

CONFÉDÉRATION SUISSE  
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) **CH** **706 389 B1**

(51) Int. Cl.: **E02D 29/067** (2006.01)

**Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein**

Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

(12) **FASCICULE DU BREVET**

(21) Numéro de la demande: 01302/12

(22) Date de dépôt: 08.08.2012

(43) Demande publiée: 31.10.2013

(30) Priorité: 27.04.2012 CH 584/12

(24) Brevet délivré: 15.05.2017

(45) Fascicule du brevet publié: 15.05.2017

(73) Titulaire(s):  
Sassoon Engineering Ltd, OMC Chambers  
Wickhams Cay 1  
Road Town, Tortola (VG)

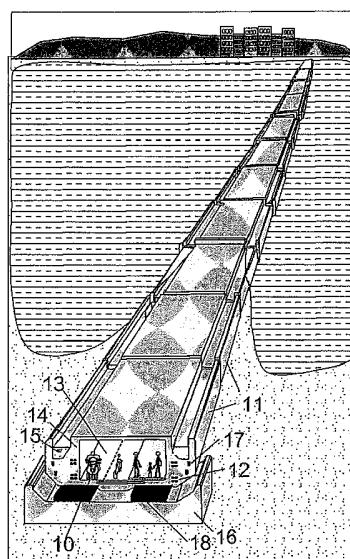
(72) Inventeur(s):  
Edouard Menoud, 1228 Plan-les-Ouates (CH)

(74) Mandataire:  
Clarence Peter, c/o Python & Peter 6, rue François-Bellot  
1206 Genève (CH)

(54) **Tunnels flottants immergés.**

(57) L'invention concerne un tunnel immergé, par exemple une passerelle immergée, comprenant des caissons (11) creux reliés entre eux pour former un chemin de circulation (13) et pour permettre l'immersion d'une partie des caissons sous une ligne de flottaison fonction du poids global des caissons, caractérisée en ce que les caissons (11) sont reliés entre eux par une structure de traction (12), formant des tronçons, les dits tronçons sont reliés entre eux par une deuxième structure de traction pour former la passerelle ou le tunnel.

L'invention concerne également un procédé pour réaliser un tel tunnel.



## Description

**[0001]** L'invention se rattache au domaine des ouvrages noyés ou enterrés que sont les tunnels et passerelles immergés et flottants.

**[0002]** Les tunnels immergés construits à ce jour sont de trois natures, l'une consistant à percer un tunnel au-dessous de la surface inférieure de l'eau, la deuxième consiste à produire des segments de tunnel en cale sèche puis à les transporter sur le site avant de les immerger et de les recouvrir d'un lit de remblais alors que la troisième catégorie qui correspond à l'invention concerne les tunnels dits flottants et utilisant le principe d'Archimède comme un des moyens de suspension. De nombreux documents évoquent ce genre de tunnel. Parmi ces documents il y a les documents DE 2009 399 et DE 2 423 854 qui évoquent une solution de tunnel flottant porté par un jeu de câbles continus et ancrés sur les extrémités du tunnel avec une production du profil du tube en cale sèche avant d'être immergé sur le site final. Le document WO 90/06 401 qui évoque une solution également portée par un jeu de câbles ancrés sur les extrémités dont le tube lui-même est coulé en continu. Plus récemment, il y a les documents WO 2009 039 605 ou WO 9 743 490 et US 5 899 635. Il y a aussi Internet ou encore les divers rapports dont les «State-of-the-Art» publiés par l'Association Internationale des Tunnels immergés, groupe de travail «tunnels flottants». Tous ces documents évoquent des projets de tunnels flottants pour trafic routier traditionnel ou trafic ferroviaire et en particulier les projets de Storfjord et Høgsfjord (Norvège), du lac de Zurich (Suisse), du détroit de Messine (Italie), et de la baie de Funka (Hokkaido, Japon). Ils évoquent le potentiel de telles solutions sans citer de réalisation ni de mode de construction détaillé.

**[0003]** L'apport de la présente invention consiste à utiliser la technologie dite de précontrainte à au moins 2 niveaux distincts, d'abord pour réaliser des tronçons qui peuvent être manipulés et transférés individuellement puis dans un second niveau pour les rattacher entre eux tout en contrôlant la pression des joints. Ainsi, ce type de composition permet de réaliser des passerelles ou tunnels de très grande longueur tout en ne traitant que des segments limités. De plus, le type de joint proposé et la technique de contrôle de pression du joint adoptée permet à ce dernier d'absorber des modifications de la position des points d'appuis de la passerelle ou du tunnel et ainsi de s'adapter aux éventuelles instabilités des supports géologiques et en conséquence de diminuer considérablement le coût d'un tel ouvrage. L'une des configurations proposées (fig. 36) permet de réaliser une passerelle ou un tunnel immergé capable de résister à l'accident majeur qu'est l'entrée de l'eau dans le tunnel, cette étape étant peut-être l'étape décisive pour que ce type de projet passe le seuil psychologique d'acceptation.

**[0004]** A cet effet, l'invention a pour objet un tunnel immergé, par exemple une passerelle immergée, selon l'énoncé de la revendication 1. L'invention s'étend à un procédé pour réaliser un tel tunnel immergé selon l'énoncé de la revendication 8.

