

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) Numéro de publication:

0 242 497
A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(21) Numéro de dépôt: 86870058.4

(51) Int. Cl. 4: **E21D 10/04**

(22) Date de dépôt: 25.04.86

(43) Date de publication de la demande:
28.10.87 Bulletin 87/44

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

(71) Demandeur: **S.A. ENTREPRISES
KOECKELBERG**
Rue Noël Sart-Culpart, 44
B-6060 Gilly (Charleroi)(BE)

(72) Inventeur: **Hemberg, Paul**
rue Trieu Kaisin, 119
B-6080 Montignies sur Sambre(BE)
Inventeur: **Koeckelberg, Bonfils**
rue Tassenère, 62
B-6101 Jamioulx(BE)
Inventeur: **Stassens, Henri**
rue du Curé, 5
B-6268 Aiseau-Presles(BE)

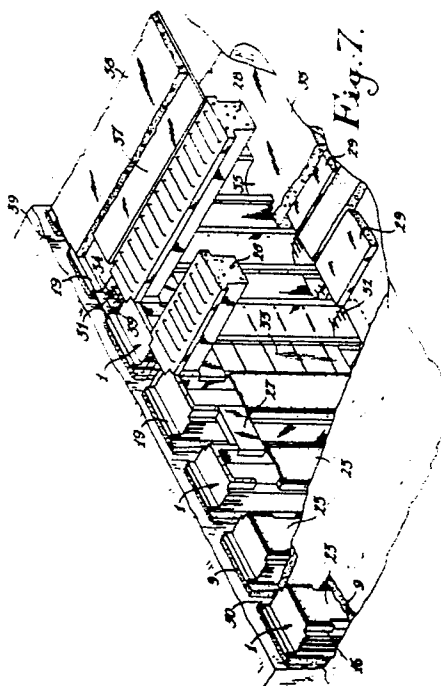
(74) Mandataire: **Plucker, Guy et al**
OFFICE KIRKPATRICK 4 Square de Meeûs
B-1040 Bruxelles(BE)

(54) **Procédé pour la construction de tunnels.**

(57) L'invention concerne la construction de tunnels.

Le procédé est caractérisé en ce que, préalablement au creusement du tunnel, des éléments préfabriqués en forme de coque (1) sont mis en place dans des fouilles (2) de faibles dimensions qui sont ensuite remblayées. Tous les éléments d'un tronçon ayant été mis en place, le tunnel est excavé frontalement, les coques (1) étant progressivement solidarisiées à leur sommet d'abord, à leur base ensuite. L'intervalle (30) entre deux coques (1) successives est bétonné de façon à former avec les poutres transversales (28), une suite de portiques aptes à reprendre les sollicitations.

Le procédé de l'invention a pour avantage d'utiliser des éléments préfabriqués de poids réduit, de permettre des chantiers de largeur réduite et de limiter les tassements du sol. Il s'applique donc particulièrement à des sites urbains et à des travaux en terrains peu consistants.



EP 0 242 497 A1

Procédé pour la construction de tunnels

La présente invention se rapporte à un procédé pour construire des tunnels au moyen d'éléments préfabriqués en béton, solidarisés entre eux sur chantier par bétonnage.

La réalisation de tunnels se fait généralement par construction de tronçons successifs. Les procédés les plus courants actuellement dans ce domaine sont :

-le procédé en fouilles ouvertes, suivant lequel on réalise dans une tranchée ouverte un cadre en béton armé composé d'un radier, de voiles verticaux et de dalles supérieures, et

-le procédé en fouilles blindées, suivant lequel on effectue un blindage latéral de la fouille avant de réaliser un cadre en béton armé comme ci-dessus. Suivant ce procédé, on peut également réaliser les voiles du tronçon de tunnel à l'aide du blindage latéral de la fouille, ou par des murs emboués qui servent de blindage du sol.

Suivant les procédés courants, les tunnels sont réalisés soit par coulage en place des tronçons de tunnel successifs, soit par alignement de tronçons de tunnel préfabriqués.

Le coulage en place de tronçons de tunnel qui est le procédé le plus répandu actuellement, nécessite l'installation de chantiers de longueur relativement importante. En effet, le coulage en place du radier, des voiles verticaux puis des dalles supérieures se fait sur des longueurs de plusieurs dizaines de mètres à la fois, ce qui entraîne que le chantier s'étend sur au moins une longueur égale. En pratique le chantier est même beaucoup plus long, car il s'étend aussi bien en avant de la zone de coulage (terrassement et excavation des tranchées) qu'en arrière de celle-ci (remblayage, recouvrement du tunnel et finition) par rapport au sens d'avancement des travaux.

Le procédé de réalisation de tunnels qui consiste à aligner des tronçons de tunnel préfabriqués permet de réduire la longueur du chantier. En effet, d'une part, au fur et à mesure que les tronçons préfabriqués sont placés, les travaux de remblayage et de finition peuvent être exécutés. D'autre part, il n'est pas nécessaire que la tranchée soit creusée sur une grande longueur; celle-ci peut, en effet, être limitée à une longueur équivalente à quelques tronçons seulement. La longueur du chantier s'en trouve donc réduite.

Toutefois, la manipulation des tronçons de tunnel préfabriqués nécessite l'utilisation d'engins de levage lourds et encombrants. Ces engins de levage de forte puissance sont, en général, montés sur rails, ce qui en limite l'utilisation (difficultés d'installation qui dépendent de la nature du sol supportant les rails, portée limitée à la longueur des rails de

roulement). En effet, même pour des petites sections, les tronçons de tunnel préfabriqués sont d'un poids relativement élevé (de l'ordre de 50 tonnes). De ce fait, le procédé est limité à la construction de tunnels de sections réduites tels des passages pour piétons, véhicules automobiles légers ou métro de petit gabarit (par exemple T.A.U., Transport Automatisé Urbain); pour des sections plus importantes, le poids des tronçons préfabriqués serait en effet excessif.

Un autre problème posé par la construction d'un ouvrage souterrain est que la circulation en surface est fortement perturbée (déviations, construction de viaducs de détournement, etc.) et même dans certains cas, supprimée le long de l'axe des travaux.

Un autre problème encore est le désagrément de longue durée occasionné aux riverains, provoqué par l'activité du chantier, le mouvement d'engins de levage de grande dimension et les difficultés d'accès entraînées par l'éventrement des chaussées.

La présente invention a pour but un procédé pour la construction de tunnels, par assemblage d'éléments préfabriqués qui :

- ne nécessite qu'un chantier de faible longueur,
- s'accommode de sites de travail étroits,
- fait appel à des machines de chantier courantes, de type automoteur, qui constituent une faible nuisance,
- permet le déplacement rapide du chantier le long de l'axe du tunnel, grâce à la répétition d'une série d'opérations simples,
- limite les déplacements de terrain préjudiciables aux constructions adjacentes au chantier,
- demande un front de terrassement réduit, ce qui permet de réaliser des tunnels même au sein d'autres chantiers,
- ne perturbe pas l'assiette du sol, le volume de terre évacué correspondant pratiquement au volume du tunnel.

Un tel procédé qui limite fortement les désagréments causés aux riverains est donc particulièrement adapté à la réalisation de tunnels en site urbain dense. Par ailleurs, ce procédé

- permet une utilisation rationnelle de la main-d'oeuvre,
- est applicable à des chantiers en sol meuble ou détrempé,
- permet de réaliser indifféremment des tunnels de grande ou de petite section, en passant par des sections intermédiaires.

Le procédé suivant la présente invention fait en effet appel à un certain nombre d'éléments préfabriqués standardisés, de poids relativement réduit (environ 10 tonnes), dont la manipulation ne nécessite que des engins de levage plus mobiles, du type couramment employé sur la plupart des chantiers. Ces engins de levage peuvent être des grues automobiles, qu'il n'est pas nécessaire de monter sur rails.

L'utilisation d'éléments préfabriqués standardisés permet au procédé de l'invention de réaliser indifféremment des tunnels de faible section et des tunnels de plus grande section, par exemple pour métro de grand gabarit, chemin de fer souterrain, etc., en juxtaposant un nombre plus ou moins grand de ces éléments standardisés. De plus, comme on le verra plus loin, le procédé suivant l'invention permet de varier la section des tunnels, qui peut ainsi passer d'une section minimale (pour un tronçon de tunnel simple de ligne) à une section maximale (tronçons de tunnel comprenant des gares, avec quais de débarquement, salles d'attente, etc.) en passant par des sections intermédiaires. Il est même possible de réaliser suivant le procédé de l'invention des tunnels à deux niveaux.

D'autre part, la manipulation et le placement de ces éléments standardisés est une suite d'opérations répétitives et simples. En effet, les différents éléments préfabriqués composant les voiles verticales, les dalles supérieures, etc. sont placés un par un comme il sera décrit plus loin; la construction du tunnel se fait donc de manière continue.

La présente invention a pour objet un procédé pour la construction d'un tunnel au moyen d'éléments préfabriqués en béton, qui sont solidarisés entre eux par bétonnage, après placement.

