392	0.24608	0.24791	0.24857	0.24885	0.24907	0.24914	0.24919
6.0	0.23249	0.23671	0.23970	0.24442	0.24630	0.24817	0.24885	0.24916	0.24939	0.24946	0.24952
8.0	0.23258	0.23681	0.23981	0.24425	0.24646	0.24836	0.24907	0.24939	0.24964	0.24973	0.24980
10.0	0.23261	0.23684	0.23985	0.24429	0.24650	0.24842	0.24914	0.24946	0.24973	0.24981	0.24989
∞	0.23263	0.23686	0.23987	0.24432	0.24654	0.24846	0.24919	0.24952	0.24980	0.24989	0.25000

II-2-3 - Cas des surcharges uniformément réparties en surface

- Le processus du calcul est identique
- Pour les petits aqueducs, la pression maximale calculée pourra être appliquée à toute la section considérée
- ? (- Pour les aqueducs de grande ouverture, la "surface de pression" pourra être admise comme longitudinalement cylindrique sur la section considérée.

II-2-4 - Surcharges à considérer pour les autoroutes

Les surcharges sont celles définies par :

- a) Le cahier des prescriptions communes : fascicule 61 - Circulaire n° 65 du 19 août 1960 - Conception, calcul et épreuves des ouvrages d'art - Titre II Programme et épreuves des ponts routes

Systeme A - Surcharges uniformément réparties

Systeme B - Roue de 10 tonnes - cylindre de 20 tonnes
Camions de 30 tonnes

- b) La circulaire série B n° 27 du 11 février 1946 : Instructions relatives aux conditions de circulation des matériels militaires lourds sur les ouvrages d'art.

Convoi militaire de 4^e classe : Char de 100 tonnes.

II-3 - Evaluation du coefficient de transmission

Il est particulièrement important à considérer pour les ouvrages sous faible remblai.

Sa valeur, pour l'estimation de laquelle on a peu d'éléments précis est variable entre 1,5 et 2 selon certaines expériences américaines (bibliographie n° 5) et anglaises (bibliographie n° 10). Elle dépend de la vitesse et des caractéristiques des véhicules (pneumatiques et suspension) des caractéristiques de la chaussée, de la nature et de la hauteur du remblai au-dessus de l'aqueduc, de sa rigidité et de son assise (1).

(1) Ainsi qu'il ressort des expériences de Melan Biot et Passer (bibliographie n° 11), l'existence d'une buse rigide, à une profondeur D d'un solide élastique entraîne au niveau D une majoration des pressions due à une charge ponctuelle qui atteint sous la charge 55 à 70 % par rapport à celles calculées dans l'hypothèse de Boussinesq, suivant qu'il y a ou non adhérence entre la buse et le remblai.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

-
- | | | |
|----------------|---|------|
| 1 - A. WOELLMY | Thèse à l'Ecole Polytechnique de Zurich | 1937 |
|----------------|---|------|
-
- | | | |
|-------------|---|--------------------|
| 2 - E. BELA | Le calcul des conduites circulaires enterrées | Travaux avril 1938 |
|-------------|---|--------------------|
-
- | | | |
|-------------|---|------|
| 3 - MARSTON | The theory of External loads on dosed conduits
in the light of the lat est experiments

Iowa Engineering Experiment Station Bull
96 Ames Iowa | 1930 |
|-------------|---|------|
-
- | | | |
|-----------------|--|------|
| 4 - G. SPANGLER | Analysis of loads and supporting strengths
and principales of design for highway culverts
H. R. B. Proceedings | 1946 |
|-----------------|--|------|
-
- | | | |
|-----------------------------|--|------|
| 5 - SPANGLER et
HENNESSY | A method of computing live loads transmitted
to underground conduits H.R.B. Proceedings | 1946 |
|-----------------------------|--|------|
-
- | | | |
|---------------|--------------------------------------|---------------------------|
| 6 - R. LAZARD | Ouvrages circulaires placés en terre | Travaux septembre
1935 |
|---------------|--------------------------------------|---------------------------|
-
- | | | |
|-------|---|-------------------|
| 7 - « | Expériences relatives à la détermination des
efforts supportés par des tuyaux placés en
terre | Travaux juin 1934 |
|-------|---|-------------------|
-
- | | | |
|-----------|--|------|
| 8 - ARMCO | Handbook of culvert and Drainage Practice
Armco International Ohio U.S.A. | 1958 |
|-----------|--|------|
-
- | | | |
|------------|---|-----------------|
| 9 - PRUSKA | Pression exercée par un remblai épais sur une
conduite rigide Annales de l'I. T.B.T.P. | mars-avril 1961 |
|------------|---|-----------------|
-
- | | | |
|----------------------|---|------|
| 10 - CLARKE et YOUNG | Loads on underground pipes caused by vehicule
wheels Proc instn civ Engrs G.B. | 1962 |
|----------------------|---|------|
-
- | | | |
|------------------|------------------------------|------------|
| 11 - K. TERZAGHI | Mécanique théorique des sols | DUNOD 1951 |
|------------------|------------------------------|------------|
-

MINISTÈRE des TRAVAUX PUBLICS et des TRANSPORTS

SERVICE SPECIAL DES AUTOROUTES

38 rue Liancourt PARIS 14^e SEG. 37.74

OUVRAGES TYPES POUR AUTOROUTES

OUVRAGES HYDRAULIQUES

EVALUATION DES CHARGES DE TERRE
ET DES SURCHARGES ROULANTES

OH-AP 1.64

GUIDE POUR L'ETABLISSEMENT
D'UNE NOTE DE CALCUL

②

ETUDE D'OUVRAGES HYDRAULIQUES		INGENIEUR EN CHEF CHEF DU SERVICE
INGENIEURS T.P.E.	INGENIEURS P.C.	
J. BEAUDOIN A. ROUX	J. DUFOUR C. VILA	A. THIEBAULT
PARIS SEPTEMBRE 1964		

S O M M A I R E

1 - DONNEES

2 - CHARGES SUR LE TUYAU EN SERVICE

2-1 - Charges invariables avec la hauteur de remblai

2-2 - Charges variables avec la hauteur de remblai

2-2-1 - Charge due au remblai

2-2-1-1 - Ouvrage installé en tranchée

2-2-1-2 - Ouvrage installé en remblai indéfini

2-2-2 - Charge due aux surcharges roulantes

2-2-2-1 - Cas de la surcharge A

2-2-2-2 - Cas de la roue de 10 T

2-2-2-3 - Cas du cylindre de 20 T

2-2-2-4 - Cas du camion de 30 T

2-2-2-5 - Cas du char de 100 T

2-2-3 - Poussée latérale des terres

BUSES CIRCULAIRES PREFABRIQUEES EN B.A.

Guide pour l'établissement d'une note de calcul

1 - DONNEES

Unités : le kilogramme et le mètre

Caractéristiques du tuyau :

Di diamètre intérieur

Dm « moyen

De « extérieur

Caractéristiques du remblai :

H hauteur maximum en ml du remblai au-dessus de la génératrice supérieure du tuyau (y compris l'épaisseur de la chaussée)

γ densité des terres kg/m^3

$\mu = \text{tg } \varphi$

φ angle de frottement interne des terres

k rapport entre les pressions horizontales et verticales dans un remblai indéfini

Mode de pose du tuyau

en tranchée

en remblai indéfini

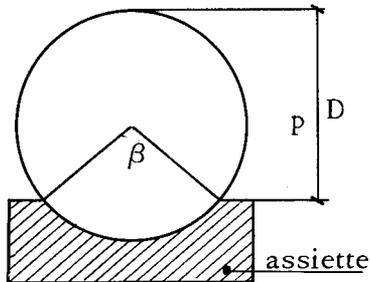
sur assiette en sable, en béton

β angle au centre correspondant à l'arc d'appui

...

Autres données

$p = r$ rapport tassement flèche



$$p = \frac{1}{2} \left(1 + \cos \frac{\beta}{2} \right)$$

r relevé dans la note "Evaluation des charges sur les aqueducs enterrés"

I coefficient de transmission ($I \geq 1,5$)

L'ouvrage est calculé sur la base d'une longueur théorique de 1 ml.

2 - CHARGES SUR LE TUYAU EN SERVICE

Ces charges sont divisées en 2 catégories

2-1 - Les charges invariables avec la hauteur de remblai qui sont :

Le poids propre du tuyau : G g en kg au ml

Le poids de l'eau (en considérant le tuyau complètement rempli) W en kg au ml.

Le poids de la terre constituant les tympons, c'est à dire le poids du prisme de terre défini par les 2 plans verticaux tangents extérieurement au tuyau, le plan horizontal tangent au sommet du tuyau et le contour extérieur du tuyau, au-dessus du diamètre horizontal : T

Suivant le diamètre de la buse utilisée, les valeurs de G , W , T sont données au tableau 4-2-1 de la notice technique.

2-2 - Les charges variables avec la hauteur de remblai

Ces charges sont le poids des terres au-dessus du tuyau

les surcharges roulantes appliquées à la surface du remblai

...

2-2-1 - Charge due au poids des terres constituant le remblai

2-2-1-1 - L'ouvrage est installé en tranchée

La charge sur un élément de tuyau de longueur unité résultant du poids du remblai le surmontant, peut être donnée à partir soit de la relation du III-3 de la notice « Evaluation des charges de terre et des surcharges roulantes », savoir :

$$Q_1 = \frac{1 - \frac{1}{2 k u \frac{H}{B}}}{\frac{2 k u}{B}} \times \gamma \times B$$

avec Q_1 = charge en kilog sur le tuyau au ml

k rapport entre les pressions horizontales et verticales dans un remblai indéfini

u = $\text{tg } \varphi$, φ étant l'angle de frottement interne du remblai

e base des logarithmes népériens

γ densité du remblai

H hauteur du remblai au-dessus de la génératrice supérieure du tuyau

B largeur de la tranchée au niveau de la génératrice supérieure du tuyau, soit plus généralement à partir de l'abaque de la figure 7 en fonction de la nature du sol constituant le remblai, de la densité du remblai, B largeur de la tranchée au niveau de la génératrice supérieure du tuyau et du rapport $\frac{H}{B}$

2-2-1-2 - l'ouvrage est installé en remblai indéfini

La valeur de la charge Q_1 pour 1 ml de tuyau est donnée par la relation :

$$Q_1 = K \gamma H D e$$

avec Q_1 charge en kg au ml

K rapport entre la charge supportée par la conduite et le poids du prisme de terre à parois latérales verticales qui la surmonte.

...

Si toutes les caractéristiques mécaniques du matériau constituant le remblai sont parfaitement connues, la valeur du coefficient K pourra être calculée à partir des relations figurant au paragraphe III-4 "Installation en remblai indéfini" de la notice technique sur "l'évaluation des charges de terre et des surcharges roulantes"

Si les caractéristiques mécaniques du matériau constituant le remblai sont mal connues, on pourra toujours déterminer une valeur satisfaisante du coefficient K à partir de l'abaque (fig 10) figurant au paragraphe III-4 de la notice technique "évaluation des charges de terre" en fonction de $\frac{H}{De}$ et du produit pr

H hauteur du remblai en ml

De diamètre extérieur du tuyau en ml

2-2-2 - Charge due aux surcharges roulantes

Se référer à la pièce "Evaluation des charges sur les aqueducs enterrés" par. B

Nous considérerons successivement les 5 cas de surcharges définis à la circulaire n° 65 du 19 août 1960, savoir :

- surcharge uniforme
- roue de 10 T
- cylindre de 20 T
- camion de 30 T
- char de 100 T

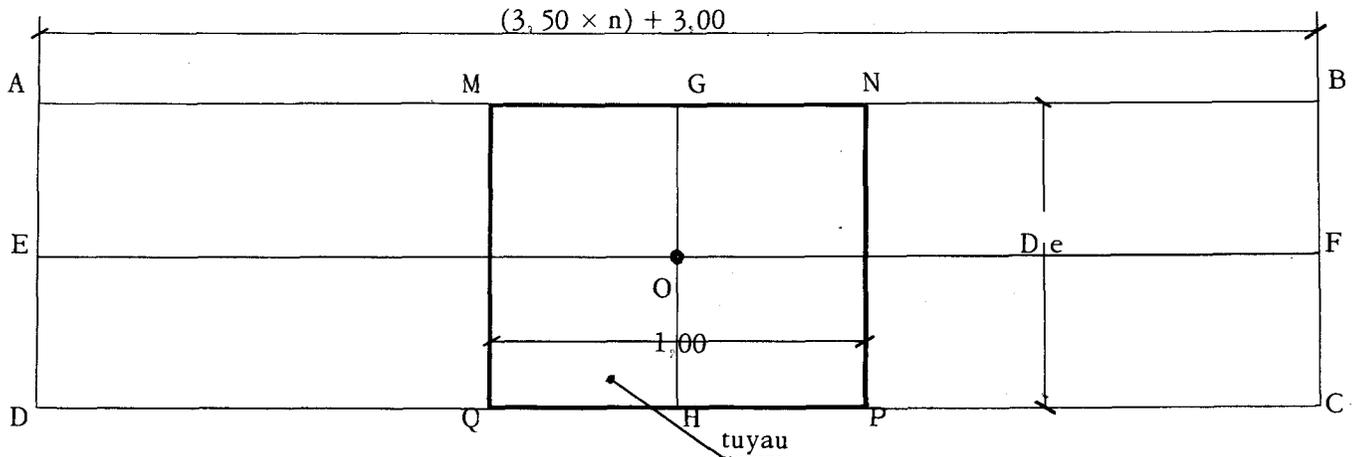
2-2-2-1 - Surcharge uniforme

La valeur A de la surcharge uniforme au m2 est donnée par l'expression :

$$A \text{ kg/m}^2 = 350 + \frac{320.000.000}{De^3 + 60 De^2 + 215.000}$$

Pour un tuyau de diamètre extérieur De , cette surcharge est applicable sur une longueur égale à De et une largeur égale à $3,50 \times n$ (n , nombre de voies par chaussée) + 3,00 (largeur de la bande stabilisée d'arrêt d'urgence (rectangle A B C D)).

...



La valeur de la charge Q_2 , sur 1 ml de tuyau, engendrée par la surcharge A, est donnée par la relation :

$$Q_2 = \frac{1}{l} \times I \times P_H$$

I coefficient de transmission connu

l longueur de tuyau = 1 ml

P_H pression totale sur le rectangle de charge du tuyau M N P Q

La pression sur le tuyau proprement dit, engendrée par la surcharge A est uniforme. Il faut donc déterminer la pression unitaire en un point du tuyau, soit au point O, centre du rectangle A B C D. Pour cela, il suffit de se reporter à la note "Evaluation des charges sur les aqueducs enterrés", cas des charges uniformément réparties. En considérant le rectangle O G A E, nous pouvons déterminer le coefficient C_A puisque nous connaissons :

$$X = A E = \frac{D e}{2}$$

$$Y = A G = \frac{(3,50 \times n) + 3,00}{2}$$

donc m et n et par conséquent C_A

La pression unitaire P_h sur le tuyau est alors de :

$$p_h = A \times 4 C_A$$

(Le coefficient C_A doit être multiplié par 4, puisque le rectangle A B C D sur lequel est appliquée la surcharge A est égal à 4 fois le rectangle O G A E).

Donc P_H pression totale sur 1 m de tuyau

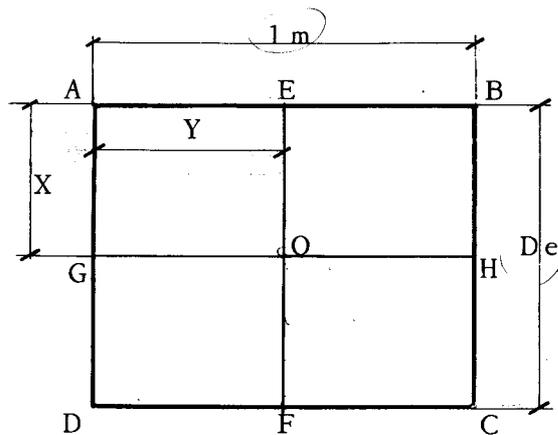
$$P_H = P_h \times De = 4 \times C_A \times A \times De$$

$$Q_2 = I \times 4 \times C_A \times A \times De$$

2-2-2-2 - Roue de 10 T

On assimile la roue de 10 T à une surcharge ponctuelle de 10 000 kg.

Le rectangle de charge au niveau du tuyau aura pour longueur De et pour largeur 1 m.



La ligne d'action de la surcharge ponctuelle est la verticale passant par O , centre du rectangle $A B C D$.

La charge Q_2 produite sur le tuyau par cette surcharge est :

$$Q_2 = \frac{l}{l} I P_H$$

avec $l = 1 \text{ m}$

I = coefficient de transmission connu

P_H = pression totale sur le rectangle considéré qu'il faut déterminer

$$P_H = C \times P$$

P étant la surcharge appliquée à la surface du remblai, soit 10 000 kg

C un coefficient

Calcul de C

Pour déterminer C, nous allons diviser A B C D, en 4 rectangles égaux et considérer le rectangle élémentaire O G A E, pour lequel nous pouvons déterminer le coefficient $C_{R 10}$ à partir du tableau figurant à la pièce « Evaluation des charges ». Pour cela nous avons :

$$A E = Y = 0,50 \text{ m}$$

$$A G = X = \frac{D e}{2}$$

$$\text{d'où } m = \frac{D e}{2 H} \quad \text{et } n = \frac{0,50}{2 H}$$

et par conséquent $C_{R 10}$

Comme $C = 4 \times C_{R 10}$ C est donc connu

$$\text{donc } P_H = 4 \times C_{R 10} \times 10\,000$$

$$\text{et } Q_2 = I \times 4 \times C_{R 10} \times 10\,000$$

2-2-2-3 - cylindre de 20 T

Cette surcharge sera assimilée à 5 surcharges ponctuelles de 4 000 kg chacune. Ces 5 surcharges espacées de 0,50 m ont une ligne d'action verticale passant par le sommet du tuyau. La surcharge axiale est centrée sur l'élément de tuyau considéré. On prendra une longueur de tuyau égale à 1 m. Le rectangle de charge A B C D au niveau du tuyau a donc pour longueur $L = D e$ et pour largeur $l = 1 \text{ m}$.

$$\text{Nous aurons} \quad Q_2 = \frac{1}{1} \times I \times P_H$$

$$\text{avec } P_H = C_{C 20} \times P$$

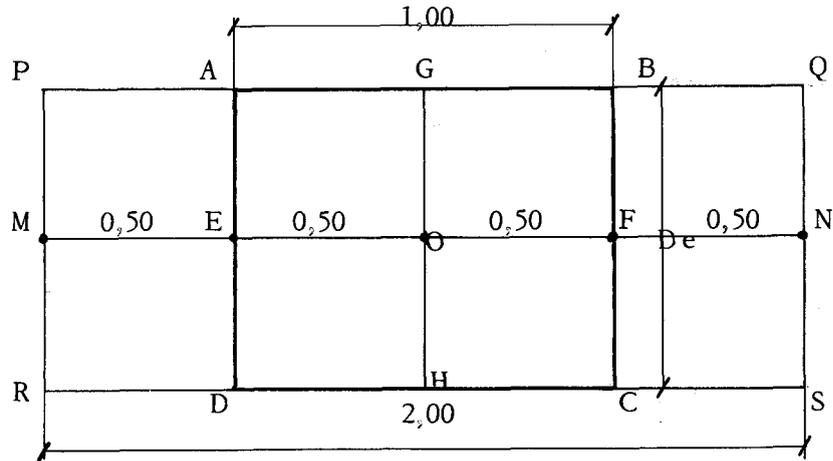
P_H pression totale sur le rectangle A B C D

P surcharge ponctuelle appliquée sur le remblai = 4 000 kg

$C_{C 20}$ coefficient qu'il faut déterminer

...

Calcul de C :



Pour déterminer C, on considère successivement la surcharge axiale de 4 000 kg appliquée suivant O, Les 2 surcharges intermédiaires (4 000 kg) appliquées suivant E et F, et les 2 surcharges latérales (4 000 kg) appliquées suivant M et N.

Surcharge axiale

Appelons C_a , la valeur du coefficient C. On retrouve le cas de la roue de 10 T, donc $C_a = 4 \times C_{R 10}$.

Surcharges intermédiaires

Considérons la surcharge appliquée en E, et appelons C_i la valeur du coefficient C trouvée en considérant le rectangle E A B F pour lequel on a :

$$X = \frac{De}{2} \quad \text{et} \quad Y = 1 \text{ m}$$

donc les valeurs de m et n et par conséquent de C_i .

Pour le rectangle A B C D, C est donc égal à $2 \times C_i$. La surcharge appliquée au droit de F engendrant une même charge sur le rectangle A B C D que la surcharge appliquée au droit de E, on a en considérant l'influence des 2 surcharges intermédiaires sur le rectangle A B C D

$$C = 2 \times C_i \times 2 = 4 C_i$$

Surcharges latérales

Considérons la surcharge placée en M et appelons C_l la valeur du coefficient C applicable au rectangle A E F B. Pour déterminer C_l , il faudra considérer les 2 rectangles M P B F et M P A E

Pour le rectangle M P B F, on a C_{l1} , puisque $X = \frac{De}{2}$ et $Y = P B = 0,50 \times 3 = 1,50 \text{ m}$, sont connus.

...

Pour le rectangle M P A E, on a également C_{12} , puisque $X = \frac{De}{2}$ et $Y = PA = 0,50 \text{ m}$, sont connus.

$$\text{Donc } C_1 = C_{11} - C_{12}$$

Si l'on considère maintenant le rectangle A B C D complet, et la charge engendrée sur ce rectangle par les 2 surcharges latérales, on a ;

$$C = C_1 \times 2 \times 2 = 4 C_1$$

Pour la totalité des surcharges, le coefficient total C_{c20} a donc pour valeur

$$C_{c20} = 4 C_a + 4 C_i + 4 C_l$$

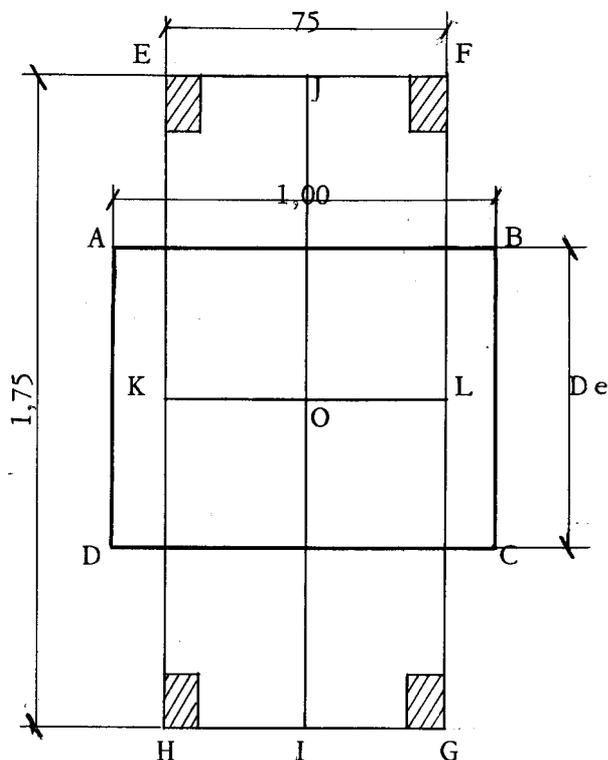
d'où $P_H = 4 (C_a + C_i + C_l) \times 4\,000$

et $Q_2 = \frac{1}{1} \times I \times 4 (C_a + C_i + C_l) \times 4\,000$

2-2-2-4 - Camion de 30 T

Il suffit de considérer les 4 roues arrière intérieures de 2 camions contigus.

2 cas sont à considérer



1er cas ; Pour les hauteurs de recouvrement suffisantes ($H \geq 1,50$), les 4 roues sont assimilées à une surcharge uniforme de $4 \times 6\,000 = 24\,000$ kg, répartie à la surface du remblai sur un rectangle E F G H de $1,75 \times 0,75$ et centrée sur la section de buse considérée (O).

La pression moyenne sur la surface de remblai due aux 4 roues est :

$$\frac{4 \times 6\,000}{1,75 \times 0,75} = 18\,286 \text{ kg/m}^2$$

Nous supposons que la pression sur le rectangle de charge du tuyau A B C D est uniforme. Nous allons calculer la pression unitaire au point O. Le rectangle de charge A B C D a pour dimensions 1,00 et D e.

Pour déterminer la pression unitaire en O et par conséquent la pression totale sur A B C D, il suffit de se reporter à la note "Evaluation des charges sur aqueducs enterrés" chapitre B paragraphe III. On est ramené à calculer le coefficient $C_{c\ 30}$ afférent à l'un des 4 rectangles égaux, tel que O K E J constituant le rectangle E F G H.

En effet on connaît $X = \frac{1,75}{2}$ $Y = \frac{0,75}{2}$ donc m et n et par conséquent $C_{c\ 30}$.

Pour le rectangle E F G H le coefficient C est donc égal à $C = 4 \times C_{c\ 30}$

Maintenant si nous considérons le rectangle de charge A B C D du tuyau, la pression totale P_H sur ce rectangle est :

$$P_H = 4 \times C_{c\ 30} \times 18\,286 \times D e$$

donc charge Q_2 sur le tuyau

$$Q_2 = I \times C_{c\ 30} \times 4 \times 18\,286 \times D e$$

2ème cas : Faible hauteur de recouvrement $H < 1,50$

On considère une longueur de tuyau de 1 ml et chaque roue est assimilée à une surcharge ponctuelle de 6 000 kg.

Deux positions de convoi sont à considérer :

- 1 roue de chacun des camions contigus est sur l'axe du tuyau
- les roues sont disposées symétriquement par rapport à l'axe du tuyau.

...

Nous allons traiter le 1er cas : 1 roue de chacun des camions est sur l'axe du tuyau.

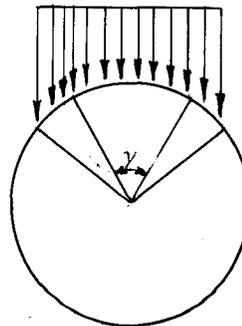
Etant donné la faible hauteur de recouvrement du tuyau, la valeur des pressions unitaires dans une même section de tuyau varie lorsqu'on se déplace de la clef vers les reins. Pour tenir compte de cette considération et pour permettre de calculer facilement les moments d'ovalisation à partir du tableau II du paragraphe 4-4-1-2 de la notice technique du sous dossier O H A P 2 b ; nous allons décomposer le rectangle de charge total du tuyau en rectangles élémentaires parallèlement à l'axe du tuyau.

En partant du sommet du tuyau et en se dirigeant vers les reins, nous avons successivement :

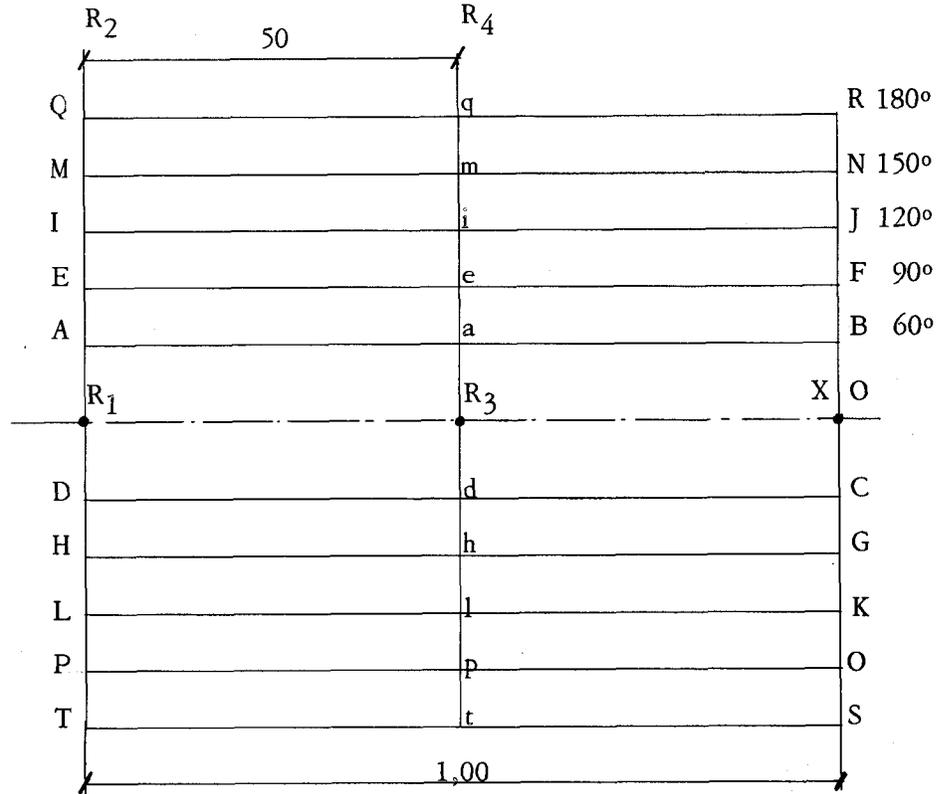
- le rectangle central A B C D correspondant à un angle de charge $\gamma = 60^\circ$ sur le tuyau ;
- le rectangle A E F B limite du côté de la clef du tuyau par le rectangle afférent à un angle de charge $\gamma = 60^\circ$ et limite du côté des reins du tuyau par le rectangle afférent à un angle de charge $\gamma = 90^\circ$.

En H D C G, nous avons le rectangle symétrique du rectangle A E F B par rapport à l'axe du tuyau.

- le rectangle E I J F limité par le rectangle afférent à un angle de charge $\gamma = 90^\circ$, et par le rectangle afférent à un angle de charge $\gamma = 120^\circ$. Le rectangle L H G K est le symétrique du rectangle E I J F par rapport à l'axe du tuyau.
- le rectangle I M N J limité par le rectangle afférent à un angle de charge $\gamma = 120^\circ$ et par le rectangle afférent à un angle de charge $\gamma = 150^\circ$. Le rectangle P C K O est le symétrique du rectangle I M N J.
- le rectangle M Q R N limité par le rectangle afférent à un angle de charge $\gamma = 150^\circ$, et par le rectangle afférent à un angle de charge $\gamma = 180^\circ$. Le rectangle S P O T est le symétrique du rectangle M Q R N.



...



Etant donné, ici, la complexité des calculs, il convient d'opérer avec méthode.

Il faudra calculer sur chacun de ces rectangles la charge engendrée successivement par les roues R_1 , R_2 , R_3 et R_4 .

Roue R_1 :

Charge sur le rectangle A B C D : Cela revient à calculer le coefficient C, suivant la méthode exposée dans la note "Evaluation des charges et surcharges sur les aqueducs enterrés" paragraphe B.

Considérons le rectangle R_1 A B x pour lequel nous connaissons $Y = 1$ ml et

$$X = \frac{D e \cdot \sin 30^\circ}{2} \quad (D \text{ e diamètre extérieur du tuyau, } \gamma \text{ angle de charge})$$

d'où le coefficient C_1 relevé dans le tableau de la note citée citée ci-dessus.

...

d'où charge Q_2 sur le tuyau correspondant à un angle de charge 60° :

$$Q_{21} = I \times 2 \times C_1 \times 6\,000$$

Charge sur le rectangle A E F B (angle de charge $\gamma = 90^\circ$)

On est ramené à calculer le coefficient C_2 suivant la méthode citée précédemment. On considère pour cela successivement les 2 rectangles R_1 E F X pour lequel on connaît $Y = 1$ ml et $X = \frac{D e \sin 45^\circ}{2}$ et le rectangle R_1 A B X pour lequel on connaît $Y = 1$ ml et $X = \frac{D e \sin 30^\circ}{2}$. Le coefficient C à prendre en compte est la différence des coefficients afférents à chacun des 2 rectangles considérés, d'où charge sur le rectangle A E F B :

$$Q_{22} = I \times C_2 \times 6\,000$$

On opère de la même manière pour déterminer les charges Q_{23} , Q_{24} et Q_{25} agissant respectivement sur les rectangles E I J F, I M N J et M Q R N.