## Liste des dessins

**[0005]** Les figures ci-dessous représentent, à titre non limitatif, quelques types de réalisations.

- |                    |                                                                        |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Les fig. 1 et 2    | présentent une passerelle immergée.                                    |
| La fig. 3          | présente le dispositif de précontrainte.                               |
| La fig. 4          | présente une demi-passerelle.                                          |
| La fig. 5          | présente les forces sur une demi-passerelle.                           |
| La fig. 6          | présente une coupe d'une passerelle immergée.                          |
| La fig. 7          | présente un tronçon d'une passerelle immergée.                         |
| Les fig. 8 et 9    | présentent un tronçon d'une passerelle en construction puis flottante. |
| La fig. 10         | présente 3 tronçons d'une passerelle immergée.                         |
| Les fig. 11 et 11a | présentent une chambre de jonction de 2 tronçons.                      |
| La fig. 12         | présente un ensemble de 3 tronçons couplés entre eux par 3 chambres.   |
| La fig. 13         | présente un profil de tunnel avec des chambres de lestage à eau.       |
| La fig. 14         | présente un caisson selon le profil de la fig. 13.                     |
| La fig. 15         | présente les éléments de coffrage d'un caisson en préparation.         |
| La fig. 16         | présente les éléments de coffrage d'un caisson prêt à être coulé.      |
| La fig. 17         | présente une darse adaptée au caisson des fig. 13 et 14.               |

|                       |                                                                                                                                                        |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| La fig. 18            | présente la même darse mais en coupe.                                                                                                                  |
| Les fig. 19, 20 et 21 | présentent d'abord une vue en coupe d'un caisson intermédiaire puis d'un caisson d'extrémité et enfin et toujours en coupe, l'assemblage des caissons. |
| La fig. 22            | présente la méthode d'assemblage des caissons.                                                                                                         |
| La fig. 23            | présente un tronçon en flottaison.                                                                                                                     |
| La fig. 24            | présente le détail d'une chambre de liaison.                                                                                                           |
| La fig. 25            | présente un fragment de tunnel posé sur piles.                                                                                                         |
| La fig. 26            | présente la méthode d'assemblage des tronçons.                                                                                                         |
| La fig. 27            | présente le joint «Gina».                                                                                                                              |
| Les fig. 28 et 29     | présentent une section de tunnel sous l'effet d'un affaiblissement géologique.                                                                         |
| La fig. 30            | présente deux dispositifs de compensation des affaiblissements.                                                                                        |
| La fig. 31            | présente une section de tunnel chargée avec des blocs de fonte.                                                                                        |
| La fig. 32            | présente une section d'un tunnel de grande portée tenue par deux îles flottantes.                                                                      |
| Les fig. 33 et 34     | présentent le premier stade d'installation du tunnel suivi du stade ultérieur.                                                                         |
| La fig. 35            | présente l'un des moyens d'encrage de tunnel de grande portée.                                                                                         |

#### Realisation de l'invention

[0006] Les descriptions ci-dessous représentent, à titre non limitatif, quelques types de réalisations.

[0007] La passerelle immergée selon les fig. 1 à 12:

[0008] La passerelle est constituée d'une succession de caissons en béton (11) liés les uns aux autres au moyen d'ergots de positionnement (17) et de câbles dits de traction (12). Les caissons sont posés sur un/des matelas antichocs (18) eux-mêmes posés sur des points d'appuis (16) et sont formés d'un chemin de passage des usagers (13) et de parois de béton armé (14). Ils sont dimensionnés pour que la passerelle puisse juste flotter sur l'eau cela signifie que le poids du caisson est légèrement inférieur au poids de l'eau déplacée (Principe d'Archimède) de manière à ce qu'elle puisse être transportée par voie d'eau puis, arrivée sur le site d'utilisation, elle sera immergée par ajout de matière de lestage comme le gravier dans le réceptacle dit de lestage (15, 67) ou amarrée sur un point de fixation au moyen d'un câble (61). Ainsi, une construction en béton armé dont la densité volumique est légèrement au-dessus des 2 kg/dm<sup>3</sup> signifie que le volume du béton (14) est inférieur au volume de passage (13). Entre chaque caisson, un joint bitumeux ou gommeux assure l'étanchéité.

[0009] La fig. 2 présente les extrémités de la vue en long d'une passerelle quasi immergée avec le niveau de l'eau (21) et les caissons (11). Elle est supportée par 2 points d'appui (22) sur le sol (24). Le/les câbles dits de précontrainte (12) ou contrainte aboutissent sur les deux embouts (23) qui sont détaillés en fig. 3.

[0010] La fig. 3 représente schématiquement les embouts des câbles précontraints ou plutôt contraints dans cas présent avec les cônes de traction (32), les divers torons multibrins des câbles (33) et la gaine de protection (34). Des informations détaillées sur ce principe de précontrainte sont disponibles sur les divers brevets de l'inventeur de la précontrainte nommé Freyssinet. Il est judicieux que dans le cas présent il y a utilisation de procédés similaires à la précontrainte toutefois le travail s'effectue plutôt en contrainte.

