

19



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



11 Numéro de publication: **0 185 041 B1**

12

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

45 Date de publication de fascicule du brevet:
15.01.92

51 Int. Cl.⁵: **E02D 29/02, E02D 17/20**

21 Numéro de dépôt: **85902574.4**

22 Date de dépôt: **06.06.85**

86 Numéro de dépôt internationale :
PCT/FR85/00142

87 Numéro de publication internationale :
WO 86/00354 (16.01.86 86/02)

54 **OUVRAGES DE RETENUE AVEC STRUCTURE EN ELEMENTS MINCES A DOUBLE COURBURE.**

30 Priorité: **26.06.84 FR 8410066**

43 Date de publication de la demande:
25.06.86 Bulletin 86/26

45 Mention de la délivrance du brevet:
15.01.92 Bulletin 92/03

84 Etats contractants désignés:
AT BE CH DE GB IT LI LU NL SE

56 Documents cités:
DE-A- 2 757 465 FR-A- 2 233 857
US-A- 2 453 609 US-A- 2 911 794
US-A- 3 316 721 US-A- 4 211 504
US-A- 4 341 491

73 Titulaire: **CURT, Valerian**
45, av. de Bercy
Candiac, Quebec J5R 4B8(CA)

72 Inventeur: **CURT, Valerian**
45, av. de Bercy
Candiac, Quebec J5R 4B8(CA)

74 Mandataire: **Poidatz, Emmanuel**
Conseil en Brevets d'Invention 96, Boulevard
Maiesherbes
75017 Paris(FR)

EP 0 185 041 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen, toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition (art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

Les ouvrages de retenue, mieux connus sous le nom de MURS DE SOUTÈNEMENT font partie de la catégorie des constructions les plus anciennes réalisées par l'homme.

De temps immémorial, la pierre et le bois ont été utilisés comme matériaux pour retenir le glissement des masses en terre ou pour réaliser la retenue des eaux.

L'antiquité gréco-romaine nous est un témoignage des magnifiques réalisations du genre.

De nos jours, qu'il s'agisse de petits murs de soutènement au bord de la route, de murs de sous-sol de maison ou de grands barrages, les ouvrages de soutènements sont présents partout et les sommes investies dans ce domaine sont de plus en plus considérables.

A notre époque moderne, la diversité des ouvrages de soutènement et des matériaux utilisés est très grande. Généralement, les ouvrages de retenue se réalisent avec l'un ou plusieurs des matériaux suivants : la pierre, le bois, le béton, le métal et bien entendu la terre.

Dans un souci de rationalisation maximale, les conceptions modernes de réalisation des ouvrages de soutènement utilisent de plus en plus les caractéristiques de résistance de la masse à retenir, soit la terre, dans le but de réduire au maximum les éléments structuraux.

Le présent exposé montre un concept nouveau pour la réalisation des ouvrages de retenue, concept qui peut remplacer dans bien des cas les murs de soutènement classiques à meilleur compte.

Pour la compréhension du principe, procédons par analogie.

Imaginons le courant d'une rivière qui transporte des débris ou de la glace pendant la débâcle. Un câble flottant à travers le cours d'eau, accroché par les extrémités sur les deux rives retiendra tous les débris ou la glace (fig.1)

Suite à la poussée horizontale des débris ou des glaces le câble prendra une courbe (1). La forme de cette courbe sera fonction de la longueur du câble par rapport à la distance entre les points de fixation. Le câble sera sollicité à un effort de traction pure.

Les extrémités (2) fixées aux plaques d'ancrage (3) résisteront par le cisaillement du massif en terre. Par contre, si les extrémités (2) étaient sans plaque d'ancrage tout en ayant une longueur suffisante, elles assureraient la stabilité par frottement entre la terre et le câble.

Le câble décrit ci-dessus et représenté sur la figure 1 peut être considéré comme une structure de retenue plane.

Sur la base de ce principe, développons la

troisième dimension. En remplaçant le câble par une membrane mince du type tôle ondulée et les débris ou la glace par du remblai en terre, on réalise un ouvrage de retenue ou de soutènement.

Ainsi le type d'ouvrage proposé peut être classé dans la catégorie des ouvrages avec structure métallique se caractérisant par le fait que la stabilité est assurée par la collaboration entre la masse à retenir et les éléments structuraux.

Un ouvrage de cette catégorie est décrit par exemple dans le brevet US-A-3316721.

L'invention a pour but d'apporter des améliorations à la technique antérieure par des dispositions plus simples et plus performantes. A cet effet, l'invention a pour objet un ouvrage selon la revendication 1 annexée; certaines modalités particulières de mise en oeuvre font l'objet des autres revendications. D'autres caractéristiques et les avantages qui en découlent ressortiront mieux au vu de la description qui suit donnée à titre d'exemple en référence aux figures des dessins annexés.

L'élément de base pour la structure du type d'ouvrage proposé est une membrane mince ondulée (profilée) en plan vertical et courbée en plan horizontal, pour former un élément spatial autostable pendant la construction. On peut réaliser un tel élément à partir d'une tôle ondulée et pliée en forme de "U". Ainsi, nous obtenons un "ÉLÉMENT MINCE À DOUBLE COURBURE" (fig.2).

Un élément DC (fig.2) se caractérise par sa partie centrale courbe (1) et par les deux extrémités droites (2). Les bouts des extrémités droites peuvent être prévus avec ou sans plaques d'ancrage (3).

Les éléments DC définis à la figure 2 et juxtaposés suivant la figure 3 représentent la structure des ouvrages de retenue. Le remblayage par couches successives nous permet de réaliser l'association entre les éléments DC et la terre. C'est ainsi que le type d'ouvrage de retenue proposé est effectué (fig.4).

TECHNOLOGIE

La réalisation des ouvrages est conditionnée par la disponibilité de deux matériaux de base : la terre (le remblai) et les éléments DC.

Le remblai est un matériau local que l'on trouve sur place avec toutes les granulométries, depuis le tout-venant, en passant par le granulaire jusqu'à la terre argileuse. Tout matériau qui peut produire un grand frottement sur les éléments DC convient; celui qui dispose d'une résistance élevée au cisaillement convient également ainsi que tout matériau qui permet d'éviter la possibilité d'un développement de pressions interstitielles à l'intérieur de l'ouvrage. Ceci écarte à priori l'utilisation des sols avec un grand pourcentage d'argile ou carrément

les argiles. Le remblai doit être exempt de matières organiques et doit répondre à certaines conditions électrochimiques vis-à-vis de la corrosion des éléments DC. Généralement, le remblai doit être chimiquement stable.