Roue R_3 :

Pour la roue R_3 , on opère de la même manière que ci-dessus, les rectangles de charge considérés étant les mêmes. Donc tout revient également dans ce cas, à déterminer le coefficient C . Pour chaque rectangle de charge élémentaire considéré, le coefficient C est déterminé comme il est indiqué à la note « Evaluation des charges et surcharges » en prenant les rectangles dont un sommet se trouve à l'aplomb de R_3 .

Nous obtenons ainsi respectivement pour chacun des 5 rectangles les charges Q_{21} , Q_{22} , Q_{23} , Q_{24} , Q_{25} .

Roue R_2

Les roues R_2 et R_4 auront en général une influence bien moins grande que les roues R_1 et R_3 . D'autre part pour ces roues la courbe de charge ne sera plus symétrique par rapport à l'axe du tuyau. Pour simplifier le calcul, on suppose que la pression engendrée sur le tuyau par les roues R_2 et R_4 est uniforme. Il est alors facile, par la méthode classique déjà exposée (paragraphe 2-2-2-3 cylindre de 20 T, charge latérale), de déterminer la valeur de la charge Q_2 créée sur le rectangle de charge Q R S T du tuyau, par la roue R_2 . Il suffit pour cela de déterminer le coefficient C , en prenant en compte les 2 rectangles dont un sommet se trouve en R_2 et dont la différence des aires est l'aire du rectangle de charge Q R S T.

On a alors $Q_2 = I \times C \times 6\,000$

...

Roue R₄

Même calcul que pour la roue R₂, les rectangles rentrant en jeu pour la détermination du coefficient C ont un sommet à l'aplomb de R₄.

On déterminera ainsi la charge Q₂ sur le rectangle Q R S T engendré par la roue R₄.

$$Q_2 = I \times C \times 6\,000$$

Pour tenir compte de la répartition non uniforme de la surcharge et de l'effet de concentration sur le sommet du tuyau, les charges Q₂ trouvées ci-dessus seront majorées par l'application du coefficient k dont les valeurs sont données au tableau du paragraphe 4-2 2-2 de la notice technique du sous-dossier O H A P 2 b "Aqueducs en béton armé"

2ème cas : Les 4 roues arrière des 2 camions contigus sont disposées symétriquement par rapport à l'axe du tuyau.

Il s'agit de calculer la valeur des charges sur chacun des rectangles élémentaires définis au 1er cas. Tout revient encore ici à déterminer les coefficients C pour chacun des rectangles élémentaires de charge. On procèdera pour cela comme dans le 1er cas.

2-2-2-5 - Char de 100 T

Deux cas sont à considérer suivant la hauteur de remblai au-dessus du sommet du tuyau.

1er cas : La hauteur de remblai est suffisante.

Le char est alors assimilé à une surcharge uniforme de 100 000 kg répartie sur un rectangle de 4,50 m × 3,80 m.

La pression moyenne due au char est $\frac{100\,000}{4,50 \times 3,80} = 5\,848$ kg. Le rectangle de charge sur le tuyau a pour dimensions De et 1 ml.

Pour la détermination du coefficient C_{c 100}, on est ramené au cas du camion de 30 T avec remblai de hauteur suffisante.

En effet, nous connaissons : $X = \frac{4,50}{2}$, $Y = \frac{3,80}{2}$ donc m et n et par conséquent C_{c 100}.

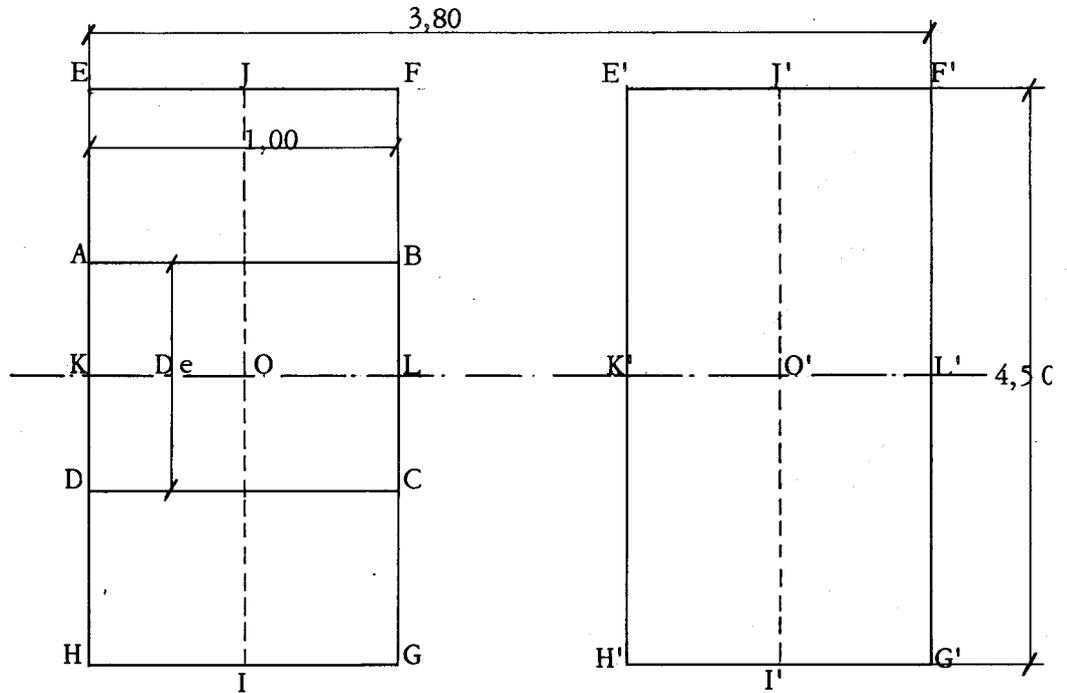
Dans ces conditions, P_H pression totale sur le tuyau est égal à :

$$P_H = 4 \times C_{c\,100} \times 5\,848 \times D_e \times 1,00$$

d'où
$$Q_2 = I \times 4 \times C_{c\,100} \times 5\,848 \times D_e$$

2ème cas : La hauteur de remblai sur le tuyau est faible

Puisque l'on considère une longueur de tuyau de 1 ml, la position défavorable du char sera celle où le centre d'une chenille se trouve sur la verticale du centre de l'élément du tuyau.



Chaque chenille sera assimilée à une surcharge uniforme de 50 000 kg répartie sur un rectangle de $4,50 \times 1 = 4,50 \text{ m}^2$ soit à une surcharge unitaire de $\frac{50\,000}{4,50} = 11\,111 \text{ kg/m}^2$

Influence de la chenille de gauche

On déterminera la valeur de la pression unitaire p_h en kg au m^2 , produite par la chenille de gauche au point O et au niveau du plan supérieur du tuyau. Ceci revient à calculer le coefficient C.

Calcul du coefficient C_g

On considère l'un des 4 rectangles tel que O J E K constituant le rectangle d'impact E F G H de la chenille de gauche.

...

$$\text{On a : } X = \frac{4,50}{2} = 2,25, \quad Y = \frac{1}{2} = 0,50$$

d'où m et n en fonction de la hauteur de remblai sur le tuyau et par conséquent C_{cg} .

$$\text{On a : } p h_g = 4 \times C_{cg} \times 11\,111$$

Influence de la chenille de droite

On déterminera la valeur de la pression unitaire p_{hd} en kg au m² produite par la chenille de droite au point O, centre de la section de tuyau considérée et au niveau du plan supérieur du tuyau. On est ramené au calcul de C_{cg}

Calcul de C_{cd}

On considère le rectangle O J F' L' pour lequel nous connaissons

$$X = \frac{4,50}{2} = 2,25, \quad Y = (3,80 - 0,50) = 3,30$$

d'où m et n et par conséquent le coefficient C_{cd1} en fonction de la hauteur de remblai. On considère maintenant le rectangle O J E' K' pour lequel on

connait $X = \frac{4,50}{2} = 2,25$ $Y = (3,30 - 1,00) = 2,30$, d'où m et n et le coefficient C_{cd2}

$$\text{et } C_{cd} = C_{cd1} - C_{cd2}$$

la pression unitaire p_h en O créée par la chenille de droite est
 $p_h = 2 C_{cd} \times 11\,111$

Et la charge Q_2 sur 1 ml de tuyau engendrée par le char est :

$$Q_2 = 1 \times 11\,111 (4 C_{cg} + 2 C_{cd}) \times D_e$$

Pour tenir compte de la répartition non uniforme de la surcharge et de l'effet de concentration sur le sommet du tuyau, la charge Q trouvée ci-dessus sera majorée par l'application du coefficient K dont les valeurs sont données au tableau du paragraphe 4-2-2-2 de la notice technique du sous-dossier O H A P 2 b.

2-2-3 - Poussée latérale des terres

Elle est donnée par la relation $L = \gamma \left(H + \frac{D_e}{2} \right) \text{tg}^2 \left(\frac{\pi}{H} - \frac{\gamma}{2} \right) \times D_e$ dans laquelle :

L est la valeur de la poussée en kg pour une longueur de conduite égale à 1 ml

γ est le poids spécifique des terres en kg/m³

H est la hauteur du remblai en ml au-dessus du tuyau

D_e est le diamètre extérieur en ml, du tuyau

φ est l'angle en degrés de frottement des terres

MINISTERE DE L' EQUIPEMENT ET DU LOGEMENT

SERVICE D' ETUDES TECHNIQUES DES ROUTES ET AUTOROUTES

AGENCE DU SUD-EST

50 , Avenue du Maréchal de Lattre de Tassigny MACON 71 - Tel: 38.30.82

OUVRAGES TYPES POUR AUTOROUTES

OUVRAGES HYDRAULIQUES

O.H.A.P.ab 64

AQUEDUCS EN BETON ARME

2

B O R D E R E A U

=====
=====

2. - AQUEDUCS EN BETON ARME :

- 2.1 - Notice technique
- 2.2 - Note de calcul
- 2.3 - Exemple numérique
- 2.4 - Dossiers des têtes d'ouvrage

MINISTÈRE des TRAVAUX PUBLICS et des TRANSPORTS

SERVICE SPECIAL DES AUTOROUTES

38 rue Liancourt PARIS 14^e SEG. 37.74

OUVRAGES TYPES POUR AUTOROUTES

OUVRAGES HYDRAULIQUES

AQUEDUCS EN BETON ARME

OH_AP2b 64

NOTICE TECHNIQUE

1

ETUDE D'OUVRAGES HYDRAULIQUES

INGENIEUR EN CHEF
CHEF DU SERVICE

INGENIEURS T.P.E.

INGENIEURS P.C.

J. BEAUDOIN

J. DU FOUR

A. ROUX

C. VILA

A. THIEBAULT

PARIS SEPTEMBRE 1964

S O M M A I R E

1 - CARACTERISTIQUES COMMERCIALES

1-1 - Catégories

1-2 - Séries

1-3 - Diamètres

1-4 - Epaisseurs de parois

1-5 - Longueurs utiles

1-6 - Joints

2 - IMPLANTATION ET CALAGE

2-1 - Alignement et pente

2-2 - Têtes

2-2-1 - Têtes simples

2-2-2 - Murs en aile

2-2-3 - Puisard

2-2-4 - Murs en retour

2-2-5 - Cas particulier de la plate-forme autoroutière III

2-3 - Diamètre minimal

2-4 - Hauteur minimale de recouvrement

2-5 - Longueur de l'ouvrage

2-6 - Ouvrages multiples

3 - DISPOSITIONS DIVERSES

3-1 - Corrosion

3-2 - Abrasion

3-3 - Etanchéité

4 - DIMENSIONNEMENT

4-1 - Généralités

4-2 - Charges sur le tuyau en service

4-2-1 - Charges invariables avec la profondeur

4-2-2 - Charges variables avec la profondeur

4-3 - Réactions et arcs d'appui

4-4 - Calcul des moments

4-4-1 - Détermination de la charge d'essai

4-4-2 - Choix de la série

4-4-3 - Essais de résistance à l'ovalisation

5 - CONDITIONS DE MISE EN OEUVRE

5-1 - Fondations

5-1-1 - Tassements

5-1-2 - Taux de travail du sol de fondation

5-1-3 - Ouvrage en tranchée

5-2 - Assiette

5-2-1 - Assiette en sable

5-2-2 - Assiette en béton

5-2-3 - Cas particulier de l'enrobage

5-3 - Remblayage

5-3-1 - Nature du remblai

5-3-2 - Mise en place du remblai

5-3-3 - Méthode particulière de remblayage

1 - CARACTERISTIQUES COMMERCIALES

Les considérations qui suivent tiennent compte des cahiers des charges établis par les Syndicats et Fédérations Nationales de fabricants.

1-1 - Catégories

Il existe deux catégories de buses circulaires préfabriquées en béton armé :

1ère catégorie : Buses d'utilisation courante, avec des diamètres jusqu'à 1 mètre

2ème catégorie : Buses centrifugées, avec des diamètres jusqu'à 1,80 mètre.

Les buses de la première catégorie, dans les versions couramment commercialisées, ont une résistance juste suffisante pour un emploi normal sous autoroute. On ne pourrait donc pratiquement les utiliser qu'en faible diamètre, en tranchée de profondeur limitée, ou sous remblai de faible hauteur.

Des buses de cette catégorie pourront néanmoins être utilisées mais à condition d'être renforcées à la demande.

Les buses de la seconde catégorie, présentent des qualités de résistance et de régularité qui donnent une meilleure garantie dans leur utilisation sous chaussée autoroutière. Le fini et l'uni de leur paroi intérieure augmentent par ailleurs sensiblement leur capacité hydraulique.

La présente notice technique ne vise donc en principe, que les buses centrifugées.

1-2 - Séries

Les buses centrifugées sont classées en trois séries correspondant à des charges d'essais à la fissuration par mètre carré de surface diamétrale intérieure égales respectivement à :

4 000 kgs

6 000 kgs

9 000 kgs

Des résistances supérieures peuvent être obtenues sur demande. Elles requièrent du fabricant une étude spéciale.

1-3 - Diamètres

Les dimensions normalisées de diamètre intérieur nominal exprimé en millimètres sont les suivantes :

600 - 700 - 800 - 900 - 1000 - 1200 - 1400 - 1600 - 1800

...

Les diamètres intermédiaires : 1100 - 1250 - 1500 - 1700, sont appelés à disparaître progressivement

Les diamètres 700 et 900 sont assez peu usités dans le domaine routier. On les évitera systématiquement.

Pour un diamètre intérieur nominal donné, toutes les séries ont le même diamètre extérieur.

Dans la série 6000, considérée comme série de base, le diamètre intérieur de fabrication est le diamètre nominal, dans les autres séries, le diamètre intérieur de fabrication résulte de l'épaisseur de la paroi.

1-4 - Epaisseurs de parois

Le tableau suivant intitulé « Principales caractéristiques des buses centrifugées couramment commercialisées » précise les épaisseurs de parois des trois séries de buses normalisées par le Syndicat des Fabricants.

PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DES BUSES CENTRIFUGEES COURAMMENT COMMERCIALISEES

- Voir Tableau page 3 -

PRINCIPALES CARACTERISTIQUES

DES BUSES CENTRIFUGÉES COURAMMENT COMMERCIALISÉES

Diamètre		SERIE 4000				SERIE 6000				SERIE 9000			
		Epaisseur de paroi e	Diamètre intérieur réel Dt	Charge d'essai d'ovalisation		Epaisseur de paroi e	Diamètre Intérieur Dt	Charge d'essai d'ovalisation		Epaisseur de paroi e	Diamètre intérieur réel Dt	Charge d'essai d'ovalisation	
Fissuration Qt	Rupture Qr			Fissuration Qt	Rupture Qr			Fissuration Qt	Rupture Qr				
Intérieur nominal Di	Extérieur (moule) D	mm	mm	kg/m	kg/m	mm	mm	kg/m	kg/m	mm	mm	kg/m	kg/m
600	716	56	604	3150	4300	58	600	3600	5000	62	592	5400	7500
700	832	62	708	3300	4600	66	700	4200	6000	70	692	6300	9000
800	948	68	812	3450	4900	74	800	4800	7000	80	788	7200	10500
900	1064	74	916	3600	5200	82	900	5400	8000	90	884	8100	12000
1000	1180	80	1020	4000	6000	90	1000	6000	9000	100	980	9000	13500
*1100	*1296	*86	*1124	*4400	*6800	*98	*1100	*6600	*10200	*110	*1076	*9900	*15300
1200	1410	92	1126	4800	7600	105	1200	7200	11400	120	1170	10800	17100
*1250	*1468	*96	*1276	*5000	*8000	*109	*1250	*7500	*12000	*125	*1218	*11250	*18000
1400	1640	105	1430	5600	9200	120	1400	8400	13800	140	1360	12600	20700
*1500	*1756	*113	*1530	*6000	*10000	*128	*1500	*9000	*15000	*148	*1480	*13500	*22500
1600	1870	118	1634	6400	10800	135	1600	9600	16200	155	1560	14400	24300
*1700	*1984	*124	*1736	*6800	*11600	*142	*1700	*10200	*17400	*162	*1660	*15300	*26100
1800	2100	130	1840	7200	12400	150	1800	10800	18600	170	1760	16200	27900

Nota 1 ce tableau est tiré du cahier des charges des tuyaux centrifugés édité par le Syndicat national des fabricants de tuyaux en béton armé

2. Les buses aux diamètres soulignés d'un astérisque cessent progressivement d'être fabriqués

1-5 - Longueurs utiles

La longueur utile minimale d'un tuyau est de 2,40 m

1-6 - Joints

Quatre types de joints existent actuellement sur le marché :

- type à emboîtement à mi-épaisseur
- type à collets
- type à bagues armées, préfabriquées ou coulées sur place
- type souple

2 - IMPLANTATION ET CALAGE

2-1 - Alignement et pente

Tant du point de vue hydraulique, durée de vie, que de l'entretien, les changements de direction et de pente sont à proscrire. Ils exigent par ailleurs la construction d'ouvrages de raccordement coulés sur place dont la réalisation est délicate en raison de la complexité des coffrages qu'ils nécessitent.

2-2 - Têtes

Pour les dessins des têtes on se reportera à l'annexe.

2-2-1 - Absence d'ouvrages d'extrémité

Dans le cas de faibles débits ou de vitesses très modérées, il sera possible aussi bien à l'amont qu'à l'aval de laisser l'extrémité de la buse dépasser le pied du remblai (en général d'une longueur comprise entre 0,30 mètre et le diamètre intérieur du tuyau suivant les risques d'érosion) sans aucun ouvrage d'extrémité.

Si les conditions locales font craindre des affouillements, il pourra être prévu un para fouille aval.

De conception et de réalisation très simple, cette solution est quelque peu discutable sur le plan esthétique, particulièrement dans le cas de tuyaux de grands diamètres sous faibles remblais.

2-2-2 - Murs en aile

On prévoira des murs en aile à l'amont lorsque :

...

- les débits sont importants, et par conséquent les diamètres, en principe lorsqu'ils seront supérieurs à 1,00 mètre.
- Les vitesses sont élevées
- Il est indispensable de conserver la hauteur hydrostatique
- La buse sera appelée à fonctionner à pleine section, et notamment en charge
- L'importance du taux de charriage fera craindre les dépôts

Les murs en aile amont seront évasés et un radier convenablement profilé assurera une transition aussi progressive que possible entre le canal d'amenée et la buse. Suivant les conditions locales on prévoira ou non un parafouille.

On prévoira des murs en aile à l'aval lorsque :

- les conditions de l'écoulement dans le canal d'évacuation sont notablement différentes de celles qui règnent à l'intérieur de la buse
- le canal d'évacuation sera susceptible de se détériorer.

Les murs en aile aval seront parallèles ou légèrement évasés et un parafouille sera presque toujours indispensable.

Les dispositifs dissipateurs d'énergie, compliqués et coûteux resteront exceptionnels.

2-2-3 - Puisard

Ce sera pratiquement la seule disposition possible lorsque la tête amont sera en déblai ou insuffisamment en remblai pour envisager des murs en aile.

Des entrées de fossés seront toujours prévues.

Pour éviter les atterrissements au pied des parois latérales, celles-ci seront dressées avec un fruit suffisant.

Un profil Craeger améliorera sensiblement l'entonnement des eaux dans la buse, particulièrement pour les grands diamètres (au-delà de 1,00 mètre).

2-2-4 - Murs en retour

Les murs en retour pourront être employés à l'amont lorsqu'on aura affaire à des nappes étalées et à des ouvrages multiples.

2-2-5 - Cas particulier de la plate-forme autoroutière III (élargissable par l'extérieur)

Dans le cas de têtes ne comportant pas d'autre ouvrage d'extrémité qu'éventuellement un parafouille, l'ouvrage pourra n'être réalisé que pour la plate-forme provisoire, son allongement étant relativement aisé.

Dans les autres cas (têtes avec murs en aile, en retour ou avec puisard) l'ouvrage sera réalisé pour la plateforme définitive et l'on assurera le raccordement des talus aux têtes en agissant sur leurs pentes.

2-3 - Diamètre minimal

Les buses auront un diamètre au moins égal à 0,60 mètre.

2-4 - Hauteur minimale de recouvrement

Elle ne sera jamais inférieure à 0,80 mètre. Il est souhaitable que le rapport de cette hauteur à l'ouverture de la buse soit au moins égal à l'unité.

2-5 - Longueur de l'ouvrage

Les buses auront pour longueur la combinaison des longueurs commerciales qui égale ou excède la longueur théorique.

Cette longueur théorique sera :

- pour les buses pourvues soit de murs en aile ou en retour, soit de puisard, celle calculée entre murs de tête
- pour les buses dépourvues d'ouvrages de tête celle calculée entre pieds de talus augmentée en prévision des tassements éventuels du remblai et des risques d'affouillement.

Pour déterminer la majoration de longueur en prévision des tassements on utilisera à défaut de renseignements plus précis, la règle ci-après, d'origine américaine :

Remblai jusqu'à 4,00 mètres: pas de majoration

Remblai supérieur à 4,00 mètres : ajouter à la longueur théorique 0,30 mètre à chaque extrémité par tranche de 3,50 mètres de remblai au-delà de 4,00 mètres.

2-6 - Ouvrages multiples

D'une façon générale, l'espacement entre les tuyaux d'une installation multiple sera pris égal au demi-diamètre sans dépasser 1,20 mètre et sans être inférieur à 0,30 mètre (la mesure étant faite entre les surfaces extérieures).

3 - DISPOSITIONS DIVERSES

3-1 - Corrosion

La corrosion est due à l'action de certains éléments actifs du sol, de l'air ou de l'eau.

D'une manière générale la corrosion des buses est à craindre là où les mortiers et bétons sont eux-mêmes en danger,

- dans les terrains baignés par la mer (eaux salées)
- dans les terrains gypseux (eaux séléniteuses)
- dans les terrains granitiques (eaux pures)
- dans les terrains tourbeux (eaux acides)

Sont également nocives, les eaux industrielles acides ou sulfureuses, les eaux provenant des glaciers ou de la fonte des neiges ainsi que l'air salin.

La compacité du béton et le bon recouvrement des aciers sont les facteurs principaux de la lutte contre la corrosion, une majoration de l'épaisseur de paroi augmente sensiblement la durée de service d'une buse.

3-2 - Abrasion

L'abrasion est l'usure mécanique du béton due au frottement du débit solide, elle est fonction de la quantité et du caractère de ce débit ainsi que de la durée et de la vitesse d'écoulement des eaux.

La mise en place de bassins à sable et la limitation de la pente qui réduisent l'un, le volume du débit solide, l'autre la vitesse d'écoulement (3 à 4 mètres/seconde seront considérés comme un maximum) sont les moyens les plus sûrs pour lutter contre l'abrasion.

L'augmentation de l'épaisseur de paroi des buses est en outre nécessaire pour pallier à l'action combinée de la corrosion et de l'abrasion.

3-3 - Étanchéité

Avec le temps et grâce au phénomène de colmatage, les parois des tuyaux en "béton de bonne qualité" acquièrent une étanchéité très satisfaisante pour un usage autoroutier courant.

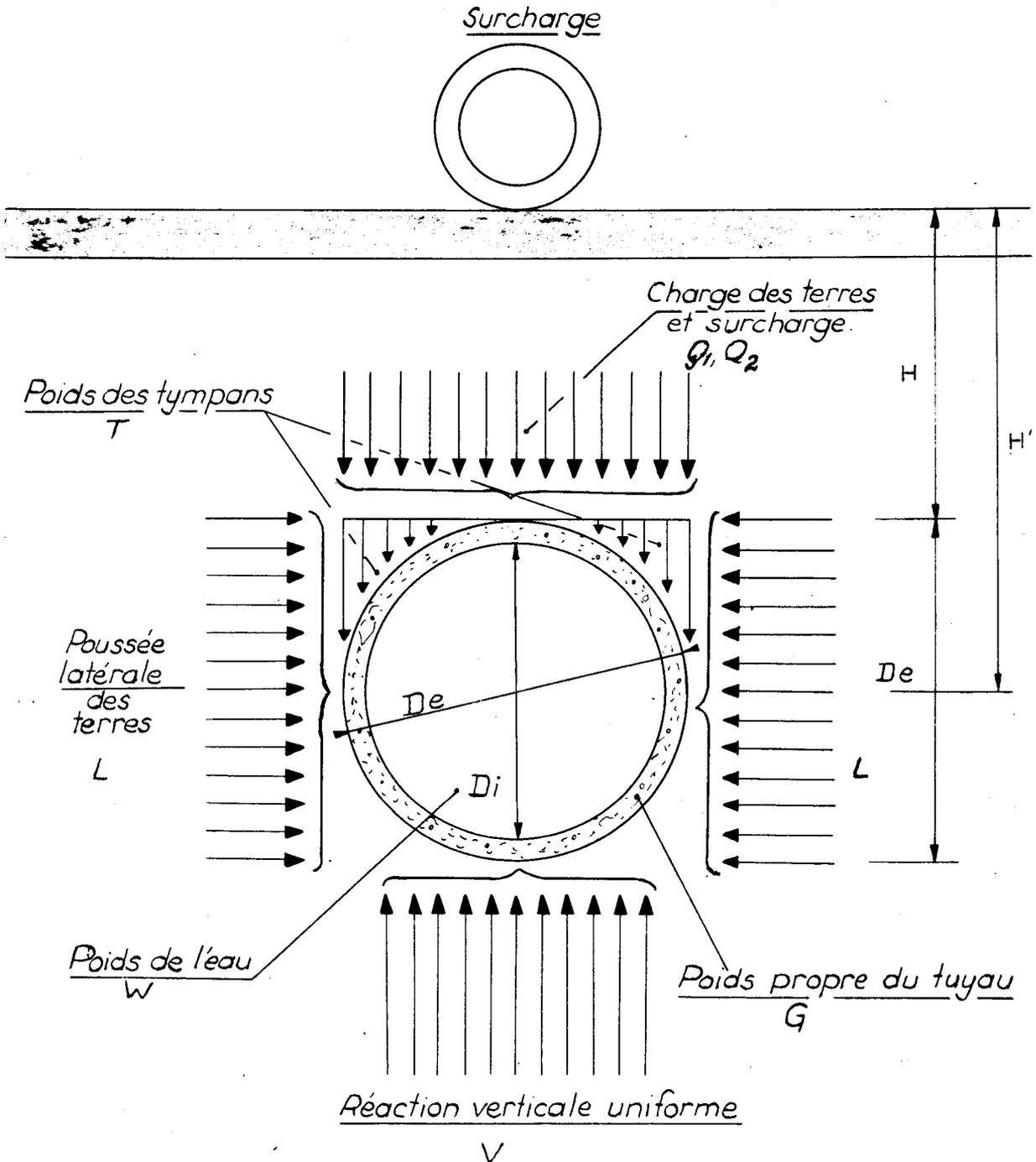
Le problème de l'étanchéité d'une buse en béton n'est donc pas un problème de béton imperméable mais de joints étanches.

La réalisation correcte des joints rigides traditionnels, particulièrement de l'étanchéité du demi-cercle inférieur, là où le risque de fuite est le plus grand est extrêmement délicate. A cet égard comme à celui des tassements les joints souples présentent un intérêt certain.

Lorsque l'installation de buses sur sols compressibles fait craindre des tassements relativement importants il y a lieu de recourir aux types de tuyaux spéciaux renforcés et à joints souples permettant un jeu suffisant des éléments de buses les uns par rapport aux autres.

Figure 1

SCHEMA DES FORCES AGISSANT SUR LE TUYAU



4 - DIMENSIONNEMENT

4-1 - Généralités

La résistance des tuyaux fera l'objet

- soit d'une vérification par le calcul,
- soit le plus souvent d'une vérification expérimentale dans les conditions définies au paragraphe 4-4-3 « essai de résistance à l'ovalisation ».

Dans ce dernier cas le projeteur aura à définir, compte tenu des conditions de service dans lesquelles le tuyau sera placé, la charge d'essai qui devra être imposée.

Cette charge est fonction :

- des surcharges admises sur le tuyau en service
- de la charge des remblais
- de la poussée latérale des terres
- de la fondation envisagée
- du système charge-appui adopté pour l'essai
- du coefficient de sécurité choisi

Dans les paragraphes suivants sont données les méthodes à suivre pour calculer les divers efforts auxquels est soumis un tuyau en service.

4-2 - Charges sur le tuyau en service (voir figure 1)

4-2-1 - Charges invariables avec la profondeur

Ce sont :

- le poids propre du tuyau en kg par ml : G
- le poids de l'eau qu'il contient en kg par ml : W
- le poids des « tympons en terre » c'est à dire des terres comprises entre le plan horizontal passant par la génératrice supérieure extérieure du tuyau et son contour extérieur en kg par ml : T
- les valeurs exactes de G, W et T sont :

$$\frac{\pi}{4} (D_e^2 - D_i^2) \gamma_b$$

$$\frac{\pi}{4} D_i^2 \gamma_e$$

$$\frac{4 - \pi}{8} \gamma_r D_e^2$$

où D_e est le diamètre extérieur du tuyau

D_i est le diamètre intérieur du tuyau

γ_b , γ_e , et γ_r les poids spécifiques du béton, de l'eau véhiculée et de la terre des tympans

On adoptera pour le calcul les valeurs suivantes :

$$\gamma_b = 2.5$$

$$\gamma_e = 1.2$$

$$\gamma_r = 1.8$$

$D_e - D_i$ épaisseur de la buse = $D_i/10$,
 D_i étant considéré comme équivalent au diamètre nominal D.

On obtient alors les formules suivantes exprimées en fonction du diamètre nominal D

$$G = 864 D^2$$

$$W = 943 D^2$$

$$T = 278 D^2$$

Le tableau ci-dessous donne suivant les valeurs de D les valeurs de G, W et T.

Diamètres	600	700	800	900	1000	1200	1400	1600	1800
G	310	425	555	700	865	1245	1695	2210	2800
W	340	460	600	760	940	1360	1850	2410	3060
T	100	140	180	230	280	400	550	710	900

4-2-2 - Charges variables avec la profondeur

Ce sont : - le poids des terres

- la pression due aux surcharges
- la poussée latérale des terres

4-2-2-1 - Poids des terres

Il sera évalué comme il est indiqué au paragraphe A de la notice «évaluation des charges sur les aqueducs enterrés»

4-2-2-2 - Pression due aux surcharges

Elle sera évaluée comme il est indiqué au paragraphe B de la même notice.

Dans le cas où le recouvrement H de terre sur le tuyau est supérieur à 3 m, la surcharge transmise à l'élément de tuyau pourra être considérée pratiquement comme uniformément répartie.