[0011] Ci-dessous, une petite idée de calcul statique simplifié des efforts ou forces dans le/les câbles dits de précontrainte. Comme la passerelle est admise autoportée, il ne sera pris en considération que les efforts liés aux charges variables. Pour l'exemple, il sera pris en considération une passerelle à 2 voies supportées par deux câbles. Ainsi, le calcul s'effectue sur une seule voie. Les fig. 4 et 5 présentent un demi-tronçon avec les efforts d'une passerelle uniformément chargée et symétriques. Pour cet exemple, il est pris en considération un véhicule (ultraléger) de maximum 500 kg tous les 5 mètres (ou 10 véhicules de 1000 kg tous les 10 m) soit une charge linéaire de 100 kg/m.

[0012] Ainsi, le poids sur l'appui (F1) est de 100 m \* 100 kg/m soit 10 000 kg avec un moment correspondant de 10 000 kg \* 100 m soit 100 000 kg/m. A ce moment, il faut déduire le moment opposé engendré par les véhicules soit: 100 m/2 \* 100 kg/m \* 100 m soit 500 000 kg/m. Ainsi le moment résultant est de 100 000 kg/m-500 000 kg/m soit 500 000 kg/m, moment qui doit être compensé par le moment issu du produit, force du câble \* hauteur de la passerelle ce qui donne comme force du câble 500 000 kg/2.5 m soit 200 000 kg ce qui correspond à un câble d'environ 10 cm de diamètre.

**[0013]** A cette force doit être augmentée d'une force de traction de base servant à maintenir la passerelle stable et à compenser les «surcharges de lestage et les forces latérales dues à un éventuel courant d'eau. Dans l'exemple, il est proposé de doubler cette force.

**[0014]** La fig. 6 présente un profil en travers d'une passerelle dont les flancs (61) sont agencés de manière à diminuer la résistance hydrodynamique au flux transversal (62). Une vitre (63) est placée sur la face supérieure. Lorsque le poids de la passerelle est très proche du poids du volume d'eau déplacée voire inférieure, la passerelle peut être tenue par une ligature (64) fixée sur le socle (65) afin de la maintenir solidaire du socle. Un canal (66) de récupération des fuites d'eau est visible au bas du profil. Cette passerelle est posée sur un matelas antichocs ou antisismique. Dans ce contexte, il est judicieux de préciser que les mouvements verticaux de l'eau sont proches des mouvements sismiques verticaux du sol nécessitant ainsi une plus faible marge de mouvements que pour les mouvements horizontaux où l'eau aura tendance à rester sur place.

**[0015]** La fig. 7 présente un tronçon de passerelle à 2 niveaux de pentes telles qu'il serait d'usage lorsqu'un premier tronçon (71) sert comme ponton de promenade ou d'amarrage de bateaux de plaisance (72) avant de plonger sous la surface de l'eau (21, 73, 91). Dans un tel cas, il est judicieux de compléter le dispositif par un deuxième jeu de câbles précontraints (74) situés idéalement à mi-hauteur des caissons, ces câbles ayant pour mission d'assurer une pression suffisante sur les joints inter-caissons. La même fig. présente 2 changements de pente du tronçon, changements qui peuvent être réalisés au moyen de coupes angulaires des caissons ou d'ajouts d'une tranche conique intermédiaire (75) entre des caissons parallélépipèdes.

**[0016]** La fig. 8 présente le dispositif de production d'une passerelle à immerger. Elle est assemblée dans un bassin d'eau (82) mis en cale sèche grâce à des palplanches (83). Le fond (81) du bassin peut-être réalisé au moyen de gravier. Il a la forme du tronçon définitif. Les caissons successifs sont assemblés les uns aux autres après qu'ils aient été complétés par un joint d'étanchéité bitumeux ou gommeux et des parois temporaires de bouchonnage des extrémités (84). Puis les câbles, le central (85) qui tient la pression sur les joints inter-caissons et celui du bas (86) qui soutiendra les charges variables, sont introduits dans les gaines et mis en traction au moyen de vérins spécialisés selon la technique de l'inventeur «Freyssinet».

**[0017]** La fig. 9 présente la mise en eau d'un tronçon après que les palplanches de droite ont été retirées. Le tronçon flotte et son transport peut démarrer.

**[0018]** La fig. 10 présente une traversée lacustre constituée de 3 tronçons (101, 102, 103), le premier (101) comporte une partie émergée puis plonge sous la surface de l'eau, le deuxième (103) comporte deux plans inclinés et un plan horizontal profond. Les caissons sont reliés entre eux au travers de chambres de liaison (106, 107). La profondeur est d'au moins le tirant d'eau le plus défavorable des bateaux (104) compte tenu des plus grandes vagues.

**[0019]** La fig. 11 présente une chambre de liaison. On perçoit les deux extrémités des caissons (112), les parois de la chambre (111), ainsi que les têtes des câbles de traction des caissons (85, 86). Sur la droite en bas du dessin on perçoit le joint (114) de type «Gina» qui sert à rendre étanche la liaison entre la chambre et le caisson de droite. Il est dessiné dans l'état précédent la mise sous pression alors que sur la gauche on perçoit le même type de joint (115) en état de travail c'est-à-dire en compression. Le deuxième dispositif de traction formé de câbles (118) sert à maintenir les tronçons entre eux et à contrôler la pression sur les joints «Gina». On notera que ces câbles peuvent-être munis d'un dispositif de mesure de traction et ainsi indiquer la pression sur les joints.