* Dans ce qui suivra l'ELEMENT MINCE A DOUBLE COURBURE sera identifié par l'abréviation : élément (s) DC.

Comme principe de base, on peut dire que les matériaux qui satisfont les conditions pour un remblai routier peuvent convenir. Lorsque le remblai est différent au sens défini ci-dessus, ainsi que pour les ouvrages d'une certaine importance, les essais de laboratoire sont nécessaires.

L'élément structural principal de l'ouvrage, l'élément DC (fig.2 et 3) doit être fabriqué en usine à partir de matériaux qui ont une grande résistance en traction et d'autres caractéristiques préétablies par les conditions architecturales, d'environnement, de la destination de l'ouvrage et bien entendu de la qualité du remblai.

Les éléments DC peuvent être avec ou sans plaques d'ancrage. Les choix de la géométrie et de l'épaisseur des éléments DC résultent du calcul de la stabilité locale et de la stabilité d'ensemble, de manière à minimiser le coût de la réalisation de l'ouvrage. Les caractéristiques géométriques ainsi que l'épaisseur des éléments DC peuvent varier sur la hauteur de l'ouvrage.

La durabilité des ouvrages dépend essentiellement de la résistance des éléments structuraux au phénomène de la corrosion. La vitesse de la corrosion des éléments DC est liée à la nature des matériaux enterrés et aux caractéristiques des sols.

Le choix des matériaux pour les éléments DC, ou pour leur protection, doit se faire en fonction du PH de l'eau interstitielle et de la résistivité du matériau de remblai. On peut considérer à priori que les matériaux granulaires non argileux, tel que définis pour les routes, sont compatibles avec tous les matériaux pour les éléments DC. Dans certains cas, pour empêcher le phénomène de corrosion, les éléments DC peuvent être protégés par l'application de couches de peinture à base de bitume, époxy, etc... à condition de s'assurer d'un ancrage suffisant.

Les principaux matériaux envisagés pour la fabrication des éléments DC sont : l'acier galvanisé ou non, l'acier inoxydable, l'acier cor-ten, les alliages d'aluminium, les matériaux plastiques, les matériaux composites, treillis en acier ou plastiques.

En fonction de possibilités de transport et de montage, les éléments DC peuvent se présenter en une seule unité ou à plusieurs composantes, multiplaques assemblées sur place par boulonnage (fig. 5 et 6). L'assemblage peut être réalisé étanche ou non.

On peut conclure que les éléments DC, utilisés

comme structure de l'ouvrage proposé, se caractérisent par leur sollicitation en traction pure, un ancrage développé grâce au frottement (cisaillement) avec le remblai, ainsi qu'une bonne durabilité.

Un élément DC peut être réalisé d'une seule qualité de matériau ou de plusieurs à condition d'avoir une compatibilité électrochimique entre les composantes.

Les éléments DC peuvent être les seuls éléments structuraux de l'ouvrage où ils peuvent être associés à des armatures horizontales réalisées avec des treillis métalliques, des membranes textiles, etc...

Dans certains cas de fortes sollicitations, l'utilisation des éléments DC, renforcés avec armatures ou câbles, peut être envisagée.

Les plaques d'ancrage (3) peuvent être métalliques ou en béton préfabriqué.

Les ouvrages réalisés avec éléments DC (fig.4) se prêtent bien à recevoir sur le parement un revêtement en éléments de béton préfabriqué, en briques et surtout en béton projeté.

Sur les versants rocheux, dans le but de réduire le volume d'excavation, les éléments DC peuvent être utilisés en association avec des ancrages boulonnés dans le massif du roc.

Les éléments DC sont autostables pendant la construction et déformables après la réalisation de l'ouvrage étant capables de suivre les déformations du terrain de fondation.

Généralement, la surface de fondation doit être horizontale. Dans des cas bien déterminés, elle peut être inclinée et même sous le niveau de l'eau.

Le remblai d'un ouvrage réalisé avec éléments DC doit être exécuté comme un remblai routier, par couches successives plus ou moins épaisses. Le compactage doit se réaliser avec des engins appropriés; cependant, il n'est pas nécessaire pour la bonne tenue de l'ouvrage. Le compactage sert à limiter les tassements et les déformations en fonction de la destination de l'ouvrage.

DIMENSIONNEMENT

Pour la réalisation des ouvrages de retenue avec des éléments DC, comme pour tout ouvrage du genre, il s'agit de résoudre : la stabilité d'ensemble et la stabilité interne.

Dans le premier cas (tassement, poinçonnement du sol de fondation, glissement, renversement, etc...) on se trouve devant les problèmes classiques de la mécanique des sols et il faudra s'y référer.

Dans le deuxième cas, il s'agit de s'assurer de la bonne tenue des éléments à double courbure et de leur bonne collaboration avec le remblai.

Les éléments DC peuvent être mis hors d'usa-

ge par cassure ou déchirure causée par un trop grand effort de tractation dans le parement (1), ou par l'arrachement de la partie encastrée dans le massif en terre (2).

Caractéristiques géométriques

Caractéristiques géométriques de l'élément DC (fig.7) ainsi que les éléments essentiels pour le dimensionnement de l'ouvrage (fig.8) sont :

- H la hauteur de l'élément DC
- B la largeur de l'élément DC
- L la longueur du plan d'encastrement
- b la profondeur du parement

PAREMENT

la partie centrale courbe 1 de l'élément DC définie par B, b et H,

PLAN D'ENCASTREMENT

les extrémités 2 de l'élément DC définies par L et H,

PLAN DE REFERENCE

la plan vertical, y o z 4

PLAN DE GLISSEMENT

défini sur la figure 8 courbe 5 ou plan 6 selon le cas où e est l'angle de frottement interne,

ZONE ACTIVE

la partie de l'ouvrage qui a la tendance à disloquer suivant la surface de glissement 7,

ZONE PASSIVE OU RESISTANTE

la zone stable du massif où se réalise la transmission des sollicitations à la terre par frottement ou cisaillement 8

Poussée des terres

Les théories de la poussée des terres sont largement traitées dans la littérature de spécialité à laquelle il faut se référer.