Dans le cas où cette condition n'est pas respectée le calcul du moment maximum tiendra compte de la répartition non uniforme de la surcharge et de l'effet de concentration sur le sommet du tuyau par application d'un coefficient de majoration au moment dû à la surcharge considérée comme uniformément répartie. A défaut d'une évaluation exacte de ce coefficient en fonction de la courbe des pressions correspondant au type de surcharge considérée et au type d'appui, on utilisera en première approximation les valeurs proposées par MM. GUERRIN et DANIEL (Bibliographie 4) dans le tableau ci-après en fonction du diamètre et de la hauteur de recouvrement H :

H \ D	0,60	0,80	1,00	1,20	1,50
3,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2,50	1,03	1,04	1,05	1,06	1,07
2,00	1,05	1,06	1,08	1,11	1,15
1,50	1,15	1,16	1,18	1,23	1,27
1,00	1,23	1,25	1,29	1,36	1,51
0,80	1,40	1,42	1,48	1,51	1,65
0,60	1,62	1,86	1,99	2,02	2,08

...

4-2-2-3 - Poussée latérale des terres

Elle sera évaluée comme indiqué ci-après :

4-2-2-3-1 - Tuyau en remblai

On fera les hypothèses suivantes : la poussée est horizontale et constante sur toute la hauteur du tuyau. Son intensité est donnée par la formule de Rankine

H' étant la hauteur du remblai au-dessus de l'axe du tuyau on prendra

$$L = \gamma_r \cdot H' \cdot \text{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) \cdot D e$$

φ	30°	36°	40°	45°
$\text{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right)$	0,333	0,260	0,217	0,171

avec $\gamma_r = 1,8$

4-2-2-3-2 - Tuyau en tranchée

Dans ce cas on négligera la poussée latérale.

4-3 - Réactions et arcs d'appui

Une fois définies les charges appliquées, les moments d'ovalisation dépendent uniquement de l'intensité et de la direction des réactions sur les éléments de surface d'appui. On fera les hypothèses suivantes :

- les réactions élémentaires d'appui sont verticales et uniformes
- l'arc d'appui a une ouverture de 90° dans le cas de pose sur sable
- l'arc d'appui a une ouverture de 120° au moins dans le cas de pose sur berceau en béton.

Toutefois dans le cas de pose sur sable pour les diamètres supérieurs à 1,50 m, le calcul sera par prudence, basé sur des arcs d'appui d'ouverture d'autant plus petite que le diamètre du tuyau est plus grand. On adoptera :

80° pour le diamètre de 1,60 m

60° pour le diamètre de 1,80 m

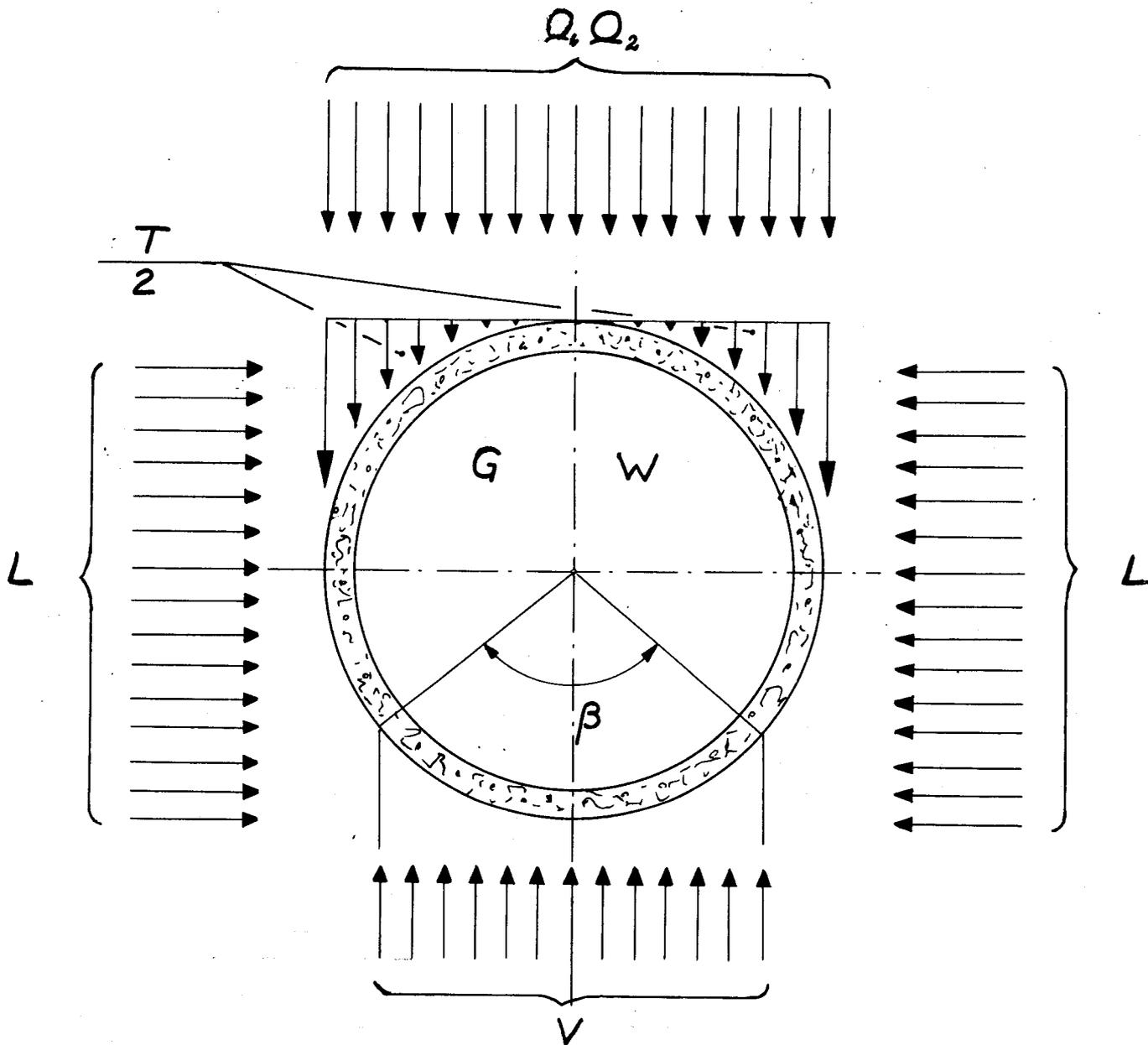
4-4 - Calcul des moments

4-4-1 - Détermination de la charge d'essai

La théorie de l'arc élastique permet d'établir les formules donnant les moments à la clef, au diamètre horizontal et sur la génératrice inférieure pour les différents cas de charge et d'appui que l'on rencontre dans les applications.

Les tableaux ci-après donnent la valeur de ces moments suivant que les charges verticales recouvrent entièrement ou partiellement le tuyau.

4-4-1-1 - Moments d'ovalisation pour différents arcs d'appuis sous charges uniformes intéressant tout le tuyau.



Légende:

T = Tympan

Q_1 = Charge des terres.

Q_2 = Surcharge uniforme.

G = Tuyau

W = Eau

L = Poussée latérale

V = Réaction verticale uniforme.

β = Angle d'appui.

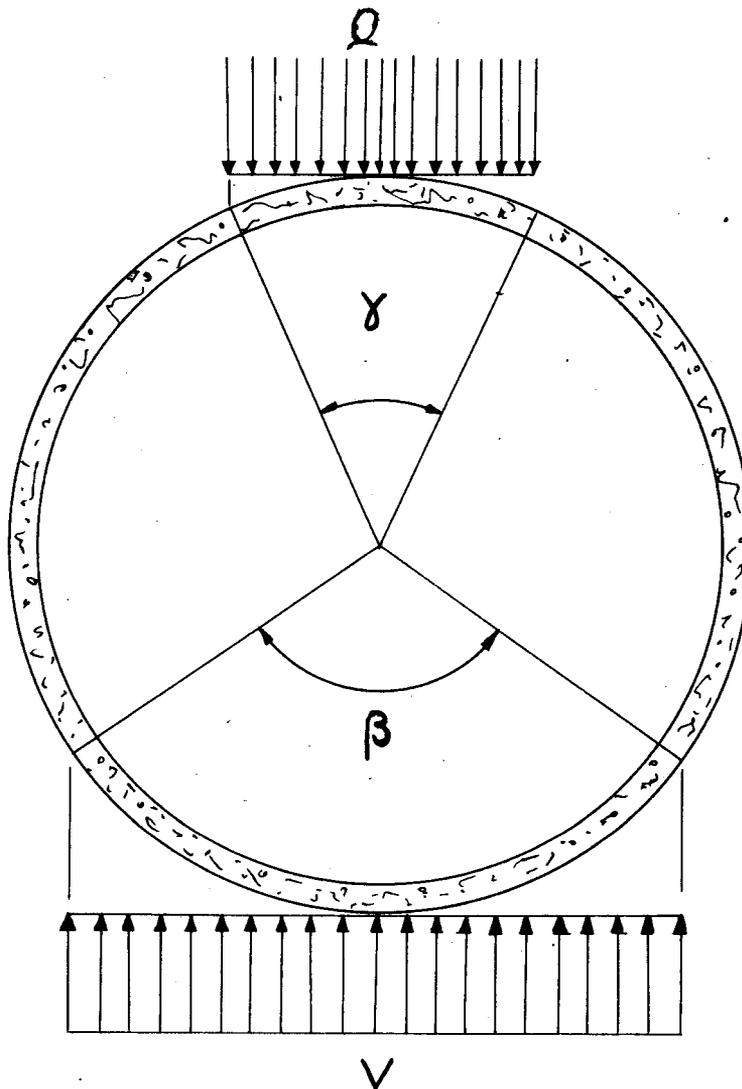
Valeur des moments en fonction des charges au mètre de tuyau

Angle d'appui 1	Sections 2	Tuyau G 3	Eau W 4	Tympan T 5	Surcharge uniforme Q 6	Poussée latérale L 7
0° Appui Linéaire	Clef Reins Appui	+ 0,0398 DmG - 0,0454 - + 0,1194 -	+ 0,0398 DmW - 0,0454 - + 0,1194 -	+ 0,0433 DmT - 0,0632 - + 0,1360 -	+ 0,0748 DmQ - 0,0767 - + 0,1468 -	- 0,0625 DmL + 0,0625 - - 0,0625 -
60°	Clef Reins Appui	+ 0,0365 DmG - 0,0420 - + 0,0669 -	+ 0,0365 DmW - 0,0420 - + 0,0660 -	+ 0,0400 DmT - 0,0598 - + 0,0835 -	+ 0,0715 DmQ - 0,0733 - + 0,0943 -	- 0,0625 DmL + 0,0625 - - 0,0625 -
90°	Clef Reins Appui	+ 0,0334 DmG - 0,0386 - + 0,0510 -	+ 0,0334 DmW - 0,0386 - + 0,0510 -	+ 0,0369 DmT - 0,0564 - + 0,0676 -	+ 0,0684 DmQ - 0,0700 - + 0,0784 -	- 0,0625 DmL + 0,0625 - - 0,0625 -
120°	Clef Reins Appui	+ 0,0303 DmG - 0,0350 - + 0,0414 -	+ 0,0303 DmW - 0,0350 - + 0,0414 -	+ 0,0338 DmT - 0,0528 - + 0,0580 -	+ 0,0653 DmQ - 0,0663 - + 0,0688 -	- 0,0625 DmL + 0,0625 - - 0,0625 -
150°	Clef Reins Appui	+ 0,0283 DmG - 0,0324 - + 0,0367 -	+ 0,0283 DmW - 0,0324 - + 0,0367 -	+ 0,0318 DmT - 0,0502 - + 0,0533 -	+ 0,0633 DmQ - 0,0637 - + 0,0641 -	- 0,0625 DmL + 0,0625 - - 0,0625 -
180°	Clef Reins Appui	+ 0,0275 DmG - 0,0312 - + 0,0351 -	+ 0,0275 DmW - 0,0312 - + 0,0351 -	+ 0,0310 DmT - 0,0490 - + 0,0517 -	+ 0,0625 DmQ - 0,0625 - + 0,0625 -	- 0,0625 DmL + 0,0625 - - 0,0625 -

- Les moments fléchissants positifs tendent la fibre intérieure de la section

- Dm : Diamètre moyen : $\frac{D_i + D_e}{2}$

4-1-1-2 - Moments d'ovalisation pour différents arcs d'appui sous charge uniforme, recouvrant partiellement le tuyau.



Légende:

Q = Charge

γ = Angle d'action de la charge.

β = Angle d'appui.

V = Réaction verticale uniforme.

Valeur des moments en fonction des charges au mètre

Angle d'appui 1	Section 2	Angle d'action de la charge					
		$\gamma = 0$ 3	$\gamma = 60^\circ$ 4	$\gamma = 90^\circ$ 5	$\gamma = 120^\circ$ 6	$\gamma = 150^\circ$ 7	$\gamma = 180^\circ$ 8
0° Appui Linéaire	Clef	+ 0,1591 DmQ	+ 0,1066 DmQ	+ 0,0907 DmQ	+ 0,0811 DmQ	+ 0,0764 DmQ	+ 0,0748 DmQ
	Reins	- 0,0908 -	- 0,0874 -	- 0,0840 -	- 0,0804 -	- 0,0778 -	- 0,0767 -
	Appui	+ 0,1591 -	+ 0,1558 -	+ 0,1527 -	+ 0,1496 -	+ 0,1476 -	+ 0,1468 -
60°	Clef	+ 0,1558 DmQ	+ 0,1033 DmQ	+ 0,0874 DmQ	+ 0,0778 DmQ	+ 0,0731 DmQ	+ 0,0715 DmQ
	Reins	- 0,0874 -	- 0,0840 -	- 0,0806 -	- 0,0770 -	- 0,0744 -	- 0,0733 -
	Appui	+ 0,1066 -	+ 0,1033 -	+ 0,1002 -	+ 0,0971 -	+ 0,0951 -	+ 0,0943 -
90°	Clef	+ 0,1527 DmQ	+ 0,1002 DmQ	+ 0,0843 DmQ	+ 0,0747 DmQ	+ 0,0700 DmQ	+ 0,0684 DmQ
	Reins	- 0,0840 -	- 0,0806 -	- 0,0772 -	- 0,0736 -	- 0,0710 -	- 0,0699 -
	Appui	+ 0,0907 -	+ 0,0874 -	+ 0,0843 -	+ 0,0812 -	+ 0,0792 -	+ 0,0784 -
120°	Clef	+ 0,1496 DmQ	+ 0,0971 DmQ	+ 0,0812 DmQ	+ 0,0716 DmQ	+ 0,0669 DmQ	+ 0,0653 DmQ
	Reins	- 0,0804 -	- 0,0770 -	- 0,0736 -	- 0,0700 -	- 0,0674 -	- 0,0663 -
	Appui	+ 0,0811 -	+ 0,0778 -	+ 0,0747 -	+ 0,0716 -	+ 0,0696 -	+ 0,0688 -
150°	Clef	+ 0,1476 DmQ	+ 0,0951 DmQ	+ 0,0792 DmQ	+ 0,0696 DmQ	+ 0,0649 DmQ	+ 0,0633 DmQ
	Reins	- 0,0778 -	- 0,0744 -	- 0,0710 -	- 0,0674 -	- 0,0648 -	- 0,0637 -
	Appui	+ 0,0764 -	+ 0,0731 -	+ 0,0700 -	+ 0,0669 -	+ 0,0649 -	+ 0,0641 -
180°	Clef	+ 0,1468 DmQ	+ 0,0943 DmQ	+ 0,0784 DmQ	+ 0,0688 DmQ	+ 0,0641 DmQ	+ 0,0625 DmQ
	Reins	- 0,0766 -	- 0,0732 -	- 0,0698 -	- 0,0662 -	- 0,0636 -	- 0,0652 -
	Appui	+ 0,0748 -	+ 0,0715 -	+ 0,0684 -	+ 0,0653 -	+ 0,0633 -	+ 0,0625 -

Les moments fléchissants positifs tendent la fibre intérieure de la section

$$Dm : \text{Diamètre moyen} : \frac{D_i + D_e}{2}$$

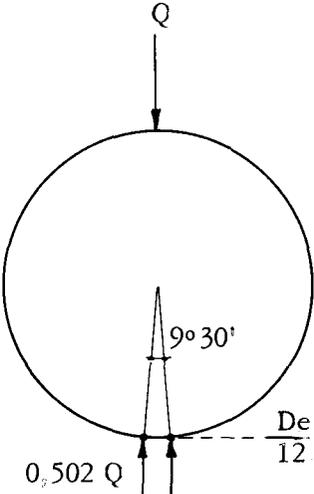
Le moment M_s dû aux charges et réactions d'appui agissant sur le tuyau en service étant ainsi calculé le moment M_E à obtenir à l'essai est donné par la formule $M_E = S \times M_s$

S étant le coefficient de sécurité pour l'essai à la fissuration qui sera pris égal au moins à 1,5 chiffre admis pour les installations courantes et auquel pour les tuyaux en béton armé centrifugé correspond un coefficient de sécurité par rapport à la rupture de 2 à 2,5 suivant les dimensions et les classes.

Connaissant M_E , on en déduit la charge de fissuration en remarquant que M_E est la somme du montant dû au poids propre à la charge d'essai et aux réactions.

Le tableau ci-après permet le calcul de la charge d'essai en fonction du moment M_E .

4-4-1-3 - Valeur des moments d'ovalisation

Conditions d'essais	Moment s	En fonction de Dm.G.Q
<p>Appui sur 2 arêtes distantes de 1/12ème du diamètre extérieur du tuyau</p> 	<u>Clef</u>	
	poids propre	0,0396 DmG
	charge	0,1589 DmQ
	<u>Diam. hori.</u>	
	poids propre	0,0456 DmG
	charge	0,0910 DmQ
<u>Appuis</u>		
poids propre	0,1028 DmG	
charge	0,1423 DmQ	

Q = Charge appliquée sur la génératrice supérieure du tuyau en kg/ml

On utilisera dans les formules du tableau ci-dessus, celles du moment à la clef, (celles du moment à l'appui ne seraient à considérer que dans le cas où la charge serait inférieure à 3,8 fois le poids propre).

...

4-4-2 - Choix de la série

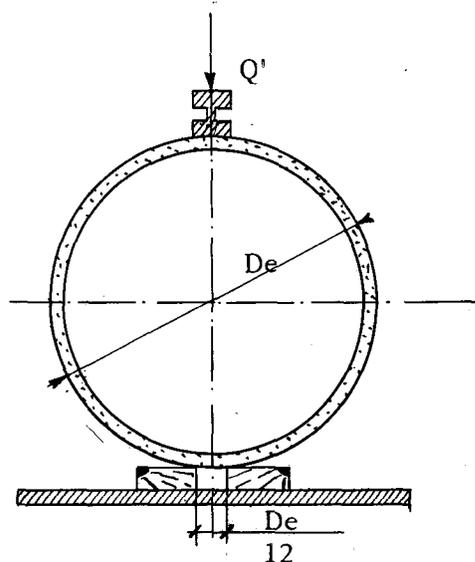
- La série à laquelle on doit avoir recours est ainsi fixée par la charge d'essai à la fissuration
- pour les buses, sous hauts remblais, il sera possible de réaliser une certaine économie en utilisant des séries plus faibles pour les tronçons sous les talus de remblais, ceux-ci étant moins sollicités

4-4-3 - Essais de résistance à l'ovalisation

4-4-3-1 - Normes du Syndicat National des Fabricants de tuyaux centrifugés en béton

Les essais de résistance à l'ovalisation seront exécutés conformément aux normes suivantes adoptées par le Syndicat des Fabricants ;

Le tuyau repose sur deux règles en bois, parallèles, dont l'écartement est égal au $\frac{1}{12}$ ème du diamètre extérieur, et, au minimum de 25 mm.



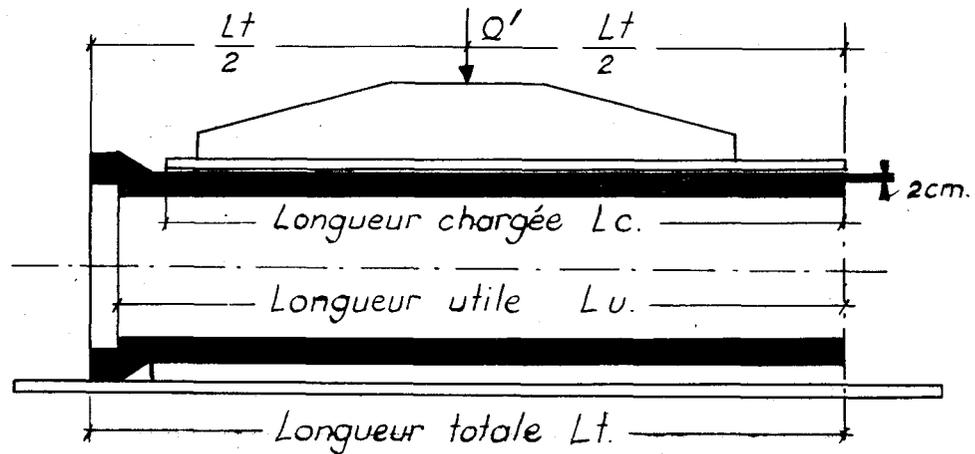
La charge d'essai est appliquée uniformément le long de la génératrice opposée à l'appui au moyen d'un couteau dont la largeur de contact est de 1 cm ; les irrégularités de forme étant compensées par une bande de matière molle, carton, feutre, caoutchouc de 2 cm d'épaisseur au maximum ;

La charge d'essai doit croître progressivement à raison de 1 000 kgs par minute en moyenne. Elle restera appliquée sur le tuyau pendant 5 minutes.

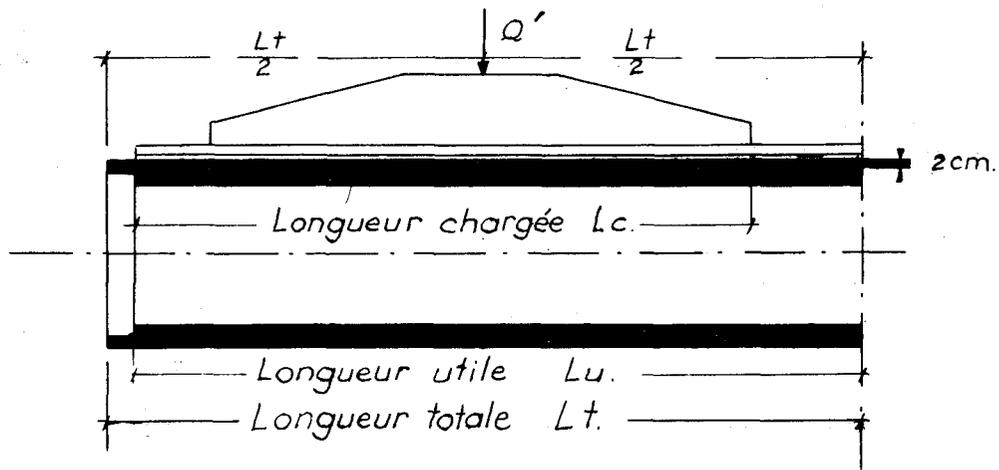
...

La moyenne des résultats obtenus aux essais ne devra pas être inférieure aux charges indiquées, toutefois, des résultats isolés pourront être inférieurs dans la limite de vingt pour cent (20 %) de ces mêmes charges.

Pour les tuyaux à collet, l'appui et la charge ne s'exercent que sur le fût du tuyau, mais le centre de gravité de la charge doit être à égale distance des deux extrémités du tuyau.



Les tuyaux à emboîtement ne sont chargés que sur la partie cylindrique d'épaisseur uniforme, le centre de gravité de la charge étant à égale distance des deux extrémités.



4-4-3-2 - Résistance du tuyau

Dans tous les cas, la résistance du tuyau, exprimée en kilogrammes par mètre linéaire rapportée à la longueur utile du tuyau est :

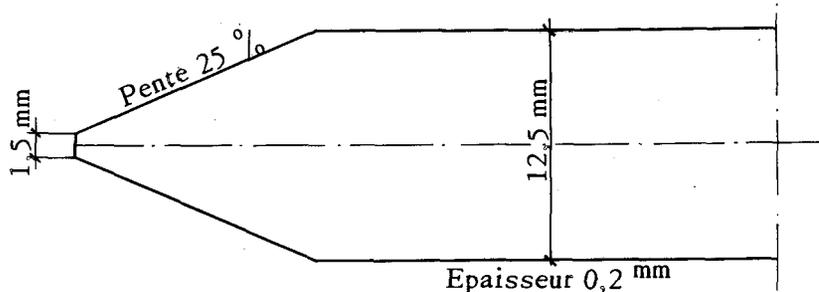
$$Q = \frac{\text{charge d'essai}}{\text{longueur utile}} = \frac{q'}{L_u} \text{ kg/ml}$$

4-4-3-3 - Charge de fissuration et charge de rupture

Dans les épreuves des tuyaux armés, on distingue deux étapes :

4-4-3-3-1 - La charge de fissuration QF qui est celle faisant apparaître des fissures ayant une ouverture d'au moins 0,2 mm sur une longueur d'au moins 0,30 m.

La largeur de la fissure est mesurée à l'aide d'une jauge de 0,2 mm d'épaisseur, ayant la forme indiquée ci-contre. On considèrera la charge de fissuration comme atteinte lorsque la jauge entrera en tous points d'une fissure ayant une longueur de 30 cm au moins.



4-4-3-3-2 - La charge de rupture QR qui est la charge maximum indiquée par l'appareil de mesure (manomètre ou dynamomètre) au moment de l'affaissement du tuyau.

Les charges de fissuration ou de rupture, auxquelles doivent résister les tuyaux des différentes séries commerciales sont indiquées dans le tableau "Principales caractéristiques des buses centrifugées couramment commercialisées".

5 - CONDITIONS DE MISE EN OEUVRE

5-1 - Fondations

Les buses sont des ouvrages rigides qui ne sont pas insensibles aux tassements.

Elles transmettent au sol de fondation des charges notablement supérieures à celles qui seraient appliquées directement par le remblai de la plate-forme.

...

5-1-1 - Tassements

A l'exception du rocher les terrains sur lesquels les buses reposent sont susceptibles de tassements différentiels.

La flexibilité et la résistance longitudinales de chacun des éléments d'une buse étant faibles et les joints ne réalisant pas entre ces éléments des articulations parfaites, les tassements engendrent des efforts et des déformations qui diminuent la résistance de l'ouvrage, compromettent son étanchéité (fuites aux joints) et peuvent favoriser la corrosion et l'abrasion.

Les tassements devront donc être estimés dans chaque cas et leurs conséquences limitées par des dispositions telles que celles-ci.

- homogénéisation du sol de fondation en éliminant les zones inconsistantes localisées (poches d'argiles par exemple) et les têtes rocheuses qui devront être remplacées par du bon sol pris à proximité et compacté.
- utilisation des tuyaux spéciaux renforcés à joints souples assurant la meilleure articulation possible des éléments de buse entre eux sans toutefois nuire à l'étanchéité.
- éventuellement, pour les hauts remblais, après stabilisation du sol de fondation par mise en oeuvre préalable du remblai, pose de l'ouvrage en tranchée dans celui-ci.

5-1-2 - Taux de travail du sol de fondation

La vérification du taux de travail du sol en place devra être faite dans le cas de mauvais terrains, de grandes hauteurs de remblais, de tuyaux de grand diamètre ou de très faibles hauteurs de recouvrement.

Le coefficient de sécurité à adopter sera de 3.

On pourra admettre une certaine répartition des charges à partir des bords du secteur d'appui à travers l'assiette (voir 5-2). Pour diminuer le taux de travail on pourra élargir l'assiette ou même faire appel à une semelle mince en béton armé.

La pose sur pieux est à rejeter.

5-1-3 - Ouvrages en tranchée

Les charges transmises au tuyau, augmentent avec la largeur de la tranchée et l'inclinaison des parois de la fouille.

Celle-ci sera ouverte avec la largeur minimale compatible avec les conditions d'exécution, soit en général le diamètre extérieur de la buse augmenté de 0,30 à 0,60 mètre avec élargissement au droit des joints et ses parois seront taillées aussi verticalement que la structure du terrain le permettra.

5-2 - Assiette

Il y a toujours intérêt à réaliser un appui du tuyau sur sa fondation aussi large que possible.

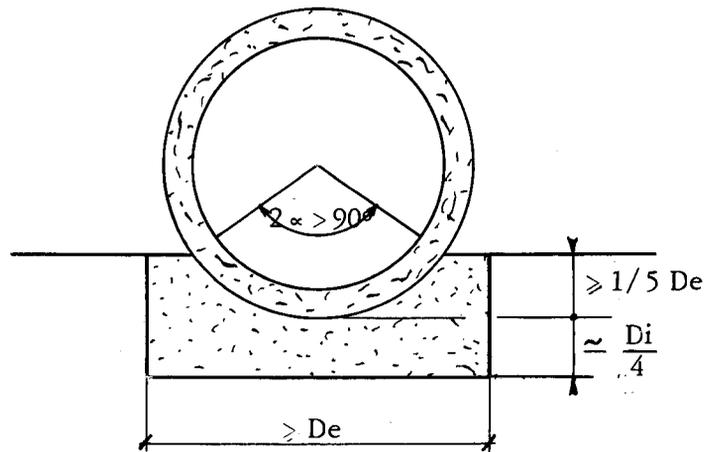
Suivant la nature du sol et l'importance des charges deux types d'assiette peuvent être utilisés :

- l'assiette en sable
- l'assiette en béton

5-2-1 - Assiette en sable

L'assiette en sable sera réalisée dans un encaissement d'une largeur un peu supérieure au diamètre extérieur du tuyau (sous réserve de la vérification du taux de travail du sol) et d'une profondeur au moins égale au $1/5^e$ du diamètre intérieur augmenté de l'épaisseur de sable nécessaire sous l'ouvrage (environ le quart du diamètre intérieur mesuré après mise en oeuvre) de façon que le secteur d'appui 2α soit supérieur à 90° .

Il est primordial qu'à l'exécution, le sable soit arrosé et soigneusement compacté sous les reins du tuyau.



De : Diamètre extérieur

Di : « intérieur

...

Le bourrage au droit des joints devra être particulièrement contrôlé et tous vides absolument proscrits, car ils réduisent la longueur d'appui des éléments de buse.

Cette assiette convient dans les cas usuels.

5-2-2 - Assiette en béton

Le berceau en béton sera réalisé de préférence dans un encaissement, sa largeur sera au moins égale à 1,2 fois le diamètre extérieur du tuyau et son épaisseur sera :

au-dessous de la génératrice inférieure de la buse au moins égale au quart de son diamètre intérieur

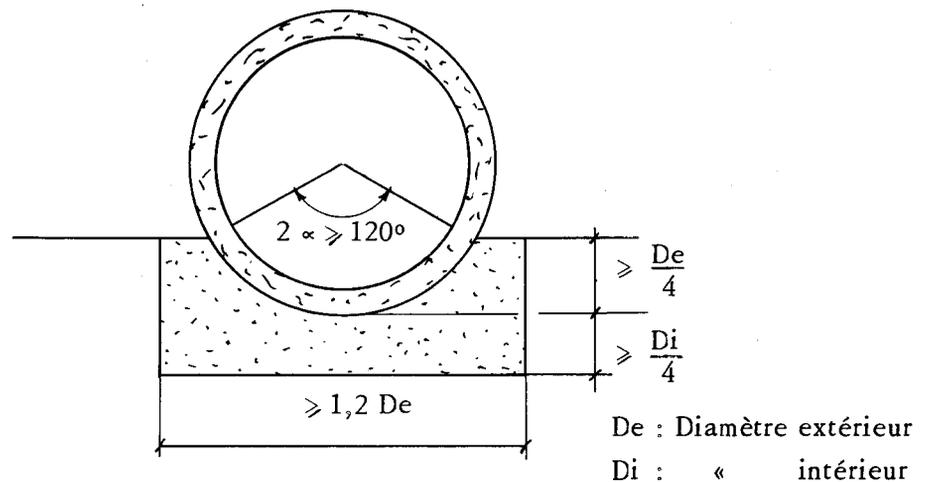
au-dessus de la même génératrice au moins égale au quart de son diamètre extérieur

de telle sorte que le secteur d'appui 2α soit supérieur ou égal à 120° .