**[0020]** La fig. 11a présente à droite, une chambre de liaison intégrée dans les extrémités des caissons. On perçoit les têtes des câbles de traction des caissons (85, 86). On y perçoit aussi les joints Gina (114, 115). Deux dispositifs de traction locaux (119) qui peuvent être des tiges ou quelque chose ayant la même fonction et servant à transférer la force de maintien des tronçons entre eux et à contrôler la pression sur les joints «Gina».

**[0021]** La fig. 12 présente une partie de passerelle en situation finale et composée d'une extrémité en zone sèche (121), de 3 chambres de liaison (122) reliant les tronçons de caissons (123). Les chambres sont posées sur des coussins antichocs (126) intégrés dans les appuis de fixation (124) eux-mêmes ancrés dans le sol (125).

**[0022]** Après que les tronçons de caissons ont été mis en place sur les appuis, un nouveau câble supplémentaire (127, 118) dit de compression des joints inter-tronçons est enfilé à partir de l'extrémité gauche de la passerelle. Ce câble va traverser toute la passerelle. Pour faciliter son passage, des cônes de guidage (119) ont été agencés là où il y a risque d'accrochage. Le câble définitif (127, 118) est précédé d'une tige semi-rigide qui l'entraînera. Cette opération est effectuée à partir des extrémités qui sont au sec. Le câble sera mis sous traction au moyen de la technique des cônes et vérins. La traction du câble se reporte sur les joints «Gina» et permet ainsi de contrôler le taux de compression. Accessoirement, ces câbles participent aussi à l'effort de soutien des charges variables. Pour faciliter l'opération, les extrémités de la passerelle poseront sur des appuis à rouleaux (105) alors que pour les chambres, il n'y a que peu de poids. Finalement et dès que les joints sont sous pression, les chambres sont vidées et les bouchons des parois (84) abattus. On notera que cette technique de liaison autorise de petits mouvements de rotation horizontaux entre les tronçons des caissons ceci dans le but de résister aux chocs sismiques. De plus, l'introduction des chambres permet de changer les câbles lors des travaux d'entretien de la passerelle.

**[0023]** Le tunnel selon les fig. 13 à 35 avec production de caissons qui seront assemblés hors darse pour former des tronçons qui seront transportés sur le site final:

**[0024]** La fig. 13 présente la section d'un caisson de tunnel avec les ergots de positionnement (131), les chambres de lestage à eau (132), compartimentées par caisson avec les vannes d'accès aux chambres (133) les trous pour le passage des câbles de tenue de l'assemblage des caissons (134), et ceux pour les câbles de support de la charge (135). Un joint (négatif et en relief) (136) permet d'assurer l'étanchéité entre les caissons. Il peut être doublé d'un deuxième joint de sécurité injecté (137) dès que les caissons sont assemblés les uns aux autres et que les câbles d'assemblage des caissons sont définitivement tendus (mais avant immersion finale).

**[0025]** La fig. 14 présente un caisson en perspective (longueur 25 m). Le caisson sera fermé provisoirement aux extrémités (environ -0.5 à -1 m) au moyen de profils d'aluminium spécifiques et jointoyés ceci afin de le laisser flotter en vue de l'assemblage. Les caissons sont munis de portes d'accès (141).

**[0026]** Les fig. 15 et 16 présentent deux états différents de préparation des coffrages d'un caisson. La partie supérieure du coffrage est mobile alors que la partie inférieure est fixe et sera noyée lors de la mise en eau du caisson.

**[0027]** Les fig. 17 et 18 présentent une darse de construction des caissons. Trois des côtés (171, 172, 173) sont construits avec des palplanches alors que le quatrième (174) est une porte-écluse avec accès à la voie d'eau. La porte écluse peut être autonome ou manipulée par la grue. Les éléments de coffrage intérieurs au caisson sont manipulés par un charriot élévateur adaptés à cet usage (181) alors que les autres éléments sont manipulés par la grue.

**[0028]** La fig. 19 présente un caisson avec les câbles de maintien (191), les câbles de maintien des tronçons (192) et les câbles de maintien de la charge (193).

**[0029]** La fig. 20 présente un des deux caissons d'extrémité d'un tronçon avec la demi chambre de liaison (201), le couple de joints «Gina» et «Oméga» (202), les têtes des câbles de liaison pincées dans les cônes de traction (203) et les têtes des câbles de maintien (204) elles aussi pincées dans leurs cônes de traction.

**[0030]** La fig. 21 présente un assemblage de tronçons où seuls les câbles de liaison des tronçons (211) débordent des extrémités des dits tronçons.

