



NOTE D'INFORMATION

OUVRAGES
D'ART

12

Auteur : SETRA / CTOA

Editeur :



CONDUITS MATIERE QUELQUES REGLES ESSENTIELLES

RESUME

Les conduits MATIERE, dont l'utilisation a connu un important essor ces dernières années, sont des ouvrages dont le bon comportement est lié à l'emploi à bon escient de ce type de structure (eu égard notamment au contexte géotechnique), à la qualité des matériaux de remblai mis en oeuvre et au respect de quelques règles essentielles de conception et d'exécution. Il s'agit de véritables ouvrages d'art dont la construction ne peut être dissociée des remblais techniques qui les entourent.

1. OBJET DE LA PRESENTE NOTE

Depuis près de six ans environ un millier de conduits MATIERE ont été construits en France et ce, généralement dans des conditions tout à fait satisfaisantes. Toutefois, l'important essor que connaît ce procédé, l'extension de son domaine d'emploi à des ouvrages d'assez grande portée, mais aussi l'expérience tirée de certains incidents, conduisent à attirer l'attention des Maîtres d'Oeuvre sur le domaine d'emploi de ce type d'ouvrage et sur quelques règles essentielles liées à certaines de leurs particularités.

Tel est l'objet de la présente note d'information. Il convient toutefois de souligner que cette note d'information ne porte que sur certaines exigences fondamentales auxquelles est liée la qualité des constructions mais qu'elle ne saurait prétendre aborder tous les aspects de la conception, du calcul et de l'exécution des ouvrages.

Il convient par ailleurs de signaler que les principales dispositions présentées ci-après peuvent être étendues, du moins dans leur principe, à tout type d'ouvrage analogue tenant compte d'une interaction sol/structure.



Figure 1

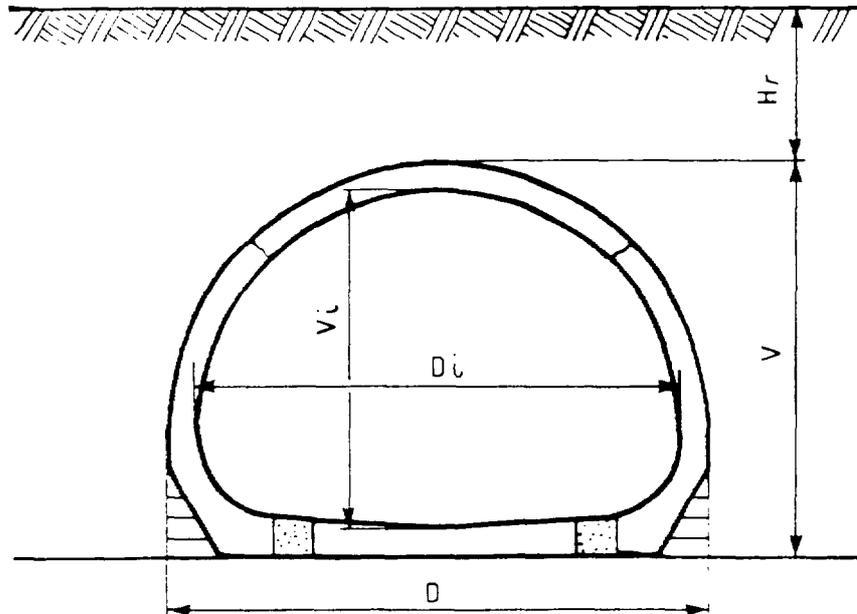


Figure 2

2. MODALITES D'ETABLISSEMENT ET D'INSTRUCTION DES DOSSIERS TECHNIQUES - CLASSIFICATION

Les premiers conduits MATIERE étaient des conduits simple arche de portée modeste construits sur de bons sols de fondation. Par la suite, l'utilisation de ce type d'ouvrage s'est rapidement étendue à des ouvrages de plus grande portée, des couvertures de remblai importantes, des terrains de fondation de qualités moyennes et aussi à des ouvrages multiarches. Cette évolution du domaine d'utilisation de ces ouvrages s'accompagne d'un accroissement des exigences tant pour leur conception et leur exécution que pour les qualités des matériaux de remblai et leur mise en oeuvre. C'est la raison pour laquelle, par référence à la circulaire du 2 janvier 1986 qui fixe pour les ouvrages d'art les conditions générales d'établissement des dossiers techniques et les modalités d'instruction de ces dossiers, on distinguera pour les conduits MATIERE les trois catégories d'ouvrages définies ci-après.