Exceptionnellement ce berceau pourra être armé.

Le contact béton-buse devra être assuré d'une façon aussi intime que possible, les reprises horizontales de bétonnage, les intrusions de terre et les vides étant proscrits.

Le remblayage de l'ouvrage ne devra être exécuté que lorsque le béton aura acquis une résistance suffisante.



5-2-3 - Cas particulier de l'enrobage

Les résultats à attendre de l'enrobage sur chantier des tuyaux sont actuellement assez mal connus (bibliographie 8) et de ce fait cette méthode de pose ne paraît pas devoir être retenue.

5-3 - Remblayage

5-3-1 - Nature du remblai

Le remblai devra être constitué de matériaux pulvérulents et légers. Les terres plastiques, inconsistantes ou corrosives seront systématiquement exclues.

5-3-2 - Mise en place du remblai

La précaution essentielle à respecter au remblayage est le calage soigné des reins du tuyau qu'il est indispensable d'enrober avec du remblai meuble, mis en oeuvre par couches horizontales de 0,20 mètre d'épaisseur au plus, alternativement de part et d'autre de l'ouvrage, arrosé et compacté.

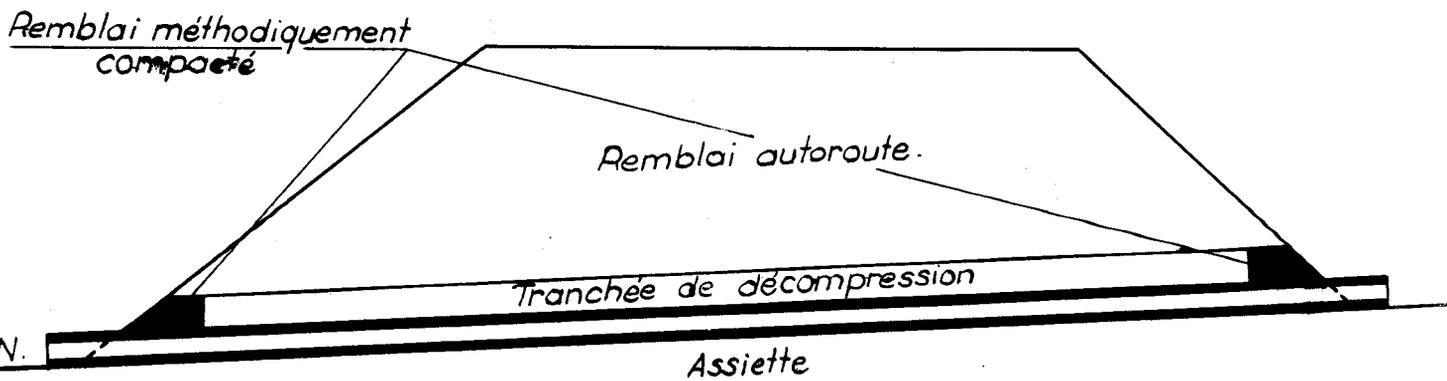
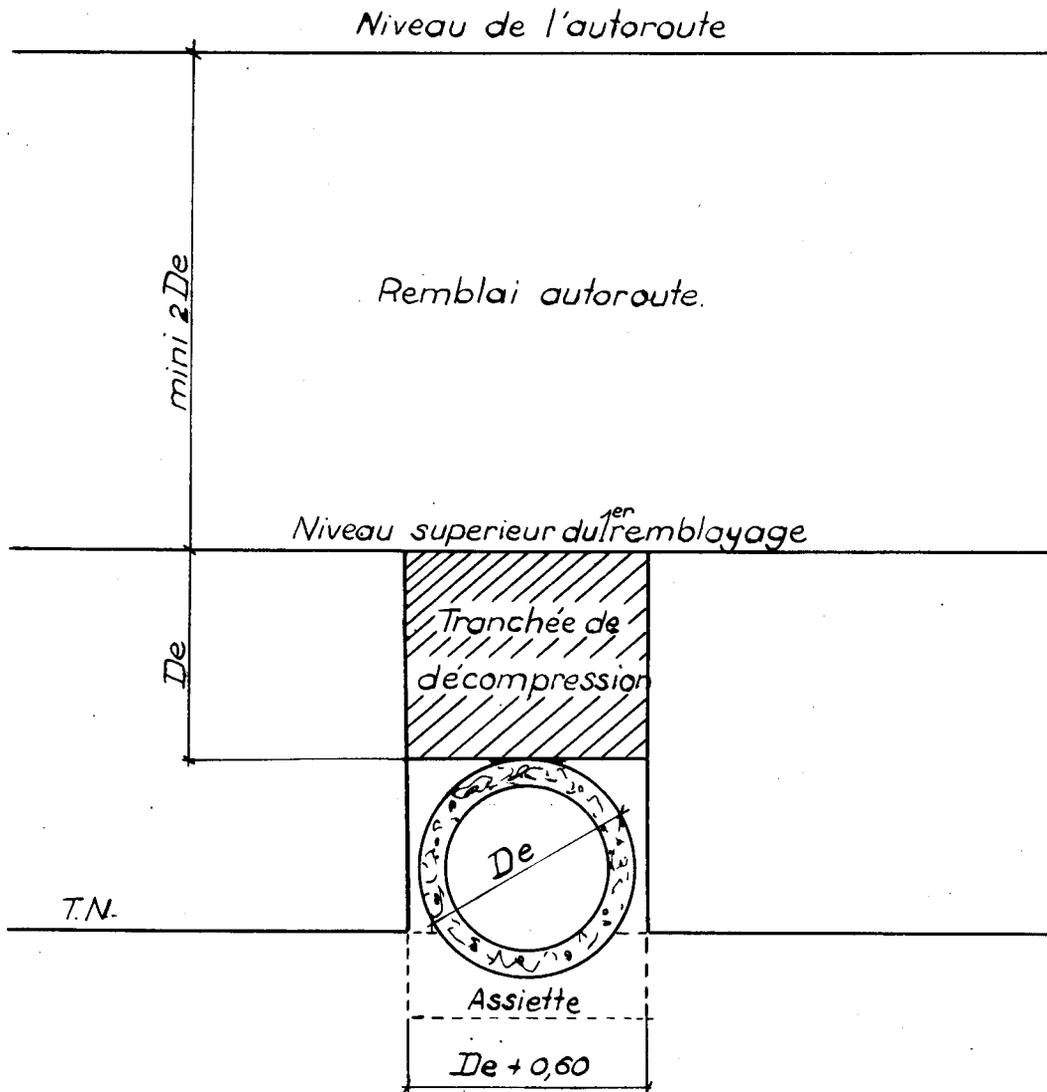
5-3-3 - Méthode particulière de remblayage

Cette méthode d'origine américaine est utilisable dans le cas de conduites en remblai indéfini de grande hauteur.

Elle prévoit une tranchée de décompression au-dessus du tuyau, réalisée comme suit : après exécution à l'emplacement de l'ouvrage du remblai pour plate-forme sur une hauteur un peu supérieure à 2 fois le diamètre extérieur de la buse, celle-ci est mise en place dans une tranchée à parois verticales de largeur n'excédant pas le diamètre extérieur du conduit augmenté de 0,60 mètre. Le remblayage autour de l'ouvrage jusqu'à son sommet est exécuté suivant les prescriptions du paragraphe 5-3-2, le reste de la tranchée étant comblé par un "matériau granuleux à faible densité" non compacté.

Cette méthode n'est applicable que si la hauteur de recouvrement est supérieure à 3 fois le diamètre extérieur du tuyau.

Le remblai "non tassé" devra être arrêté à une distance suffisante des talus latéraux de remblai de la plate-forme pour permettre le compactage efficace de ses extrémités.



BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

(1)	Syndicat National des fabricants de tuyaux centrifugés en béton	Cahier des charges des tuyaux centrifugés en béton	
(2)	Fédération Nationale des fabricants des produits en béton	Cahier des charges des tuyaux en béton d'utilisation courante	
(3)		Méthode de calcul des conduites enterrées	Mai 1960
(4)	A. GUERRIN et G. DANIEL	La fabrication et l'utilisation des tuyaux en béton armé et non armé EYROLLES	1953
(5)	A. GUERRIN et G. DANIEL	Le calcul des tuyaux en béton armé et non armé EYROLLES	1952
(6)	HEWES	American Highway Practice John Wiley	1949
(7)		Planning Manual State of California	1959
(8)	CLARKE et YOUNG	Some structural aspects of the design of concrete pipelines Proc Instn civ engrs (G.B.)	Septembre 1959 et Mai 1960
(9)	G. TURAZZA	Tuyaux de grand diamètre (traduit de l'italien) DUNOD	1962
(10)	K. ROSKE	Tuyaux en béton suivant la norme allemande DIN 4032 Betonstein Zeitung	Juillet 1956

MINISTERE des TRAVAUX PUBLICS et des TRANSPORTS

SERVICE SPECIAL DES AUTOROUTES

38 rue Liancourt PARIS 14^e SEG. 37.74

OUVRAGES TYPES POUR AUTOROUTES

OUVRAGES HYDRAULIQUES

AQUEDUCS EN BETON ARME

OH-AP2b64

*GUIDE POUR L'ETABLISSEMENT
D'UNE NOTE DE CALCUL*

②

ETUDE D'OUVRAGES HYDRAULIQUES		INGENIEUR EN CHEF CHEF DU SERVICE
INGENIEURS T.P.E.	INGENIEURS P.C.	
J. BEAUDOIN A. ROUX	J. DU FOUR C. VILA	A. THIEBAULT
PARIS SEPTEMBRE 1964		

1 - DONNEES

Unités le kilogramme et le mètre

1-1 - Caractéristiques du tuyau

Di diamètre intérieur

Dm diamètre moyen

De diamètre extérieur

1-2 - Evaluation des charges

1-2-1 - Charges invariables avec la hauteur du remblai

G en kg poids du tuyau au ml

W en kg poids de l'eau dans le tuyau

T en kg poids des tympans

Les valeurs de G, W, T en fonction du diamètre du tuyau sont données au paragraphe 4-2-1 de la notice technique.

1-2-2 - Poids des terres

Q_1 en kg évalué d'après la méthode exposée dans la notice "Evaluation des charges de terre et des surcharges roulantes" chapitre 1 A, sous-dossier OH AP 1 64

1-2-3 - Surcharges roulantes

Q_2 en kg évaluées d'après la méthode exposée dans la notice "Evaluation des charges de terre et des surcharges roulantes" chapitre 1 A, sous-dossier OH AP 1 64.

1-2-4 - S coefficient de sécurité à la fissuration. On adoptera la valeur 1,5 pour S.

1-2-5 - Mode de pose du tuyau

sur assiette en sable

sur béton

β angle au centre correspondant à l'arc d'appui

...

2 - CALCUL DU MOMENT D'OVALISATION

On ne tient compte que de la résistance transversale du tuyau. Pour une même charge, le moment d'ovalisation est fonction :

- de l'angle d'appui du tuyau
- de la section considérée (clef, rein, appui).

Pour un angle d'appui fixé et une charge ou surcharge Q connue, le moment d'ovalisation est donné par l'expression : $M = Q \times \rho \times D_m$

M étant le moment d'ovalisation en kg/m

Q la surcharge exprimée en kg

D_m le diamètre moyen du tuyau exprimé en ml.

ρ un coefficient qui figure aux tableaux 4-4-1-1 et 4-4-1-2 de la notice technique pour un type de charge ou de surcharge défini, pour un angle d'appui donné et pour un angle d'action de la charge donné, la valeur de ρ adoptée est la plus forte des 3 valeurs figurant au tableau.

Le moment d'ovalisation total est la somme des moments créés par :

- les charges invariables avec la hauteur de remblai
- les charges variables avec la hauteur de remblai (poids des terres plus surcharges roulantes)

2-1 - Moment dû aux charges invariables avec la hauteur de remblai

Ces charges sont :

- G en kg, le poids du tuyau de 1 ml de longueur
- W en kg, le poids de l'eau
- T en kg, le poids des tympans

En appelant M_{Si} , le moment total d'ovalisation dû à l'effet de ces 3 charges, M_{Si} en kg/m est donné par la relation :

$$M_{Si} = [\rho_1 \times G + \rho_2 \times W + \rho_3 \times T] D_m$$

Pour un arc d'appui donné, la valeur de chacun des coefficients ρ_1 , ρ_2 , ρ_3 est relevée respectivement dans les colonnes 3, 4 et 5 du tableau 4-4-1-1 de la notice technique.

...

2-2 - Moment dû aux charges variables avec la hauteur de remblai

Ces charges sont :

- les charges dues au poids des terres au-dessus du tuyau et à la poussée latérale des terres
- la surcharge civile
- la surcharge militaire

2-2-1 - Moment d'ovalisation dû au poids des terres et à la poussée latérale

Ce moment est donné par la relation :

$$M_{su} = (\rho_4 \times Q_1 + \rho_5 \times L) D_m$$

M_{su} , moment d'ovalisation en kg/m.

Q_1 en kg, charge engendrée au niveau du tuyau (voir sous-dossier OH AP 1 64)

L en kg, poussée latérale des terres (voir sous-dossier OH AP 1 64)

ρ_4 et ρ_5 , coefficients relevés respectivement dans les colonnes 6 et 7 du tableau 4-4-1-1 de la notice technique

D_m en ml, diamètre moyen du tuyau

2-2-2 - Moment dû à la surcharge civile

2-2-2-1 - La hauteur de remblai est suffisante.

Des 4 cas de surcharges considérés au sous-dossier OH AP 1 64, surcharge A» roue de 10 T, cylindre de 20 T, camions de 30 T ; on prend en compte celui qui donne un Q_2 maximum.

Le moment d'ovalisation M_{sc} est donné par la relation

$$M_{sc} = (\rho_4 \times Q_2) D_m$$

M_{sc} en kg/m

ρ_4 coefficient dont la valeur est relevée dans la colonne 6. du tableau du tableau 4-4-1-1 de la notice technique

Q_2 en kg, charge engendrée sur le tuyau par la surcharge roulante dont la valeur est calculée en application des paragraphes 2-2-2-1 ou 2-2-2-3 ou 2-2-2-4 de la pièce n° 2 (guide pour l'établissement d'une note de calcul) du sous-dossier OH AP 1 64 "Evaluation des charges de terre et des surcharges roulantes".

...

2-2-2-2 - La hauteur de remblai sur le tuyau est faible

Camion de 30 T :

On considère les 4 roues arrière intérieures de 2 camions contigus.
Le calcul du moment d'ovalisation se fait en fonction de l'angle d'action de la charge.

Chaque roue engendre un moment dont la valeur est donnée par la relation :

$$M = Q_2 \times \rho \times D_m$$

où

Q_2 est la charge sur le tuyau créée par la roue considérée. La valeur de Q_2 est déterminée à partir de la pièce n° 2 du sous-dossier OH AP 1 64 « Évaluation des charges de terre et des surcharges roulantes »

ρ est un coefficient dont la valeur est relevée dans les colonnes 3, 4, 5, 6, 7, 8 du tableau figurant au paragraphe 4-4-1-2 de la notice technique du sous-dossier OH AP 2 b 64

D_m est le diamètre moyen du tuyau en ml. Le moment total engendré par les 4 roues arrière de 2 camions contigus du convoi type s'obtient en faisant la somme des moments élémentaires créés par chaque roue considérée isolément.

Pour suivre les développements ci-dessous, il importe de se référer au guide pour l'établissement d'une note de calcul (pièce n° 2) du sous-dossier OH AP 1 64 « Evaluation des charges de terre et de surcharges roulantes »

Moment créé par la roue R₁

Moment afférent au rectangle A B C D correspondant à l'angle de charge $\gamma = 60^\circ$

$$M_{1-60} = Q_{21} \times \rho_{60} \times D_m$$

où

Q_2 est la charge sur le rectangle A B C D engendrée par la roue R₁ et déterminée d'après le paragraphe 2-2-2-4 « du guide » du sous-dossier OH AP 1 64.

ρ_{60} est un coefficient dont la valeur est relevée dans la colonne 4 (60°) du tableau 4-5-1-2 de la notice technique

D_m est le diamètre moyen du tuyau

...

Moment pour les rectangles A E F B et H D C G correspondant à l'angle de charge $\gamma = 90^\circ$

Le moment M_{1-90} est égal à la différence des moments créés, l'un par le rectangle E F G H (rectangle total correspondant à l'angle de charge $\gamma = 90^\circ$) soumis à une charge uniformément répartie ayant pour intensité unitaire celle de la charge calculée pour le rectangle A E F B en application du paragraphe 2-2-2-4 du guide, pièce n° 2 du sous-dossier OH AP₁ 64.

l'autre par le rectangle A B C D (rectangle correspondant à l'angle de charge $\gamma = 60^\circ$) soumis à une charge uniformément répartie, ayant pour valeur unitaire celle de la charge pour le rectangle A E F B en application du paragraphe 2-2-2-4 du guide du sous-dossier OH AP₁ 64

$$\begin{aligned} \text{d'où} \quad M_{1-90} &= \frac{Q_{2-2} \times \text{Aire E F G H}}{\text{Aire A E F B}} \times \rho_{90} \times Dm \\ &\quad - \frac{Q_{2-2} \times \text{Aire A B C D}}{\text{Aire A E F B}} \times \rho_{60} \times Dm \end{aligned}$$

ρ_{90} , ρ_{60} étant des coefficients relevés respectivement dans les colonnes 5 "90" et 4 "60" du tableau 4-4-1-2 de la notice technique.

Moment pour les rectangles E I J F et L H G K correspondant à l'angle de charge $\gamma = 120^\circ$

Le moment M_{1-120} est égal à la différence des moments créés :

- l'un par le rectangle I J K L (rectangle total correspondant à l'angle de charge $\gamma = 120^\circ$) soumis à une charge uniformément répartie ayant pour intensité unitaire, celle de la charge calculée pour le rectangle E I J F (voir paragraphe 2-2-2-4 du guide du sous-dossier OH AP₁ 64)

- l'autre par le rectangle E F G H (rectangle correspondant à l'angle de charge $\gamma = 90^\circ$) soumis à une charge uniformément répartie ayant pour intensité unitaire celle de la charge calculée pour le rectangle E I J F (voir paragraphe 2-2-2-4 du guide du sous-dossier OH AP₁ 64)

$$\begin{aligned} \text{d'où} \quad M_{1-120} &= \frac{Q_{2-3} \times \text{Aire I J K L}}{\text{Aire I J F E}} \times \rho_{120} \times Dm \\ &\quad - \frac{Q_{2-3} \times \text{Aire E F G H}}{\text{Aire I J F E}} \times \rho_{90} \times Dm \end{aligned}$$

ρ_{120} et ρ_{90} étant des coefficients relevés respectivement dans les colonnes "90" et "120" du tableau 4-4-1-2 de la notice technique.

On évalue de la même façon les moments élémentaires $M_{1\ 150}$ et $M_{1\ 180}$ pour le rectangle I M N J et M Q R N.

Le moment total M_1 créé par la roue R_1 sur le tuyau est donc

$$M_1 = M_{1\ 60} + M_{1\ 90} + M_{1\ 120} + M_{1\ 150} + M_{1\ 180}$$

Moment créé par la roue R_3

Le moment total M_3 engendré par la roue R_3 est déterminé en conduisant les calculs comme ci-dessus.

Moment créé par la roue R_2

$$M_2 = Q_2 \times \rho_{180^\circ} \times D_m$$

ρ_{180° étant relevé dans la colonne 8 "180°" du tableau 4-4-1-2 de la notice technique.

Q_2 charge sur le tuyau calculée en application du paragraphe 2-2-2-4 du guide du sous-dossier OH AP 1 64

D_m diamètre moyen en mètres du tuyau.

Moment créé par la roue R_4

$$M_4 = Q_2 \times \rho_{180^\circ} \times D_m$$

Moment total

le moment total créé par le convoi est :

$$M = M_1 + M_2 + M_3 + M_4$$

2-2-3 - Moment dû à la surcharge militaire (char de 100 T)

Le moment d'ovalisation engendré par le char de 100 T est donné par l'expression

$$M_{sm} = \rho_4 \times Q_2 \times D_m$$

M_{sm} moment d'ovalisation en kg/m

ρ_4 coefficient relevé dans la colonne 6 du tableau 4-4-1-1 de la notice technique

Q_2 en kg, charge sur le tuyau dont la valeur est donnée au paragraphe 2-2-2-5 du guide du sous-dossier OH AP 1 64 (bien faire attention pour le choix de Q_2 si l'on se trouve dans le cas de faible remblai ou non).

2-2-4 - Moment d'ovalisation total

Le moment d'ovalisation total M_s à considérer est le plus grand des deux moments donnés par les expressions suivantes,

$$M_{s1} = M_{si} + M_{su} + M_{sc}$$

$$M_{s2} = (M_{si} + M_{su} + M_{sm}) \frac{1}{1,20}$$

Le coefficient $\frac{1}{1,20}$ fait intervenir dans le cas de la surcharge militaire, la majoration de 20 % permise pour les contraintes et par suite pour les moments.

3 - MOMENT D'ESSAI

Le moment d'essai M_E est donné par l'expression

$$M_E = S \times M_S$$

M_E en kg/m

S coefficient de sécurité égal à 1,5 au moins

M_S moment d'ovalisation en kg/m déterminé en 2-2-4

4 - CHARGE D'ESSAI

Le moment d'essai, d'après le paragraphe 4-4-1-3 de la notice technique est

$$M_E = 0,0396 \times D_m \times G + 0,1589 \times D_m \times Q$$

M_E moment d'essai en kg/m défini en 3

D_m diamètre moyen du tuyau en ml

G poids propre du tuyau (pour 1 ml de longueur) en kg

Q charge d'essai à déterminer

De la relation, nous tirons donc la valeur de Q

$$Q = \frac{M_E - 0,0396 \times D_m \times G}{0,1589 D_m}$$

5 - CHOIX DE LA SERIE

La charge par unité de section diamétrale est $\frac{P}{D_i}$

Q charge d'essai en kg, déterminé en 4

D_i diamètre intérieur de la buse

d'où la série

MINISTERE des TRAVAUX PUBLICS et des TRANSPORTS
SERVICE SPECIAL DES AUTOROUTES

38 rue Liancourt PARIS 14^e SEG. 37.74

OUVRAGES TYPES POUR AUTOROUTES

OUVRAGES HYDRAULIQUES

AQUEDUCS EN BETON ARME

OH_AP2b 64

EXEMPLE NUMERIQUE

3

ETUDE D'OUVRAGES HYDRAULIQUES		INGENIEUR EN CHEF CHEF DU SERVICE
INGENIEURS T.P.E.	INGENIEURS P.C.	
J. BEAUDOIN A. ROUX	J. DUFOUR C. VILA	A. THIEBAULT
PARIS		SEPTEMBRE 1964

EXEMPLE NUMERIQUE

1 - DONNEES

diamètre intérieur $D_i = 1,00$ m

« extérieur $D_e = 1,18$ m

« moyen $D_m = 1,09$ m

hauteur de remblai $H = 3,00$ m

densité des terres 1800 kg/m³

angle interne de frottement 36°

pose en remblai indéfini sur assiette en sable

arc d'appui $= 90^\circ$

coefficient de sécurité à la fissuration : 1,5

rapport tassement flèche

$$p = \frac{1}{2}(1 + \cos 45^\circ) = 0,85$$

$$r = 0,7$$

$$p.r = 0,85 \times 0,7 \approx 0,6$$

coefficient de transmission $I = 1,5$

autoroute à 3 voies

ouvrage calculé sur la base d'une longueur théorique de 1 m

2 - CHARGES SUR LE TUYAU EN SERVICE

2-1 - Charges invariables avec la profondeur

$$G = 865 \text{ kg}$$

$$W = 940 \text{ kg}$$

$$T = 280 \text{ kg}$$

2-2 - Charges variables avec la profondeur

2-2-1 - Poids des terres Q_1

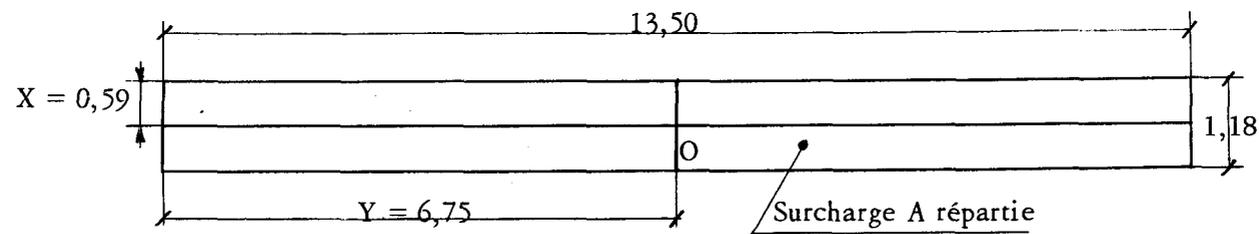
$$\frac{H}{De} = \frac{3,00}{1,18} = 2,54, \text{ d'où } K = 1,55$$

$$Q_1 = 1,55 \times 1\,800 \times 3 \times 1,18 = 9\,877 \text{ kg}$$

2-2-2 - Surcharges roulantes

2-2-2-1 - Surcharge uniforme

$$A = 350 + \frac{320\,000\,000}{1,18^3 + 60 \times 1,18^2 + 225\,000} = 1\,772 \text{ kg}$$



$$X = 0,59$$

$$Y = 6,75$$

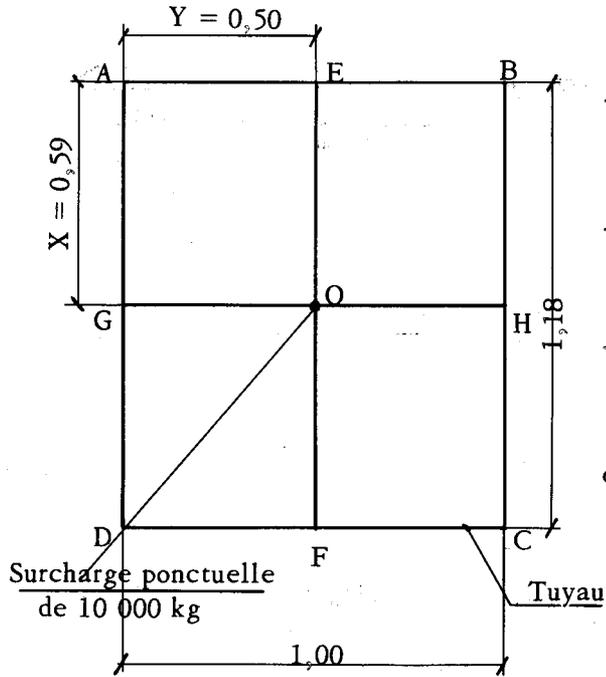
$$m = \frac{X}{H} = \frac{0,59}{3} = 0,20, \quad n = \frac{Y}{H} = \frac{6,75}{3} = 2,25$$

$$\text{d'où } C_A = 0,061$$

$$\text{et } Q_2 = 1,5 \times 4 \times 0,061 \times 1\,772 \times 1,18 = 765 \text{ kg}$$

...

2-2-2-2 - Roue de 10 T



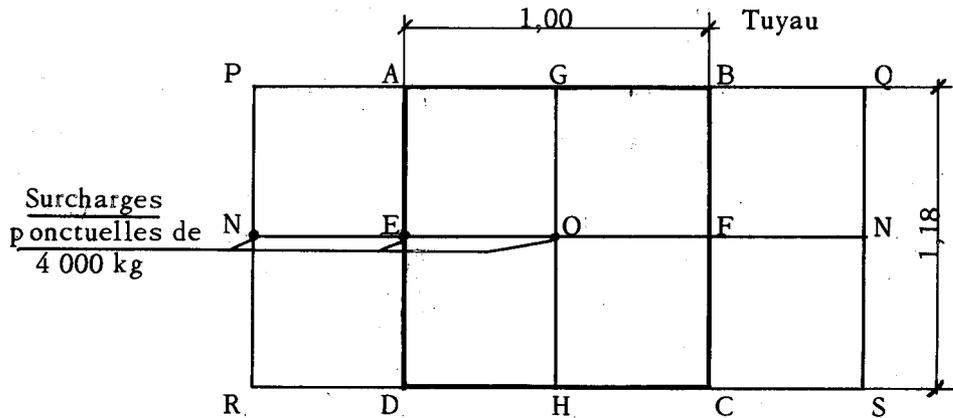
$$- m = \frac{X}{H} = \frac{0,59}{3} \approx 0,20$$

$$- n = \frac{Y}{H} = \frac{0,59}{3} \approx 0,17$$

$$- \text{d'où } C_{R10} = 0,015$$

$$\text{et } Q_2 = 1,50 \times 4 \times 0,015 \times 10\,000 = 900 \text{ kg}$$

2-2-2-3 - Cylindre de 20 T



Rectangle de charge A B C D : $AB = 1,00 \text{ ml}$
 $AD = 1,18 \text{ ml}$

Intensité des charges ponctuelles appliquées en M, E, O, F, N

$$\frac{20\,000}{5} = 4\,000 \text{ kg}$$

Influence de la charge axiale (charge en 0)

$$C_a = C_r 10 = 0,015$$

Influence des charges intermédiaires E et F

Calcul de C_i : rectangle à considérer E A B F

$$\text{pour lequel } X = EA = \frac{1,18}{2} = 0,59$$

$$Y = AB = 1,00$$

$$\text{d'où } m = \frac{X}{H} = \frac{0,59}{3} = 0,20$$

$$n = \frac{Y}{H} = \frac{1,00}{3} = 0,33$$

$$\text{et } C_i = 0,028$$

Influences des charges latérales

Calcul de C_{11} : rectangle à considérer M P B F

$$\text{pour lequel } X = 0,59, \quad Y = 1,50$$

$$m = \frac{X}{H} = \frac{0,59}{3} = 0,20$$

$$n = \frac{Y}{H} = \frac{1,50}{3} = 0,50$$

$$\text{et } C_{11} = 0,039$$

rectangle M E A P

$$\text{pour lequel } X = 0,59, \quad Y = 0,50$$

$$m = \frac{X}{H} = \frac{0,59}{3} = 0,20$$

$$n = \frac{Y}{H} = \frac{0,50}{3} = 0,17$$

...

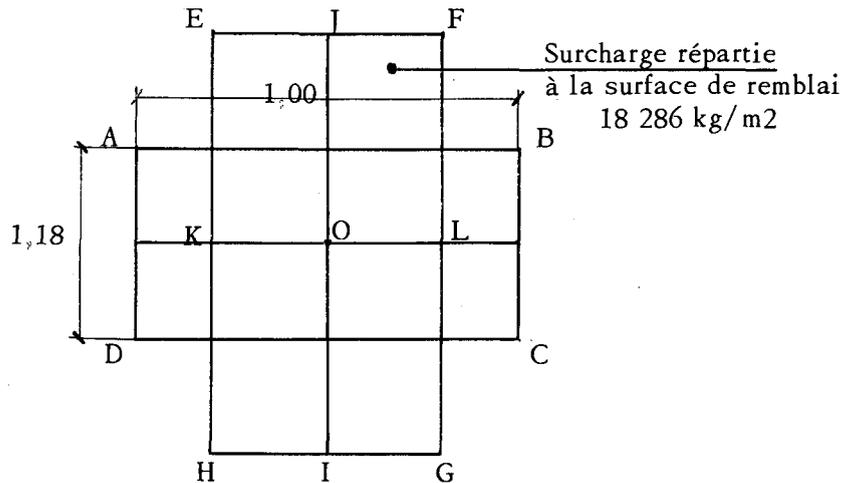
$$\text{d'où } C_{12} = 0,015$$

$$\text{d'où } C_1 = 0,039 - 0,015 = 0,024$$

$$Q_2 = 1,5 \times 4 (0,015 + 0,028 + 0,024) 4\,000 = 1\,608 \text{ kg}$$

2-2-2-4 - Camions de 30 T

La hauteur de recouvrement étant de 3,00 m, les 4 roues sont assimilées à une surcharge uniforme de 24 000 kg, répartie en surface du remblai sur un rectangle de 1,75 × 0,75 (rectangle enveloppe des 4 roues arrière).