**[0031]** La fig. 22 présente un tronçon en cours d'assemblage. On y voit une barge porteuse des bobines de câbles de liaison des caissons (221), les divers caissons à assembler (222), les caissons sont maintenus entre eux et à quai grâce à des cordes d'amarrage (223), un véhicule-grue (224) maintient en position de travail un vérin hydraulique (225) manipulé par 2 plongeurs (226) ou un robot manipulateur. L'opération consiste à introduire les câbles qui sont repris par des câbles en attente puis à mettre les câbles sous tension de manière à obtenir un tronçon rigide et autonome. Les parois intérieures peuvent être extraites à ce moment-là, l'accès étant possible au travers des portillons (141).

**[0032]** La fig. 23 présente un tronçon avant assemblage à gauche et après assemblage à droite.

**[0033]** La fig. 24 présente le détail d'une chambre de liaison avec les joints type «Gina» en position détendue (241), puis en position compressée (242) cette dernière position étant protégée de l'écrasement au moyen du taquet limiteur de pressions (243), ce joint étant doublé d'un joint de sécurité nommé joint «Oméga» (244).

**[0034]** La fig. 25 présente l'une des méthodes d'encrage du tunnel par rapport au sol et en particulier au moyen de piles le supportant, la densité relative de l'ensemble tunnel étant légèrement supérieure à la densité du fluide environnant.

**[0035]** La fig. 26 présente la méthode de mise en place des tronçons. Le premier tronçon (261) est immergé à l'une des extrémités du tunnel puis il est suivi par le deuxième tronçon (262). Un premier jeu de câbles constitué d'un câble «gauche» (1L), et d'un câble «droite» 1R dits d'assemblage des tronçons sont introduits (ou tirés par les câbles) entre le premier tronçon est le deuxième puis ils sont mis en tension de manière à ce que les deux tronçons se retrouvent dans l'état définitif.

**[0036]** Dès cette opération terminée, un troisième tronçon (263) est amené puis un deuxième jeu de câbles (2L, 2R) est introduit dans un deuxième jeu de gaines. La mise en tension de ces câbles permet de positionner le 3<sup>ème</sup> tronçon. Puis on reprend successivement les jeux de câbles 1 & 2 pour les prochains tronçons ceci jusqu'au dernier tronçon où les deux jeux de câbles sont mis définitivement sous tension.

**[0037]** Dans le détail, le premier jeu de câble (1L, 1R) est inséré au travers des tronçons 261 et 262. Pour la mise sous tension, il y a pose d'un premier cône (formé de 2 demi-cônes) en position 265 et d'un deuxième cône accompagné du vérin de traction en position 266. De plus, au moment de l'arrivée du troisième tronçon 263, l'extrémité (extérieure aux 2 demi-cônes) des câbles 1L et 1R sera connectée à la câblette en attente du prochain tronçon 263. Dès que le deuxième jeu de câble (2L, 2R) est mis sous tension, un vérin placé en position 266 est à nouveau activé successivement sur les câbles 1R et 1L ce qui permet de libérer les cônes du côté 266 et de lâcher la tension sur ces câbles. Dès lors, ils peuvent être tirés par les câbles en attente afin de procéder à la prochaine étape, ce qui a pour effet que les 2 demi-cônes placés du côté 266 vont simplement tomber au sol.

**[0038]** La fig. 27 présente le joint «Gina» (271) ainsi que les profils de «taquet» limiteur de compression (272).

**[0039]** La fig. 28 présente un fragment de tunnel dont les tronçons (281) sont posés sur des piles (282) dont l'une des piles (283) est objet d'un affaissement (284) ce qui a pour effet l'affaissement du tunnel (284).

**[0040]** Sur la fig. 29, on peut constater l'effet de l'affaissement avec le joint supérieur comprimé à sa limite (291), limite donnée par le taquet alors que le joint inférieur est objet d'un écartement «delta» (292). Le dispositif d'assemblage des tronçons par câble et joint «Gina» permet une bonne adaptation aux variations géologiques. Toutefois, un dispositif complémentaire de compensation des variations géologiques est présenté à la fig. 30. Il permet de travailler avec des fondations ayant de plus faibles dimensions et posées sur un sol de moindre stabilité. Généralement, le sol est composé de couches instables ou vaseuses au sommet (306) puis progressivement un peu plus stables (307) et fermes (308) en plus grande profondeur. Dans la partie gauche, la compensation est opérée au moyen de vérins (301) qui restent en permanence sur le site alors que dans la partie droite, ils sont introduits lors des opérations de maintenance, le temps de positionner des cales intermédiaires (30) de maintien des chambres puis les vérins sont à nouveau retirés.

**[0041]** Les caissons peuvent aussi être noyés partiellement ou totalement dans la vase ou des matériaux plus sablonneux ou terreux voire être situés en terre marécageuse plutôt qu'en mer ou lac et sont ainsi l'objet d'une poussée d'Archimède augmentée du fait de la densité de ces matériaux. Cette augmentation est aussi dépendante de la hauteur de ces matériaux par rapport à la hauteur du tunnel (ligne de flottaison). La densité de ces matériaux dépend de leur constitution et en particulier de leur granulométrie ainsi que de la teneur en eau. Les densités des sables et limons compacts et saturés d'eau sont généralement de l'ordre de 1,7–1,8 à 2,2–2,3 kg/dm<sup>3</sup>.