Pour le présent exposé, les hypothèses suivantes sont prises en considération : surface de glissement plane (Coulomb), poussée des terres appliquée sur le plan de référence, frottement entre le remblai et les éléments DC égal à l'angle de frottement interne.

La poussée des terres, verticale ou horizontale est constante sur un plan horizontal, mais variable linéairement avec la profondeur (fig.9).

Suivant le cas, d'autres hypothèses de calcul peuvent être prises en considération.

Contraintes unitaires

Pour déterminer l'état des contraintes unitaires à l'intérieur du massif, nous allons prendre en considération, en particulier sur le plan de référence (le plan vertical y o z) un point quelconque M (o y z) déterminé par l'intersection des droites M' M'' et M1 M2 parallèles aux axes (fig.9). Les droites M'

M'' et M1 M2 peuvent être considérées en même temps comme l'intersection d'un plan horizontal respectivement vertical avec le plan de référence.

Ainsi au point M les contraintes unitaires normales sont : la contrainte verticale, égale au poids propre de la terre au-dessus du point considéré

1 $\sigma_z = \gamma Z$ la contrainte horizontale normale au plan de référence représentant la poussée des terres sur le parement 2

$\sigma_x = K_x \gamma Z$ la contrainte horizontale normale au plan d'encastrement peut être appelée contrainte d'étau ou de serrage

3 $\sigma_y = K_y \gamma Z$ ou 4 $K_x = K_y = K$ sont les coefficients de poussée active et où γ est le poids spécifique du remblai, ce qui nous permet d'écrire

5) $\sigma_x = \sigma_y = K \gamma Z = p_z$

En pratique, pour le dimensionnement, la poussée horizontale P_z est considérée constante sur la hauteur ΔH , tel que montré sur la figure 10.

Les contraintes dans la structure en éléments DC seront déterminées comme il suit.

Dans une première étape, nous allons prendre en considération à la profondeur Z les sollicitations horizontales perpendiculaires au plan de référence et sur la largeur B de l'élément DC (fig.11). Les sollicitations horizontales $\sigma_x = p_z$ sont appliqués selon M' M'' et l'épaisseur élémentaire dz sera égale à ΔH , tel que défini sur les figures 9, 10 et 11.

Le parement semi-circulaire adopté sur la figure 11 peut être assimilé à une coque cylindrique où le plan de référence se confond avec le diamètre.

L'épaisseur du parement d'un élément DC étant faible comparativement au rayon de courbure, on peut obtenir les contraintes avec une précision suffisante en négligeant la flexion de la paroi, c'est-à-dire en supposant que les contraintes de traction dans les parois sont uniformément réparties suivant l'épaisseur. La grandeur des contraintes peut se calculer alors aisément à partir des relations de LAPLACE dans la théorie de membrane.

A la profondeur Z pour un élément de hauteur ΔH l'effort de traction dans le parement est : 6)-

$$T_z = \frac{1}{2} P_z B \Delta H$$

Dans une deuxième étape, sera analysé l'état de contraintes sur le plan d'encastrement dans la zone résistante, représentée par le point N de la figure 11.

Normalement, l'angle de frottement ρ' entre le remblai et les éléments DC doit être près de la valeur de l'angle de frottement interne ρ : 7) $\phi' \leq \phi$

Ainsi, pour éviter le glissement et assurer l'encastrement on peut soit concevoir les surfaces concernées des éléments DC. En conséquence, soit prévoir des plaques d'ancrage (fig.2) donc $\phi \approx \phi$

De ce fait, le plan de glissement peut être assimilé au plan de cisaillement (10) (fig. 12) 8)-

$$f = \tan \phi' = g \phi$$

Pour les contraintes tangentielles τ , la loi linéaire de Coulomb a été prise en considération, ainsi : pour les matériaux sans cohésion, terrain pulvérulent sec 9) $\tau = \sigma_y \tan \phi$ pour les matériaux avec cohésion, terrain cohérent 10) $\tau = \sigma_y \tan \phi + c$

Remarque : les remblais en granulaire n'ont pas de cohésion ou elle est très faible et incertaine; par contre, la cohésion peut être créée artificiellement.

Le plan d'encastrement, étant une prolongation du parement doit être capable de transmettre les sollicitations à la masse du remblai par frottement ou par cisaillement. A chaque point de contact de la partie en encastrement avec la terre, on doit s'assurer que le frottement (cisaillement) existe réellement sans glissement. Il doit satisfaire la relation 11)

$$f = \tan \phi \geq \frac{\tau}{\sigma_y}$$

ou éventuellement 12)

$$f = \tan \phi \geq \frac{\tau - c}{\sigma_y}$$

En introduisant le coefficient de sécurité à l'arrachement l'inégalité 11) devient : 13)

$$f \geq \eta_0 \frac{\tau}{\sigma_y}$$

Revenant à la relation 6) et à la figure 11, l'effort de traction du parement T_z est transmis au plan d'encastrement. Pour préserver l'équilibre T_z doit être annulé par la somme des contraintes tangentielles τ . Pour y parvenir le point N (fig. 11) sera isolé sur une surface élémentaire de dimensions dl et ΔH , tel que montré sur la figure 13.

La condition d'équilibre de l'éléments nous permet d'exprimer la valeur de la contrainte tangentielle en fonction de T_z 14)

$$\tau = \frac{1}{\Delta H} \cdot \frac{dT_z}{dl}$$

Tenant compte du principe que les contraintes sur un plan horizontal à la profondeur Z sont constantes (fig.9) et des relations 5) et 13) on peut intégrer l'équation 14) comme suit : 15)

$$\eta_0 T_z = f \rho_z \Delta H \int dl = f \rho_z \Delta H l$$

Ceci nous permet d'obtenir la longueur d'encastrement dans la zone résistante ou passive : 16)

$$l = \frac{\eta_0 T_z}{f \rho_z \Delta H}$$

Dimensions de l'élément DC.

Parement : nous avons déterminé auparavant l'effort de traction dans le parement de circulaire (fig. 11). Tenant compte de la relation 6, on peut écrire : 17) $T_z = \sigma_a t_e \Delta H$ où

σ_a = la contrainte admissible du matériau de de l'élément DC

t_e = l'épaisseur équivalente du parement

Pour obtenir l'épaisseur effective il faudra tenir compte de l'ondulation de l'élément DC (fig. 14).