La construction d'un tunnel suivant la présente invention comprend les phases suivantes :

- creusement, à l'aplomb des parois verticales du tunnel en cours, de fouilles blindées de dimensions légèrement supérieures à celles d'éléments en béton armé préfabriqués destinés à constituer partiellement les parois du tunnel,
- réalisation d'une assise de fondation,
- introduction, mise en place et alignement des éléments verticaux dans leur excavation, chaque élément, espacé du précédent, étant disposé au droit d'un élément semblable disposé de l'autre côté du tunnel,
- remblayage des fouilles au moyen d'un matériau de remblai stabilisé et retrait simultané des blindages,
- prétrassement frontal du volume du tunnel dégageant progressivement le sommet des éléments verticaux d'un tronçon de tunnel,
- pose de linteaux parallèlement à l'axe du tunnel,

de manière telle que chaque linteau s'appuie par ses extrémités à la partie supérieure de deux éléments verticaux successifs;

- pose de poutres supérieures transversales, chaque poutre reposant par ses extrémités sur des linteaux disposés en regard l'un de l'autre de part et d'autre du tunnel,
- creusement frontal du volume du tunnel dégageant progressivement chaque paire d'éléments verticaux solidarisés par une poutre transversale, le talon de chaque élément restant toutefois fiché dans le sol,
- pose d'une butée d'entretoisement au droit de l'intervalle séparant deux éléments verticaux successifs,
- remblayage et égalisation du sol de la fouille,
- mise en place, dans chaque intervalle séparant deux éléments verticaux successifs, d'une armature et d'une plaque de coffrage disposée près du bord libre des éléments verticaux parallèlement à l'axe du tunnel,
- coulage de béton entre éléments verticaux successifs,
- introduction d'éléments d'armature au travers d'orifices ménagés au bas des faces latérales des éléments verticaux,
- pose d'une armature pour le radier,
- coulage du radier,
- coulage de béton dans l'intervalle entre deux éléments verticaux successifs,
- pose et solidarisation de prédalles supérieures en béton armé sur les poutres, de manière telle que chaque prédalle s'appuie par son bord avant sur une poutre et par son bord arrière sur la poutre suivante;
- bétonnage de la dalle supérieure et colmatage du tunnel,
- pose d'une couverture d'étanchéité,
- remblayage et recouvrement du tunnel.

Suivant une forme d'exécution préférée, les phases successives de réalisation du tunnel sont exécutées dans l'ordre au long du chantier, depuis la mise en place des éléments verticaux jusqu'à la zone de parachèvement où s'effectuent le remblayage et le recouvrement du tunnel achevé.

Suivant une forme d'exécution préférée, la pose de deux éléments contigus est séparée par un intervalle de temps assurant la stabilisation du matériau de remblai.

Suivant une séquence de placement avantageuse, on met en place successivement sur un tronçon, en deux passes, une paire sur deux d'éléments verticaux se faisant vis-à-vis.

De façon préférentielle, un tronçon de chantier s'étend sur la longueur correspondant à la pose de six éléments verticaux successifs.

Suivant une forme d'exécution avantageuse, les éléments verticaux constituant partiellement les parois latérales du tunnel sont des coques oblongues en béton armé présentant une voûte cylindrique dont la génératrice est parallèle au grand axe des coques; ces coques sont fermées à chacune de leurs extrémités par une base, perpendiculaire à leur grand axe. Ces coques sont disposées de manière telle que leur côté concave soit dirigé vers l'intérieur du tunnel, et que leur voûte soit dirigée vers les parois de la tranchée.

Un élément vertical est avantageusement prolongé, à sa partie inférieure, par un talon qui reste fiché dans le sol lors de l'excavation du volume du tunnel, de manière à assurer le maintien en place de l'élément avant la pose d'une poutre d'étalement.

De manière plus particulière, les coques présentent deux pans latéraux plans et parallèles prolongeant la voûte de chaque côté de celle-ci.

Suivant une forme d'exécution préférée, les faces latérales d'une coque présentent, du côté de l'intérieur du tunnel, une feuillure destinée à la mise en place de plaques de coffrage et des alvéoles destinées à l'introduction de broches pour le maintien de ces plaques.

Suivant une forme d'exécution particulière, les coques présentent sur les faces extérieures des pans latéraux, près de leur bord dirigé vers l'extérieur du tunnel, une rainure parallèle au grand axe des coques, apte à recevoir le bord latéral d'une plaque de coffrage.

Suivant une forme de réalisation particulière, la face arrière d'une coque est prolongée vers le haut par un épaulement formant coffrage lors du bétonnage de la dalle supérieure du tunnel.

Suivant une forme d'exécution avantageuse, la face d'une coque tournée vers l'extérieur du tunnel est sensiblement plane et se raccorde perpendiculairement à ses faces latérales.

Suivant une forme d'exécution avantageuse, les coques présentent sur les faces extérieures latérales des cannelures verticales qui améliorent leur solidarisation avec les éléments du tunnel coulés sur place.

Suivant une forme d'exécution préférée, la coque est pourvue, dans sa partie inférieure, d'ouvertures, dont l'axe est parallèles à l'axe du tunnel, lesquelles sont destinées au passage de pièces d'armature en béton destinées à être noyées dans le béton lors du coulage.

Suivant une forme d'exécution préférée, la tranche des pans latéraux des coques comporte à sa partie supérieure, un évidement destiné à supporter l'extrémité d'un linteau maintenu en place par boulonnage.

Suivant une forme de mise en oeuvre avantageuse du procédé, la face concave des coques est obturée durant leur mise en place.

Suivant une forme d'exécution particulière, les coques sont fermées par un courvercle constitué d'une tôle en acier.

L'assemblage d'une poutre, des deux colonnes en béton armé qui supportent chacune des extrémités de cette poutre et le radier supportant chacune de ces colonnes en béton armé, forme un cadre apte à reprendre les pressions verticales exercées par les terres et la voirie supérieures, ainsi que les pressions horizontales de poussée des terres.

Ainsi que l'on peut le constater, le procédé suivant l'invention présente un certain nombre d'avantages.

La forme en voûte des coques utilisées préférentiellement offre l'avantage de reprendre les charges horizontales de poussée des terres avec des cloisons relativement minces et ne nécessitant pas de renforts additionnels.

Il est d'une exécution facile, notamment grâce à l'utilisation d'éléments préfabriqués de poids relativement réduit (inférieur à 10 tonnes), dont la manipulation ne nécessite que des engins de manutention courants.

Le nombre d'éléments préfabriqués utilisés étant réduit (en effet, il ne comprend principalement que les poutres d'étalement, les éléments verticaux formant les parois verticales, les linteaux, les poutres supérieures et le prédalles), la pose de ces éléments est une suite d'opérations répétées, ce qui favorise la rapidité d'exécution.

Outre le fait que le chantier cause par lui-même un minimum de nuisance, les riverains le voient progresser très rapidement.

A titre d'exemple, une fois passée la période de démarrage, 25 jours seulement séparent le premier coup de pioche donné devant la maison d'un riverain du dernier coup de pelle de remblayage, ce y compris le bétonnage de la structure, la pose de l'étanchéité et le remblayage. A l'issue de ces 25 jours, le chantier aura progressé de 13,5 mètres suivant l'exemple et sera donc pratiquement deux maisons plus loin.

Les phases d'étalement d'un tronçon de tunnel suivant l'exemple non limitatif ci-dessus se décomposent de la façon suivante :

du 1er au 4ème jour : mise en place préalable dans le sol des éléments verticaux (coques),
du 5ème au 10ème jour : dégagement des têtes de coques, mise en place des linteaux et des poutres transversales, excavation, pose des poutres d'étalement, bétonnage des colonnes,
du 10ème au 17ème jour : prise du béton,

du 18ème au 19ème jour : pose de la couverture d'étanchéité,

du 20ème au 24ème jour : séchage de l'étanchéité,

25ème jour : remblai.

Le procédé permet aussi d'étaler les temps de travail sur des tronçons successifs à différents stades d'achèvement de façon telle que la progression du tunnel se poursuit en continu, sans temps morts pour la main-d'oeuvre, même durant le laps de temps nécessaire au durcissement du béton ou lors du séchage des produits appliqués pour la couverture d'étanchéité.

Le procédé prévoit une première phase de mise en place dans le sol d'éléments verticaux, phase qui peut progresser à son propre rythme en avant du chantier proprement dit, ce qui permet un large étalement des tâches en fonction des contraintes de temps.

Les installations du chantier proprement dites occupent également une surface au sol réduite du fait de la mobilité du chantier et du fait de l'usage d'un maximum d'éléments préfabriqués hors site.

Le procédé permet par ailleurs d'épouser les diverses dénivellations du terrain ainsi que les changements de direction imposés par le tracé, tout en utilisant la majorité des éléments préfabriqués ci-dessus.

Le procédé décrit permet même de réaliser des tunnels à deux niveaux en exécutant une excavation préalable.

Le procédé se prête également à la réalisation de tunnels de diverses largeurs; on peut par exemple, réaliser des passages étroits pour des tronçons en ligne droite, ou des sections plus larges pour des stations, ou encore des sections intermédiaires reliant les tronçons étroits et les tronçons larges. Ainsi qu'il sera décrit plus loin, ces différentes largeurs sont réalisées sans problème avec les éléments préfabriqués déjà décrits.

Le procédé suivant l'invention permet d'allier le gros oeuvre et les parachèvements; en particulier à l'intérieur des stations on peut tirer parti de la forme des coques. Bien sûr, les dimensions de ces coques peuvent varier entre des limites relativement larges, mais suivant une forme d'exécution particulière et avantageuse de l'invention, la largeur de ces coques est comprise entre 2 et 3 mètres. De cette façon, les parois des stations se présentent comme une succession de niches, qui peuvent être aménagées suivant les besoins. On peut par exemple, y installer des cabines téléphoniques, des distributeurs automatiques, des banquettes, etc. En l'occurrence, des banquettes peuvent être avantageusement des nervures de forme quelconque faisant corps avec les coques, réalisées lors de la fabrication en usine de celles-ci.