a - Ouvrages courants non conformes à un modèle type mais pouvant y être assimilés

On classera dans cette catégorie les ouvrages vérifiant simultanément les critères suivants (voir Fig. 2) :

- . ouvrage simple arche d'ouverture intérieure D_i inférieure à 5 m,
- . hauteur de couverture de remblai à la clef H_r inférieure à 4 m,
- . rapport hauteur (V_i) à largeur (D_i) : V_i/D_i compris entre 0.6 et 1.0,
- . bon sol de fondation ne nécessitant pas de traitement spécial (substitution notamment) autre que des purges locales ; à titre indicatif, il s'agit de sols pour lesquels le module pressiométrique ne serait pas inférieur à 10 MPa environ.

b - Ouvrages courants non conformes à un modèle type

Ce sont d'une part les ouvrages simple arche vérifiant les critères suivants (voir Fig. 2) :

- . ouverture intérieure D_i inférieure à 9 m,
- . hauteur de couverture de remblai à la clef H_r inférieure à 7 m,
- . rapport hauteur (V_i) à largeur (D_i) : V_i/D_i compris entre 0.6 et 1.0,
- . bon sol de fondation ou sol de fondation ne nécessitant pas de traitement autre qu'une substitution destinée à atteindre un bon sol situé à faible profondeur,

et d'autre part les ouvrages multiarches vérifiant les critères suivants :

- . ouverture intérieure D_i de l'arche de rive inférieure à 5 m,
- . hauteur de couverture de remblai à la clef H_r inférieure à 4 m,
- . rapport hauteur (V_i) à largeur (D_i) : V_i/D_i compris entre 0.6 et 1.0,
- . bon sol de fondation ou sol de fondation ne nécessitant pas de traitement autre qu'une substitution destinée à atteindre un bon sol situé à faible profondeur.

c - Ouvrages devant être assimilés à des ouvrages d'art non courants

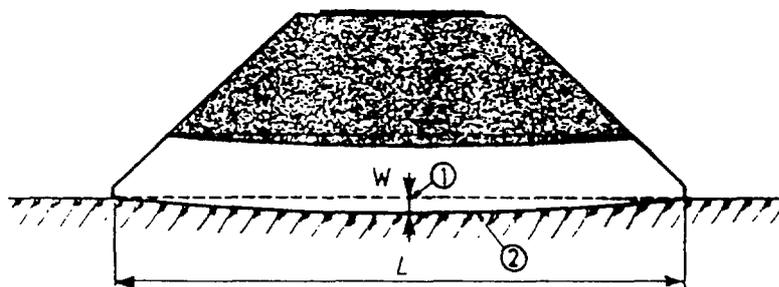
Ce sont les ouvrages qui ne rentrent pas dans l'une ou l'autre des deux catégories précédentes. Les conditions d'établissement des dossiers techniques les concernant et leurs modalités d'instruction sont celles définies pour les ouvrages d'art non courants par la circulaire sus-visée. En particulier, ces ouvrages devront faire l'objet d'un avant-projet d'ouvrage d'art non courant (A. P. O. A.).

3. ELEMENTS GENERAUX DE CONCEPTION

a - Comportement d'ensemble - Reconnaissance géotechnique

Une particularité de ces ouvrages, qui n'est d'ailleurs pas spécifique aux conduits MATIERE, au-delà de l'interaction locale sol-structure évoquée ci-après (Cf. § 4), concerne le fait qu'ils sont entourés de remblais dont l'action pondérale sur le sol de fondation engendre des tassements qui influent sur le comportement des structures, tant transversalement que longitudinalement.