18) $t_e = \mu t$ avec le coefficient $\mu > 1$

Ainsi l'épaisseur effective t de l'élément DC sera obtenue à partir de l'équation 17) tenant compte des relations 5), 6), et 18). A la profondeur Z 19)

$$\rightarrow t_z = \frac{\gamma K}{2 \mu \sigma_a} B z$$

A la base de l'ouvrage pour $Z = H$ 20)

$$\rightarrow t_H = \frac{\gamma K}{2 \mu \sigma_a} B H$$

Selon les formules 19) et 20) pour une largeur préétablie, l'épaisseur théorique de résistance variera de zéro au sommet de l'ouvrage à sa valeur maximale à la base. En pratique, on ne peut pas avoir une épaisseur variable par rapport à la hauteur, une épaisseur unique correspondant à l'équation 20 sera employée pour toute la hauteur, ou parfois, il pourra être économique de faire varier l'épaisseur par tronçon de hauteur.

Généralement, pour les applications pratiques la hauteur de l'ouvrage H est une donnée de base, par contre la largeur B des éléments DC est à la discrétion du concepteur. Selon l'équation 20) on aura intérêt de choisir B le plus petit possible. Cependant B a une limite optimale déterminée par la longueur du plan d'encastrement. Pour son choix, il faudra tenir compte des possibilités de production, de transport et surtout de mise en

oeuvre et de réalisation de l'ouvrage.

Pour 21) $\beta = \frac{B}{H}$ on peut écrire 22)

$$t = \beta \frac{\gamma K}{2 \mu \sigma_a} H^2$$

Avec diverses valeurs du B on peut tracer des abaques pour t en fonction du H.

Plan d'encastrement.

Comme montré auparavant, le plan d'encastrement est une prolongation logique du parement. L'effort développé dans le parement sera transmis au massif en terre par le plan d'encastrement. Mécaniquement, le plan d'encastrement doit être capable d'une part de reprendre la totalité de l'effort de traction transmis par le parement et, d'autre part, de transmettre sans désordre les sollicitations au massif en terre par frottement ou par cisaillement.

Le plan d'encastrement doit assurer par sa longueur, la stabilité de l'ensemble de l'ouvrage : à l'arrachement, au renversement, au glissement.

a) Condition de non arrachement. L'état des contraintes entre la masse en terre et le plan d'encastrement a été montré auparavant. Pour déterminer la longueur totale de résistance à l'arrachement La il faudra suivre le cheminement de la figure 15.

L'étendue de la zone active a sera déterminée géométriquement : 23)

$$a = (H - z) \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right)$$

a est fonction de z et varie de zéro à la base à sa valeur maximale au sommet 24)

$$a_{\max} = H \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right)$$

La longueur d'encastrement L dans la zone passive ou résistante a été établie auparavant avec la formule 10) à laquelle il faut se référer. Si dans l'équation 10 on remplace la valeur de l'effort Tz par sa valeur donnée par 0 la longueur L a la base de l'ouvrage devient la longueur maximale La du plan d'encastrement pour résister à l'arrachement ainsi : 25)

$$L_a = \frac{\eta_a B}{2} \operatorname{ctg} \varphi > H \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) < L$$

Le coefficient de sécurité à l'arrachement η_a

peut être différent sur la hauteur de l'ouvrage si cela est justifié.

Pour réduire la longueur du plan d'encastrement il faudra choisir les matériaux du remblai avec un angle de frottement interne élevé ou employer des nappes d'armature dans le remblai.

b) Condition de non renversement. Dans le cas des murs de soutènement classiques en béton armé ou non, il est absolument nécessaire de vérifier le renversement du mur sous l'influence du moment dû à la force de poussée des remblais ou de l'eau.

Si le renversement pour les murs en béton est un phénomène très important, dans les ouvrages avec éléments DC, ce type de rupture est très improbable.

Le phénomène de renversement pour les ouvrages avec les éléments DC peut se produire par le déversement de la partie supérieure de l'ouvrage lorsque la longueur du plan d'encastrement est insuffisante.

En supposant la formation de voûtes en plan horizontal, entre les plans d'encastrement, la masse du massif sera mobilisée pour empêcher le phénomène de renversement.

Avec un coefficient de sécurité au renversement η_r préétabli, la longueur du plan d'encastrement Lr pour assurer la stabilité au renversement sera : 26)

$$L_r = H \sqrt{\frac{1}{3} K \eta_r} < L$$

c) Condition de non glissement. La philosophie à suivre est la même que pour le renversement.

Supposant la formation de voûtes en plan horizontal, entre les plans d'encastrement la longueur de ceux-ci doit être suffisante pour empêcher le glissement sur la base.

Avec un coefficient de sécurité au glissement η_g préétabli, la longueur du plan d'encastrement Lg pour assurer la stabilité au glissement sera : 27)

$$L_g = \frac{\eta_g}{2} K H \operatorname{ctg} \varphi < L$$

Sécurité

Pour assurer la stabilité interne on doit vérifier, d'une part que les contraintes maximales de traction sont compatibles avec la résistance à la traction des éléments DC et d'autre part que la surface encastree dans la zone passive ou résistante, est suffisante pour permettre l'équilibre entre les forces de frottement ou cisaillement et les tractions maxi-

males correspondantes, et cela d'une manière sécuritaire.

Les coefficients de sécurité pour les éléments DC travaillant en traction ainsi que pour leur encastrement seront établis en fonction de : la nature des matériaux pour les éléments DC (matériaux plus ou moins cassants), la nature des matériaux de remblayage (la certitude d'un coefficient de frottement minimum, le type d'ouvrage (permanent ou provisoire), le risque (l'ampleur des dégâts en cas de destruction) , le risque de corrosion.

Les coefficients de sécurité pour la stabilité d'ensemble seront déterminés à partir du : type de l'ouvrage (permanent ou provisoire), risque (l'ampleur de dégâts en cas de destruction).

Généralement, ils ne peuvent pas être inférieurs à 1.5 pour la stabilité au renversement et glissement et 2 pour le poinçonnement de la fondation.

Analyse d'un ouvrage de retenue.

Un ouvrage de retenue réalisé à l'aide d'éléments DC juxtaposés, de hauteur variable de 0 à 30 mètres et de longueur quelconque a été analysé en détails et représenté sur les abaques de la figure 18 à la figure 23.

Les éléments DC sont constitués de tôles ondulées ou profilées recouvertes d'une protection contre la corrosion (par galvanisation ou tout autre moyen éprouvé).