On peut également tirer partie de l'aspect des coques et des plaques de fermeture intérieures reliant les coques successives entre elles, en modifiant à volonté l'aspect de la matière (coloration, coffrages structurés, habillage intégré, etc.).

De manière analogue, les coques formant les parois du tunnel entre les stations peuvent être aménagées pour recevoir des appareils électriques tels des boîtes de jonction, des dispositifs d'éclairage, de signalisation, etc.

La configuration particulière des parois peut également être exploitée avantageusement sur le plan acoustique. En effet, les sons sont captés par la surface des parois, ce qui abaisse considérablement le niveau acoustique et améliore ainsi le confort des usagers du tunnel, notamment des passagers en attente aux gares.

L'invention sera décrite plus en détail et de manière non limitative en se référant aux figures annexées, dans lesquelles :

les Fig. 1 et 2 sont des coupes transversales (avec interruption) du tunnel à deux stades de mise en place des coques;

la Fig. 3 est une vue en plan schématique d'une séquence de mise en place progressive des éléments verticaux en forme de coque;

la Fig. 4 est une vue en perspective avec arrachement d'un élément vertical en forme de coque;

les Fig. 5 et 6 sont des coupes longitudinales du tunnel réalisé suivant le procédé de l'invention;

la Fig. 7 est une vue en perspective avec arrachement partiel d'un chantier de construction d'un tunnel suivant le procédé de l'invention;

la Fig. 8 est une coupe transversale d'un tunnel simple suivant l'invention;

la Fig. 9 est une coupe d'un noeud d'armature réalisé à la base d'une colonne, suivant un plan vertical perpendiculaire à l'axe du tunnel;

la Fig. 10 est une coupe d'un noeud d'armature réalisé à la base d'une colonne, suivant un plan horizontal passant par l'axe d'une poutrelle d'étalement;

la Fig. 11 est une vue en perspective de trois coques successives lorsque l'assiette du tunnel est en pente;

la Fig. 12 est une vue en perspective d'un linteau utilisé dans l'assemblage de la Fig. 10;

la Fig. 13 est une coupe suivant un plan horizontal d'une portion de tunnel en courbe;

la Fig. 14 est une coupe suivant un plan horizontal, avec arrachement partiel, d'une portion de tunnel en milieu aquifère;

la Fig. 15 est une coupe suivant la ligne XV-XV de la Fig. 14;

la Fig. 16 est une vue en coupe transversale d'un tunnel double suivant l'invention;

la Fig. 17 est une coupe transversale d'un tunnel double aménagé en gare.

Les Fig. 1 et 2 montrent deux vues en coupe transversale du tunnel lors de la mise en place préalable des éléments verticaux 1.

De part et d'autre du tunnel, à l'aplomb de l'emplacement prévu pour les parois verticales, on a creusé une fouille 2 de dimensions telles que l'on puisse y introduire un élément vertical en forme de coque 1 en béton armé destinée à constituer une partie des parois latérales.

Cette fouille 2 peut être réalisée de façon quelconque, mais on peut avantageusement utiliser une méthode de creusement rapide où la fouille est étançonnée par des blindages 3 métalliques emboîtables glissés en place au fur et à mesure du creusement.

Une fois la profondeur désirée atteinte, on réalise un assise 4 destinée à faciliter le positionnement de la coque 1 qui est mise en place verticalement dans la fouille 2.

Le pied 5 de la coque 1 repose sur l'assise de réglage 4, la face concave 6 de la coque tournée vers l'intérieur du tunnel (futur) est fermée provisoirement par un moyen de fermeture 7 tel qu'une tôle de forme appropriée.

La Fig. 2 montre en coupe transversale deux étapes terminales de la mise en place préalable des coques 1. Le blindage 3 est remonté progressivement, cependant que l'on introduit dans l'espace subsistant entre la coque 1 et les flancs de l'excavation 8, un matériau de remblai 9 tel que, par exemple, du laitier stabilisé ou du sable stabilisé.

Du côté gauche du tunnel, après retrait du blindage 3, la fouille 2 est entièrement comblée. La coque 1 reste enfouie en place jusqu'à ce que le matériau de remblai 9 se soit suffisamment stabilisé.

La Fig. 4 montre une vue en perspective, avec arrachement, d'une forme particulière d'un élément vertical en forme de coque 1 utilisé dans le procédé de construction suivant l'invention.

Cet élément présente une voûte 10 cylindrique dont la génératrice est parallèle à l'axe de la coque. Il est enfermé à chacune de ses extrémités par une base 11 perpendiculaire à son grand axe.

Deux pans latéraux 12 prolongent la voûte 10 de chaque côté de celle-ci.

Dans l'exécution représentée, la face arrière 13 de la coque 1 est pratiquement plane et se raccorde perpendiculairement aux faces latérales 14. Une telle forme contribue à réduire les frais de fabrication de ces éléments qui peuvent être préfabriqués dans des moules de forme standard.

La tranche des pans latéraux 12 comporte, près du sommet de l'élément, un évidement 15 destiné à supporter l'extrémité d'un linteau fixé par boulonnage, comme on le verra à la Fig. 5.

Les faces latérales 14 de la coque 1 comportent, du côté tourné vers l'intérieur du tunnel, une feuillure 16 s'étendant sur toute la hauteur de l'élément, ainsi que des perforations 17 permettant l'insertion de broches destinées au maintien de panneaux de coffrage dans les feuillures 16, comme cela sera décrit plus loin.

Les faces latérales 14 de la coque 1 comportent, du côté tourné vers l'extérieur du tunnel, une rainure 18 qui s'étend sur toute la hauteur de la coque 1. Cette rainure 18 permet d'insérer un panneau de coffrage arrière sur tout ou partie de la hauteur de la coque 1.

Ce panneau de coffrage coopère, au moment du bétonnage, avec l'épaulement 19 qui prolonge comme une crête la face arrière 13 de la coque 1.

Entre la rainure 18 et la feuillure 16, les faces latérales 14 de la coque 1 comportent des cannelures verticales 20 destinées à améliorer la solidarisation de la coque 1 avec les éléments en béton armé adjacents.

A sa partie inférieure, la coque 1 est percée d'ouvertures 21 qui traversent les pans latéraux 12 de part en part.

Le pied de la coque 1 se prolonge par un talon 22 dont la fonction est décrite plus loin.

Comme il en a été question plus haut, dans le commentaire concernant la Fig. 1, un moyen de fermeture 7 constitué d'une plaque 23 dotée de raidisseurs 24 est fixée, en l'occurrence par des boulons, devant la face concave 6 de la coque de façon à l'obturer lors de sa mise en place. Cette plaque 23 est découpée de telle façon qu'on puisse mettre en place les linteaux sans devoir la retirer.

La Fig. 3 montre une séquence avantageuse pour la mise en place des coques.

En effet, celles-ci ne sont pas accolées les unes aux autres au long d'une tranchée continue. Les coques sont au contraire mises en place une à une par des fouilles 2 distinctes.

La séquence décrite à la Fig. 3 est conçue de façon telle qu'elle évite la pose successive de deux éléments contigus, à la fois pour éviter les mouvements de terrain et pour permettre la stabilisation du matériau de remblai 9. Une répartition judicieuse du travail, telle que montrée à la Fig. 3, permet de poser sans problèmes en quatre jours les douze coques 1 correspondant à un tronçon de chantier.

A l'issue de cette séquence, toutes les coques d'un tronçon de tunnel sont en place et on peut entamer les phases de construction ultérieures qui comprennent la préterrassement, le dégagement des têtes et la pose des poutrelles comme on le verra dans les figures suivantes.

Les Fig. 5 et 6 montrent par une vue en coupe suivant un plan vertical parallèle à l'axe du tunnel, deux stades successifs d'excavation d'un tunnel réalisé suivant l'invention.

La Fig. 5 montre le tunnel après préterrassement d'une première couche de terre 25 dégageant la tête des coques 1 d'un tronçon.

Pour mieux mettre en lumière les possibilités de travail continu offertes par le procédé, on a représenté sur la gauche de la figure la fin du tronçon de chantier précédent où le travail est plus avancé. Le volume de ce tronçon de tunnel précédent est entièrement déblayé. Le front de terrassement 26 monte progressivement depuis la base des coques 1 du tronçon précédent jusqu'au niveau du préterrassement 25 du tronçon en cours.

La pente du front de terrassement 26 est douce de façon que la base des coques 1 non encore solidarisées soit maintenue en place en dépit de la poussée latérale des terres.

La Fig. 6 montre la progression du front du terrassement 26 et la solidarisation simultanée des coques 1.

Un linteau 27 est fixé en place entre deux coques 1 successives; ces linteaux 27 supportent une poutre transversale 28 qui relie entre eux deux linteaux 27 se faisant vis-à-vis de part et d'autre du tunnel.

Une poutre transversale 28 étant mise en place, on fait progresser le terrassement 26 sur une distance correspondant à la largeur d'une coque 1.

Le front de terrassement 26 dégage ainsi successivement chaque paire de coques 1 sur toute leur hauteur. Lorsqu'une coque 1 est entièrement dégagée, la poussée latérale exercée par les terres est compensée provisoirement par le talon 22 qui reste enfoui dans le sol. Les dimensions de ce talon 22 (essentiellement, sa surface frontale) sont déterminées à partir des caractéristiques mécaniques du sol.

Dès que l'intervalle entre deux coques est dégagé, on y pose la poutre d'étalement 29 qui reprend dès lors la poussée exercée sur les faces latérales du tunnel.

En cas de fortes poussées latérales, si le sol n'offre pas de garanties mécaniques suffisantes ou pour limiter la hauteur de fiche du talon 22, les effets de la poussée latérale des terres peuvent être repris provisoirement avant la pose des poutres d'étalement 29 par un étalement métallique mis en place à la base d'un portique.