Aussi il y aura toujours lieu de vérifier que le tassement induit par les remblais, et plus particulièrement le tassement différentiel dans le sens longitudinal entre différentes sections de l'ouvrage reste limité à des valeurs tolérables par celui-ci. A titre indicatif, indépendamment de considérations d'ordre fonctionnel (pertes de profil en long notamment), auxquelles certaines dispositions de construction peuvent permettre de répondre, et dans l'attente d'une meilleure connaissance du comportement des ouvrages, on pourra admettre que le tassement différentiel longitudinal maximal admissible est de 0,5 % environ de la distance entre une extrémité et le centre de l'ouvrage. En outre il ne doit pas entraîner une mise en contact en clef de voûte de deux éléments adjacents (rapprochement inférieur à 1 cm). Ces deux conditions sont équivalentes à avoir un rayon de courbure constant égal au maximum des deux valeurs : 50 L (L longueur de l'ouvrage) et 250 V (V hauteur de l'ouvrage) ou encore à avoir une différence de tassement w entre le centre de l'ouvrage et ses extrémités (voir Fig. 3 ci-dessous) inférieure à la plus petite des deux valeurs $L/400$ et $L^2/2000V$.



1 : Position du radier du conduit au montage

2 : Position du radier après chargement

Figure 3

Il conviendra également de vérifier que transversalement les tassements théoriques calculés sous les remblais latéraux de butée (Cf. § 3.c) ne diffèrent pas trop des tassements théoriques calculés sous le conduit. Si tel n'est pas le cas, il y aura lieu d'adopter des dispositions particulières pour que cette condition soit respectée. La plus courante consiste à procéder à une substitution du terrain de fondation sur une largeur et une profondeur suffisantes (Cf. § 3.c).

Ces quelques considérations mettent l'accent sur la nécessité de procéder dans tous les cas à une reconnaissance et à une étude géotechniques dont la consistance doit être adaptée à l'importance de l'ouvrage (hauteur de remblai, portée et longueur de l'ouvrage, ...) et à la nature et aux qualités présumées des terrains concernés.

b - Principales dispositions constructives

Pour diverses raisons, et en particulier :

- . pour que les hypothèses et la schématisation de calcul adoptées puissent être suffisamment représentatives du comportement réel de l'ouvrage,
- . pour limiter les difficultés d'exécution auxquelles sont souvent liées les malfaçons,
- . ou encore pour assurer la pérennité de l'ouvrage,

il est recommandé de respecter certaines dispositions de construction, dont les principales sont succinctement évoquées ci-après. Celles relatives aux remblais contigus aux ouvrages dont le rôle est fondamental sont développées dans le paragraphe suivant.

- . Profil en long du radier

Il est recommandé de limiter la pente moyenne du profil en long des ouvrages à 8 % environ (valeur au delà de laquelle le comportement de l'ouvrage peut être sensiblement modifié).

- . Biais

Il est recommandé de limiter le biais des ouvrages (angle que fait l'axe longitudinal de l'ouvrage avec l'axe de la voie portée) à des valeurs comprises entre 70 et 130 grades. Au delà de ces valeurs il est impératif de prévoir des dispositions particulières aux extrémités des ouvrages ; une solution peut consister à remodeler le remblai localement.

- . Hauteur minimale de couverture - Pente des remblais

La hauteur de couverture en clef de voûte des ouvrages ne devra pas être inférieure dans tous les cas à $D/12$ (voir Fig. 2) avec un minimum de 0.50 m (corps de chaussées compris). Par ailleurs, lorsque le remblai présente transversalement une pente, il est impératif que la surface de celui-ci ne recoupe pas les remblais latéraux de butée de l'ouvrage (Voir Fig. 4 et § 3.c). D'une manière générale il est recommandé de limiter la pente transversale d'une section droite à 30 % .