Pour les dimensions plus grandes, ils sont en plusieurs plaques assemblées par boulonnage.

Dans le présent exemple, le parement sera constitué d'éléments DC semi-circulaires, réalisés en acier doux avec une résistance admissible d'environ 150 MPa.

Le remblayage est prévu en granulaire équivalent à ceux agréés pour les routes. Pour le présent exemple, les valeurs suivantes ont été adoptées : le poids spécifique du remblai de 18 kN/m³, le coefficient de poussée active de 0,25, 0,33 ou 0,45 selon le cas.

L'épaisseur effective "t" de l'élément DC est déterminée par les conditions de résistance, étant directement proportionnelle à la largeur "B" et la hauteur "H" de l'élément DC. On peut suivre la variation de l'épaisseur "t" sur la fig.18,19,20

La longueur du plan d'encastrement "L" est généralement déterminée par la condition de non arrachement.

Dans les divers calculs a été introduite la notion d'épaisseur spécifique "e" qui représente l'épaisseur de l'ensemble de l'élément DC rapportée à la longueur du front rectiligne de l'ouvrage, ainsi : e0 l'épaisseur nette sans surépaisseur pour la corrosion, e1 l'épaisseur nette plus une surépaisseur de 0,5 mm pour chaque face, e2 l'épaisseur nette plus une surépaisseur de 1.0 mm pour cha-

que face.

Les abaques des fig. 21,22,23 représentent la variation du "e0" et "e2" en fonction de la hauteur pour divers rapports entre "B" et "H" et divers coefficients de la poussée des terres. On peut constater que la valeur la plus économique pour "e2" correspond à un rapport de "B" sur "H" égal ou inférieur à 05 Remarques :

a) l'épaisseur des éléments DC est déterminée pour la sollicitation maximale soit à la base de l'ouvrage et est maintenue constante sur toute la hauteur. Pour les ouvrages d'une certaine importance, il peut s'avérer rentable de faire varier l'épaisseur.

b) une surépaisseur comme protection vis-à-vis de la corrosion doit être prise en considération. Elle est de 0,5 mm ou de 1 mm pour chaque face en fonction de l'agressivité du milieu et de l'espérance de vie attendue de l'ouvrage.

c) pour les ouvrages de peu d'importance, le plan d'encastrement est réalisé par la juxtaposition des divers éléments DC et aucun boulonnage n'est requis. Par contre, pour les autres ouvrages les éléments DC multiplaques se raccordent sur une seule feuille d'encastrement d'épaisseur appropriée.

d) dans les divers cas considérés, le remblai est supposé horizontal à la partie supérieure et la fondation de l'ouvrage est considérée horizontale et stable. Le coefficient de poussée active du remblai est pris égal à 0,33 mais les valeurs extrêmes de 0,25 et 0,45 ont également été considérées.

DOMAINES D'UTILISATION

Les types d'ouvrages proposés d'après leur nature sont des ouvrages de retenue ou de soutènement.

Le parement des ouvrages tenant compte des possibilités de revêtement, peut prendre la forme et la couleur désirée. En hauteur, le parement peut être vertical, incliné ou en terrasse.

La géométrie du parement et la gamme des couleurs sont pratiquement sans limite et peuvent satisfaire les plus exigeantes normes architecturales et d'environnement.

Les ouvrages avec structure en éléments DC peuvent être érigés comme ouvrages de retenue étanches ou non, provisoires ou définitifs.

Par la capacité de déformation des éléments DC, les ouvrages peuvent suivre sans difficulté les mouvements du terrain de fondation. La réalisation des ouvrages provisoires devient très intéressante, par la rapidité de l'exécution, par la facilité de démolition et la récupération totale des éléments DC.

Le type d'ouvrage proposé est très flexible aux

aménagements paysagés en terrasses pour habitation ou pour agriculture.

Les ouvrages de retenue avec structure en éléments DC 5 peuvent recevoir des surcharges très importantes et se prêtent à la réalisation de murs de soutènement pour les voies de communication, culées de ponts, etc....

La possibilité de rendre les éléments DC étanches facilite la réalisation des ouvrages imperméables, comme les digues ou les réservoirs.

Avec le type d'ouvrage proposé, la réalisation des digues de protection contre les inondations peut s'avérer une application extrêmement importante tenant compte de la rapidité d'exécution. Les digues de faible hauteur peuvent être exécutées avec un remblai tout-venant.

Dans le domaine industriel, la masse à retenir peut ne pas être la terre, mais bien des produits minéraux, industriels ou végétaux, dans le but d'augmenter considérablement les stockages.

Quelques applications :

Aménagement de terrasses

Il s'agit de l'aménagement en terrasse sur les pentes accidentées. Ces aménagements permettent le développement urbain de loisir, pour l'agriculture, voies de communications, etc ... (fig.17). Les terres sont retenues à l'aide d'une structure réalisée avec des éléments DC en tôle d'acier galvanisé ou autre, juxtaposés ou en multi-plaques. Le parement est constitué d'éléments semi-circulaires, elliptiques, etc.. avec ou sans raccordement convexe.

Il est à noter que les éléments standards ont leurs deux plans d'encastrement parallèles. Cependant, comme les éléments DC ont une faible rigidité, ils peuvent être déformés de manière à rendre les deux plans d'encastrement divergents ou convergents. Cette caractéristique permet les changements de direction du parement à souhait.

Voies de communication

Les voies de communication entraînent des travaux de terrassement grandioses qui amènent la nécessité de divers éléments de soutènement. Ces derniers peuvent être constitués à l'aide de structures en éléments DC. Cela peut aller du mur de soutènement à la culée d'ouvrages d'art.

Dans les zones urbaines ou touristiques le parement peut recevoir un revêtement en béton projeté ou un placage en éléments décoratifs de béton préfabriqué.

Les routes sur des pentes très raides peuvent être réalisées avec un minimum d'excavations. Les plans d'encastrement peuvent être complétés à

l'aide d'ancrage dans le massif rocheux. L'excavation dans le terrain non rocheux est minimisée car on se contente de réaliser quelques saignées pour les plans d'encastrement.

5 Dans les zones à sécurité maximale, les éléments DC à double parement présentent des alvéoles déformables qui peuvent absorber le choc des véhicules en cas d'accident.

10 Les parapets réalisés avec les éléments DC sont sécuritaires étant donné leur grande souplesse tout en étant assez lourds.