La suite des opérations de construction, suivant le procédé, est décrite en se référant à la Fig. 7 où sont rassemblés plusieurs stades de réalisation successifs.

L'intervalle 30 séparant deux coques 1 successives est dégagé du matériau de remblai 9. On y introduit une armature 31 coopérant avec des éléments longitudinaux d'armature 32 solidarissant le bas des coques 1 d'une même rangée. L'intervalle 30 entre deux coques 1 successives est ensuite fermé par une plaque de coffrage 33 appliquée dans les feuillures 16.

On coule dans le coffrage ainsi ménagé des colonnes 34 qui forment avec les poutres transversales 28 une suite de portiques aptes à reprendre la poussée des terres.

Par ailleurs, le sol du tunnel étant égalisé, on y pose un treillis d'armature et on y coule une couche de béton qui constitue le radier 35 du tunnel.

Dans le sens longitudinal, les armatures 32 introduites au travers des ouvertures 21 pratiquées dans les pans latéraux 12 des coques 1 et prises dans le bas des colonnes 34 forment, une fois le radier 35 coulé, une véritable semelle 36 continue comme on le voit à la Fig. 8 qui soutient le tunnel sur toute sa longueur.

Les poutres supérieures transversales 28 supportent des prédalles 37 en béton armé, disposées de manière telle que chaque prédalle 37 s'appuie par son bord avant sur une poutre supérieure transversale 28, et par son bord arrière sur la poutre supérieure transversale 28 suivante.

Poutres transversales 28 et prédalles 37 forment, par la façon dont elles s'ajustent, un coffrage pour le coulage de la dalle supérieure 38. Les faces latérales de ce coffrage sont constituées par l'épaulement 19 qui prolonge vers le haut la face arrière 13 des coques ainsi que par des panneaux de coffrage 39 insérés dans les rainures 18 ménagées près de l'arête arrière des faces latérales 14 de ces éléments.

Après le bétonnage de la dalle supérieure 38, il est nécessaire de ménager une pause dans les travaux relatifs à un tronçon pour permettre la prise du béton.

Durant ce temps, la progression du tunnel se poursuit sans interruption par un simple transfert de tâche sur les autres tronçons à divers stades d'achèvement. Après solidification de l'ouvrage, la partie supérieure du tunnel est revêtue d'une couche d'étanchéité et l'on procède au remblayage.

La Fig. 8 est une coupe du tunnel, perpendiculairement à son axe, indiquant les trois phases de bétonnage successives nécessaires pour réaliser un portique apte à reprendre les poussées latérales et verticales exercées par les terres sur le tunnel.

La phase 1 concerne le radier 35 et la double semelle longitudinale 36 qui s'étend sur toute la longueur du tunnel.

La phase 2 concerne les colonnes verticales 34 situées entre les coques 1.

La phase 3 concerne la solidarisation de ces colonnes verticales 34, les poutres 28 transversales et la dalle supérieure 38 de la structure.

Les Fig. 9 et 10 montrent deux coupes, l'une en élévation, l'autre en plan, de la base d'une colonne 34 joignant deux coques 1. Cet emplacement constitue un véritable noeud dans la structure du tunnel puisque s'y rejoignent des armatures reprenant des sollicitations provenant de trois directions différentes, à savoir les armatures 31 de la colonne verticale 34, non représentée, située entre deux coques 1, l'armature 32, la "poutre" longitudinale 36 qui relie l'ensemble des coques d'une rangée et l'ensemble poutre d'étranglement 29 et radier 35 qui relie transversalement les deux côtés du tunnel.

Le procédé suivant l'invention a l'avantage de permettre au tunnel d'épouser les diverses dénivellations du terrain ainsi que les changements de hauteur imposés par le tracé.

Un exemple d'un tunnel de ce type est illustré aux Fig. 11 et 12, dans lesquelles les éléments communs à toutes les formes de réalisation décrites ont les mêmes chiffres de référence.

Les Fig. 11 et 12 illustrent un tunnel à alignement droit dont l'assiette est en pente. Les différentes phases de réalisation sont les mêmes que celles décrites plus haut pour la construction d'un tunnel droit et horizontal. Les coques successives sont mises en place à des niveaux différents suivant la pente du tunnel à construire. Bien entendu, les coques sont mises en place verticalement puisqu'il est essentiel que les colonnes qui seront coulées dans les espaces entre les coques successives soient verticales.

La différence de niveau entre deux coques 1 successives nécessite l'utilisation de linteaux 27 d'un type particulier. Un linteau de ce type, ainsi qu'illustré à la Fig. 12, présente à sa surface supérieure deux surfaces d'appui 40 et 41 décalées, séparées par un échelon 42 dont la hauteur est égale à la différence de niveau entre deux coques 1 successives. Les extrémités de deux demi-poutres 43 et 44 viendront s'appuyer respectivement sur les surfaces 40 et 41. Ces poutres 43 et 44 sont, par conséquent, décalées en hauteur l'une par rapport à l'autre. La solidarisation avec les colonnes verticales 34 des demi-poutres 43, 44, se fait de la même manière que dans le cas d'un tunnel à assiette horizontale, ainsi que décrit plus haut. (Insertion d'une armature 31 dans l'espace 30 vertical entre deux coques 1 successives, coulage d'une colonne 34 verticale, solidarisation

de chacune des demi-poutres 43 et 44 avec celle-ci). Ainsi que l'on peut le remarquer à la Fig. 11 la demi-poutre la plus haute 43 d'une paire de demi-poutres 43, 44 est à la même hauteur que la demi-poutre la plus basse 33 de la paire de demi-poutres suivante, de manière telle qu'une prédalle 37 s'appuyant par ses extrémités sur ces demi-poutres soit donc sensiblement horizontale. Les travaux de parachèvement du tunnel (bétonnage de la dalle supérieure, étanchéité, recouvrement) sont effectués de la manière décrite plus haut.

La Fig. 13 illustre un exemple de tunnel en courbe, dans laquelle les éléments communs à toutes les formes de réalisation ont les mêmes chiffres de référence. Les phases de réalisation d'un tunnel en courbe sont les mêmes que précédemment.

L'intervalle entre les coques 1 de la rangée située à l'extérieur de la courbe est supérieur à l'intervalle entre les coques 1 de la rangée située à l'intérieur de la courbe.

Par conséquent, les plaques de coffrage verticales 45 entre coques successives 1 (et par suite les armatures 31 qui y sont insérées) de la rangée de coques 1 située à l'extérieur de la courbe, sont plus larges que les plaques de coffrage verticales 46 (et les armatures 31 qui y sont insérées) de la rangée de coques 1 située à l'intérieur de la courbe. Cela nécessite évidemment le placement de linteaux 27 plus longs entre les coques 1 successives de la rangée extérieure de la courbe et le placement de linteaux 27 plus courts entre les coques 1 successives de la rangée intérieure de la courbe.

La Fig. 14 illustre un exemple de tunnel construit en milieu aquifère. Le tronçon illustré est en ligne droite, mais il va de soi que le procédé s'applique aussi bien à un tunnel en alignement courbe qu'à un tunnel dont l'assiette est en pente.

Le tronçon de tunnel comprend alors des coques 1 dont la voûte 10 est munie d'ouvertures 47 mettant en communication l'intérieur de celle-ci avec le milieu environnant, et permettant par conséquent, le passage d'eau. La cavité 6 de ces coques est fermée sur toute la hauteur par une cloison verticale 48 munie d'un trou d'accès 49 (Fig. 15). L'intérieur de ces coques se remplit ainsi d'eau jusqu'à un niveau égal au niveau de la nappe.

Un tuyau 50 transversal situé en dessous du radier 35 relie deux coques 1 de chaque côté du tunnel. Ce tuyau 50 est raccordé à la partie inférieure de chaque coque 1 par un orifice 51 et permet le passage de la nappe souterraine et l'établissement de l'équilibre des niveaux de celle-ci de chaque côté du tunnel.

Il est évident que cette forme d'exécution nécessite l'utilisation de joints d'étanchéité de type connu, non représentés sur les figures. Ces joints sont placés notamment entre les bases en demi-lune inférieures 11 des coques verticales 1 et le radier 35, d'une part, et les bases 11 en demi-lune supérieures des coques verticales 1 et les prédalles 37, d'autre part.

Le procédé suivant l'invention n'est pas limité à la réalisation de tunnels simples, comme ceux décrits plus haut, et dont un exemple est illustré en coupe à la Fig. 8, permettant la circulation suivant deux voies parallèles, mais se prête également à la réalisation de tunnels de plus grande largeur, par exemple, un tunnel de largeur double, tel qu'illustré en coupe à la Fig. 16. Ce tunnel comprend des colonnes intermédiaires 52 disposées suivant l'axe médian du tunnel. Chacune de ces colonnes 52 supporte les extrémités intérieures de deux poutres supérieures 53 perpendiculaires à l'axe du tunnel dont les extrémités extérieures sont supportées par des linteaux 27 et bétonnées à des colonnes verticales 34 (non représentés) de la manière décrite plus haut. Les poutres 53 sont solidarisiées entre elles et avec la colonne 52 qui les supporte, l'ensemble ainsi obtenu formant un portique double solidaire du radier.

La Fig. 17 représente une forme d'exécution particulière de tunnel double, utilisant des poutres supérieures 54 de plus grande longueur, ce qui permet l'aménagement d'un quai de débarquement central 55, entre les voies de circulation.