Pression moyenne due aux 4 roues sur le rectangle E F G H

$$\frac{24\,000}{1,75 \times 0,75} = 18\,286 \text{ kg/m}^2$$

Calcul du coefficient C_c 30

rectangle à considérer O J E K,

$$\text{pour lequel } X = \frac{1,75}{2} = 0,88$$

$$Y = \frac{0,75}{2} = 0,38$$

...

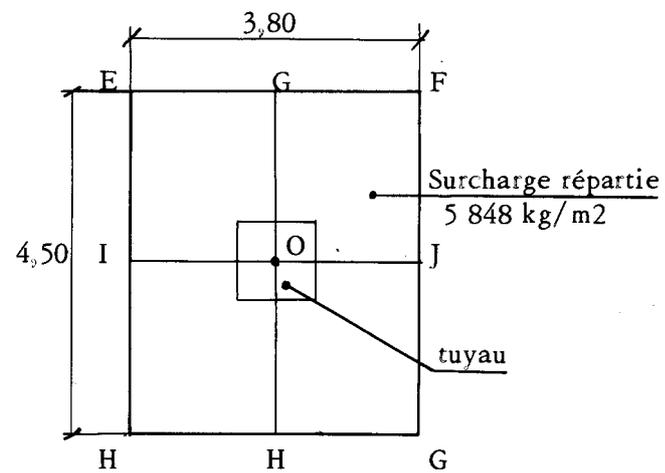
$$m = \frac{X}{H} = \frac{0,88}{3} = 0,29, \quad n = \frac{Y}{H} = \frac{0,38}{3} = 0,13$$

$$\text{d'où } C_{c30} = 0,017$$

$$Q_2 = 1,5 \times 0,017 \times 4 \times 18\,286 \times 1,18 = 2\,201 \text{ kg}$$

2-2-2-5 - Char de 100 T

La hauteur de recouvrement du tuyau étant suffisante, le char est assimilé à une surcharge de 100 000 kg répartie en surface du remblai sur un rectangle de 4,50 × 3,80



Pression moyenne due au char

$$\frac{100\,000}{3,80 \times 4,50} = 5\,848 \text{ kg/m}^2$$

Calcul du coefficient C_{c100}

Rectangle à considérer O G E I

$$\text{pour lequel } X = \frac{4,50}{2} = 2,25$$

$$Y = \frac{3,80}{2} = 1,90$$

...

$$m = \frac{X}{H} = \frac{2,25}{3} = 0,75, \quad n = \frac{Y}{H} = \frac{1,90}{3} = 0,63$$

$$\text{d'où } C_c 100 = 0,124$$

$$Q_2 = 1,5 \times 4 \times 0,124 \times 5\,848 \times 1,18 = 5\,134 \text{ kg}$$

2-2-3 - Poussée latérale des terres

$$\text{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) = \text{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{36}{2} \right) = 0,260$$

$$L = 1\,800 \left(3 + \frac{1,18}{2} \right) 0,260 \times 1,18 = 1\,983 \text{ kg}$$

3 - MOMENT D'OVALISATION

3-1 - Moment dû aux charges invariables avec la hauteur du remblai

$$G = 865 \qquad W = 940 \qquad T = 280$$

$$\rho_1 = 0,0510 \qquad \rho_2 = 0,0510 \qquad \rho_3 = 0,0676$$

$$D_i = 1,09$$

$$M_{si} = (0,051 \times 865 + 0,0510 \times 940 + 0,0676 \times 280) 1,09 = 121 \text{ kg/m}$$

3-2 - Moment dû aux charges variables avec la hauteur de remblai

3-2-1 - Moment créé par le poids des terres au-dessus du tuyau et la poussée latérale des terres

$$Q_1 = 9\,877 \text{ kg} \qquad \rho_4 = 0,0784$$

$$L = 1\,983 \text{ kg} \qquad \rho_5 = 0,0625$$

$$D_i = 1,09$$

$$\text{d'où } M_{su} = (0,0784 \times 9\,877 + 0,0625 \times 1\,983) 1,09 = 709 \text{ kg/m}$$

3-2-2 - Moment dû à la surcharge civile

La surcharge civile la plus défavorable est celle afférente aux camions de 30 T pour laquelle $Q_2 = 2\,201 \text{ kg}$.

$$\rho_4 = 0,0784 \qquad D_i = 1,09$$

$$M_{sc} = 0,0784 \times 2\,201 \times 1,09 = 188 \text{ kg/m}$$

...

3-2-3 - Surcharge militaire, char de 100 T

$$\rho_4 = 0,0784 \qquad Q_2 = 5\,134 \qquad Di = 1,09$$

$$M_{sm} = 0,0784 \times 5\,134 \times 1,09 = 439 \text{ kg/m}$$

3-2-4 - Moment d'ovalisation à prendre en compte

En considérant la surcharge civile

$$M_{s1} = 121 + 709 + 188 = 1\,018 \text{ kg/m}$$

En considérant la surcharge militaire

$$M_{s2} = \frac{1}{1,20} (121 + 709 + 439) = 1\,058 \text{ kg/m}$$

$$\text{Moment adopté } M_s = 1\,058 \text{ kg/m}$$

4 - MOMENT D'ESSAI

$$M_E = 1,5 \times 1\,058 = 1\,587 \text{ kg/m}$$

5 - CHARGE D'ESSAI

$$M_E = 1\,587 \text{ kg/m} \qquad D_m = 1,09 \qquad G = 865 \text{ kg}$$

$$1587 = 0,0396 \times 1,09 \times 865 + 0,1589 \times 1,09 \times Q$$

$$Q = \frac{1\,587 - 0,0396 \times 1,09 \times 865}{0,1589 \times 1,09} = 8\,949 \text{ kg}$$

6 - CHOIX DE LA SERIE

Charge par unité de section diamétrale

$$Q = 8\,949 \qquad Di = 1,00$$

$$\frac{8\,949}{1,00} = 8\,949 \text{ kg/m}^2$$

d'où la série 9 000

MINISTERE DE L' EQUIPEMENT ET DU LOGEMENT

SERVICE D' ETUDES TECHNIQUES DES ROUTES ET AUTOROUTES

AGENCE DU SUD-EST

50, Avenue du Maréchal de Lattre de Tassigny MACON 71 - Tel. 38.30.82

OUVRAGES TYPES POUR AUTOROUTES

OUVRAGES HYDRAULIQUES

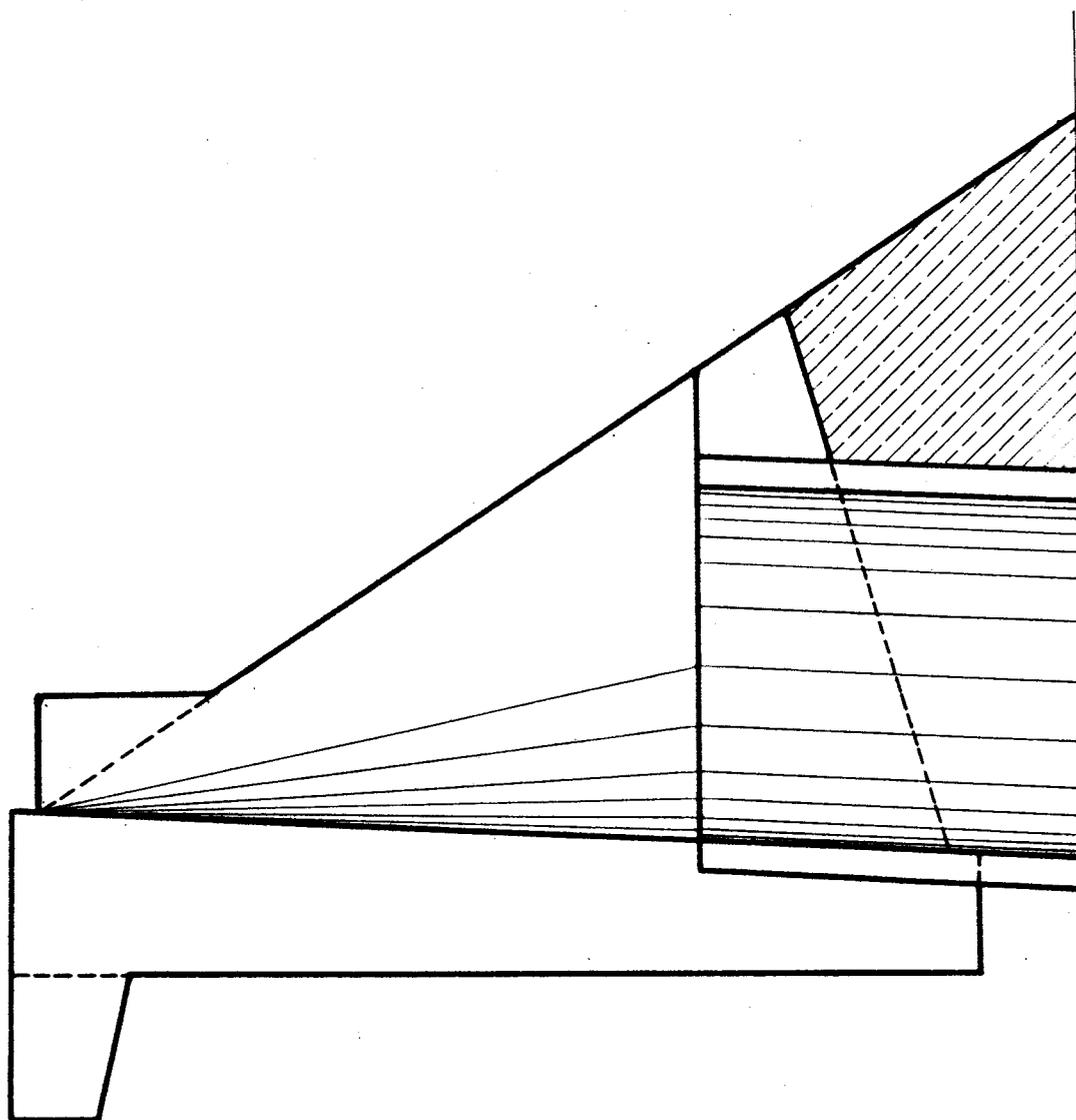
O.H.A.P.ab 64

AQUEDUCS EN BETON ARME

DESSINS DES TETES D' OUVRAGES

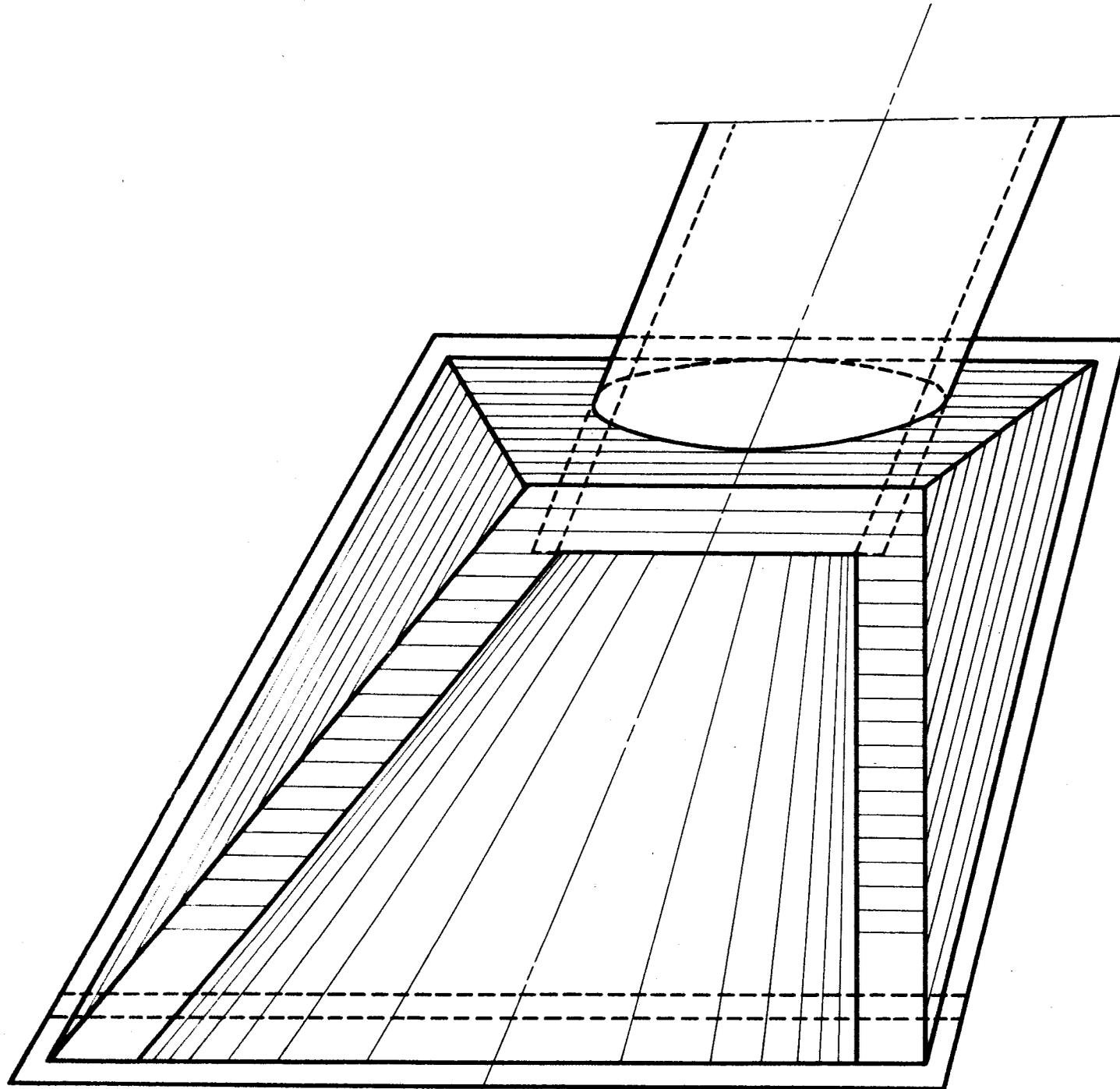
2.4

COUPE LONGITUDINALE



Echelle 1/50

PLAN
(Les maçonneries découvertes)

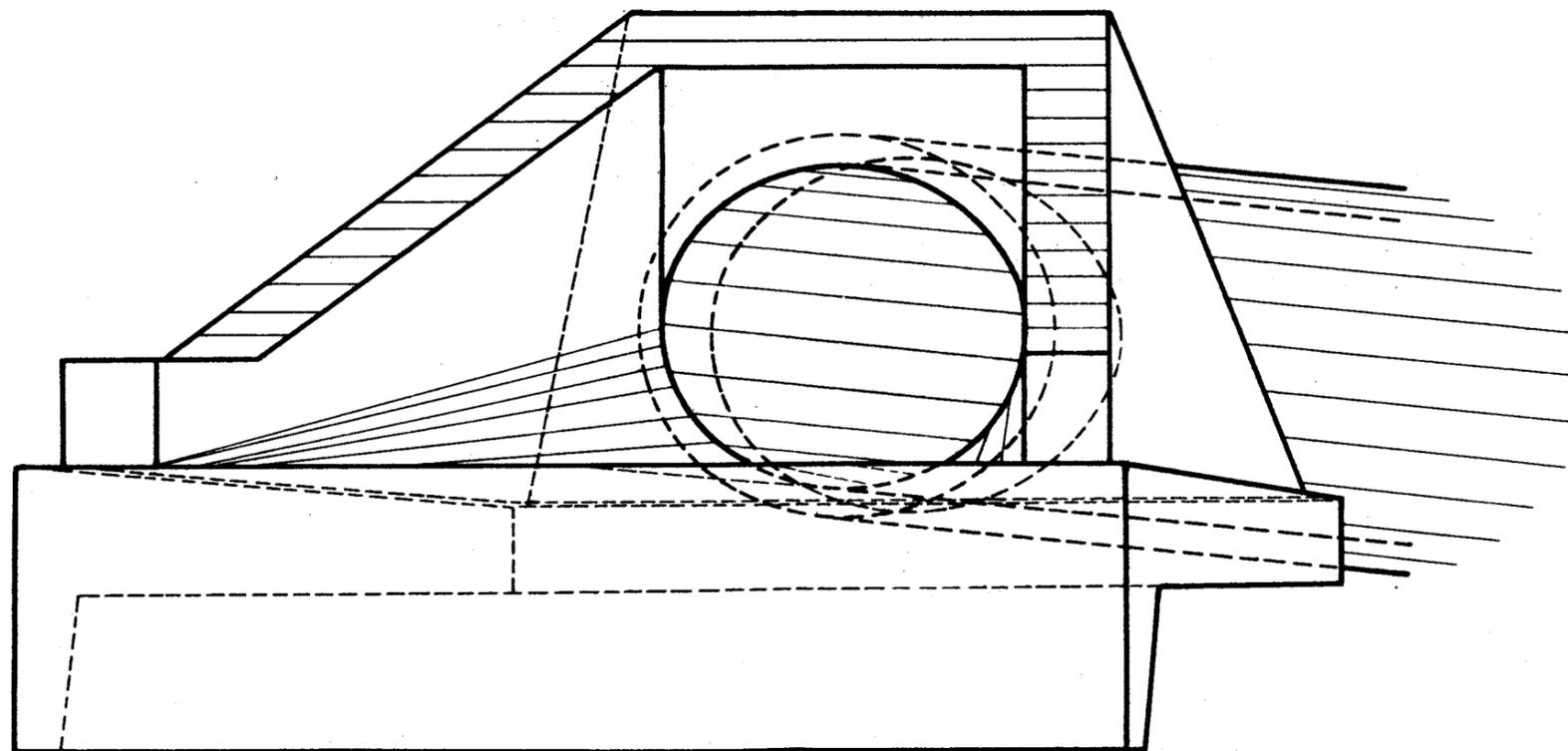


Echelle 1/50

TETE AMONT AVEC MURS EN AILE

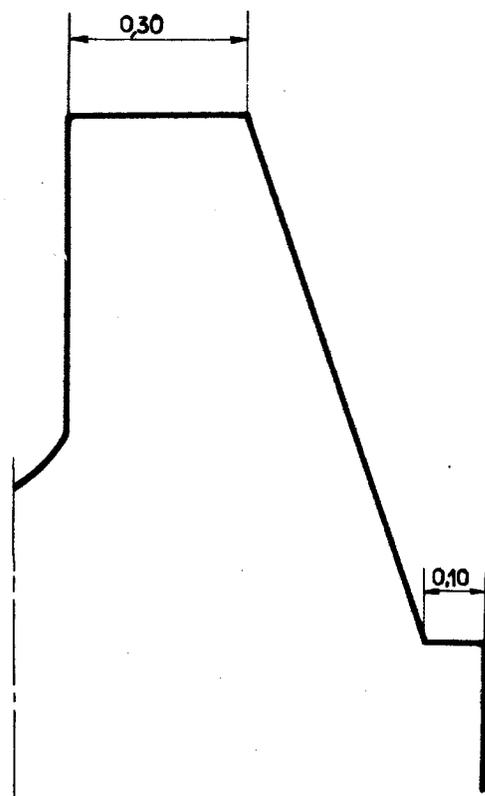
ELEVATION

(Les maçonneries découvertes)



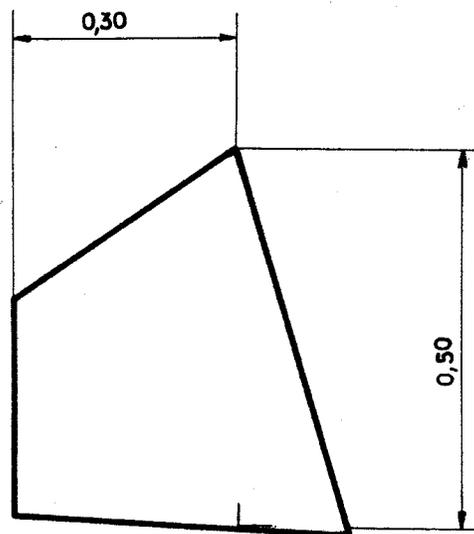
Echelle 1/50

MUR EN AILE



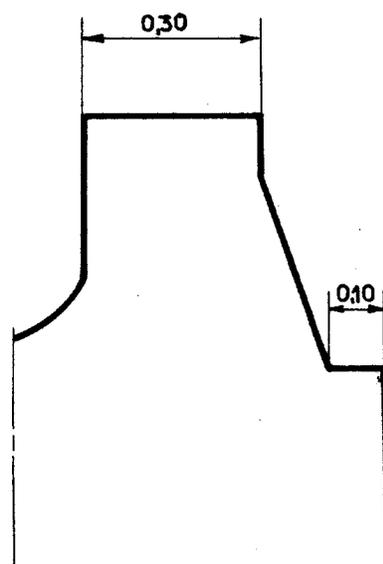
1/25

PLINTHE



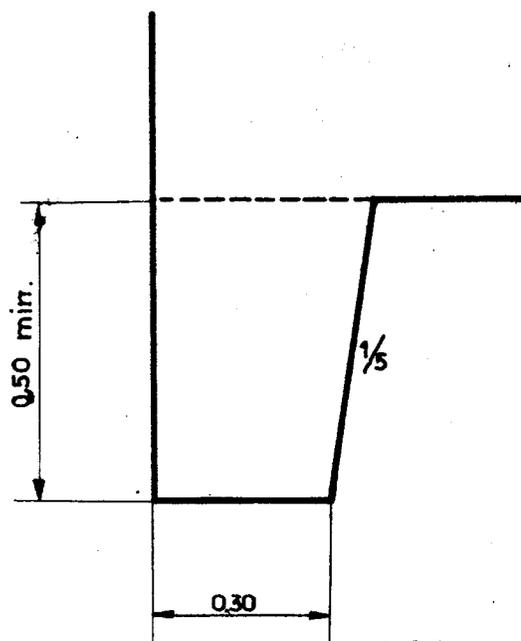
1/10

DÉ



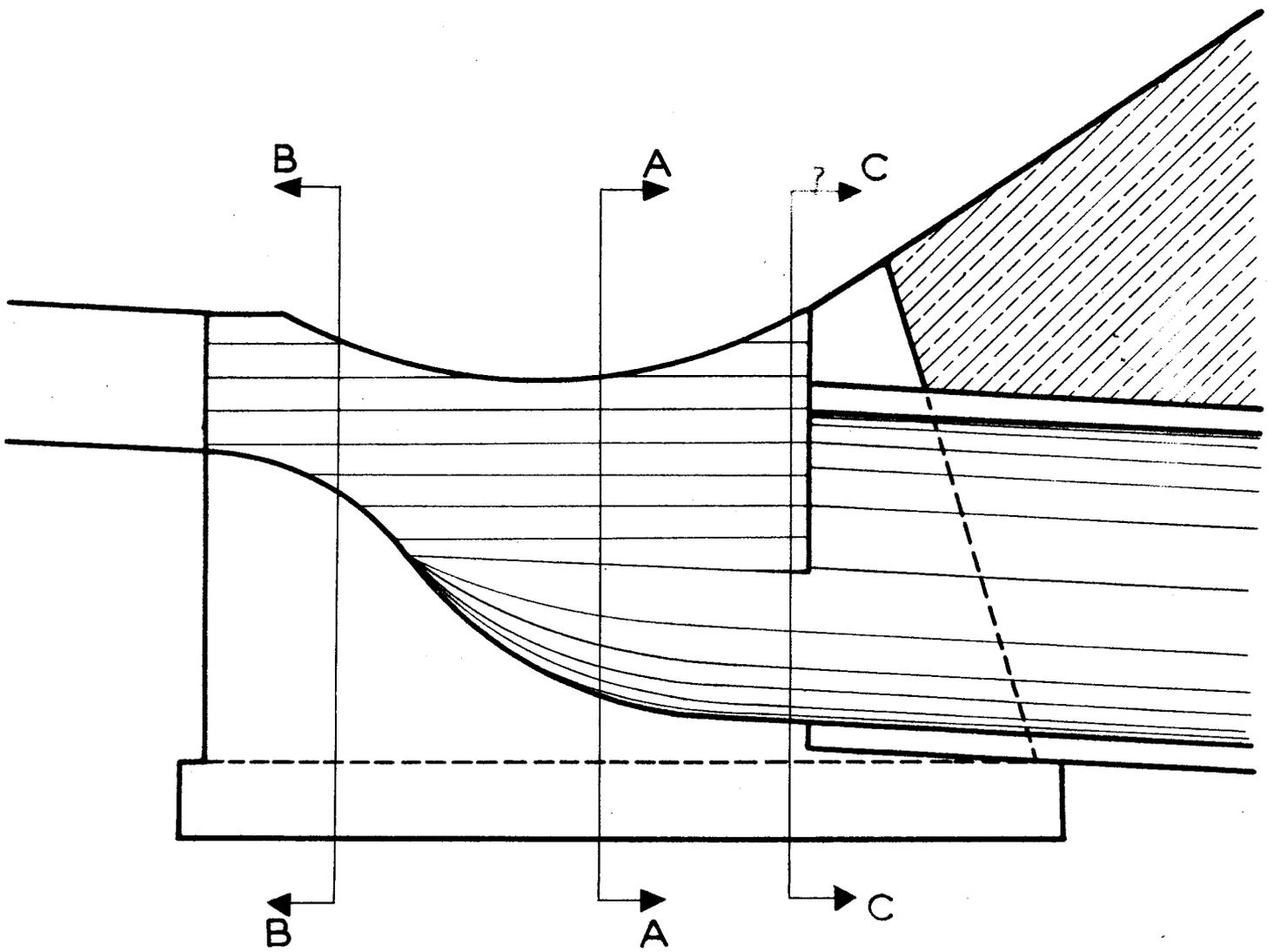
1/25

PARAFOUILLE AMONT



1/25

COUPE LONGITUDINALE

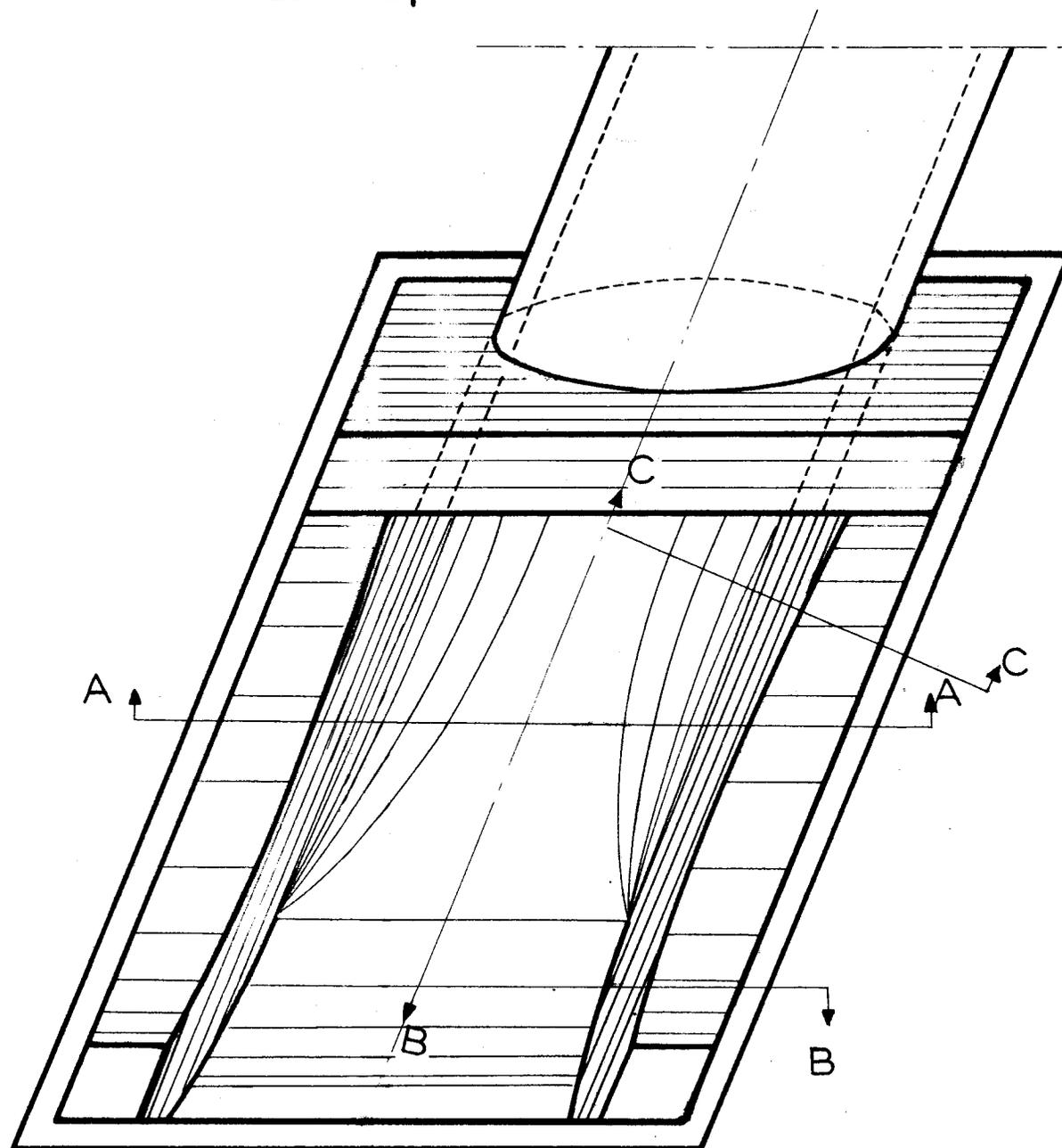


Echelle 1/50

TETE AMONT AVEC PUISARD

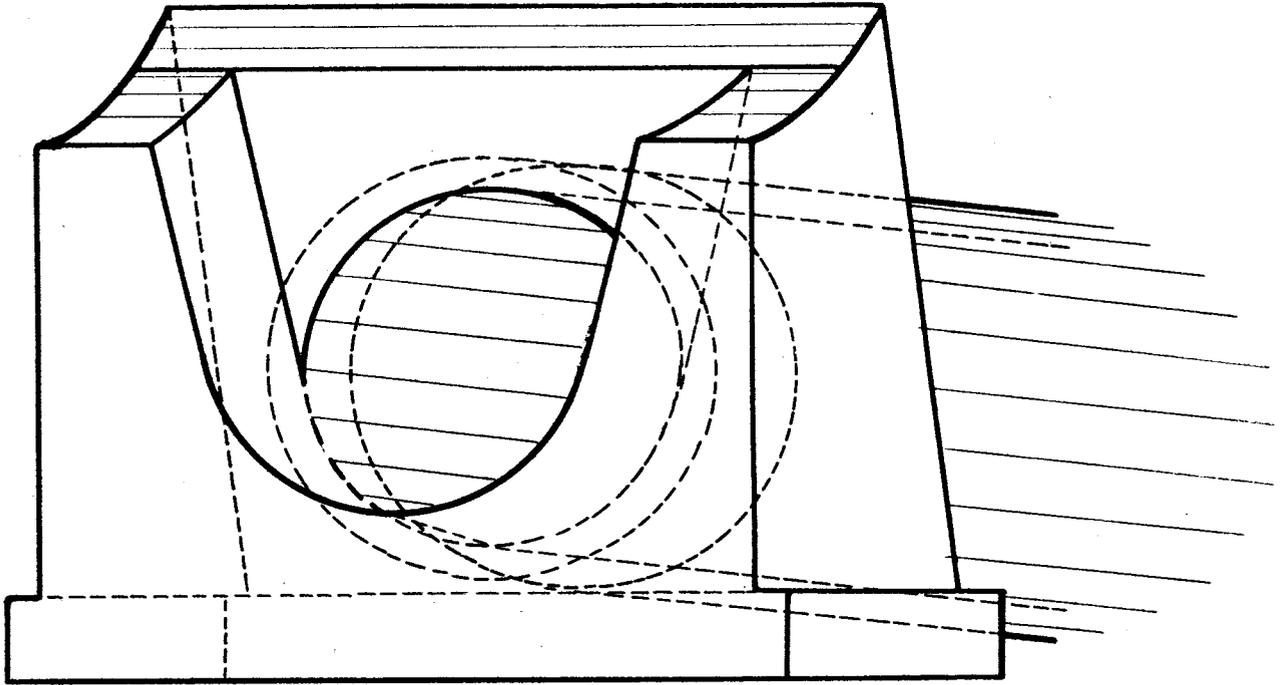
PLAN

(Les maçonneries découvertes)