Iles - plate-formes off shore

15 Sur un plan d'eau on peut réaliser des îles ou presqu'îles artificielles pour fin de récréation, contrôle des glaces, industriels, etc... L'exécution peut se réaliser à sec ou sous le niveau d'eau.

20 Une plate-forme off-shore est une île artificielle réalisée en eau peu profonde pour explorations. Une combinaison des pieux-métalliques courts et éléments DC peut se réaliser. Le remblayage peut se faire par dragage.

25 Bassins - réservoirs

Un réservoir creusé en pleine terre peut être réalisé à l'aide d'éléments DC. Afin de minimiser les travaux, les déblais sont à déposer autour de l'excavation; ainsi, le réservoir créé est en partie surélevé par rapport au terrain naturel

30 Les éléments DC dont les parements sont demi-circulaires, elliptiques ou autres, leurs assemblages sont réalisés de manière étanche. Quand les parements sont prévus avec des raccords, ceux-ci peuvent être les mêmes que les premiers d'ailleurs. Le parement ainsi réalisé a une allure de continuité plus esthétique. Les noeuds "plan d'encastrement-raccordement" peuvent être préassemblés soit en usine, soit sur un chantier. Une fois, ces noeuds glissés en place, la partie centrale du parement peut être fixée.

35 Le fond des réservoirs est constitué d'une couche imperméable complétée si nécessaire par une membrane synthétique. Un treillis fixé sur les divers éléments d'assemblage permet la réalisation d'un revêtement en béton projeté. Ce dernier peut être lisse ou recouvert de toute autre finition telle que céramique.

40 La gamme des bassins peut être d'une grande variété et peut servir pour des fins municipales, industrielles ou agricoles.

Réservoirs - tanks

55 Une structure DC avec ses éléments assemblés d'une manière étanche, disposée selon un contour fermé de forme circulaire, rectangulaire ou

polygonale de telle manière pour emmagasiner un volume liquide, nous permet de réaliser des réservoirs de grande capacité. Le tout étant muni d'une toiture adéquate.

Les structures DC par leur conception nous permettent de réaliser des réservoirs tanks enterrés. Même quand ils sont partiellement en surface, la masse de la terre autour du réservoir est assez importante qu'on peut considérer qu'ils sont enterrés. De ce fait, ce type de réservoir offre une très grande sécurité d'exploitation, éliminant complètement la cuvette de sécurité et les inconvénients qui découlent.

Les réservoirs réalisés avec structures DC peuvent être érigés sur un terrain de fondation déformable. Ces déformations n'affectent pas la partie verticale, le fond et les parois flexibles doivent être compatibles avec les toitures rigides.

Pour prévenir la corrosion et préserver les conditions d'hygiène (pour les produits comestibles) la structure verticale le fond ainsi que l'intrados de la toiture doivent être compatibles avec le liquide emmagasiné et les vapeurs qui se dégagent.

Les réservoirs tanks DC peuvent servir pour emmagasiner : produits pétroliers et leurs dérivés, produits chimiques, eau potable et divers.

La toiture de réservoirs tanks DC sera de type classique rigide ou flexible, apparente, flottante ou couverte de la terre. Elle sera appuyée ou ancrée sur une ceinture en béton armé réalisée à la partie supérieure de la structure DC (la paroi).

Pour les réservoirs-tanks de grande capacité une tour centrale d'appui pour la toiture est recommandable. Des appuis intermédiaires peuvent être envisagés.

La structure de la toiture peut être en : béton préfabriqué précontraint, caissons métalliques, dômes, structure sur câbles, structure gonfable, structure flottante.

Aménagements hydro

Les structures en éléments DC par le fait qu'on peut réaliser des écrans étanches se prêtent favorablement à la réalisation des travaux de réparation (réfection), réhaussement, surélargissement de digues et barrages. La conception des nouveaux ouvrages de retenue (digue, barrages, évacuateurs) est possible et peut s'avérer très économique.

On peut constater que le volume de matériaux peut être réduit substantiellement. Si la circulation sur le couronnement est importante on peut réaliser de larges voies de circulation sans augmentation notable du remblai. Sur une fondation perméable on peut prolonger l'écran d'échantéité, en profondeur à l'aide d'une tranchée de boue. Les struc-

tures en éléments DC ne craignent pas les tassements. Le remblayage est très simple et rapide d'exécution par rapport à un ouvrage zoné. Un ouvrage déverseur peut être réalisé sans problèmes pour la stabilité de l'ensemble de l'ouvrage.

Déversoirs ou évacuateurs de crues peuvent être réalisés pour des aménagements hydro de moindre importance servant d'accumulation pour des fins d'irrigation ou l'implantation de microcentrales hydroélectriques.

La possibilité de réalisation d'élargissement des ouvrages (digue et barrages) classiques à l'endroit d'autres structures permet des économies importantes sur le volume de remblai et sur le volume des ouvrages de soutènement du remblai côté central ou évacuateur de crues. La réalisation des canaux avec éléments DC étanches pour les parties latérales, mariée avec une membrane étanche pour le fond peut être extrêmement intéressante pour certaines applications, notamment pour la traversée des régions désertiques.

Divers : une multitude d'autres travaux peut se réaliser avec les structures DC en agriculture, travaux d'environnement (érosion du sol, inondations, protection de rives), constructions domiciliaires et de loisir, aménagement des quais et ports, etc...

Revendications

1. Ouvrage de type mur de soutènement d'une masse substantiellement solide comprenant au moins un élément structural constitué d'une membrane mince courbée en plan horizontal en forme de "U" présentant une partie courbe (1) et deux parties droites (2), la partie courbe du "U", sollicitée en traction, constituant par sa face externe le parement de l'ouvrage, et les parties droites du "U" constituant des encastres transmettant par réaction de frottement la traction du parement dans la masse à retenir, caractérisé en ce que lesdites parties courbe (1) et droites (2) de la membrane sont ondulées en section verticale, constituant ainsi un élément structural à double courbure.
2. Ouvrage selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend des plaques d'ancrage (3) agencées à l'extrémité des parties droites (2) de l'élément structural de façon à constituer des encastres transmettant par réaction de frottement-cisaillement la traction du parement dans la masse à retenir.
3. Ouvrage selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce qu'il comporte une pluralité d'éléments structuraux en "U" disposés côte à côte, un remblayage par couches successives

étant effectué à l'intérieur des "U" pour réaliser une association desdits éléments à la masse à retenir.