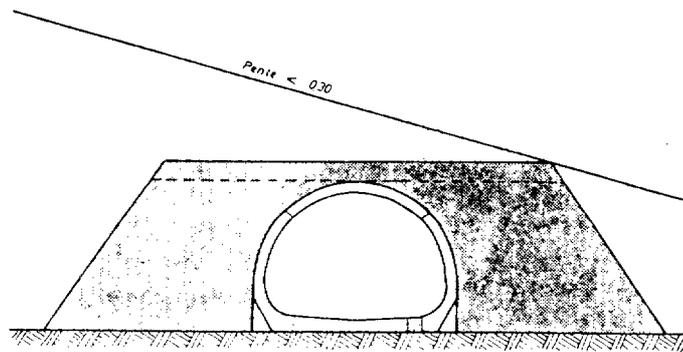


Fig. 4

- . Protection des ouvrages et des remblais contigus

D'une manière générale il est indispensable d'assurer par des dispositions constructives adéquates la protection des ouvrages hydrauliques et de leurs remblais contigus contre les phénomènes hydrauliques (affouillements, érosion, érosion régressive ou renard, ...). A cet égard, on pourra utilement se reporter au document de Recommandations sur les Buses Métalliques (S.E.T.R.A. - L.C.P.C. de septembre 1981) et à la note d'information n° 41 (S.E.T.R.A. - C.S.T.R. de mai 1988) relative à la protection des remblais contigus aux ouvrages hydrauliques.

Il est nécessaire également, et dans tous les cas, de protéger les remblais contigus à l'ouvrage (y compris le sol d'assise pour les ouvrages hydrauliques) contre les pertes de fines susceptibles d'être engendrées par l'écoulement des eaux d'infiltration ou par des phénomènes d'aspiration.

Enfin, lorsque la hauteur de couverture de remblai à la clef de voûte est inférieure à 6 mètres environ, des dispositions doivent être prises pour assurer la protection de l'ouvrage (voûte et piédroits) contre l'agressivité éventuelle des eaux d'infiltration.

c . Remblais contigus aux ouvrages

Ces ouvrages sont très sensibles à une insuffisance de qualités des remblais contigus, en raison notamment du mode de fonctionnement sur lequel sont basées les hypothèses et la schématisation adoptées pour le calcul (Cf. § 4), supposant une mobilisation d'une réaction de butée de la part des remblais pour de petits déplacements.

C'est la raison pour laquelle on doit considérer qu'une partie de ces remblais, que l'on appelle généralement remblais techniques et dont les principales caractéristiques géométriques sont précisées ci-après et schématisées sur les figures suivantes dans certaines configurations, font partie intégrante de l'ouvrage. Ils sont constitués de matériaux sélectionnés, non évolutifs et susceptibles de permettre d'obtenir assez facilement les qualités requises.

. Fondation artificielle

Lorsque le terrain en place ne présente pas les qualités demandées, pour les raisons évoquées ci-dessus, l'une des solutions les mieux adaptées consiste à procéder à une substitution de ces terrains sur une profondeur et une largeur suffisantes.

Dans tous les cas, cette substitution doit intéresser tout le conduit et déborder transversalement de chaque côté sur une largeur au moins égale à D (cas du conduit simple arche : Fig. 5) ou $1.2 D_1$ (cas du conduit multiarche : Fig. 6).