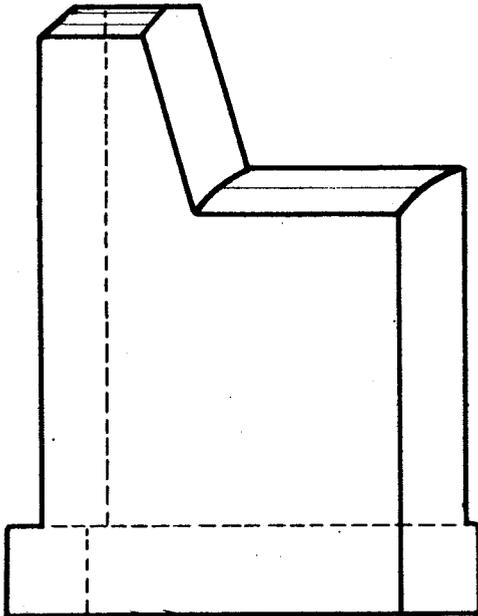


Echelle 1/50

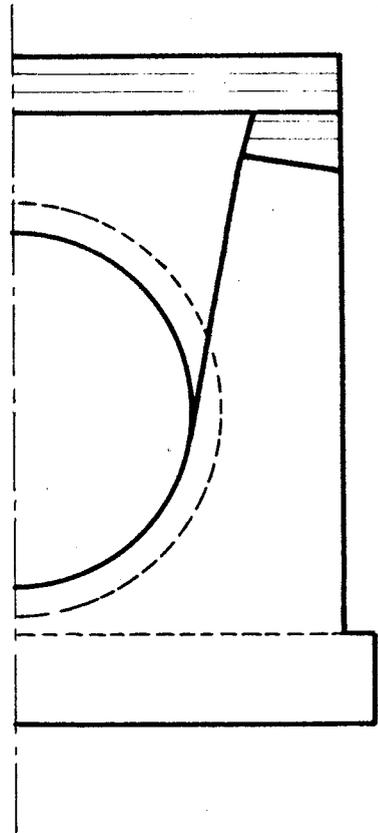
COUPE AA



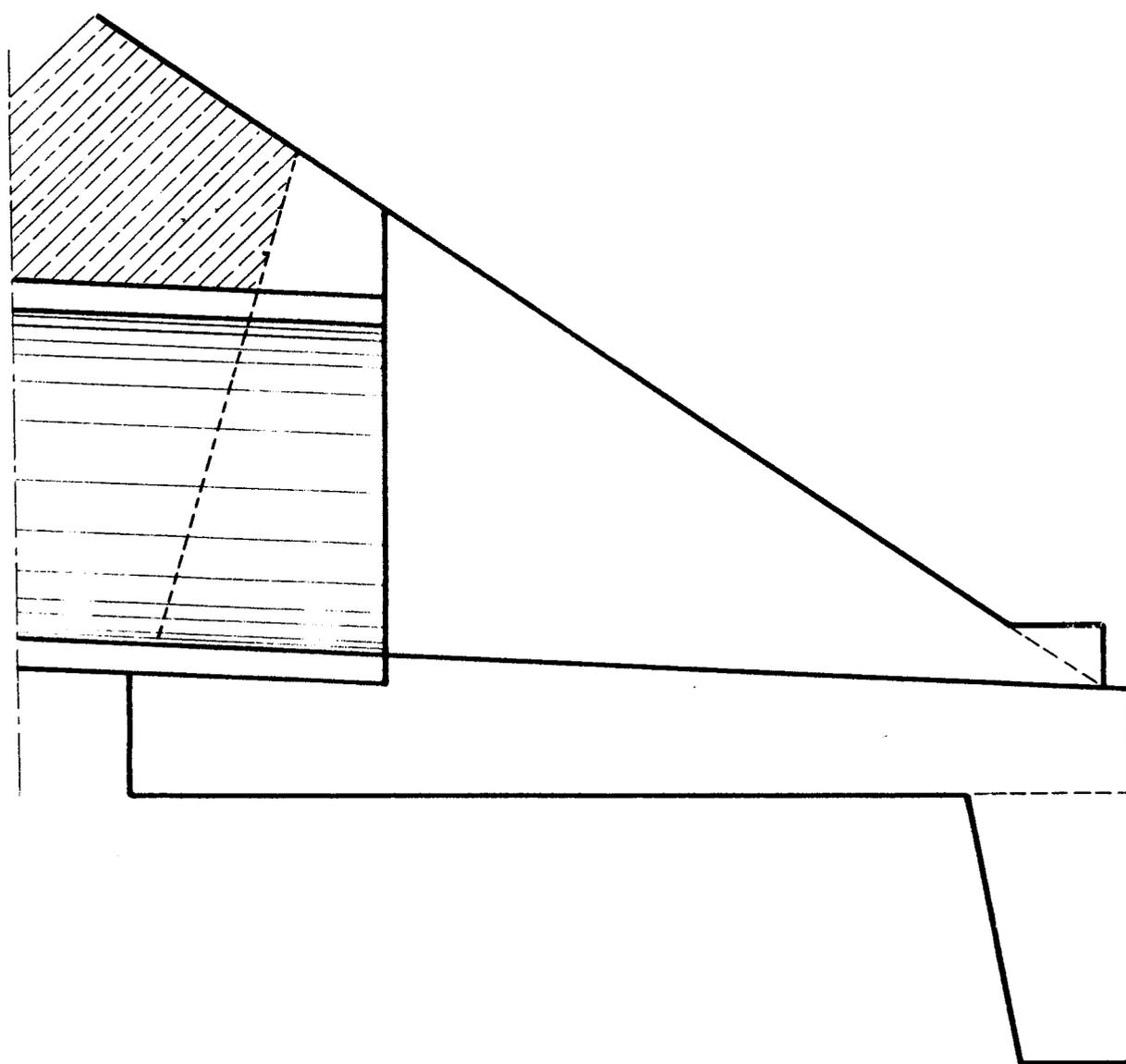
1/2 COUPE BB



1/2 COUPE CC



COUPE LONGITUDINALE

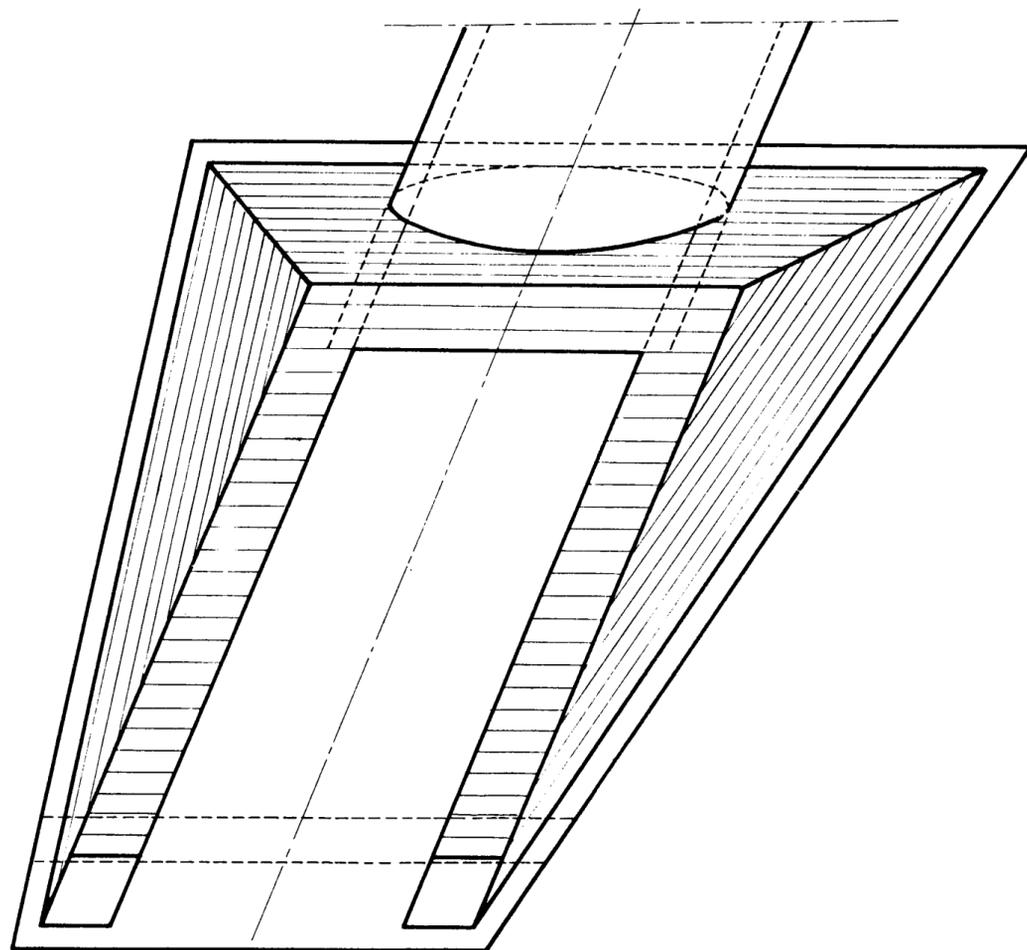


Echelle 1/50

TETE AVAL AVEC MURS EN AILE

PLAN

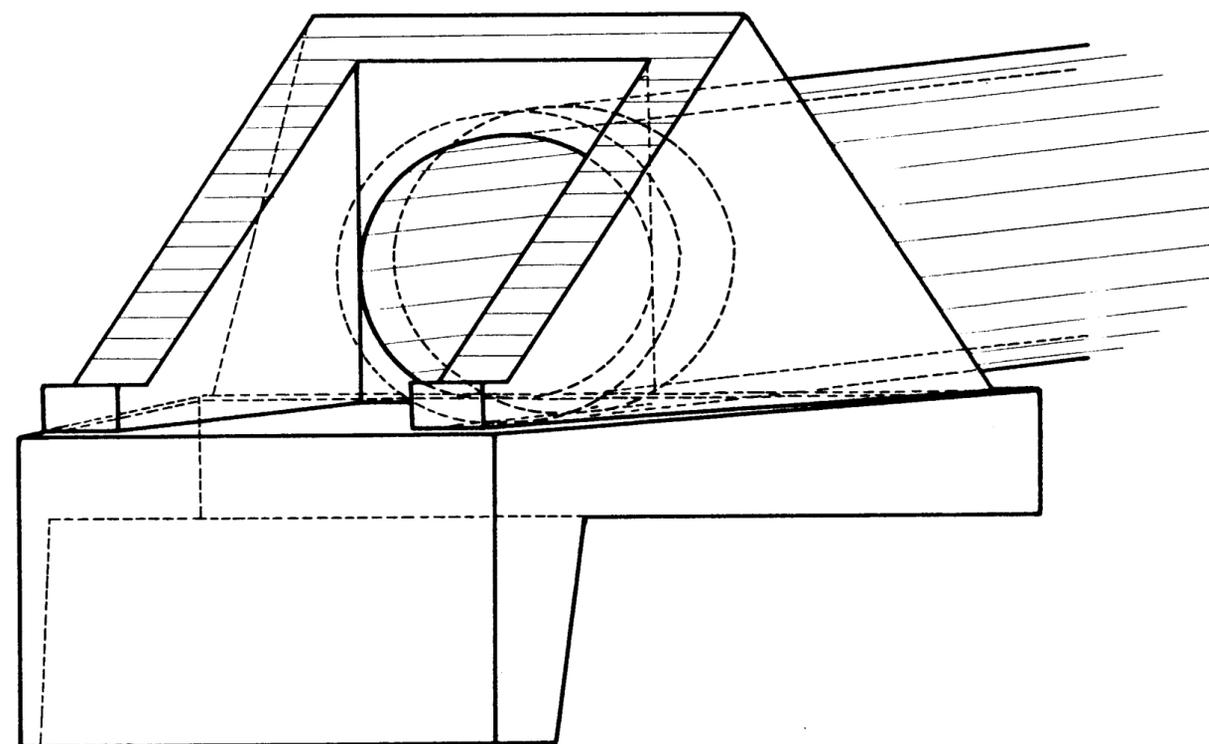
(Les maçonneries découvertes)



Echelle 1/50

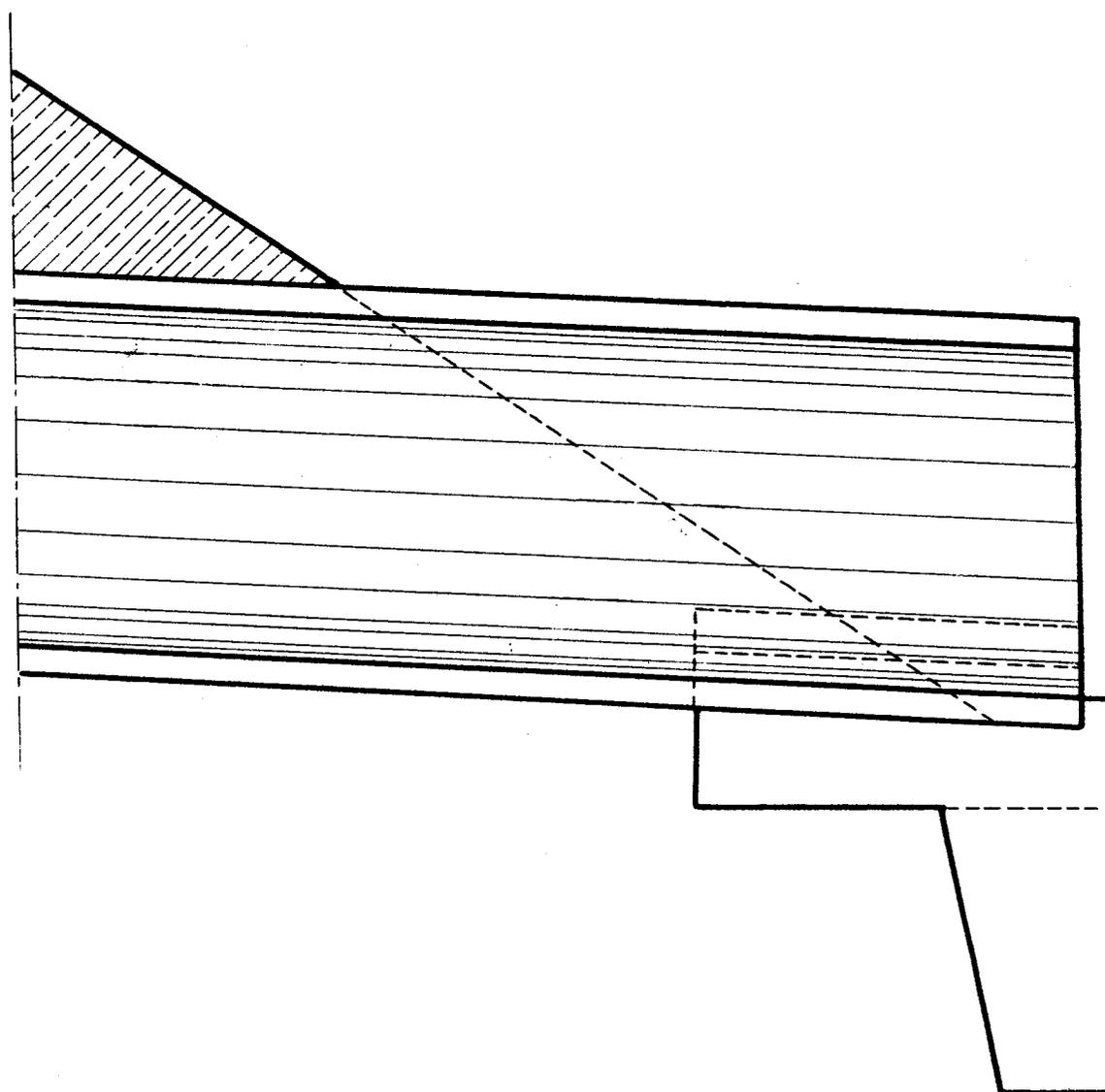
ELEVATION

(Les maçonneries découvertes)



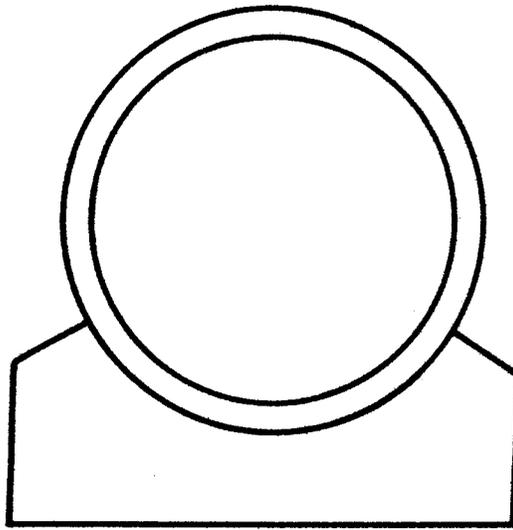
Echelle 1/50

COUPE LONGITUDINALE

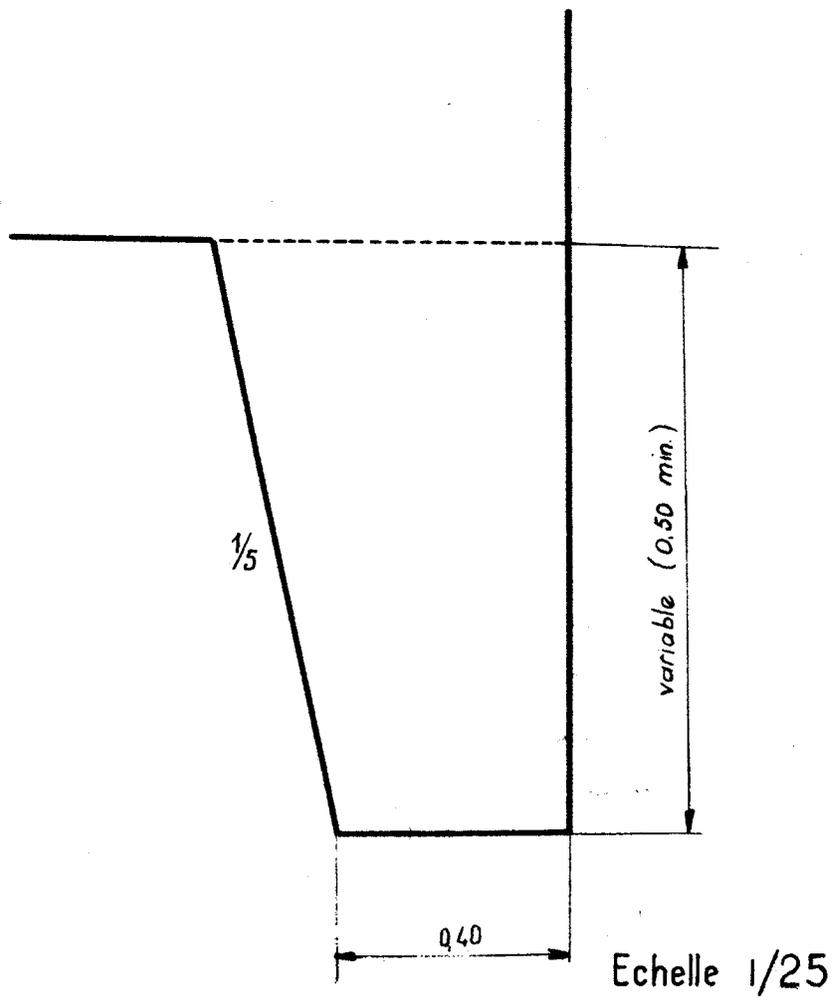


Echelle 1/50

COUPE AA

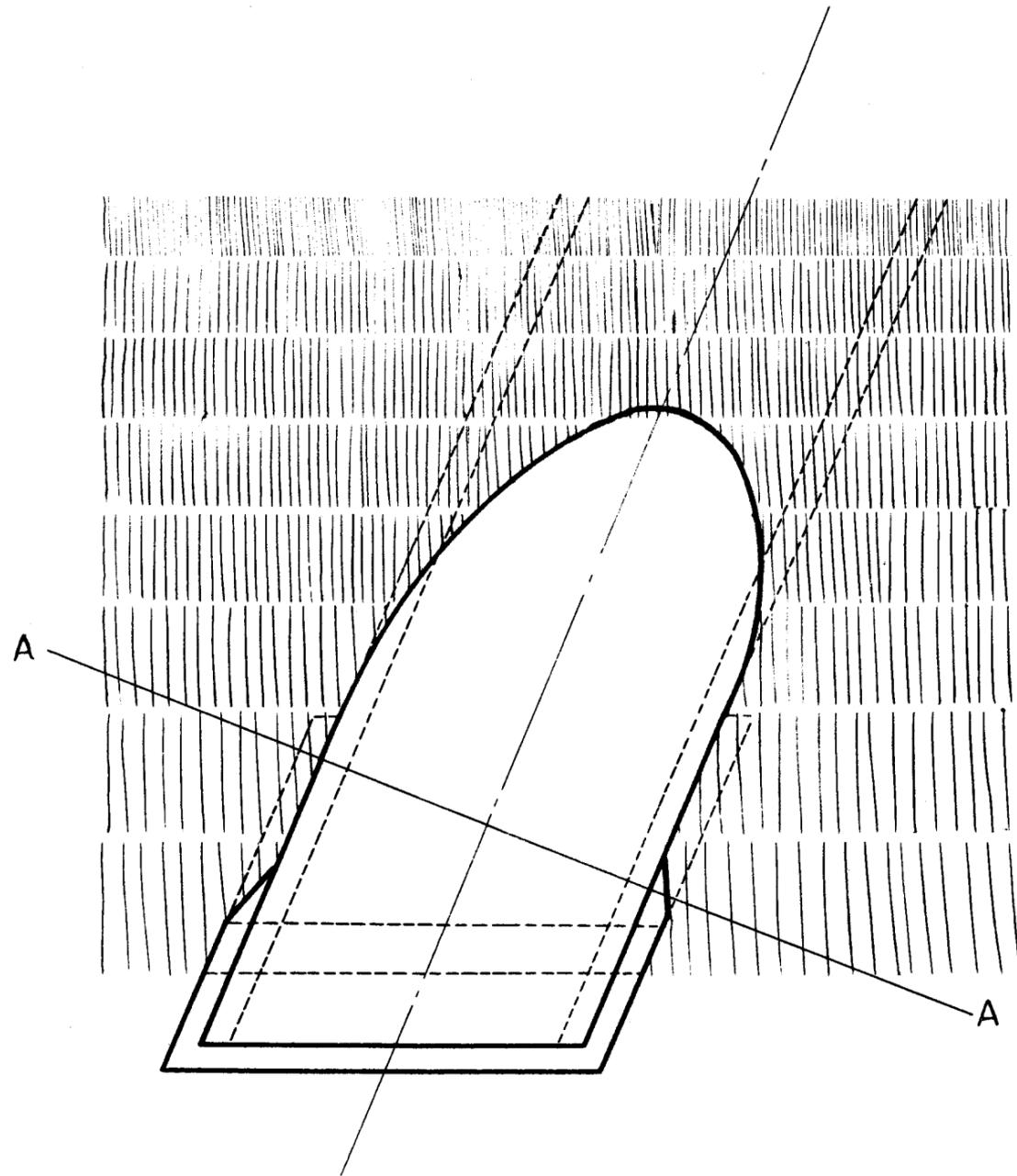


PARAFOUILLE AVAL



TETE AVAL SIMPLE

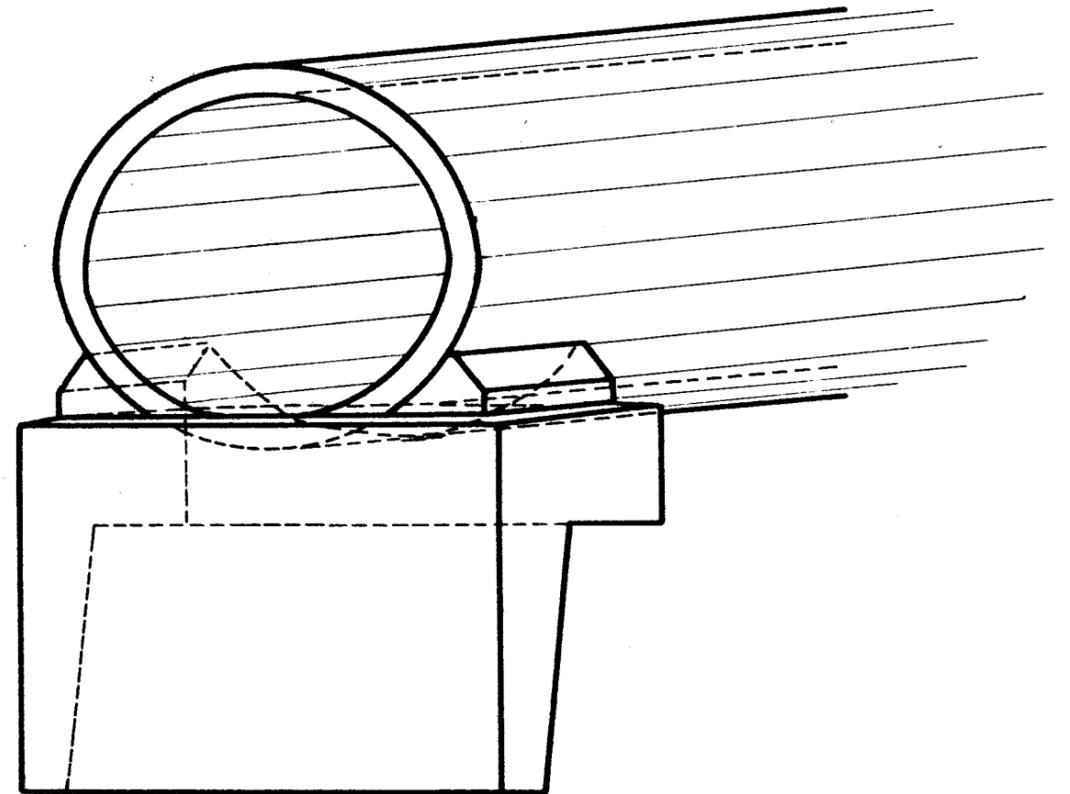
PLAN



Echelle 1/50

ELEVATION

(Les maçonneries découvertes)



Echelle 1/50

MINISTERE DE L' EQUIPEMENT ET DU LOGEMENT

SERVICE D' ETUDES TECHNIQUES DES ROUTES ET AUTOROUTES

AGENCE DU SUD-EST

50, Avenue du Maréchal de Lattre de Tassigny MACON 71 - Tel: 38.30.82

OUVRAGES TYPES POUR AUTOROUTES

OUVRAGES HYDRAULIQUES

O.H.A.P.ab 64

AQUEDUCS PREFABRIQUES
EN ACIER

3

B O R D E R E A U

==:==:==:==:==:==:==:==:==

3 - AQUEDUCS PREFABRIQUES EN ACIER :

3 1 - Note aux utilisateurs

3 2 - Notice technique

3 3 - Caractéristiques générales -Tableaux de dimensionnement

MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT ET DU LOGEMENT

SERVICE D'ÉTUDES TECHNIQUES DES ROUTES ET AUTOROUTES

AGENCE DU SUD-EST

50, Avenue du Maréchal de Lattre de Tassigny MACON 71 - Tel. 38.30.82

OUVRAGES TYPES POUR AUTOROUTES

OUVRAGES HYDRAULIQUES

O.H.A.P. ab 64

AQUEDUCS PREFABRIQUES EN ACIER

NOTE AUX UTILISATEURS

3-1

1. - Les avantages des buses métalliques : flexibilité longitudinale plus grande que les ouvrages traditionnels, rapidité de construction, facilité de transport, etc... justifient l'intérêt qui peut leur être porté, en vue de leur utilisation sous autoroute dans le cadre des ouvrages de drainage, de rétablissement des eaux dans les thalwegs et aussi pour le rétablissement de voies secondaires (moyennant dans ce cas un aménagement de leur radier).

Toutefois, l'utilisation de ce type d'ouvrage encore très récent en France pose des problèmes théoriques et pratiques, dont certains sont plus ou moins résolus et d'autres nécessitent des études plus poussées. Ces problèmes et les précautions d'emploi qu'ils justifient ne doivent pas, quoique se rattachant à de "petits ouvrages" être négligés; les ouvrages métalliques permettent, en effet, de réaliser des ouvertures importantes et d'autre part, dans le cadre des autoroutes, l'emprise des plates-formes est telle qu'un petit ouvrage sous remblai a toujours une certaine importance.

Le présent dossier a pour objet :

- d'attirer l'attention des Services Constructeurs sur les problèmes que pose l'emploi des buses métalliques
- de définir les cas où cet emploi peut être justifié
- de donner sur la base de nos connaissances actuelles, les recommandations les plus importantes tant pour la conception des projets que pour la bonne exécution des travaux.

2. - Les buses métalliques ne doivent pas être considérées isolément mais entourées de leur remblai. Ce sont de véritables ouvrages mixtes de remblai et de métal.

Les problèmes qu'elles posent se rattachent donc à 3 grandes catégories :

Problèmes posés par le métal

Problèmes posés par le remblai

Problèmes posés par le fonctionnement de l'ensemble métal-remblai.

Nous attirons seulement ci-dessous l'attention sur ceux de ces problèmes qui sont les plus importants.

2.1. - Le métal de base

L'expérience en matière de buses métalliques est surtout américaine les fabrications européennes n'ayant démarré qu'il y a une dizaine d'années. Le métal de base utilisé aux U.S.A. est choisi parmi les cinq compositions chimiques normalisées pour ce type d'ouvrages, et qui fixent les tolérances en C, Mn, P, Si, Cu, Mo.

Quatre de ces métaux sont du fer pratiquement pur dénommé fer Armco et le cinquième est un acier Martin au cuivre.

Le "fer Armco" présente une résistance à la corrosion supérieure à celle des aciers, mais d'après les informations qui nous ont été communiquées, son prix étant nettement supérieur à celui de l'acier, il ne serait plus utilisé depuis quelques années par les fabricants américains.

Le métal de base utilisé par le fournisseur français est de l'acier THOMAS correspondant à la norme A D X T pour les buses emboutissables, ou à la norme A 34 l T pour les buses multiplaques dont les caractéristiques et les compositions chimiques sont définies d'une manière assez imprécise dans le cadre des normes précédentes, qui définissent principalement les caractéristiques mécaniques. Ce métal différent du métal de base américain peut n'avoir pas le même comportement et une étude métallurgique ultérieure devra définir dans le cadre des aciers français ou européens, les nuances d'acier les plus convenables, ainsi que les essais chimiques, physiques et mécaniques à exiger. Le Choix du métal de base devra notamment tenir compte :

- des modifications que subit le métal par suite de l'emboutissage, du cintrage et de la galvanisation
- de la nécessité de résister dans certaines limites à la corrosion
- des conditions de travail des buses.