**[0042]** Pour compenser l'effet de ces matériaux, il est judicieux de le faire avec d'autres matériaux de compensation sensiblement plus lourds que ces derniers. La fig. 31 présente un tronçon de tunnel lesté au moyen de blocs de fonte ou de l'acier (311) dont la densité se situe autour de 8 kg/dm<sup>3</sup>.

**[0043]** Les fig. 32, 33, 34 et 35 présentent un tunnel de grande portée constitué de passerelles flottantes en surface (325), ces passerelles aboutissant sur des îles artificielles d'ancrage du tunnel (326), le tunnel étant composé des tronçons 320, 321, 322.

**[0044]** Les fig. 33 et 34 présentent le mode de mise en place. Dans ce cas, les tronçons sont produits selon le mode décrit ci-dessus puis les tronçons 320 seront assemblés entre eux au moyen du jeu de câbles d'assemblage des tronçons. Il en va de même pour les tronçons (321) et (322).

**[0045]** Ainsi, un nouveau (troisième) jeu de câbles de liaison reliera les groupes de tronçons puis on immergera (fig. 32) progressivement le groupe de tronçons central (321) en tendant progressivement le troisième jeu de câbles puis on immergera les groupes (320) et (322) selon le schéma de la fig. 33, ceci jusqu'à obtention de la position définitive et de la bonne tension du câble de liaison.

**[0046]** La fig. 35 présente une méthode permettant d'assurer la position du tunnel précédent, indépendamment de la variation des positions des points d'ancrage (352). On remarquera le dispositif de correction des variations de positions constitué de moteur-treuil (351) entraînant les câbles d'accrochage dans le but d'adapter leur longueur.

**[0047]** A ce jour et malgré le très grand nombre de projets évoqués, aucun tunnel flottant n'a été réalisé. L'un des dangers qui peut bloquer une décision et le fait qu'en cas d'ennuis majeurs et en particulier l'arrivée d'eau dans le tunnel, il perd l'effet «Archimède» et s'effondre.

**[0048]** Les fig. 36 et 37 présentent deux configurations de tunnels flottants sur piles, l'un optimisé économiquement avec des travées de 200 m et 6 câbles (type 37 T 15) pour supporter la charge et l'autre avec des travées de 100 m et 12 câbles pour supporter la charge, le premier s'effondre en cas de voie d'eau alors que le deuxième résistera et la différence de prix n'est pas vraiment importante.

**[0049]** Parmi les diverses constructions possibles, il est judicieux d'évoquer la production de tronçons de tunnel ayant environ une centaine de mètres entre les extrémités. De tels tronçons peuvent être produits d'une seule pièce dans une darse de plus de 100 m. Le tronçon n'ayant plus à être assemblé en tant que sous-ensemble, peut être constitué de tiges de précontrainte (mises sous tension avant que le béton soit coulé et ayant le même effet que les câbles) plutôt que des câbles évoqués dans les alinéas précédents.

## Revendications

1. Tunnel immergé, par exemple passerelle immergée, comprenant des caissons (11) creux en béton reliés entre eux pour former un chemin de circulation (13) et pour permettre l'immersion d'une partie des caissons sous une ligne de flottaison (21, 73, 91) fonction du poids global des caissons, caractérisé en ce que les caissons (11) sont reliés entre eux par une première structure de traction (12, 32, 85, 86) pour former des tronçons (11) et en ce que lesdits tronçons (101, 102, 103) sont reliés entre eux par une deuxième structure de traction (118, 127).
2. Tunnel immergé selon la revendication 1, caractérisé en ce que les tronçons reliés entre eux par la deuxième structure de traction forment des sous-ensembles (320, 321, 322) qui, à leur tour, sont assemblés entre eux par une troisième structure de traction, comprenant des câbles de liaison (191, 211) pour former la passerelle ou le tunnel immergés.
3. Tunnel immergé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que la première structure de traction comprend soit des câbles (12, 74, 85, 86) introduits dans des logements formés dans les caissons et des cônes de traction (32) des câbles venant en appui contre deux caissons d'extrémité d'un tronçon, soit des tiges de précontrainte noyées

dans les caissons du tronçon, et la deuxième structure de traction comprend un premier jeu et un deuxième jeu de câbles (118, 127) introduits dans des logements formés dans les caissons et des cônes de traction (32) des câbles venant en appui contre deux caissons d'extrémité des tronçons formant le tunnel immergé, cette deuxième structure permettant de contrôler la pression de serrage de joints inter-tronçons (114, 115).