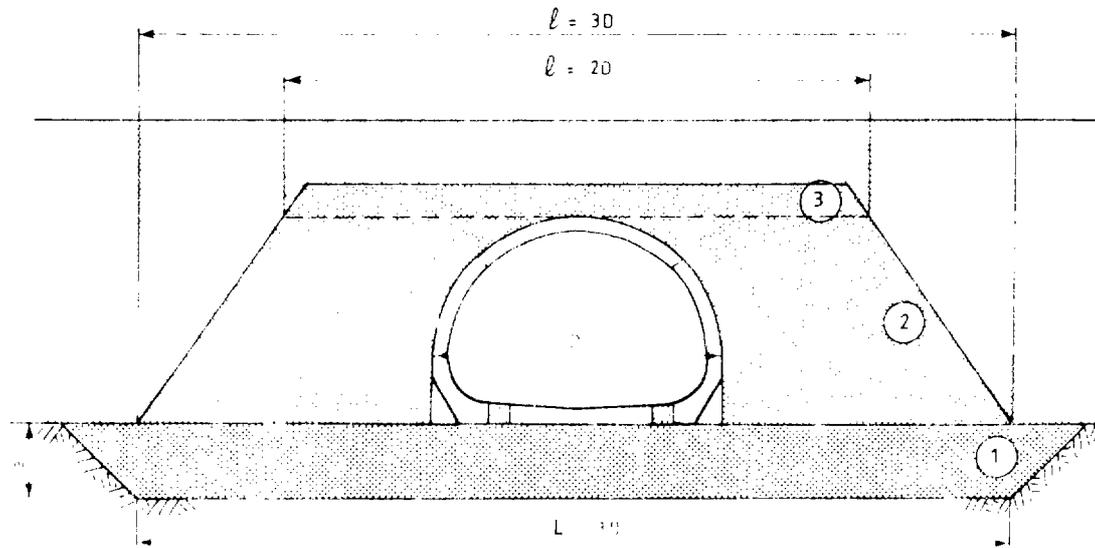
Pour ce qui concerne l'épaisseur de la fondation artificielle, on pourra admettre en première approximation que la différence du tassement théorique de la fondation entre le bord du radier et le centre du radier calculée de façon élastique sous l'action des seuls remblais adjacents à l'ouvrage n'excède pas la valeur $D/300$.

. Remblais latéraux de butée

Il s'agit de remblais disposés contre le conduit, de part et d'autre de celui-ci, et dont le rôle est **fondamental** dans le fonctionnement de la structure (Cf. § 4). Il convient dans tous les cas de porter une attention toute particulière à la définition géométrique de ces remblais, au choix des matériaux à utiliser, à la mise en oeuvre et au contrôle des résultats obtenus, eu égard notamment aux exigences résultant des calculs.

Ces remblais règnent sur toute la longueur de l'ouvrage, extrémités comprises, et sur toute sa hauteur. Ils sont disposés symétriquement de part et d'autre de l'ouvrage. Dans le cas des ouvrages en remblai, ils ont les largeurs minimales comme indiquées sur les figures 5 (cas du conduit simple arche) et 6 (cas du conduit multiarche).

Dans le cas des ouvrages partiellement ou totalement en déblai (Fig. 7), la largeur minimale des remblais latéraux est définie en fonction de la nature et des qualités des terrains en place, et des conditions liées à une mise en oeuvre correcte de ces remblais.



1 - Fondation artificielle

- terrain rocheux

$$L = D + 2 \text{ m}$$

$$e = 0.2 \text{ m}$$

- terrain médiocre

$$L = 3 D$$

$$e = \max (e_{\text{calcul}} ; 1 \text{ m})$$

2 - Remblais latéraux de butée

- largeur

$$l = 3 D \text{ (au radier) à } 2 D \text{ (en clef de voûte)}$$

- hauteur

$$V = \text{hauteur du conduit}$$

3 - Dôme de couverture

- exécution (à justifier)

$$h_{\text{mini}} = 0.6 \text{ à } 0.8 \text{ m}$$

- en service

$$h_{\text{mini}} = \max (D/12 ; 0.5 \text{ m})$$

Figure 5 : Définition géométrique des remblais contigus des conduits MATIERE dans le cas d'un ouvrage simple arche en remblai