2.2. - Assemblages

Les assemblages constituent généralement les points faibles des constructions métalliques.

Les dispositions adoptées dans ce type d'ouvrage diffèrent de celles adoptées pour les constructions métalliques. Les trous de boulon sont poinçonnés sans alésage et pour permettre la mise en oeuvre des éléments, un jeu relativement important existe entre le boulon et le trou de boulon.

Les constructeurs américains ont déterminé la résistance de leurs joints par des essais de laboratoire (compression) et ces essais sont pris pour base d'estimation par les fournisseurs

Cette résistance devra sans doute être précisée dans le contexte français ou européen.

2.3. - Durée de vie

Elle est très variable suivant les conditions d'utilisation, et peu d'éléments sont actuellement disponibles pour son estimation. D'après les constatations américaines, elle serait dans des conditions normales de l'ordre de 40 ans. Elle augmente avec l'épaisseur de la buse.

Le caractère corrosif et abrasif des sols et des eaux peut conduire dans certains cas à éliminer la solution buses métalliques parce que la durée de vie présumée serait trop brève ou parce qu'il serait indispensable de prévoir une protection supplémentaire d'un coût élevé. Mais même en dehors de ces cas le danger de corrosion restera un point à ne pas perdre de vue.

On pourrait en prévenir les conséquences en surdimensionnant l'ouvrage de manière à permettre un chemisage ultérieur.

D'autre part, ces ouvrages peuvent être remplacés très rapidement s'ils sont installés sous faible remblai ce qui peut être de nature à réduire les inconvénients qui pourraient résulter d'une durée de vie limitée.

La durée de vie devra être prise en compte dans la comparaison économique des solutions en présence et on n'oubliera pas à cette occasion de faire intervenir la notion d'actualisation.

2.4. - Remblai entourant les ouvrages

Ce problème est important, le remblai latéral étant un des éléments de base pour la tenue des ouvrages et un élément non négligeable de leur prix.

Des critères plus précis que ceux actuellement utilisés devront être définis à l'usage.

Nous attirons l'attention sur les points suivants :

- on préférera les remblais ayant un coefficient de frottement interne élevé (sables, graves) et ceci d'autant plus que la hauteur de remblai au-dessus de l'ouvrage sera grande
- on évitera en général les sols contenant une forte proportion d'argile. Ils ne pourront être employés que moyennant des précautions spéciales et après une étude approfondie de mécanique des sols
- la mise en oeuvre du remblai doit être particulièrement soignée du point de vue du compactage (teneur en eau, compacité, régularité du compactage, etc ...).
Toute négligence de compactage même sur une partie relativement limitée des volumes de remblai risque de se traduire par des déformations locales des sections des buses métalliques pouvant aller jusqu'à provoquer des fissurations ou même des ruptures de joints.
Cette opération devra donc être particulièrement surveillée.

2.5. - Dimensionnement

Il n'existe pas de théorie entièrement satisfaisante permettant de définir rationnellement le dimensionnement des buses et les caractéristiques de leurs remblais latéraux.

Les théories proposées généralement

ou bien considèrent l'anneau comme soumis à une compression uniforme sans faire intervenir ses déformations et les caractéristiques du remblai qui assurent l'appui latéral.

ou bien négligent la possibilité de déformation plastique; elles considèrent que la déformation de l'anneau est élastique tant que la "déflexion" (rapport de l'aplatissement au diamètre vertical) ne dépasse pas 5 %.

ou bien font intervenir des facteurs empiriques difficiles à évaluer.

Elles ne sont pas susceptibles de rendre compte du comportement de l'ensemble conduite-sol et particulièrement de la possibilité de flambement des ouvrages.

La justification la plus valable des tableaux de dimensionnements proposés par les fournisseurs est le fait qu'ils résultent de l'observation du comportement d'un certain nombre d'ouvrages américains. Le dimensionnement proposé dans ces tableaux correspond à de bonnes conditions d'installations en terrain "moyen".

Les considérations qui précèdent montrent que l'on doit porter une attention particulière au choix des caractéristiques des ouvrages situés sous de hauts remblais quel que soit leur diamètre.

3. - En vue de trouver des solutions aux problèmes évoqués ci-dessus des contacts ont été pris par le Service Spécial des Autoroutes avec les fournisseurs et des études vont être entreprises. De leur côté les Services locaux utilisateurs ont le devoir de collaborer à l'étude de ces problèmes et tout essai effectué à leur initiative devra être signalé au Service Spécial des Autoroutes et conduit de façon à ce qu'on puisse en tirer des enseignements précis.

4. - En définitive les buses métalliques sont des ouvrages dont la conception et la réalisation exigent autant de réflexion et de soin que les ouvrages traditionnels.

Leur emploi devra être économiquement et techniquement justifié en tenant compte notamment de leur durée de vie plus courte que celle des ouvrages traditionnels.

Cet emploi peut être particulièrement indiqué :

- dans les cas où il est souhaitable d'avoir un ouvrage qui soit susceptible de supporter sans dommage des déformations (ces déformations doivent en tout état de cause être limitées et avoir été prévues);
- si l'ouvrage doit être construit très rapidement;
- s'il s'agit d'un ouvrage provisoire.

Pour l'exécution des travaux on préférera la solution qui consiste à faire fournir les buses par l'entrepreneur chargé de les mettre en oeuvre de façon à n'avoir qu'un seul interlocuteur et on exigera qu'un représentant du fabricant assiste au montage.

MINISTERE DE L' EQUIPEMENT ET DU LOGEMENT

SERVICE D' ETUDES TECHNIQUES DES ROUTES ET AUTOROUTES

AGENCE DU SUD-EST

50, Avenue du Maréchal de Lattre de Tassigny MACON 71 - Tel: 38.30.82

OUVRAGES TYPES POUR AUTOROUTES

OUVRAGES HYDRAULIQUES

O.H.A.P.ab 64

AQUEDUCS PREFABRIQUES EN ACIER

NOTICE TECHNIQUE

3.2

S O M M A I R E

- 1.- DESCRIPTION
- 2.- IMPLANTATION et CALAGE
 - 2-1 - Alignement et pente
 - 2 - Têtes
 - 2-2-1 - Parafouilles
 - 2 - Extrémités
 - 3 - Cas particulier de la plate-forme III (élargissable par l'extérieur)
 - 3 - Longueur de l'ouvrage
 - 4 - Ouvrages multiples
- 3.- DISPOSITIONS DIVERSES
 - 3-1 - Corrosion
 - 2 - Abrasion
 - 3 - Etanchéité
- 4.- DIMENSIONNEMENT
- 5.- CONDITIONS de MISE en OEUVRE
 - 5-1 - Fondations
 - 5-1-1 - Fondations sur bon sol
 - 2 - Fondations sur sol inconsistant
 - 3 - Fondations sur rocher
 - 2 - Assise
 - 3 - Tassements
 - 4 - Montage
 - 5 - Remblayage
 - 5-5-1 - Nature du remblai
 - 2 - Mise en place du remblai
 - 3 - Dimensions du remblai
 - 4 - Remblai minimal pour le franchissement des ouvrages par les engins de chantier
- 6.- DUREE de VIE

1. - DESCRIPTION

Les éléments de construction des buses sont des tôles galvanisées, ondulées et cintrées en forme d'éléments de cylindre dont les génératrices sont perpendiculaires aux ondulations.

Les buses et buses arches métalliques existent en deux types :

1^{er} type - Buses emboitables :

Dans ce type on fabrique des buses circulaires et des buses-arches de petites dimensions.

Les buses circulaires sont constituées d'éléments supérieurs et inférieurs semi-cylindriques, les buses-arches d'éléments supérieurs semi-cylindriques et d'éléments inférieurs faiblement incurvés.

Ces éléments sont généralement assemblés au moyen d'encoches et d'agrafes.

2^{ème} type - Buses multiplaques :

Dans ce type on fabrique des buses elliptiques et des buses-arches surbaissées de dimensions plus importantes.

Les plaques sont généralement assemblées au moyen de boulons.

Par ailleurs, la fabrication en France de buses circulaires rivées a démarré en 1963. Ces buses de caractéristiques analogues à celles des buses emboitables sont assemblées par rivetage en usine.

L'annexe reproduit les principales caractéristiques des ouvrages commercialisés par l'un des plus importants producteurs français.

2. - IMPLANTATION et CALAGE

2-1 - Alignement et pente

Les changements brusques de direction et de pente, techniquement réalisables à l'aide de pièces spéciales (coudes) fabriquées en usine, sont cependant à proscrire. Ils nuisent au bon écoulement des eaux, raccourcissent la durée de vie et compliquent l'entretien.

La pente devra être sensiblement uniforme le long de l'ouvrage.

Le risque d'entraînement des matériaux de fondation et de remblai conduit à limiter la valeur de la pente d'une valeur en % comprise entre 0,5 à 1,5 fois l'inverse du diamètre exprimé en mètres; 0,5 correspondant à des terrains sableux, et 1,5 à des terrains rocailleux.

Exemple - Buse de 1,50 m de diamètre - La pente doit être comprise entre $\frac{0,5}{1,5}$ soit 0,33 % et $\frac{1,5}{1,5}$ soit 1 %.

2-2 - Têtes

2-2-1 - Parafouilles

Toutes les fois que les conditions locales font craindre des affouillements le long de l'ouvrage et en particulier aux extrémités, on prendra les dispositions suivantes :

On placera au contact de l'ouvrage un matériau de granulométrie aussi grosse que possible dans les limites admissibles (voir § 5-5 : remblayage).

On installera des parafouilles aux extrémités de l'ouvrage; ces parafouilles peuvent être métalliques (tôles ou palplanches selon le cas) ou en béton.

2-2-2 - Extrémités

Les extrémités les plus courantes et les mieux adaptées aux ouvrages métalliques sont :

Pour tous les ouvrages : l'extrémité ordinaire ou droite, c'est une solution simple, parfois critiquable du point de vue esthétique.

Pour les ouvrages multi-plaques seulement : l'extrémité avec découpe en sifflet ou biseau-sifflet.

Le découpage des plaques est fait en usine à la demande suivant le biais. Il est en général nécessaire de garnir le talus d'un perré afin d'assurer la protection des talus contre l'érosion ou les infiltrations. Les perrés peuvent être en pierres sèches, en maçonnerie ou en béton.

2-2-3 - Cas particulier de la plate-forme III (élargissable par l'extérieur)

Dans le cas d'une "extrémité ordinaire", l'ouvrage pourra n'être réalisé que pour la plate-forme provisoire, son allongement étant relativement aisé.

Dans le cas d'une "extrémité avec découpe en sifflet", l'ouvrage sera réalisé pour la plate-forme définitive et l'on assurera le raccordement des talus aux têtes en agissant sur leurs pentes.

2-3 - Longueur de l'ouvrage

Les buses métalliques ne se terminant pas par des ouvrages de tête sur lesquels viennent s'appuyer les terres, il est souhaitable pour les hauts remblais, de majorer la longueur théorique de l'ouvrage en fonction de la hauteur de remblai.

A défaut de renseignements plus précis, la règle ci-après, d'origine américaine pourra être utilisée.

Remblai jusqu'à 4 mètres = pas de majoration.

Remblai supérieur à 4 mètres = ajouter à la longueur théorique 0,30 mètre à chaque extrémité par tranche de 3,50 mètres de remblai au-delà de 4 mètres.

La longueur de l'ouvrage devra par ailleurs être telle que les extrémités dépassent le pied du remblai d'une longueur suffisante pour éviter les affouillements.

Dans tous les cas, on utilisera la combinaison commerciale qui égale ou excède la longueur définie en fonction des considérations précédentes.

2-4 - Ouvrages multiples

Dans le cas notamment où l'on aurait à prévoir l'évacuation d'eaux en nappe étalée, il est possible sans employer de gros diamètres, d'exécuter une batterie de plusieurs tubes placés côté à côté. Il faut prévoir un certain écartement entre les ouvrages. Cet écartement a un double but : permettre de travailler commodément et de compacter convenablement le remblai entre les ouvrages de telle sorte qu'il puisse jouer son rôle de soutien latéral.

D'une façon générale, l'espacement entre les tuyaux d'une installation multiple sera pris égal au demi-diamètre (ou à la demi-portée) sans dépasser 1,20 mètre et sans être inférieur à 0,30 mètre (la mesure étant faite entre les surfaces extérieures).

3. - DISPOSITIONS DIVERSES

3-1 - Corrosion

La corrosion est due à l'action de certains éléments actifs de l'eau, du sol ou de l'air.

Lorsque les conditions sont favorables, c'est-à-dire selon les constructeurs lorsque le pH de l'eau transitée ne sort pas de la fourchette 6-8, la galvanisation assure une protection suffisante.

Lorsque les conditions sont "moyennes", c'est-à-dire, toujours selon les constructeurs, lorsque le pH de l'eau transitée ne sort pas des fourchettes 4-6 et 8-10, un revêtement est nécessaire. De telles conditions peuvent pratiquement être réalisées dans les cas suivants :

- 1 Ecoulement continu, humidité permanente, eau stagnante
- 2 Dépôts ou végétation dense susceptible de produire des acides organiques
- 3 sol basique, bien drainé et normalement sec
- 4 Ouvrage transitant des eaux de ferme, des eaux salées ou industrielles
- 5 Sol fortement minéralisé, tourbeux ou basique mal drainé

6 Air salin ou imprégné de fumées industrielles

Suivant le degré d'agressivité, il sera prévu :

Aggressivité moyenne - en général cas 1 2 et 3 : une peinture asphaltique

Aggressivité forte - en général cas 4 5 et 6 : un enduit bitumineux imprégné de fibres d'amiante

Dans le cas où l'agressivité est très forte il est nécessaire de prévoir une protection plus efficace (buse amiantée ou asphaltée) ou si celle-ci n'est pas réalisable de renoncer à ce type d'ouvrage.

3-2 - Abrasion

L'abrasion est l'usure mécanique du métal, due au frottement du débit solide

Elle est fonction de la quantité et du caractère de ce débit, ainsi que de la fréquence, de la durée et de la vitesse d'écoulement des eaux

- elle peut nécessiter :

soit le recours à un revêtement de protection

soit l'augmentation de l'épaisseur des tôles formant radier

soit l'emploi conjugué des deux.

Le revêtement de béton bitumineux ou asphaltique est le plus satisfaisant, il doit au moins recouvrir le tiers inférieur de la buse et constituer une couverture convenable au-dessus des crêtes des ondulations.

L'utilisation d'un revêtement en béton de ciment légèrement armé prive une partie de l'ouvrage de sa flexibilité et de ce fait est à déconseiller. Cette solution ne peut être envisagée que pour des abrasions très intenses; le revêtement est alors à mettre en oeuvre après consolidation du remblai.

3-3 - Etanchéité

Les buses métalliques ne sont pas étanches et de ce fait ne doivent jamais être utilisées en charge.

Cependant une certaine étanchéité des ouvrages multiplaques pourra, si nécessaire, être réalisée en insérant dans les joints, entre les plaques, des bandes plastiques qui, au serrage, s'écrasent et obstruent les orifices. A titre de précaution supplémentaire, les bords des plaques, pourront, avant montage, être enduits d'un produit bitumineux (il est toutefois nécessaire, dans ce cas, de vérifier le serrage des boulons quelque temps après le montage de l'ouvrage).

Les buses rivées sont supérieures aux buses emboîtables pour lesquelles aucune étanchéité, même approximative ne peut être obtenue.

L'étanchement partiel dont il est question ci-dessus est notamment nécessaire lorsque l'entraînement des matériaux entourant la buse est à craindre.

4. - DIMENSIONNEMENT

Il n'existe pas de théorie satisfaisante permettant un dimensionnement rationnel des buses.

Les tableaux de dimensionnement proposés par l'un des plus importants fournisseurs d'ouvrages métalliques et qui figurent en annexe à la présente notice ont un caractère empirique et sont basés sur l'observation de certains ouvrages américains.

Ils donnent les épaisseurs minimales utilisables pour des ouvrages mis en place dans les conditions définies dans la notice technique, en fonction :

- du diamètre des buses circulaires, du diamètre équivalent des buses elliptiques ou de la portée et de la flèche des buses-arches
- de la hauteur du remblai au-dessus de l'ouvrage

Pour les ouvrages multiplaques d'assez grande ouverture sous hauts remblais, il est possible de réaliser une certaine économie en diminuant l'épaisseur des plaques situées sous les talus de remblai, celles-ci étant moins sollicitées.

5. - CONDITIONS de MISE en OEUVRE

5-1 - Fondations

L'ouvrage devra reposer sur un lit uniforme, homogène stable et résistant mais non rigide et dépourvu de points durs tant longitudinalement (risque de tassements différentiels) que transversalement.

Il ne faut jamais de berceau en béton sous les buses métalliques ni de matériau contenant des éléments supérieurs à quelques centimètres.

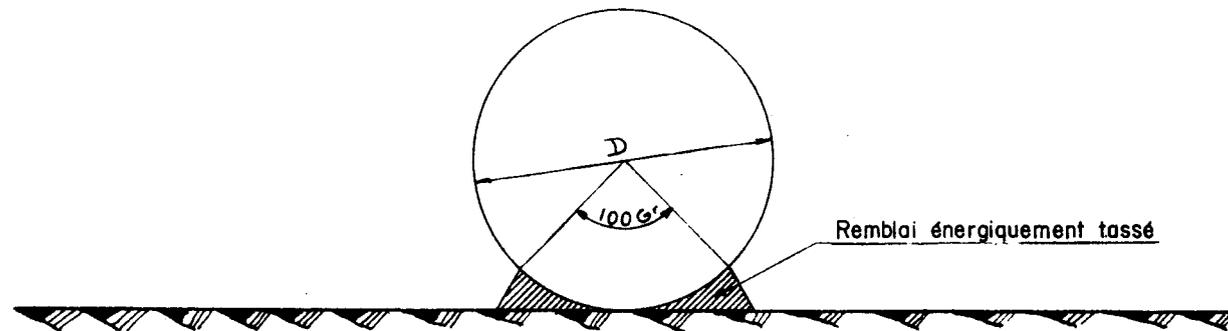
Machefer, scories, cendres volcaniques et autres matériaux corrosifs seront proscrits.

Il ne faut jamais poser de buses métalliques directement sur un sol gelé, sur du rocher, sur un sol inégal ou inconsistant.

5-1-1 - Fondations sur bon sol

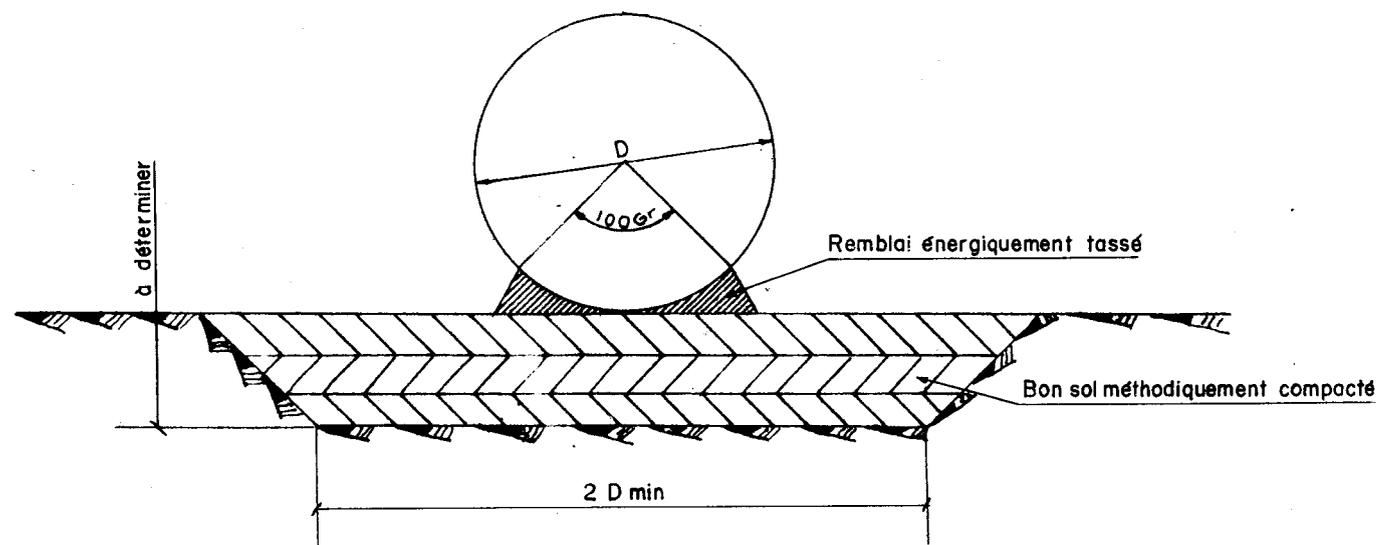
Sur un terrain homogène, susceptible de supporter sans tassement appréciable le poids du remblai et des surcharges, l'ouvrage sera placé directement sur le terrain naturel sans intermédiaire.

Si le terrain présente des zones inconsistantes localisées (poches d'argile par exemple), les terres correspondantes seront extraites et remplacées par du bon sol pris à proximité et compacté.



5-1-2 - Fondations sur sol inconsistant

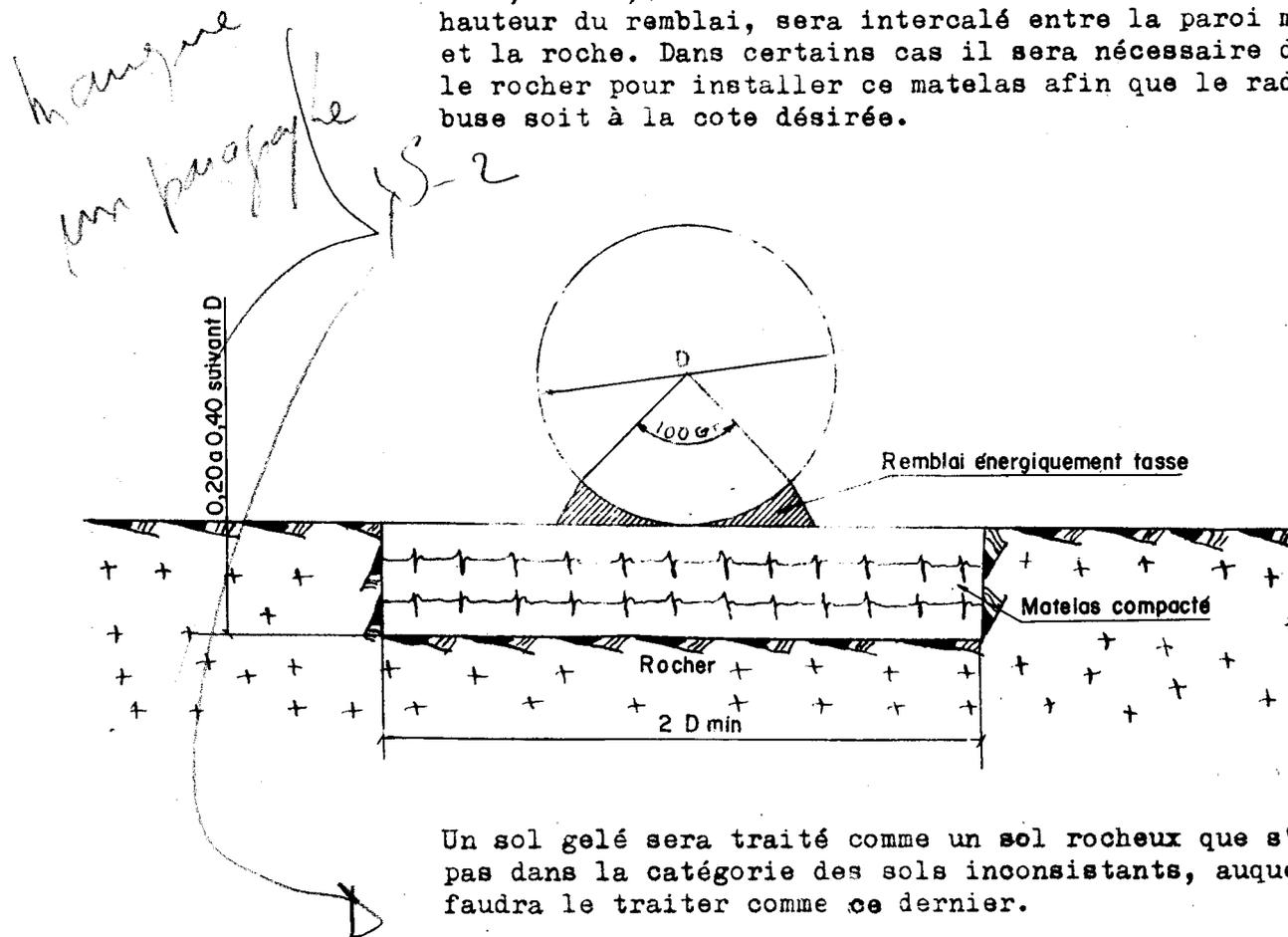
Sur un terrain à faible pouvoir porteur, l'ouvrage sera posé sur une assise en matériaux granuleux de bonne qualité "méthodiquement" compactés, mis en oeuvre dans un encaissement de largeur au moins égale à deux fois le diamètre de la buse et de profondeur suffisante pour obtenir la portance désirée, soit que le bon sol, situé à faible profondeur ait été atteint, soit que le volume et les caractéristiques du matériau d'apport permettent une consolidation satisfaisante du sol en place.



5-1-3 - Fondations sur rocher

Sur un terrain rocheux, l'emploi des buses métalliques ne peut qu'exceptionnellement présenter d'intérêt.

Cependant, en cas d'utilisation, un matelas de sol meuble (ou de gros sable) soigneusement compacté, d'une épaisseur de 0,20 à 0,40 mètre suivant les dimensions de la buse et la hauteur du remblai, sera intercalé entre la paroi métallique et la roche. Dans certains cas il sera nécessaire de creuser le rocher pour installer ce matelas afin que le radier de la buse soit à la cote désirée.



5-3 - Tassements

Les déformations longitudinales consécutives aux tassements du sol de fondation sont susceptibles d'entraîner des efforts longitudinaux non négligeables et créent par ailleurs des ruptures de pente, voire des dépressions localisées qui favorisent, les premières l'abrasion, les secondes la corrosion.

Les buses métalliques, malgré leur grande flexibilité sont donc sensibles aux tassements et ceux-ci devront, en fonction de la nature du sous-sol, du sol et de la hauteur de remblai, être estimés avec autant de précision que possible.

L'affaissement sera généralement maximal au centre de l'ouvrage et minimal aux extrémités. Il conviendra donc :

- 1/ de cambrer l'ouvrage dans le sens longitudinal en lui donnant une contre-flèche dont à défaut d'une expérience locale suffisante, une étude géotechnique convenable permettra de déterminer la valeur, valeur limitée à celle que permet le montage.
- 2/ de relever, si le sol est mauvais, l'ensemble de la buse.

Lorsque le sol laissera prévoir d'importants tassements, particulièrement sous hauts remblais, l'ouvrage pourra, après stabilisation partielle du sol de fondation par mise en oeuvre préalable du remblai, être mis en place "en tranchée" dans celui-ci.

5-4 - Montage

Le montage devra être strictement réalisé suivant les prescriptions du fournisseur, notamment en ce qui concerne le serrage des boulons et écrous.

5-5 - Remblayage

Les buses métalliques sont des ouvrages flexibles qui tirent leur résistance du soutien latéral des terres contigües qu'ils sollicitent après déformations sous l'action des charges et surcharges. Ce soutien qui est fondamental devra être assuré par le remblai latéral.

5-5-1 - nature du remblai

Sa qualité première sera d'offrir pour le minimum de déformations de l'ouvrage, le maximum de résistance "latérale".

La résistance "latérale" d'un remblai dépend, comme sa résistance au cisaillement, de son coefficient de frottement interne et de sa cohésion.

Lorsqu'un sol possède un coefficient de frottement interne élevé, sa résistance croît avec le poids des matériaux qui le recouvre, c'est pourquoi - et ceci d'autant que la hauteur de remblai sera grande au-dessus de l'ouvrage - le remblai devra être un matériau sélectionné, pulvérulent, contenant une forte proportion d'éléments grenus peu friables mais ne dépassant pas quelques centimètres (3 ou 4 au plus).

Toutefois pour faciliter le compactage du remblai à des densités élevées un faible pourcentage d'éléments fins ou cohérents pourra être toléré.

Les sols cohérents requièrent de l'ouvrage des déflexions importantes et la valeur de leur résistance varie de façon considérable dans le temps avec la teneur en eau, c'est pourquoi les remblais cohérents, susceptibles de présenter un certain intérêt dans le cas des ouvrages sous faible remblai, seront toujours considérés comme suspects à priori et, en pratique, leur emploi s'il est envisagé devra impérativement être précédé d'une étude de mécanique des sols.

Seront systématiquement exclus :

- les matériaux corrosifs ou contenant des matières organiques
- les cailloux de plus de 6 à 8 centimètres qui, placés au voisinage immédiat de l'ouvrage sont susceptibles de provoquer des enfoncements localisés
- les argiles gonflantes.

5-5-2 - Mise en place du remblai

La mise en place des buses sur une assise préalablement profilée pour épouser la partie inférieure du périmètre est d'une exécution difficile. On procédera plutôt comme suit :

L'ouvrage convenablement posé sur son assise plane sera soigneusement calé pour l'empêcher de rouler. Puis le remblai formant berceau jusqu'aux reins sera mis en place et énergiquement tassé à l'aide de perches de faible section (moins de 50 centimètres carrés) sans toutefois aller jusqu'à soulever la buse. Cette opération toujours très importante, l'est particulièrement lorsqu'il s'agit d'une buse-arche.

Ensuite le remblai latéral sera mis en oeuvre par couches horizontales de 20 centimètres d'épaisseur au plus, alternativement de part et d'autre de l'ouvrage de façon que le niveau reste sensiblement égal des deux côtés, et "méthodiquement" compacté jusqu'à l'obtention d'un taux au moins égal à 95 % de la densité sèche à l'optimum Proctor modifié.

Le matériel lourd ne devant pas entrer en contact avec les buses métalliques, il sera fait appel pour ce comptactage à des engins légers.

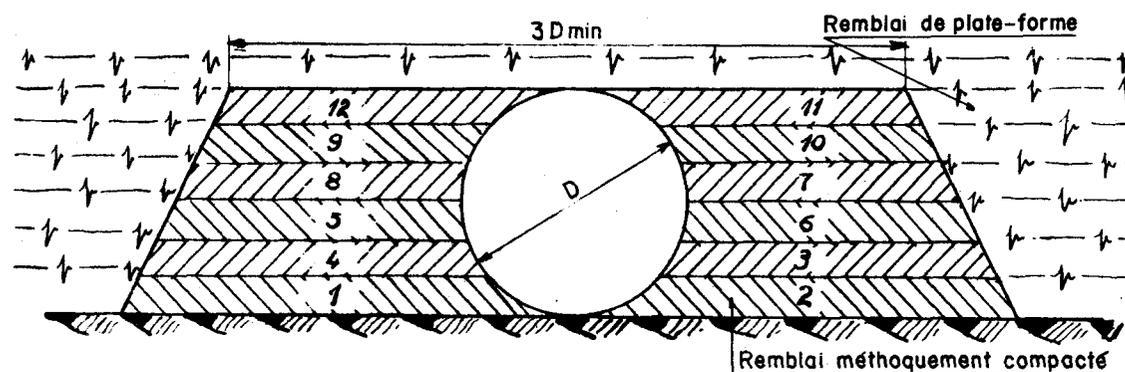
Enfin la mise en oeuvre du remblai au-dessus de l'ouvrage sera conduite aussi symétriquement que possible par rapport à l'axe de la buse.