Il va de soi que la largeur du tunnel peut être augmentée à souhait, selon les besoins, grâce à la multiplication des éléments intermédiaires (colonnes 52, poutres supérieures, etc.). Le procédé suivant l'invention se prête également à la réalisation de tronçons de tunnel intermédiaires, pour joindre, par exemple, un tronçon de tunnel simple (de ligne) à un tronçon de tunnel double (de gare), en passant par des largeurs intermédiaires.

Revendications

Procédé pour la construction de tunnels au moyen d'éléments préfabriqués en béton, qui sont solidarisiés entre eux après placement, caractérisé en ce qu'il comprend les phases suivantes :

- creusement, à l'aplomb de l'emplacement des parois verticales, de fouilles blindées (2) de dimensions légèrement supérieures à celles d'éléments (1) en béton armé préfabriqués destinés à constituer partiellement les parois du tunnel,
- réalisation d'une assise de fondation (4),
- mise en place d'éléments verticaux (1) dans chaque fouille (2), chaque élément (1), espacé du précédent, étant disposé au droit d'un élément (1)

semblable disposé de l'autre côté du tunnel, -remblayage des fouilles (2) au moyen d'un matériau de remblai stabilisé (9) et retrait simultané des blindages (3),

- 5 -prétrassement frontal (25) du volume du tunnel dégageant progressivement le sommet des éléments verticaux (1) d'un tronçon de tunnel,
- pose de linteaux (27) parallèlement à l'axe du tunnel, au droit des intervalles séparant deux éléments verticaux (1), de manière telle que chaque linteau (27) s'appuie par ses extrémités à la partie supérieure de deux éléments verticaux (1) successifs;
- 10 -pose de poutres supérieures transversales (28), chaque poutre reposant par ses extrémités sur des linteaux (27) disposés en regard l'un de l'autre de part et d'autre du tunnel,
- creusement frontal (26) du volume du tunnel dégageant progressivement chaque paire d'éléments verticaux (1) solidarisiés par une poutre transversale (28), le talon (22) des éléments verticaux restant fiché dans le sol,
- 20 -dégagement de l'intervalle (30) séparant deux éléments verticaux (1) successifs,
- 25 -pose d'une poutre d'étaisonnement (29) au droit de l'intervalle séparant deux éléments successifs,
- introduction d'une armature (31) dans l'espace vertical séparant deux éléments verticaux successifs,
- 30 -application d'un panneau de coffrage (33) entre deux éléments verticaux (1) successifs du côté de l'intérieur du tunnel,
- introduction d'éléments d'armature (32) parallèlement à l'axe du tunnel au travers d'orifices (17) ménagés au bas des faces latérales (14) des éléments verticaux.
- 35 -coulage de béton dans les coffrages formés entre deux éléments verticaux (1) successifs,
- égalisation du sol de l'excavation,
- 40 -pose d'une armature et coulage du radier (35),
- pose de prédalles (37) en béton armé, de manière telle que chaque prédalle prend appui sur deux poutres supérieures (28) transversales successives,
- bétonnage de la dalle supérieure (38) et solidarisation de celle-ci avec les colonnes verticales,
- 45 -pose d'un moyen d'étanchéité,
- remblayage et recouvrement du tunnel.

2.-Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que les phases successives de réalisation du tunnel sont exécutées dans l'ordre au long du chantier, depuis le creusement des fouilles blindées (2) jusqu'aux phases finales de remblayage et recouvrement du tunnel.

3.-Procédé suivant l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les éléments verticaux (1) sont mis en place suivant une séquence évitant la pose successive de deux éléments contigus.

4.-Procédé suivant l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les éléments verticaux constituant partiellement les parois latérales du tunnel sont des coques oblongues en béton armé présentant une voûte cylindrique (10) dont la génératrice est parallèle au grand axe des coques; ces coques étant fermées à chacune de leurs extrémités par une base (11) perpendiculaire à leur grand axe, l'extrémité inférieure (5) d'une coque se prolongeant par un talon (22) dont la hauteur varie en fonction de la nature du terrain, ces coques étant disposées de manière telle que leur face concave (6) soit dirigée vers l'intérieur du tunnel.

5

10

5.-Procédé suivant la revendication 4, caractérisé en ce que la voûte (10) d'une coque (1) est prolongée de chaque côté par deux pans latéraux (12) plans et parallèles.

15

6.-Procédé suivant l'une quelconque des revendications 4 et 5, caractérisé en ce que les faces latérales (14) des coques présentent, du côté de l'intérieur du tunnel, une feuillure (16) destinée à la mise en place de plaques de coffrage (33) ainsi que des moyens de maintien (17) pour les dites plaques.

20

25

7.-Procédé suivant l'une quelconque des revendications 4 à 6, caractérisé en ce que les faces latérales d'une coque (1) présentent des cannelures (20) améliorant leur solidarisation avec les colonnes verticales.

30

8.-Procédé suivant l'une quelconque des revendications 4 à 7, caractérisé en ce que les faces latérales (14) d'une coque (1) comportent, du côté de l'arrière de cet élément, une rainure verticale (18) apte à recevoir le bord latéral d'un panneau de coffrage (39).

35

9.-Procédé suivant l'une quelconque des revendications 4 à 8, caractérisé en ce que la face d'une coque tournée (13) vers l'extérieur du tunnel est sensiblement plane et se raccorde perpendiculairement aux faces latérales (14) des dits éléments.

40

10.-Procédé suivant la revendication 9, caractérisé en ce que la face d'une coque verticale tournée (13) vers l'extérieur du tunnel est prolongée vers le haut par un épaulement (19) servant d'élément de coffrage lors du coulage de la dalle supérieure (38) du tunnel.

45

11.-Procédé suivant l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la face concave (6) des coques (1) est obturée durant leur mise en place.

50

12.-Procédé suivant la revendication 11, caractérisé en ce que les coques (1) sont fermées par un couvercle constitué d'une plaque (23) munie de raidisseurs (24).

55

13.-Tunnel réalisé suivant le procédé conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 12.

Fig. 1.

Fig. 2.

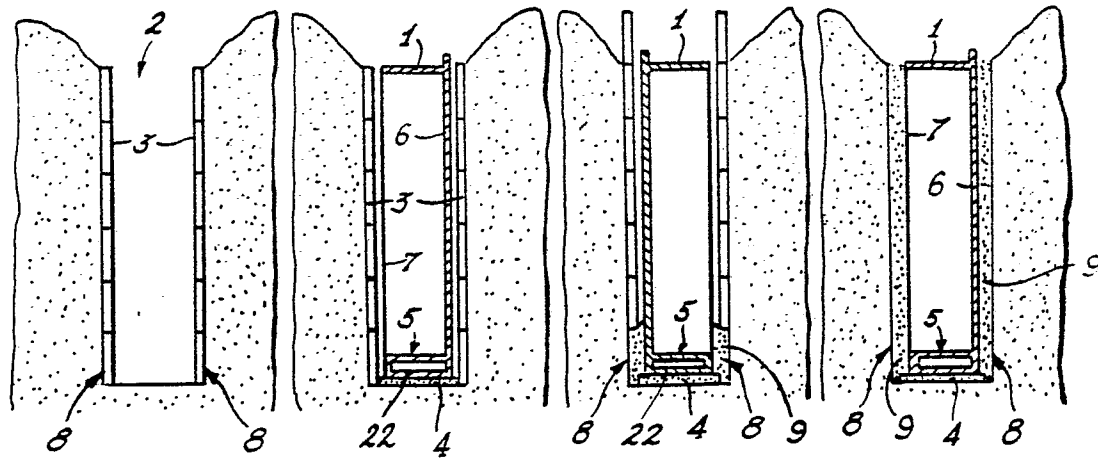


Fig. 5.

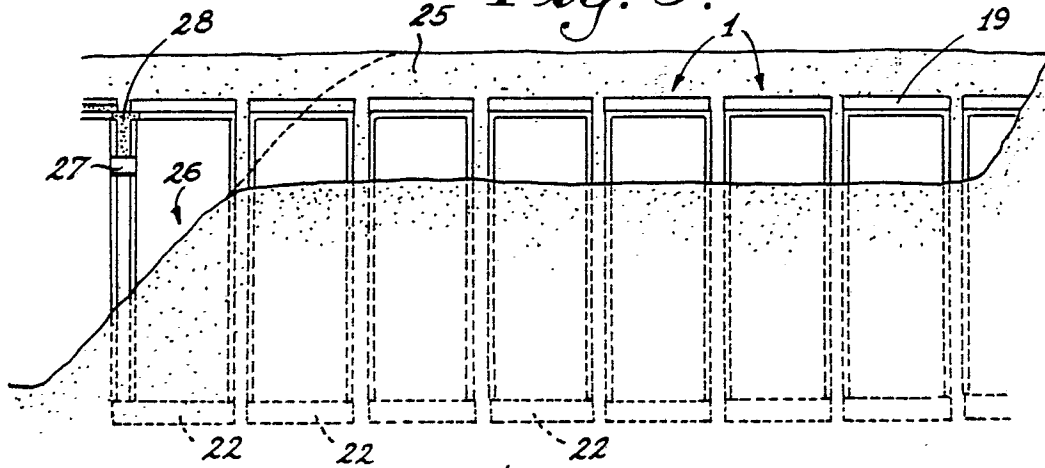


Fig. 6.