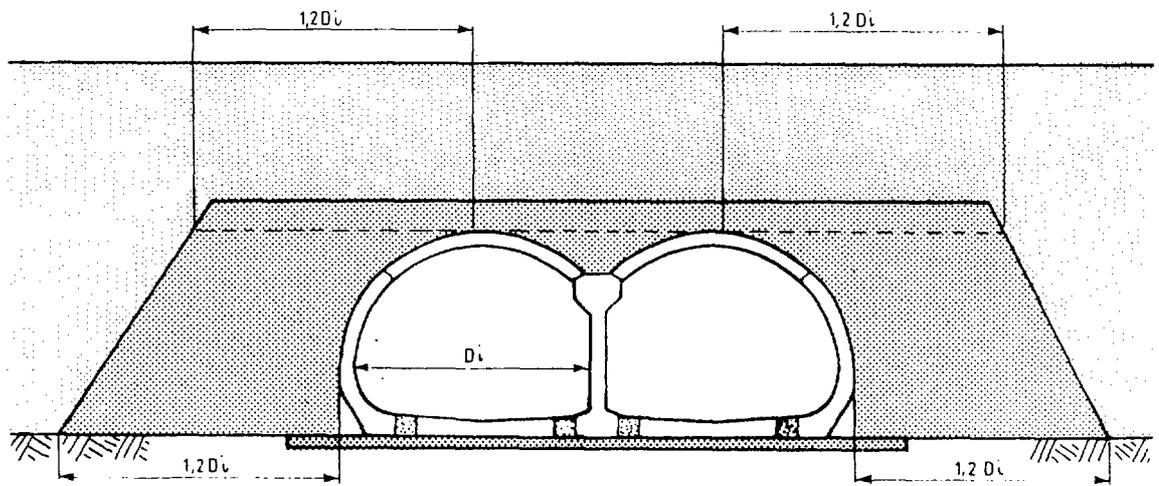


Figure 6 : Définition géométrique des remblais contigus des conduits MATIERE dans le cas d'un ouvrage bisarche en remblai sur terrain rocheux

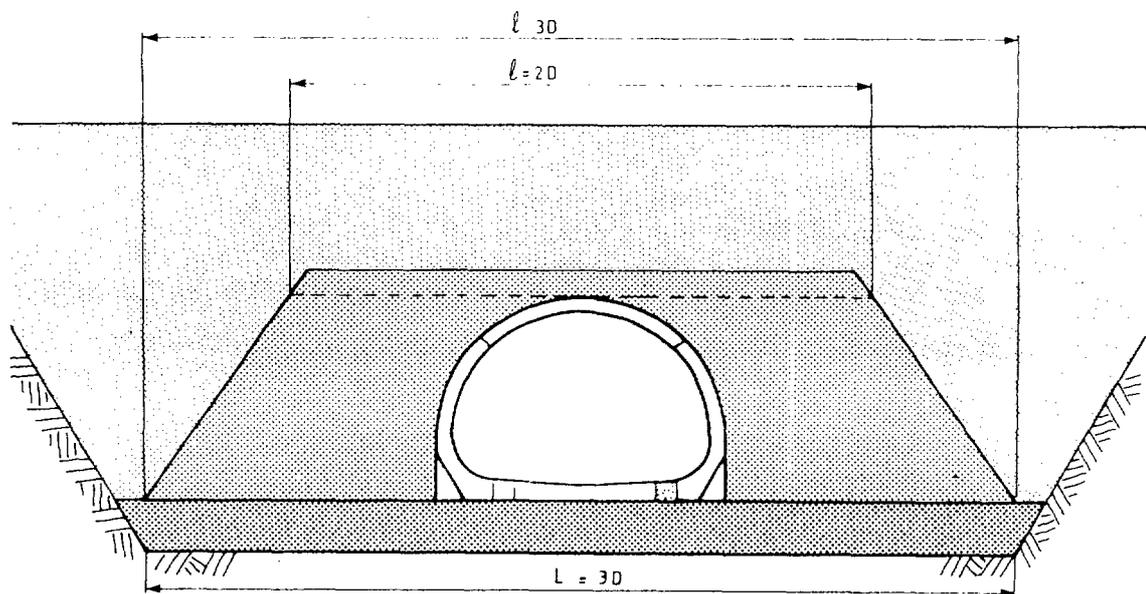


Figure 7 : Définition géométrique des remblais contigus des conduits MATIERE dans le cas d'un ouvrage simple arche en déblai sur terrain médiocre