Remarque importante :

Ne jamais commencer le remblayage avant que tous les boulons soient convenablement serrés.

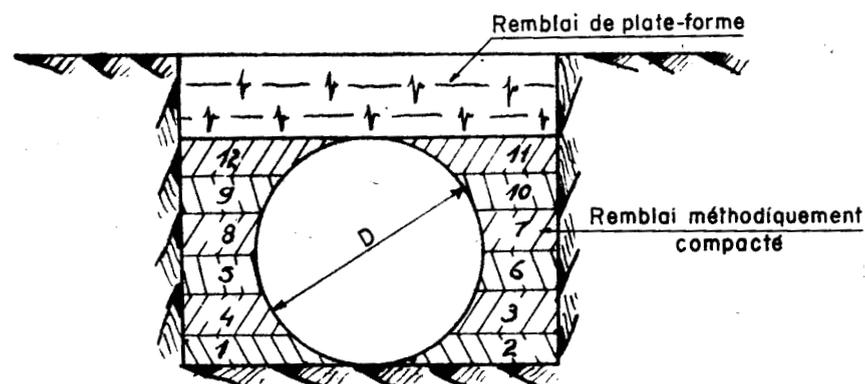
5-5-3 - Dimensions du remblai :

Dans le cas d'une installation en remblai, la masse de remblai sélectionné compacté autour de l'ouvrage devra avoir au niveau de la génératrice supérieure de la buse une largeur égale à au moins trois fois l'ouverture.

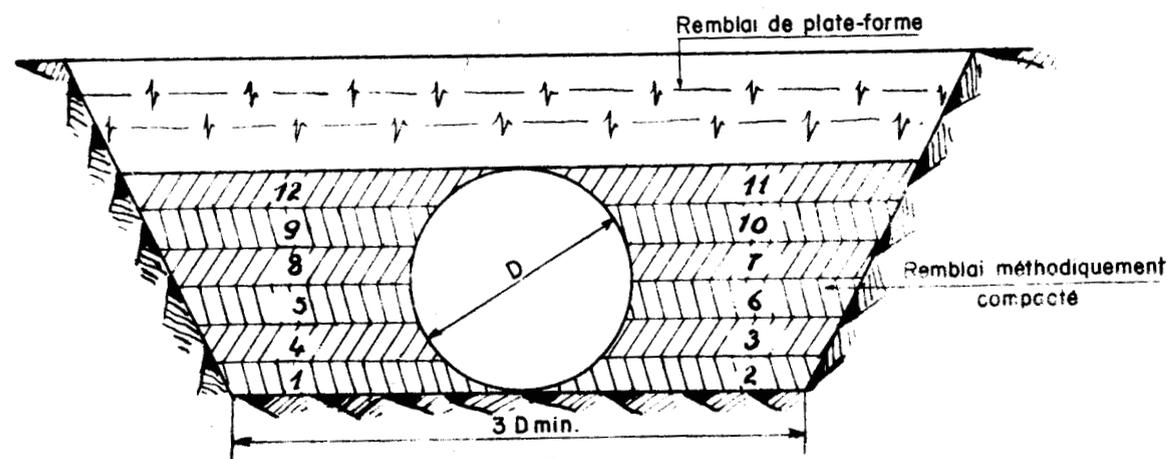


Dans le cas d'une installation en tranchée, celle-ci et par suite la masse de remblai sélectionné compacté devra avoir une largeur au moins égale

- à l'ouverture de la buse augmentée de 0,30 à 1,50 mètre suivant les difficultés de pose, si le sol est bon.



- à trois fois l'ouverture de la buse, à la base de la tranchée, si le sol est inconsistant.



- 5-5-6 - Remblai minimal pour le franchissement des ouvrages par les engins de chantier.

Il faut interdire la circulation des engins de chantier sur les ouvrages métalliques tant que la hauteur de remblai n'atteint pas une valeur suffisante liée aux caractéristiques de ces engins. Il y a lieu d'ajouter à cette hauteur la profondeur présumée des ornières que peuvent creuser les engins, profondeur à estimer suivant le matériel et les conditions du chantier.

L'annexe reproduit les hauteurs minimales préconisées par l'un des plus importants producteurs français.

5-6 - Etayage

Applicable seulement aux buses circulaires multiplaques, l'étayage a pour but de contre-déformer les ouvrages dans le sens d'un allongement du diamètre vertical afin de créer des contraintes de flexion qui tendront à annuler celles qui résulteront des déformations de l'ouvrage sous les charges.

Les contraintes de flexion étant faibles en principe, cet effet n'est que secondaire et même dans une certaine mesure, contraire au principe de flexibilité des ouvrages. Il conviendra donc de réaliser l'étayage en suivant strictement les prescriptions du fournisseur, notamment en ce qui concerne la plasticité du bloc de compression. Un étayage mal réalisé est nuisible.

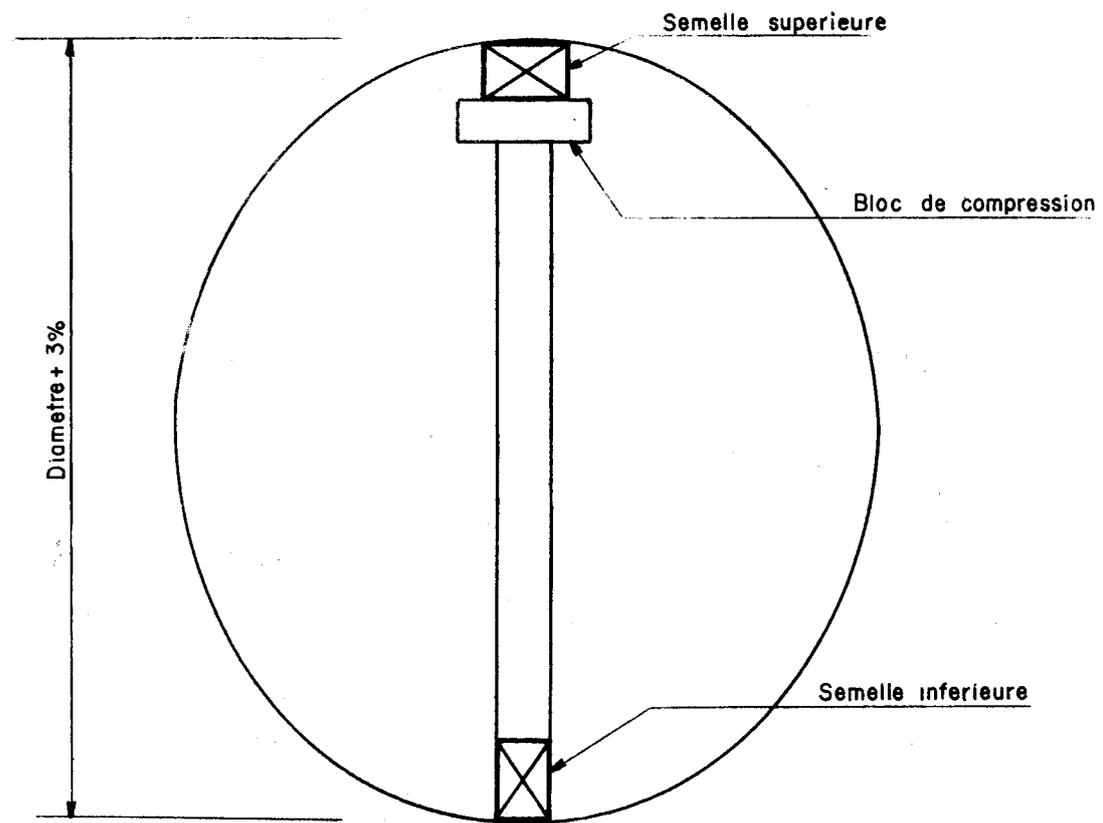
La contre-déformation pourra également être obtenue lors du remblayage latéral, en surcompactant sur une largeur de 0,50 mètre environ la bande de remblai qui longe la buse, entre le quart et les trois quarts de sa hauteur.

La contre-déformation ne devra pas dépasser 3 % du diamètre nominal dans le cas d'utilisation d'étais, et être compris entre 1,5 et 2 % du même diamètre lorsque la méthode du surcompactage sera employée.

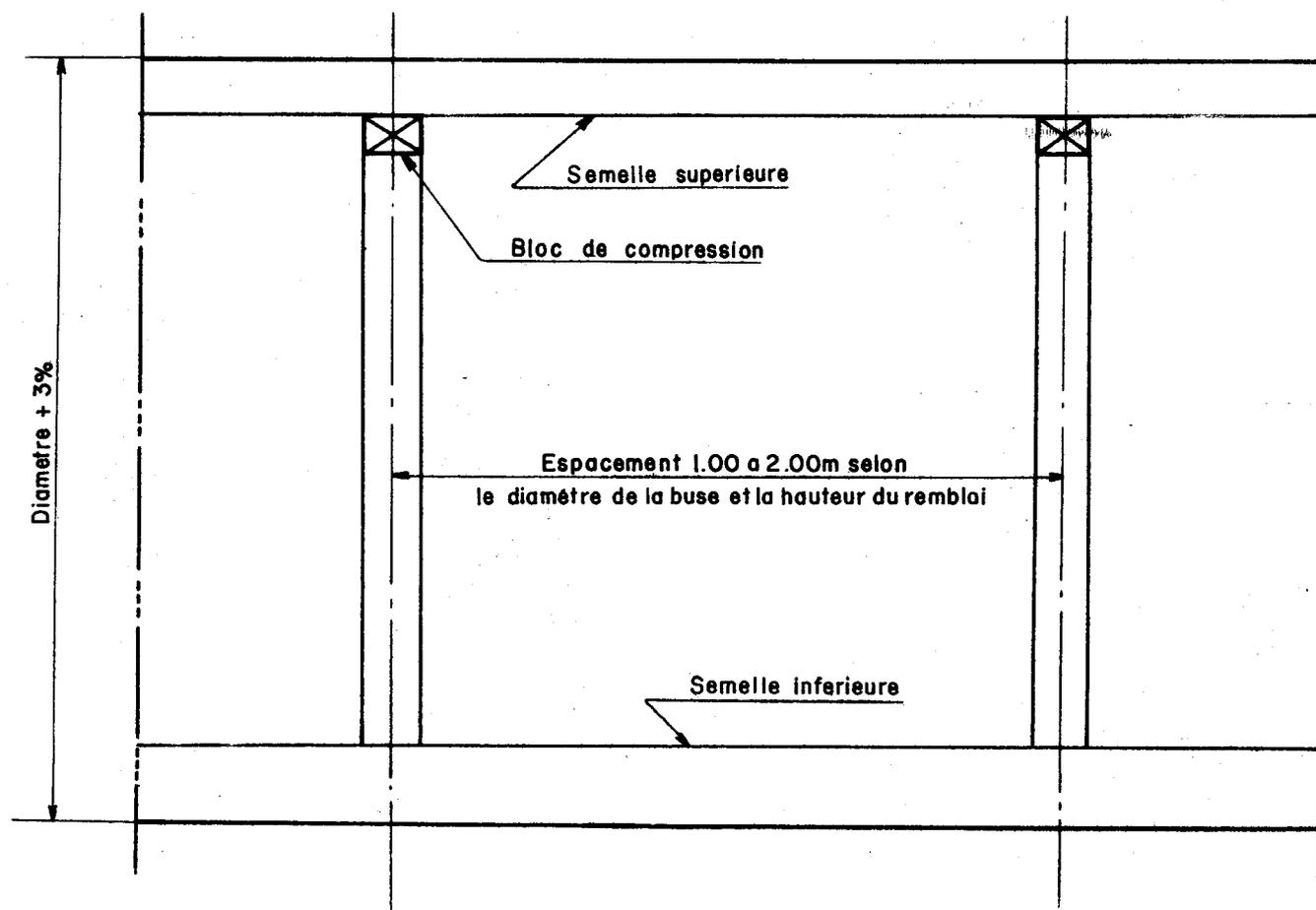
L'étayage des buses elliptiques sera inutile, celles-ci étant prédéformées en usine : ceci explique le fait qu'elles sont préférées aux buses circulaires.

Les buses-arches, qui ne fonctionnent pas suivant le même principe que les buses circulaires ne devront jamais être étayées.

COUPE TRANSVERSALE



COUPE LONGITUDINALE



6. - DUREE de VIE

Susceptible de varier dans de grandes proportions avec les conditions locales, et notamment les risques de corrosion et d'abrasion, l'estimation de la durée de vie de ce type d'ouvrage est assez malaisée. Elle ne peut pas être basée sur l'expérience française trop récente et insuffisante. Aux U.S.A. où l'utilisation de ces ouvrages a commencé aux alentours de 1900, les ouvrages multiplaques ne datant toutefois que de 1931, des avis ont été émis et des estimations faites.

Engineering News Recort 1945 - (cité par ARMCO - Handbook of Drainage and construction Products). Shafer et Kropf après une inspection d'ouvrages multiplaques installés 4 à 12 ans auparavant, estiment au moins à 50 ans la durée de vie moyenne.

Le comité n° 2 de l'American Railway Bridge and Building Associations 1948 (cité par ARMCO Handbook of Drainage and construction Products), estime de 40 à 60 ans la durée de vie des buses métalliques. Il estime également de 40 à 60 ans la durée de vie des buses en béton armé ou davantage si elles sont convenablement installées.

Enquête faite en Caroline du Nord en 1944 sur des ouvrages installés depuis plus de 25 ans (cité par Woods - Highway Engineering Handbook) estime la durée de vie moyenne des divers types de buses :

Buses métalliques galvanisées	35 ans
Buses métalliques galvanisées avec radier en béton bitumineux	53 ans
Buses en béton armé	71 ans

MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT ET DU LOGEMENT

SERVICE D'ÉTUDES TECHNIQUES DES ROUTES ET AUTOROUTES

AGENCE DU SUD-EST

50, Avenue du Maréchal de Lattre de Tassigny MACON 71 - Tel. 38.30.82

OUVRAGES TYPES POUR AUTOROUTES

OUVRAGES HYDRAULIQUES

O.H.A.P. a b 64

AQUEDUCS PREFABRIQUES EN ACIER

CARACTERISTIQUES GÉNÉRALES
TABLEAUX DE DIMENSIONNEMENT

3.3

CARACTERISTIQUES GENERALES

1 - CARACTERISTIQUES DU METAL DE BASE (1)

Buses emboîtables : Acier de nuance A.Dx.T

Buses multiplaques : Acier de nuance A. 34-1.T

2 - BOULONS

Les boulons ont 19 mm de diamètre, ils sont en acier (nuance A. 60. 1 bis) galvanisé (5 g par dm²).

3 - GALVANISATION (2)

Les tôles sont galvanisées sur leurs deux faces par immersion à chaud à raison de 305 grammes de zinc par mètre carré sur chaque face.

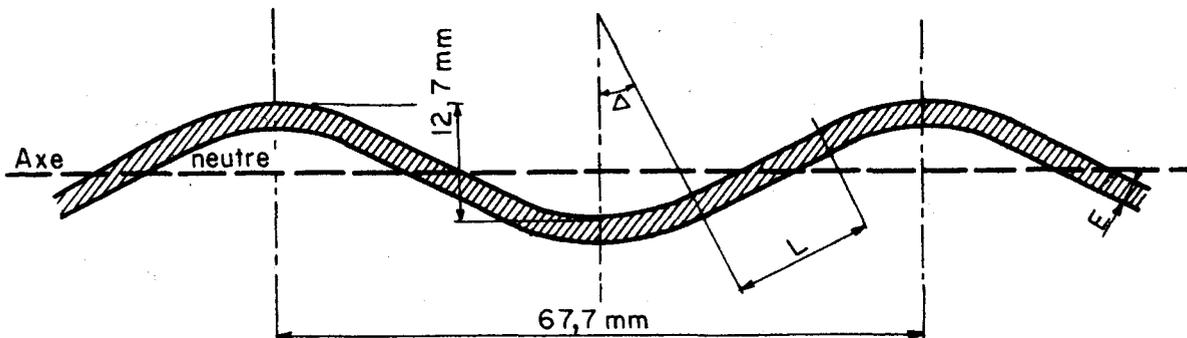
4 - DEFINITION GEOMETRIQUE DES ONDULATIONS DES TOLES

a) Buses et buses-arches emboîtables

Les dimensions de l'ondulation sont les suivantes (2) :

Longueur de l'onde 67,7 millimètres

Profondeur de l'onde 12,7 millimètres.



(1) Les aciers sont ceux utilisés par la Société Armco-France.

Les nuances sont définies par la norme NF - A 36 - 203 :

- la nuance ADx comporte les garanties suivantes :

charge de rupture à l'essai de traction minimum 33 kg/mm²
maximum 50 kg/mm²

Essai de pliage à froid à 90° autour d'un mandrin de diamètre égal à 4 fois l'épaisseur.

Elle ne comporte ni garantie de pureté chimique ni valeur minimum de l'indice de qualité N ou de l'allongement A en %.

- la nuance A 34 - 1 - T comporte les garanties suivantes :

charge de rupture à l'essai de traction minimum 33 kg/mm²
maximum 40 kg/mm²

indice de qualité $N = R + 2,5 A = 100$

Essai de pliage à froid à 180° sur un mandrin de l'épaisseur de la tôle.

Elle ne comporte pas de garantie de pureté chimique.

(2) Ces caractéristiques sont celles normalisées aux Etats-Unis par l'A.A.S.H.O.

Les caractéristiques géométriques consécutives sont indiquées dans le tableau suivant :

JAUGE AMERICAINE	E mm	L mm	Δ gr
16	1,5	19,5	29,74
14	1,9	19,3	29,85
12	2,7	18,8	30,15
10	3,4	18,3	30,43
8	4,2	17,8	30,63

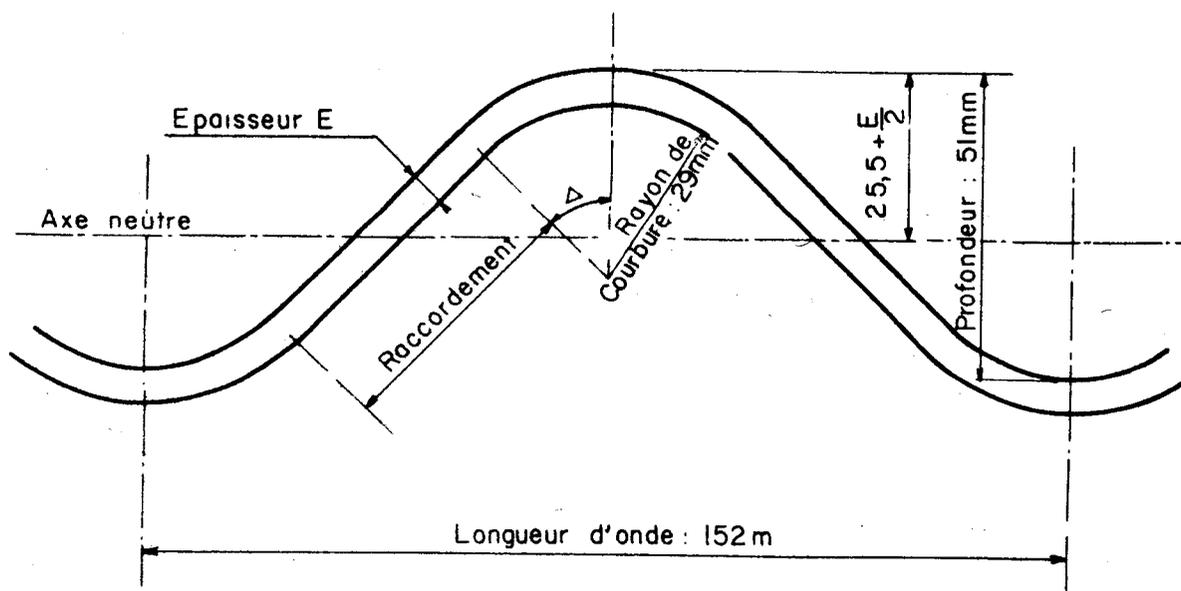
Par ml suivant l'axe neutre

4-2) Buses et buses-arches multi-plaques

Les dimensions de l'ondulation sont les suivantes (2)

Longueur de l'onde 152,4 millimètres

Profondeur de l'onde 50,8 millimètres



(2) - Voir page précédente

Les caractéristiques géométriques consécutives sont indiquées dans le tableau suivant :

JAUGE AMERICAINE	EPAISSEUR mm	RACCOR- DEMENT mm	ANGLE △ GRADES
12	2,7	48	49,41
10	3,4	47	49,70
8	4,2	46	50
7	4,7	46	50,20
5	5,5	45	50,54
3	6,2	44	50,87
1	7	43	51,20

Par ml suivant l'axe neutre

**TABLEAUX
DE
DIMENSIONNEMENT**

- BUSES CIRCULAIRES ET ELLIPTIQUES EMBOITABLES -

Camion de 30 T

Diamètre m.	Aire de la section m ²	HAUTEUR DU REMBLAI EN METRES																
		jusqu'à 0,50	0,51 à 1,00	1,01 à 2,00	2,01 à 3,00	3,01 à 4,00	4,01 à 5,00	5,01 à 6,00	6,01 à 8,00	8,01 à 10,00	10,01 à 12,00	12,01 à 14,00	14,01 à 16,00	16,01 à 18,00	18,01 à 20,00			
0,20	0,03	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	circulaires
0,25	0,05	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
0,30	0,07	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,9	
0,40	0,13	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,9	1,9	1,9	1,9	
0,50	0,20	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,7	
0,60	0,28	1,9	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,9	1,9	1,9	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	
0,70	0,39	1,9	1,9	1,5	1,5	1,5	1,5	1,9	1,9	1,9	2,7	2,7	2,7	3,4	3,4	3,4	3,4	
0,80	0,50	2,7	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,7	2,7	2,7	3,4	3,4	3,4	3,4	4,2	
0,90	0,64	2,7	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,7	2,7	2,7	2,7	3,4	3,4	3,4	4,2	4,2	4,2	elliptiques
1,00	0,79	3,4	2,7	1,9	1,9	1,9	1,9	2,7	2,7	2,7	3,4	3,4	3,4	4,2	4,2	4,2	4,2	
1,25	1,24	3,4	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	3,4	3,4	3,4	3,4	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	
1,50	1,76	4,2	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	
1,75	2,40		4,2	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	
2,00	3,14			4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	

Hauteur minimale de remblai :

Revêtements souples : $\frac{1}{5}$ du diamètre, avec minimum 0,25 m

Revêtements bétonnés: $\frac{1}{7}$ du diamètre, avec minimum 0,10 m sous la dalle.

NOTA : Les épaisseurs ci-dessus sont, selon l'auteur, également valables pour le char de 100 T.

BUSES-ARCHES EMBOITABLES

Camion de 30 T

Portée m	Flèche m	Aire de la Section m ²	HAUTEUR DU REMBLAI EN METRES		
			jusqu'à 0,50	0,51 à 1,00	1,01 à 3,00
0,40	0,33	0,11	1,5	1,5	1,5
0,50	0,40	0,16	1,5	1,5	1,5
0,60	0,45	0,22	1,9	1,5	1,5
0,70	0,51	0,29	1,9	1,9	1,9
0,80	0,57	0,37	1,9	1,9	1,9
0,90	0,63	0,45	2,7	1,9	1,9
1,00	0,68	0,55	2,7	2,7	2,7
1,25	0,82	0,83	3,4	2,7	2,7
1,50	0,97	1,16	3,4	2,7	2,7
1,75	1,11	1,55	4,2	3,4	3,4

Hauteur minimale du remblai :

Revêtement souple : 0,25 m

Revêtement bétonné : 0,10 m au moins sous la dalle

NOTA : les épaisseurs ci-dessus sont, selon l'auteur, également valables pour le char de 100 T.

--- BUSES ELLIPTIQUES MULTIPLAQUES ---

Char de 100 T

Diamètre équivalent Mètres	Aire de la section m ²	HAUTEUR DU REMBLAI EN METRES																		
		D/4 à 1,00	1,01 à 2,00	2,01 à 3,00	3,01 à 4,00	4,01 à 5,00	5,01 à 6,00	6,01 à 8,00	8,01 à 10,00	10,01 à 12,00	12,01 à 14,00	14,01 à 16,00	16,01 à 18,00	18,01 à 20,00	20,01 à 22,00	22,01 à 24,00	24,01 à 26,00	26,01 à 28,00	28,01 à 30,00	
1,52	1,75	3,4	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	3,4	3,4	3,4	4,2	4,2	4,2	4,7	4,7	5,5	5,5	61 m
1,68	2,14	3,4	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	3,4	3,4	3,4	4,2	4,2	4,2	4,7	4,7	5,5	5,5	6,2	55 m
1,83	2,55	3,4	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	3,4	3,4	3,4	4,2	4,2	4,7	4,7	5,5	6,2	6,2	7,0	50 m
1,98	3,00	3,4	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	3,4	3,4	3,4	4,2	4,2	4,2	4,7	5,5	5,5	6,2	7,0	7,0	46 m
2,13	3,52	3,4	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	3,4	3,4	3,4	4,2	4,2	4,7	5,5	5,5	6,2	7,0	7,0		43 m
2,29	4,09	3,4	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	3,4	3,4	4,2	4,2	4,7	4,7	5,5	6,2	6,2	7,0			40 m
2,44	4,64	3,4	2,7	2,7	2,7	2,7	3,4	3,4	3,4	4,2	4,2	4,7	5,5	5,5	6,2	7,0				38 m
2,59	5,25	3,4	2,7	2,7	2,7	2,7	3,4	3,4	3,4	4,2	4,7	5,5	5,5	6,2	7,0	7,0				36 m
2,74	5,90	3,4	2,7	2,7	2,7	3,4	3,4	3,4	4,2	4,2	4,7	5,5	6,2	6,2	7,0					34 m
2,90	6,57	3,4	2,7	2,7	3,4	3,4	3,4	3,4	4,2	4,2	4,7	5,5	6,2	7,0						32 m
3,05	7,27	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	4,2	4,7	5,5	6,2	7,0	7,0						30 m
3,20	8,03	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	4,2	4,7	5,5	6,2	7,0							29 m
3,35	8,81	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	4,2	4,2	4,7	5,5	6,2	7,0							27 m
3,51	9,63	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	4,2	4,2	5,5	6,2	7,0								26 m
3,66	10,47	4,2	3,4	3,4	3,4	3,4	4,2	4,2	4,7	5,5	6,2	7,0								25 m
3,81	11,40	4,2	3,4	3,4	3,4	3,4	4,2	4,2	4,7	5,5	6,2	7,0								24 m
3,96	12,32	4,2	4,2	3,4	3,4	4,2	4,2	4,2	4,7	6,2	7,0									23 m
4,11	13,24		4,2	3,4	4,2	4,2	4,2	4,2	4,7	6,2	7,0									22 m
4,27	14,27		4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,7	5,5	6,2	7,0									21 m
4,42	15,28		4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,7	5,5	6,2										20 m
4,57	16,40		4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,7	5,5	7,0										20 m

- Hauteur minimale du remblai = $\frac{1}{4}$ du diamètre

- Ce tableau n'est valable que pour les buses dont le diamètre vertical est de 5 % supérieur au diamètre nominal indiqué.

- BUSES-ARCHES MULTI-PLAQUES -

Char de 100 T

Portée m	Flèche m	Aire de la sec- tion m ²	Hauteur du remblai en mètres								
			0,40 à 0,75	0,76 à 1,00	1,01 à 1,50	1,51 à 2,00	2,01 à 2,50	2,51 à 3,00	3,01 à 3,50	3,51 à 4,00	4,01 à 4,50
1,86	1,40	2,04	3,4	3,4	3,4	2,7	2,7	2,7	3,4	3,4	3,4
1,93	1,45	2,23	3,4	3,4	3,4	2,7	2,7	2,7	3,4	3,4	3,4
2,06	1,50	2,42	4,2	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
2,13	1,55	2,60	4,2	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
2,21	1,60	2,88	4,2	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
2,34	1,65	3,07	4,2	4,2	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	4,2	4,2
2,41	1,70	3,25	4,2	4,2	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	4,2	4,2
2,49	1,75	3,53	4,2	4,2	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	4,2	4,2
2,62	1,80	3,72	4,7	4,2	4,2	3,4	3,4	3,4	4,2	4,2	4,2
2,69	1,85	3,99	4,7	4,2	4,2	3,4	3,4	3,4	4,2	4,2	4,2
2,84	1,90	4,27	4,7	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
2,90	1,95	4,55	4,7	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
2,97	2,00	4,83	4,7	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
3,12	2,06	5,11	5,5	4,7	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,7	4,7
3,25	2,11	5,38	5,5	4,7	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,7	4,7
3,34	2,16	5,67	5,5	4,7	4,7	4,2	4,2	4,2	4,7	4,7	4,7
3,49	2,21	5,95	5,5	4,7	4,7	4,2	4,2	4,2	4,7	4,7	4,7
3,53	2,26	6,22	5,5	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	5,5
3,61	2,31	6,60	5,5	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	5,5
3,76	2,36	6,87	5,5	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	5,5
3,81	2,41	7,25	6,2	5,5	4,7	4,7	4,7	4,7	5,5	5,5	6,2
3,86	2,46	7,52	6,2	5,5	4,7	4,7	4,7	4,7	5,5	5,5	6,2
3,91	2,51	7,90	6,2	5,5	4,7	4,7	4,7	4,7	5,5	5,5	6,2
4,10	2,57	8,27	6,2	5,5	4,7	4,7	4,7	4,7	5,5	5,5	6,2
4,24	2,62	8,64	6,2	5,5	4,7	4,7	4,7	4,7	5,5	6,2	6,2
4,29	2,66	9,01	7,0	6,2	5,5	4,7	4,7	5,5	6,2	6,2	7,0
4,35	2,72	9,38	7,0	6,2	5,5	4,7	4,7	5,5	6,2	6,2	7,0
4,52	2,77	9,75	7,0	6,2	5,5	4,7	4,7	5,5	6,2	7,0	7,0
4,68	2,82	10,13	7,0	6,2	5,5	5,5	5,5	5,5	6,2	7,0	7,0
4,72	2,87	10,50	7,0	6,2	5,5	5,5	5,5	5,5	6,2	7,0	7,0
4,78	2,92	10,96	-	7,0	6,2	5,5	5,5	6,2	7,0	7,0	-
4,83	2,97	11,33	-	7,0	6,2	5,5	5,5	6,2	7,0	-	-
5,00	3,02	11,71	-	7,0	6,2	5,5	5,5	6,2	7,0	-	-
5,06	3,07	12,17	-	-	7,0	6,2	6,2	7,0	7,0	-	-

Hauteur minimale du remblai : $\frac{1}{10}$ de la portée

HAUTEUR MINIMALE DE REMBLAI POUR LE FRANCHISSEMENT

DES OUVRAGES PAR LES ENGINs DE CHANTIER

La circulation des engins de chantier est tolérable sur les ouvrages métalliques lorsque la hauteur du remblai qui les recouvre est au moins égale au minimum fixé par le tableau suivant

Types d'ouvrage	Diamètre ou portée en m	Hauteurs minimales (en cm) de remblai à prévoir avant de permettre le passage d'engins, pour essieux de :				
		5 à 10 tonnes	10 à 20 tonnes	20 à 50 tonnes	50 à 100 tonnes	100 à 200 tonnes
<u>Emboitables</u>	0,60 à 0,80	25	40	60	80	120
Buses et Buses arches	0,81 à 1,25	40	60	80	120	160
	1,26 à 2,00	60	80	120	160	200
<u>Multiplaques</u>	1,50 à 2,50	40	60	80	100	150
Buses et Buses-arches	2,50 à 4,00	60	80	100	150	200
	4,01 à 5,00	80	100	150	200	300
	5,01 à 6,00	100	150	200	300	-