4. Tunnel immergé selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les caissons ont un poids en dessous du poids du volume du fluide déplacé et intègrent des niches de lestage (15, 67) qui permettent de faire passer leur poids au-dessus du poids du volume du fluide déplacé.
5. Tunnel immergé selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que des joints sont prévus entre les caissons et en ce que lesdits caissons sont pourvus de taquets limiteurs de compression (243).
6. Tunnel immergé selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il comprend des câbles d'accrochage fixés à des points d'ancrage et à des dispositifs motorisés (351) ou à vérin (301) adaptant la longueur des câbles d'accrochage pour corriger des mouvements d'instabilité des points d'ancrage.
7. Tunnel immergé selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que les tronçons sont posés sur des piles.
8. Procédé pour réaliser un tunnel immergé selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que:
  - i) des caissons en béton sont assemblés (261) en tronçons en étant mis sous tension par une première structure de traction,
  - ii) un premier tronçon et un deuxième tronçon sont assemblés en étant mis sous tension par un premier jeu de câbles d'une deuxième structure de traction,
  - iii) un troisième tronçon (262) est assemblé aux deux tronçons précédents par un deuxième jeu de câbles de la deuxième structure de traction, indépendant du premier jeu de câbles, mettant en tension les deux tronçons précédents associés à l'étape ii) et le troisième tronçon,
  - iv) les câbles du premier jeu sont libérés et un quatrième tronçon (263) est assemblé aux trois tronçons précédents par le premier jeu de câbles, mettant en tension les trois tronçons précédents assemblés à l'étape iii) et le quatrième tronçon et,
  - v) les étapes ii) à iv) sont reconduites jusqu'à obtention du tunnel immergé complet.

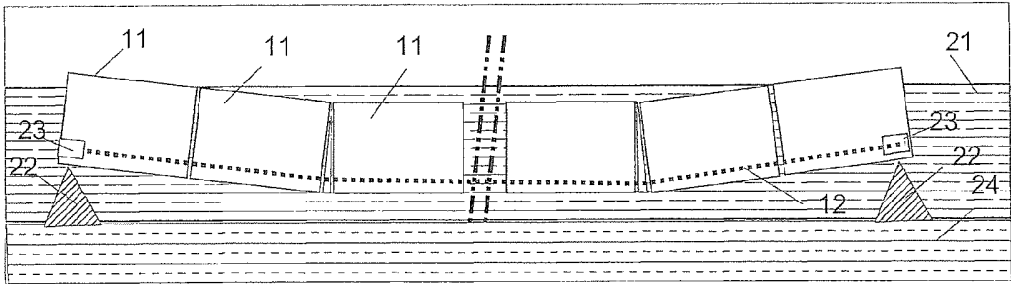
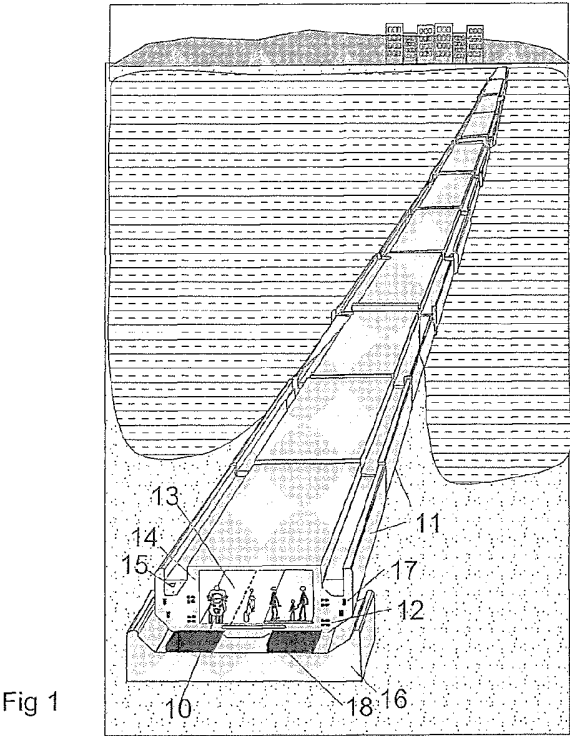
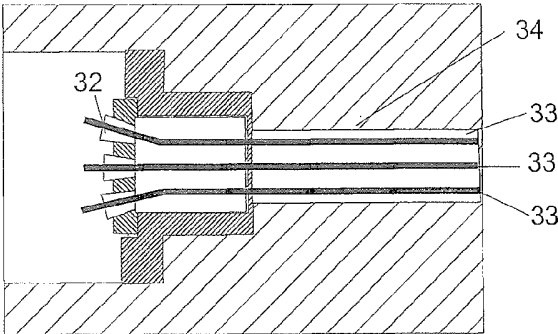
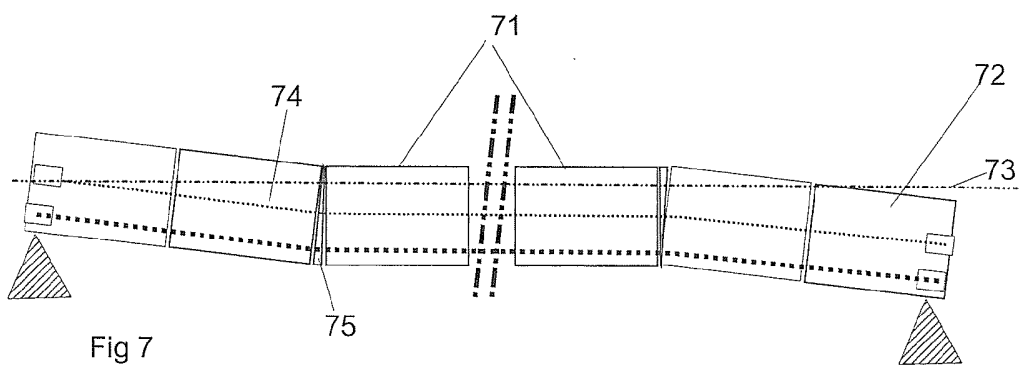
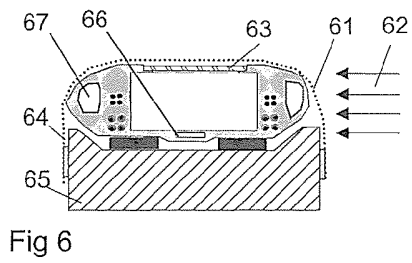
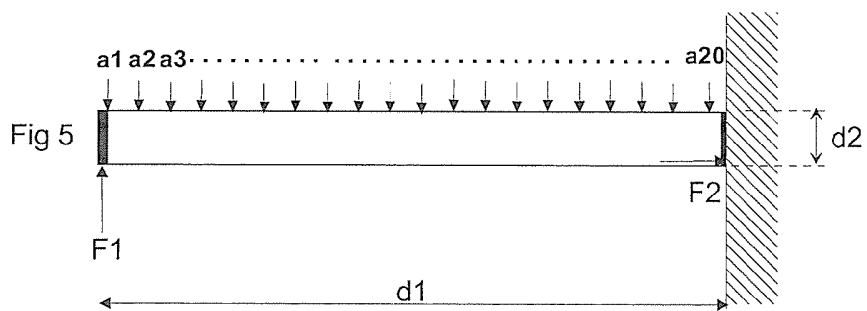
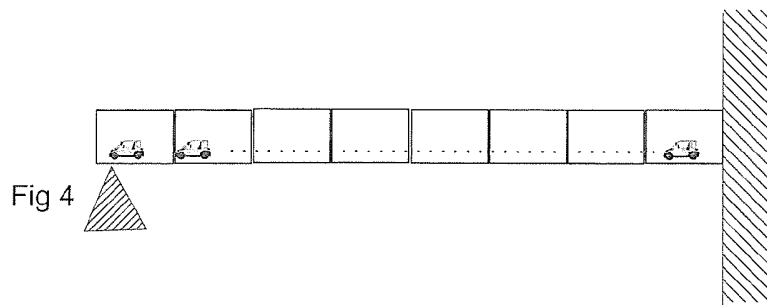