Les matériaux de remblai seront choisis dans les tableaux II et III du document de "Recommandations sur les buses métalliques" (S.E.T.R.A. - L.C.P.C. - Septembre 1981), en notant toutefois que pour des ouvrages non courants, ou courants mais non conformes à un modèle type, tels qu'ils ont été définis précédemment, seuls les matériaux du tableau II pourront être employés (en particulier matériaux de la classe D2 ou D3 suivant la définition de la R.T.R.). Ces matériaux devront présenter une granulométrie continue.

Ce choix ne saurait être dissocié des hypothèses prises en compte dans le calcul, notamment pour ce qui concerne celle relative au module de déformation des remblais (Cf. § 4). En tout état de cause, il ne saurait être toléré qu'il soit fait l'impasse sur ce choix, ou sur le contrôle des qualités obtenues après mise en oeuvre, même si les calculs ont été effectués avec des hypothèses considérées comme pessimistes. Il est à noter à cet égard qu'une **valeur minimale de 40 MPa** doit être requise pour le module de déformation des remblais après mise en oeuvre (module EV2 mesuré à l'essai de chargement statique à la plaque, au deuxième chargement).

4 - JUSTIFICATIONS DES OUVRAGES

En règle générale, le conduit MATIERE peut être considéré comme une structure suffisamment souple, transversalement, pour pouvoir mobiliser des réactions de butée partielle de la part des remblais latéraux.

Dans les notes de calcul présentées par l'entreprise, cette interaction sol/structure est modélisée par des appuis élastiques (ressorts indépendants) disposés horizontalement le long des piédroits, et verticalement sous le radier. Cette schématisation de calcul peut être considérée comme acceptable à la condition de bien définir certaines hypothèses de calcul et notamment les caractéristiques de ces appuis.

La raideur des ressorts verticaux sous le radier est déterminée à partir des valeurs mesurées (terrains en place) ou estimées (fondation artificielle) des modules pressiométriques du sol de fondation, en procédant à un calcul de tassement (Cf. FOND 72 pièce 5.2) pour une largeur de fondation égale à celle du radier.

La raideur des ressorts horizontaux est déterminée de la même manière à partir d'une valeur estimée du module pressiométrique des remblais latéraux, en considérant la structure comme une "fondation verticale" appuyée sur toute sa hauteur sur les remblais latéraux.

On mesure donc bien l'importance de l'assurance des qualités requises des remblais et des sols en place pour qu'ils puissent remplir leur rôle dans des conditions de sécurité satisfaisantes.

La valeur des modules pressiométriques des remblais E_p est estimée à partir de la relation $E_p = EV2/3$, EV2 étant la valeur estimée du module de déformation des remblais (module de déformation mesuré à l'essai de chargement statique à la plaque, au deuxième chargement).

Il est indispensable de fixer la valeur de ce module de déformation des remblais EV2 en fonction d'une estimation raisonnable de la valeur qu'il sera possible d'obtenir avec les matériaux dont on peut disposer, plutôt que d'exiger des performances excessives pour satisfaire à des hypothèses de calcul. En tout état de cause, il est recommandé de borner cette valeur à 80 MPa.

Par ailleurs, il convient de souligner que l'incertitude qui affecte la valeur calculée de la raideur des appuis élastiques est importante. C'est la raison pour laquelle les valeurs maximales des modules pressiométriques (pour les terrains en place) et des modules de déformation (remblais rapportés) prises en compte dans les calculs ne doivent en aucun cas excéder la moitié des valeurs mesurées (E_p) ou estimées (EV2) de ces paramètres.

Les calculs présentés par l'entreprise sont des calculs aux Etats Limites (application du règlement B.A.E.L.), dans lesquels l'action pondérale des remblais est prise en compte d'une part par sa composante verticale affectée du coefficient dit de Marston et d'autre part par sa composante horizontale caractérisée par la poussée des terres au repos.