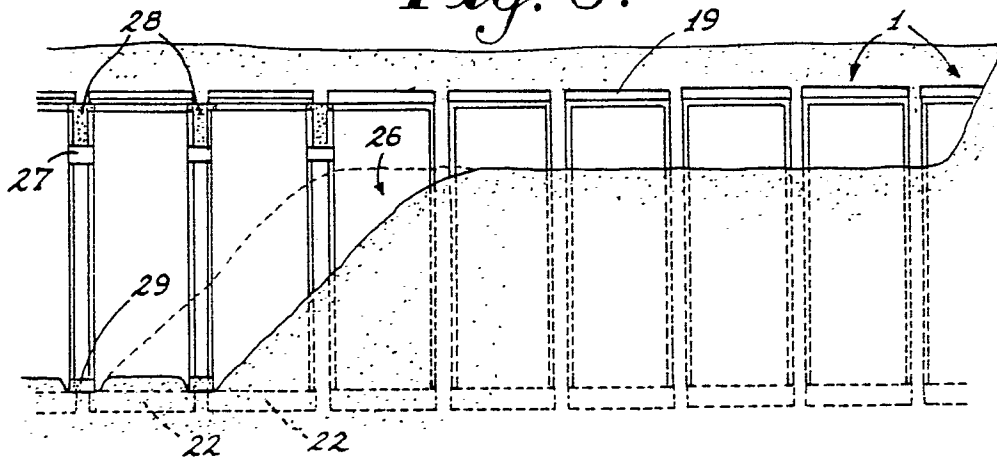
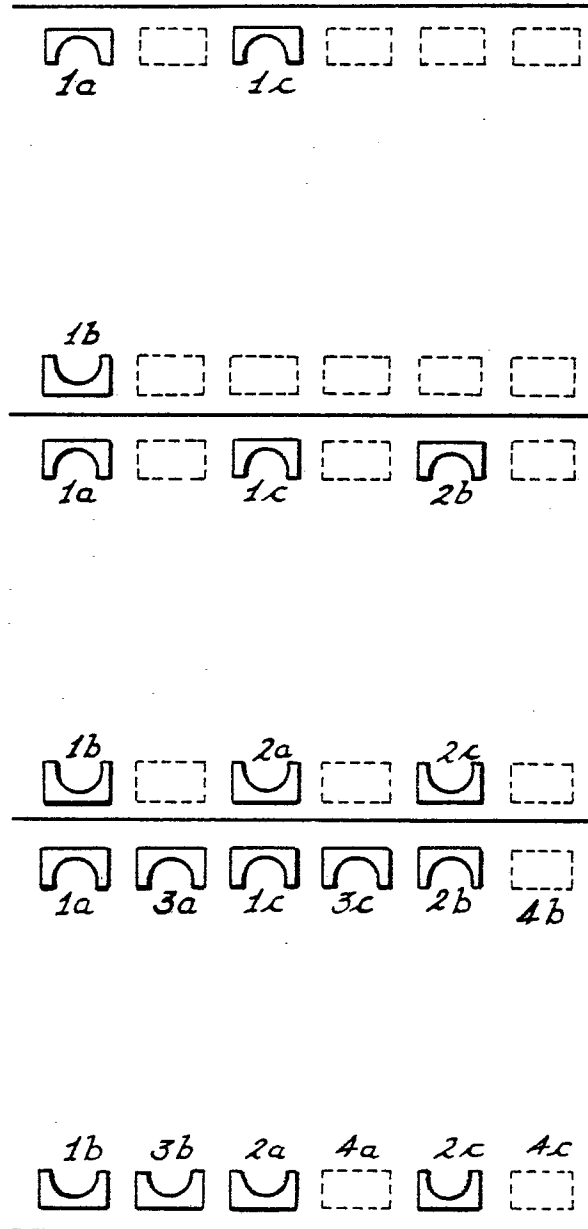


Fig. 3.