4. Ouvrage selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend des éléments de raccordement de même type que lesdits éléments structuraux et disposés en position convexe de façon à constituer un parement présentant une allure de continuité sinusoïdale. 5
10
5. Ouvrage selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce qu'il comporte une pluralité d'éléments structuraux juxtaposés au droit de leurs parties droites (2) respectives, chaque élément structural étant formé à partir d'une membrane d'un seul tenant. 15
6. Ouvrage selon l'une des revendications 1 à 4, comportant une mise en oeuvre d'éléments structuraux de grandes dimensions, caractérisé en ce qu'il comporte une pluralité d'éléments structuraux juxtaposés, lesdits éléments étant constitués par assemblage sur chantier de plusieurs composants, la partie d'encastrement (2) étant réalisée en une seule feuille d'épaisseur appropriée. 20
25
7. Ouvrage selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que les éléments structuraux à double courbure en forme de "U" sont constitués d'un ou plusieurs des matériaux suivants: métal, matière plastique, textile synthétique, fibre de verre, matériau composite, treillis métallique ou plastique, béton armé ou précontraint, avec protection adéquate contre la corrosion. 30
35
8. Ouvrage selon une des revendications 2 à 7 caractérisé en ce que les éléments structuraux sont assemblés entre eux par des moyens mécaniques (soudage, boulonnage, rivetage), ou simplement juxtaposés, auquel cas la transmission des contraintes se réalise uniquement par frottement. 40
45
9. Ouvrage selon une des revendications précédentes caractérisé en ce qu'il comporte des ancrages boulonnés, des pieux, ou des palplanches, associés auxdits éléments structuraux. 50
10. Ouvrage selon une des revendications précédentes, caractérisé en ce que lesdits éléments structuraux sont mis en oeuvre avec leur parement incliné ou en terrasse sur une surface de fondation horizontale ou inclinée. 55

11. Utilisation de l'ouvrage selon une des revendications précédentes pour la réalisation des aménagements de terrasses, voies de communication, îles, presqu'îles, plates-formes offshore, bassins, réservoirs, aménagements hydrauliques, quais, ports, parcs de matières, en association ou non avec d'autres techniques de construction.

Claims

1. Work of the wall type for retaining a substantially solid mass, comprising at least one structural element constituted by a thin membrane curved in the horizontal plane into a "U" shape having a curved part (1) and two straight parts (2), the curved part of the "U", subjected to tensile stress, forming by its outer surface the facing of the work, and the straight parts of the "U" forming embedding parts transmitting by frictional reaction the tension of the facing into the mass to be retained, characterised in that the said curved (1) and straight (2) parts of the membrane are corrugated in the vertical cross-section, thus forming a structural element with double curvature.
2. Work according to Claim 1, characterised in that it comprises anchoring plates (3) arranged at the end of the straight parts (2) of the structural element so as to form embedding parts transmitting by frictional-shearing reaction the tension of the facing into the mass to be retained.
3. Work according to Claim 1 or 2, characterised in that it comprises a plurality of "U"-shaped structural elements arranged side by side, a filling by successive layers being carried out inside the "U"s in order to produce an association of the said elements with the mass to be retained.
4. Work according to one of the preceding claims, characterised in that it comprises connecting elements of the same type as the said structural elements and arranged in a convex position so as to form a facing having a continuously sinusoidal shape.
5. Work according to one of the preceding claims, characterised in that it comprises a plurality of structural elements juxtaposed at right angles to their respective straight parts (2), each structural element being formed from a membrane in a single piece.
6. Work according to one of Claims 1 to 4, com-

prising an installation of structural elements of large dimensions, characterised in that it comprises a plurality of juxtaposed structural elements, the said elements being constituted by on-site assembly of several components, the embedding part (2) being made from a single sheet of appropriate thickness.

7. Work according to one of the preceding claims, characterised in that the "U"-shaped structural elements with double curvature are constituted by one or more of the following materials: metal, plastic, synthetic textile, fibre glass, composite material, metal or plastic mesh, reinforced or prestressed concrete, with adequate protection against corrosion. 5 10
8. Work according to one of Claims 2 to 7, characterised in that the structural elements are assembled together by mechanical means (welding, bolting, rivetting) or are simply juxtaposed, in which case the transmission of the stresses is achieved solely by friction. 15 20
9. Work according to one of the preceding claims, characterised in that it comprises bolted anchorages, piles, or sheet piling, associated with the said structural elements. 25
10. Work according to one of the preceding claims, characterised in that the said structural elements are installed with their facing inclined or terraced on a horizontal or inclined foundation surface. 30 35
11. Use of the work according to one of the preceding claims for the construction of terracing, highways, islands, peninsulas, offshore platforms, artificial lakes, reservoirs, hydraulic installations, wharfs, ports, storage facilities for materials, in association with other methods of construction or otherwise. 40

Patentansprüche

1. Bauwerk nach Art einer Stützmauer aus im wesentlichen fester Masse, welches wenigstens ein Strukturelement bestehend aus einer dünnen, in horizontaler Richtung in Form eines "U" gebogenen Membran umfaßt, welches "U" einen gebogenen Teil (1) und zwei gerade Teile (2) aufweist, wobei der gekrümmte Teil des "U" auf Zug belastet ist und mit seiner Außenfläche die Verkleidung des Bauwerks bildet und wobei die geraden Teile des "U" Einbauten darstellen, welche durch Reibung die Traktion der Verkleidung in die zurückzuhaltende Masse übertragen, dadurch gekenn- 45 50 55

zeichnet, daß der gebogene Teil (1) und die geraden Teile (2) der Membran in vertikaler Richtung gewellt sind und derart ein Strukturelement mit doppelter Krümmung bilden.