5 - MISE EN OEUVRE DES REMBLAIS

D'une manière générale, les règles de mise en oeuvre des remblais des conduits MATIERE s'apparentent assez étroitement à celles des buses métalliques (exécution à sec, nécessité de procéder à une réception du fond de fouille, remblayage symétrique par couches de faible épaisseur, ...) auxquelles il convient donc de se reporter.

En raison de l'importance des remblais techniques dans la résistance de ces conduits, comme cela a été évoqué précédemment, il est impératif de bien considérer que ces remblais font partie intégrante de l'ouvrage. A ce titre, dans les marchés ils doivent être dissociés des terrassements généraux et faire partie du lot ouvrages d'art comprenant les conduits.

Ce lot doit être attribué à une entreprise compétente, même si celle-ci sous-traite sous sa responsabilité et son contrôle la mise en oeuvre de ces remblais.

Dans tous les cas, les matériaux doivent être mis en oeuvre selon les règles de l'art. Leur état avant mise en oeuvre et les résultats obtenus après compactage doivent être contrôlés. Ces contrôles portent notamment sur la densité sèche, qui doit être au moins égale à 95% de l'O.P.M. et sur le module de déformation mesuré à l'essai de chargement statique qui, rappelons le, doit être au moins égal à la plus grande des deux valeurs suivantes : 40 MPa et 2 EVc (EVc étant la valeur de ce module pris en compte dans les calculs).

Par ailleurs, il est recommandé de contrôler les déformations des conduits durant les principales phases de remblayage.

6 - CONCLUSION

Les conduits MATIERE sont actuellement conçus et calculés en tenant compte de la capacité des remblais à s'opposer aux déformations latérales de l'ouvrage. Toutefois les déformations que peuvent tolérer ces ouvrages sont très faibles, comparées par exemple à celles que peuvent supporter les buses métalliques, de telle sorte que, contrairement à une idée reçue assez répandue semble-t-il, ces conduits sont très sensibles à une insuffisance de qualités des remblais qui les entourent.

Il est donc impératif de respecter certaines règles essentielles relatives à la conception et au calcul des ouvrages, au choix des matériaux de remblai et à leur mise en oeuvre, pour que les conditions dans lesquelles l'interaction sols/structure prise en compte dans les calculs puisse être représentative des conditions réelles de fonctionnement des ouvrages avec des marges de sécurité suffisantes.

On notera par ailleurs deux idées essentielles :

- . Il ne faut pas concevoir un tel type d'ouvrage en pensant compenser une insuffisance de résistance de la structure par des exigences excessives sur les performances des remblais ou en adoptant des dispositions constructives particulières dont l'efficacité est incertaine.
- . Un conduit enterré entouré de ses remblais contigus est un véritable ouvrage d'art et doit être traité comme tel ; il doit faire partie dans le marché du lot ouvrages d'art et être réalisé par une entreprise compétente.

Cette note a été rédigée par:

HAIUN Gilbert et JEAN Pierre-André
Division Ouvrages Types - Fondations et Soutènements
Centre des Techniques d'Ouvrages d'Art
Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes

S.E.T.R.A., 46, avenue Aristide-Briand, 92223 Bagneux - France

Tél.: (1) 42 31 31 31 - Télex 260 763 F

Renseignements Techniques : M. JEAN - CTOA - Tél.: (1) 42 31 32 01

Bureau de vente - Tél.: (1) 42 31 31 53 - 42 31 31 55 - Référence du document : F9036

Ce document a été édité par le SETRA, il ne pourra être utilisé ou reproduit, même partiellement, sans son autorisation.

AVERTISSEMENT:

Cette série de documents est destinée à fournir une information rapide. La contrepartie de cette rapidité est le risque d'erreur et la non exhaustivité. Ce document ne peut engager la responsabilité, ni de son auteur, ni de l'administration.

Les sociétés citées le cas échéant dans cette série le sont à titre d'exemple d'application jugé nécessaire à la bonne compréhension du texte et à sa mise en pratique.