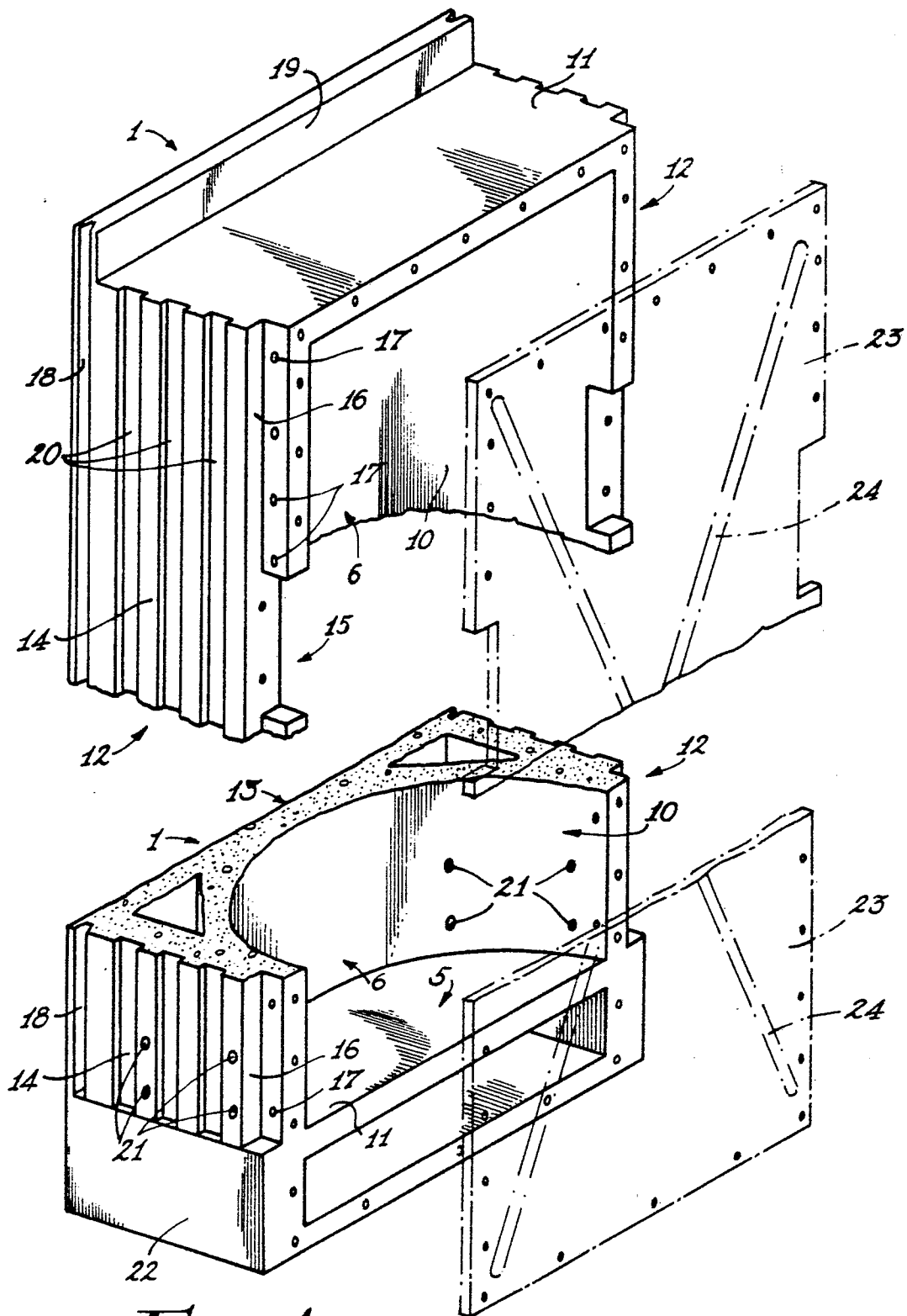
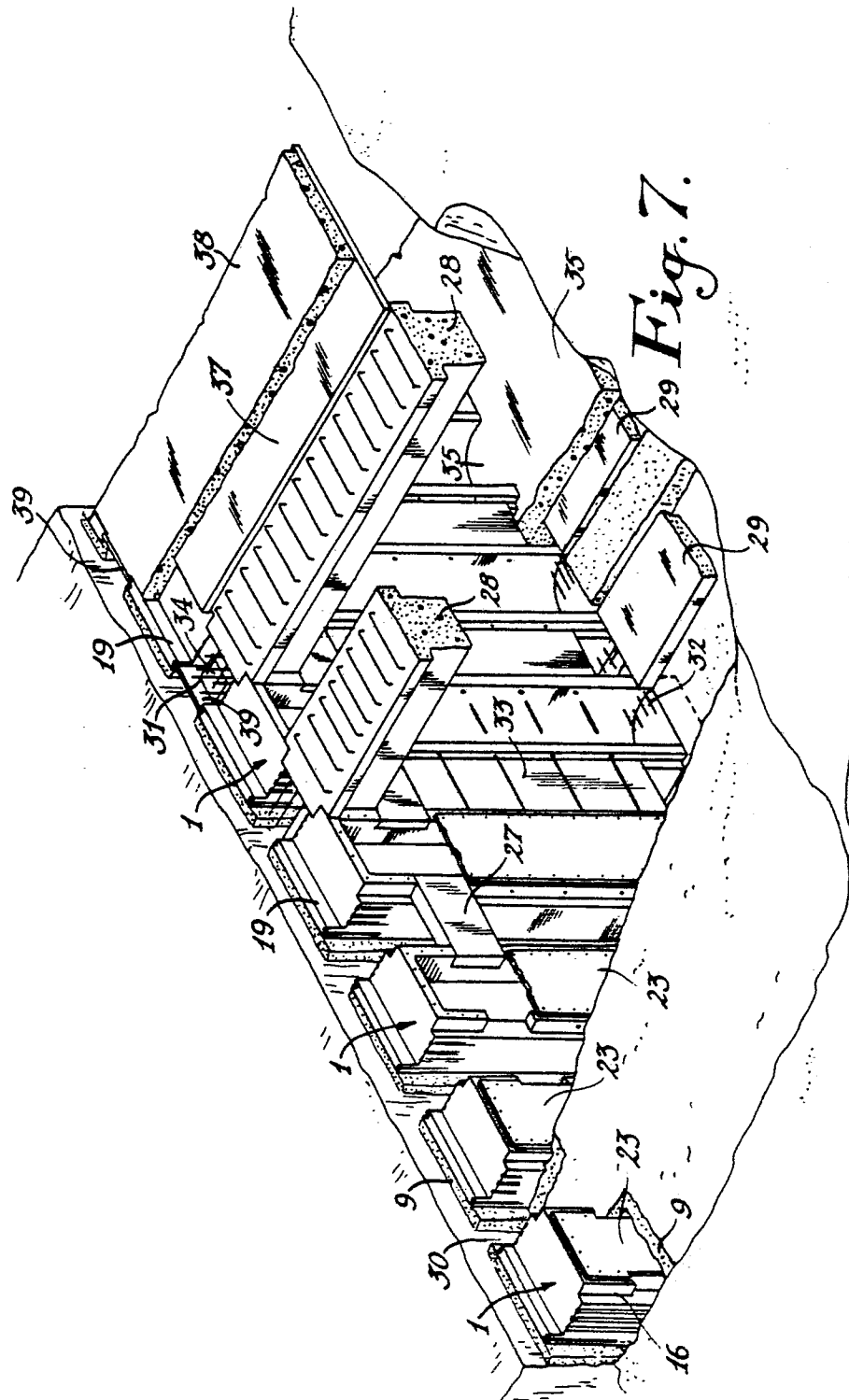
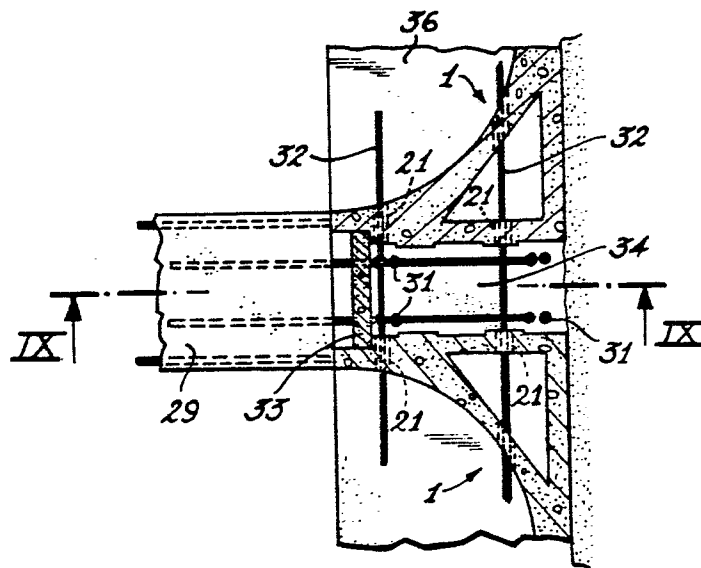
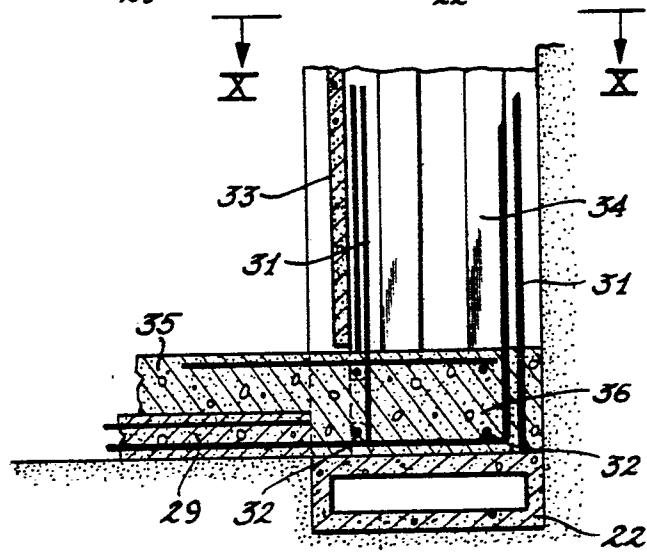
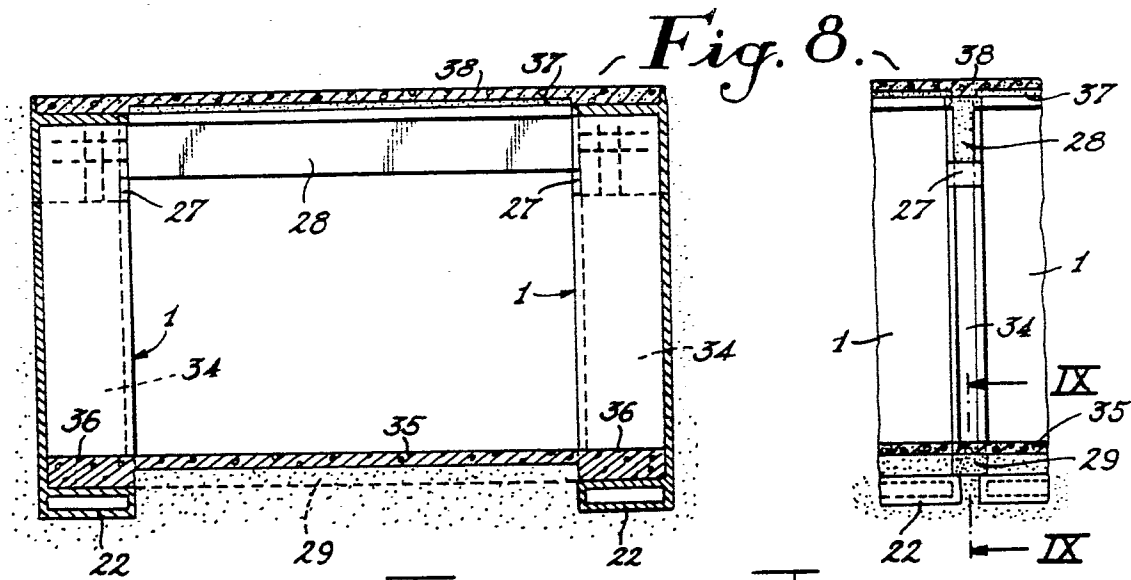


Fig. 4.





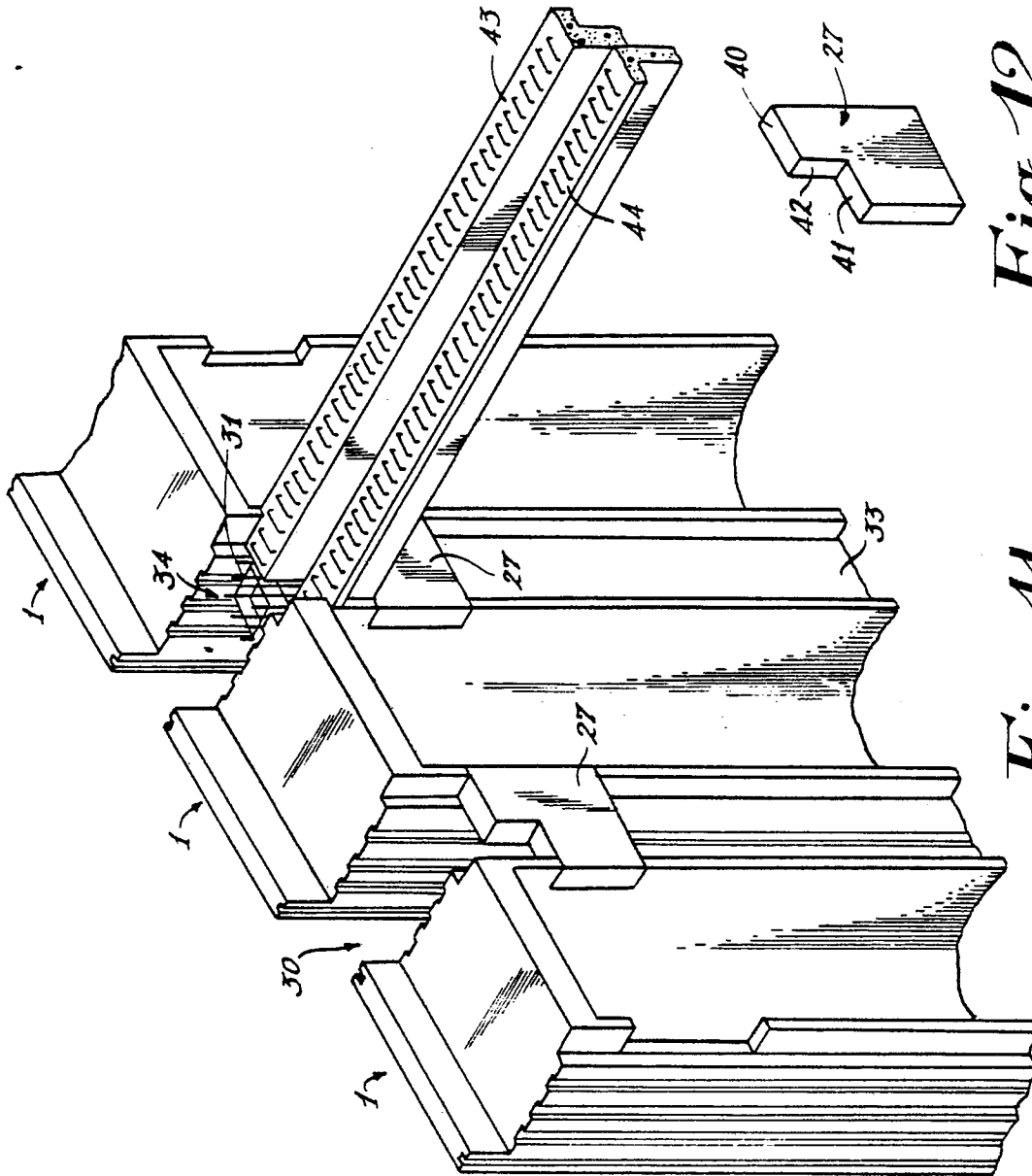


Fig. 12.