2. Bauwerk nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß es Verankerungsplatten (3) umfaßt, welche so zu dem Ende der geraden Teile (2) des Strukturelementes angeordnet sind, daß Einbauten entstehen, welche durch Reibungs-Scherkräfte die Traktion der Einbauten in die zurückzuhaltende Masse übertragen. 10
3. Bauwerk nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß es eine Mehrzahl von Seite an Seite angeordneten "U"-förmigen Elementen enthält, bei welchen durch aufeinanderfolgende Schichten im Inneren des "U" eine Hinterfüllung erzielbar ist, um eine Verbindung der Elemente mit der zurückzuhaltenden Masse zu erreichen. 15
4. Bauwerk nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es Verbindungselemente desselben Typs wie die Strukturelemente umfaßt und daß sie in konvexer Position so angeordnet sind, daß sie Einbauten bilden, welche einen kontinuierlichen, sinusartigen Verlauf zeigen. 20
5. Bauwerk nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es eine Mehrzahl von in Richtung ihrer geraden Teile (2) nebeneinanderliegenden Strukturelementen umfaßt, wobei jedes Strukturelement ausgehend von einer einstückigen Membran gebildet ist. 25 30 35
6. Bauwerk nach einem der Ansprüche 1 bis 4, welches die Herstellung von Strukturelementen mit großen Abmessungen umfaßt, dadurch gekennzeichnet, daß es eine Mehrzahl von nebeneinanderliegenden Strukturelementen umfaßt, wobei die Elemente durch Zusammenbau von mehreren Bestandteilen vor Ort gebildet sind, wobei der Einbauteil (2) aus einem einzigen Blatt mit entsprechender Dicke gebildet ist. 40 45
7. Bauwerk nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die doppelt gekrümmten "U"-förmigen Elemente aus einem oder mehreren der folgenden Materialien gebildet sind: Metall, Kunststoff, synthetische Textilien, Glasfasern, Verbundwerkstoff, Metall- oder Kunststoffgitter, armierter oder vorgespannter Beton, wobei ein entsprechender Korrosionsschutz vorgesehen ist. 50 55

8. Bauwerk nach einem der Ansprüche 2 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Strukturelemente miteinander durch mechanische Mittel (Schweißen, Verschraubung, Vernietung) verbunden sind oder einfach nebeneinander angeordnet sind, in welchem Fall die Übertragung der Belastungen lediglich durch Reibung realisiert wird. 5
9. Bauwerk nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es mit den Strukturelementen verbundene Schraubverankerungen, Pfähle oder Spundpfähle aufweist. 10
10. Bauwerk nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Strukturelemente mit ihren Einbauten geneigt oder terrassenförmig auf einer horizontalen oder geneigten Fundamentfläche ausgeführt sind. 15 20
11. Verwendung des Bauwerkes nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gegebenenfalls gemeinsam mit anderen Bautechniken, zur Herstellung von Terrassenanordnungen, Kommunikationswegen, Inseln, Halbinseln, offshore-Plattformen, Becken, Reservoirs, Wasserbauwerken, Kais, Hafen, Lagerplätzen. 25

30

35

40

45

50

55

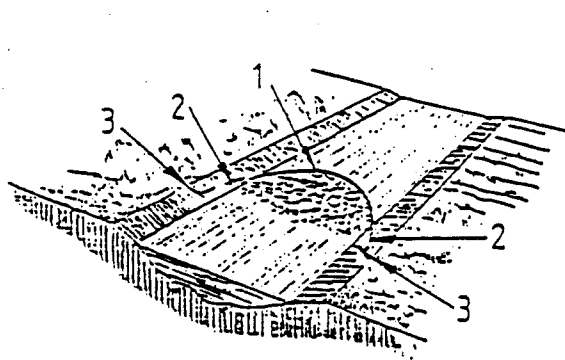


Fig. 1

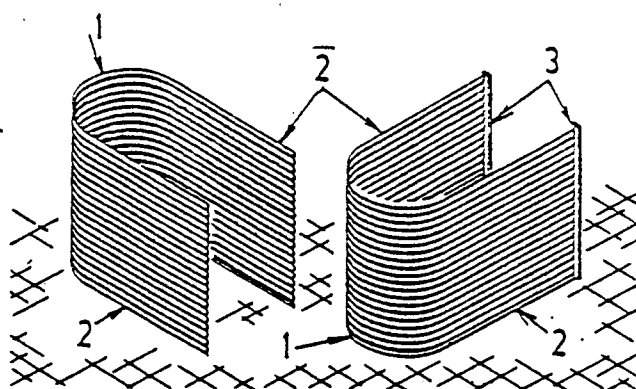


Fig. 2

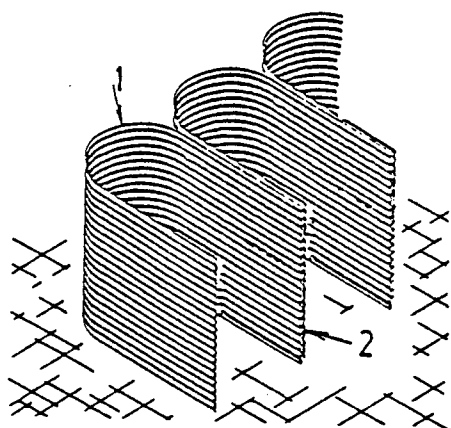


Fig. 3

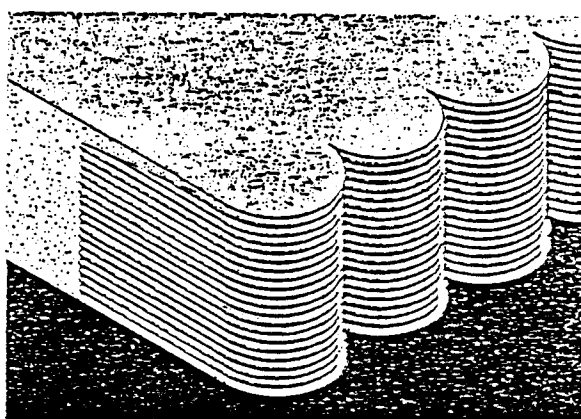


Fig. 4

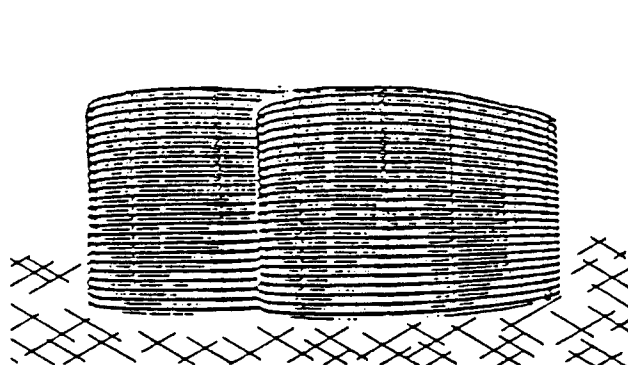


Fig. 5



Fig. 6