Fig. 11.

Fig. 13.

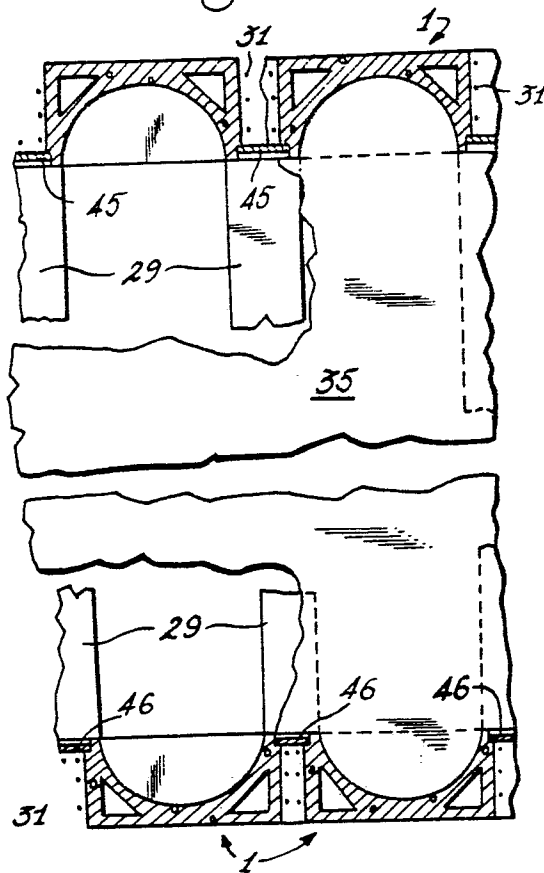


Fig. 14.

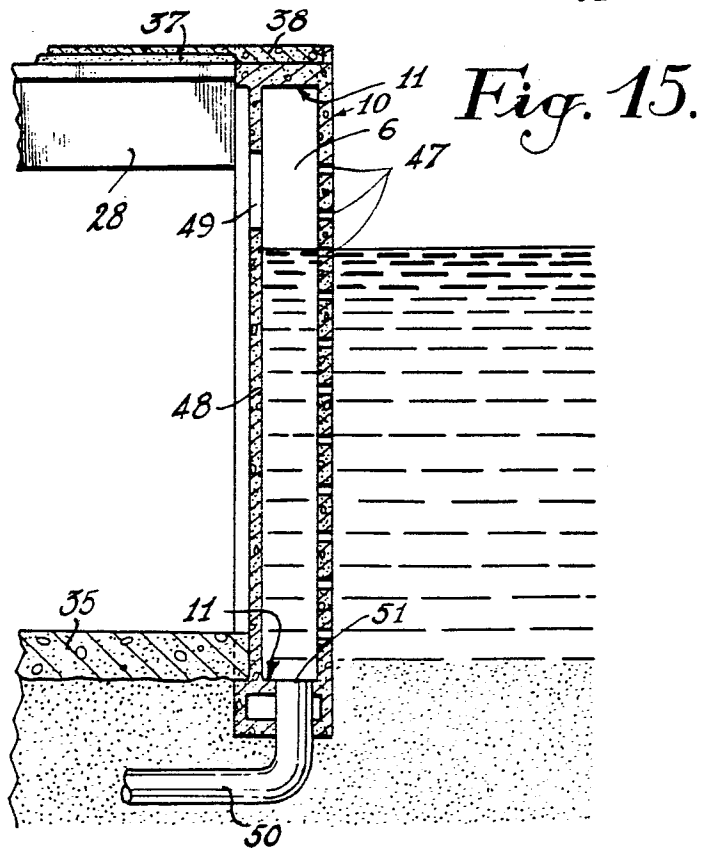
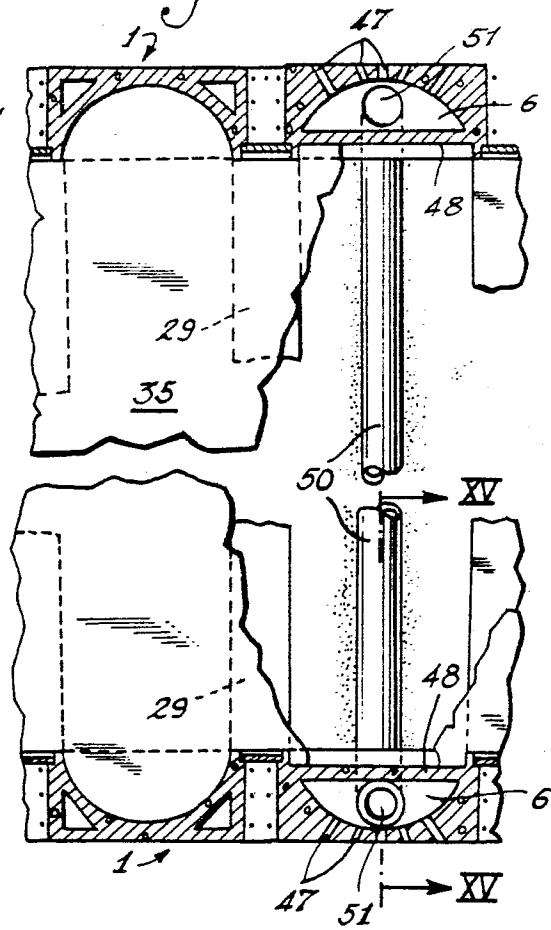


Fig. 16.

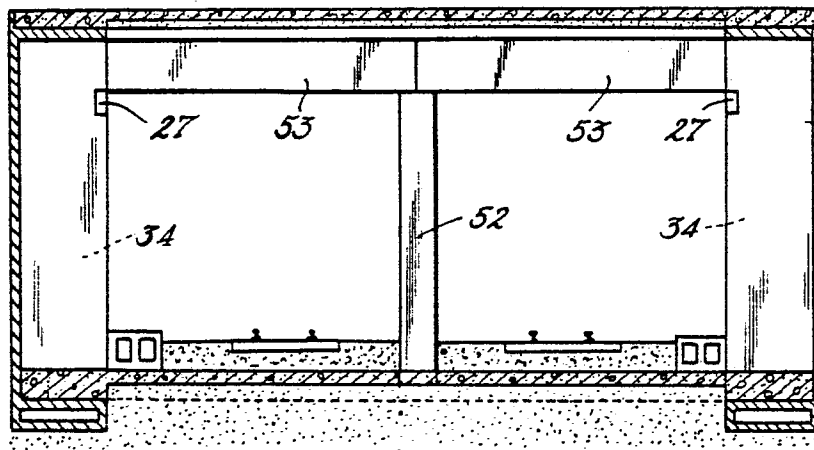
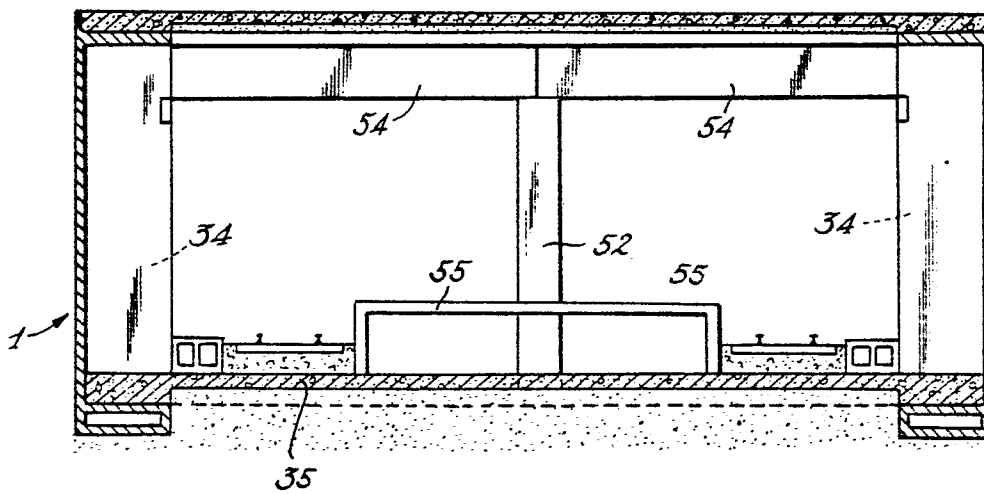


Fig. 17.





DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl. 4)
A	FR-A-2 291 344 (ALPINA) * Page 2, ligne 24 - page 3, ligne 19; page 4, ligne 4 - page 5, ligne 17; page 5, ligne 28 - page 6, ligne 20; page 8, lignes 6-10; page 10, lignes 7-15; figures 11A-11G, 14A-14C *	1, 2	E 21 D 10/04
A	BE-A- 785 886 (C.E.I.) * Page 1, ligne 1 - page 2, ligne 22; page 3, lignes 1-29; figures 1-4 *	1, 6, 8	
A	FR-A- 685 548 (ARNOLD) * Page 2, lignes 28-98; figures 7-14 *	4	
A	DE-C- 446 535 (BEISSEL)		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl. 4) E 01 G E 21 D E 02 D E 04 B E 04 H
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 23-12-1986	Examineur KERGUENO J.P.D.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			