Fig 3





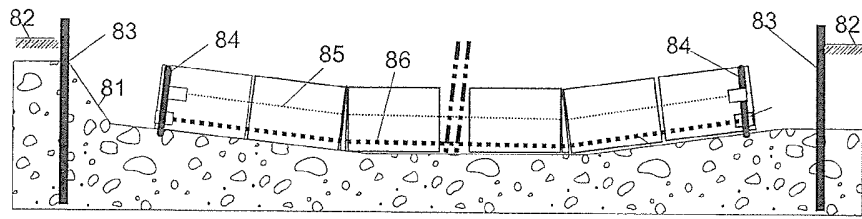


Fig 8

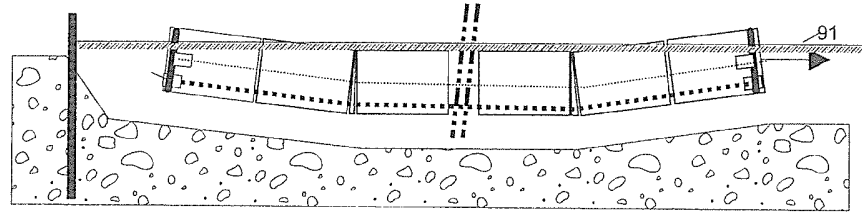


Fig 9

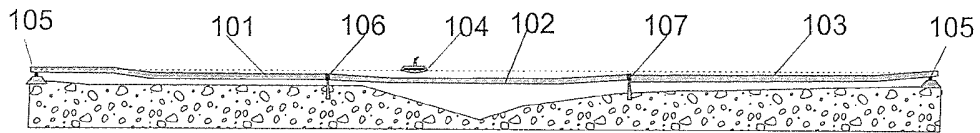


Fig 10

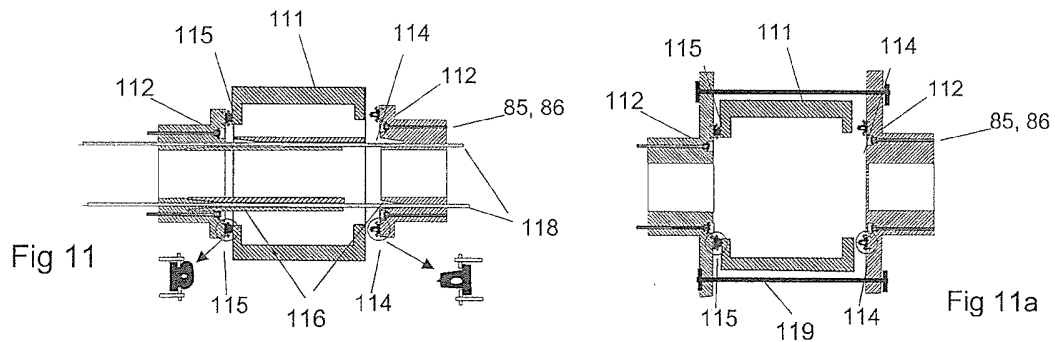


Fig 11

Fig 11a

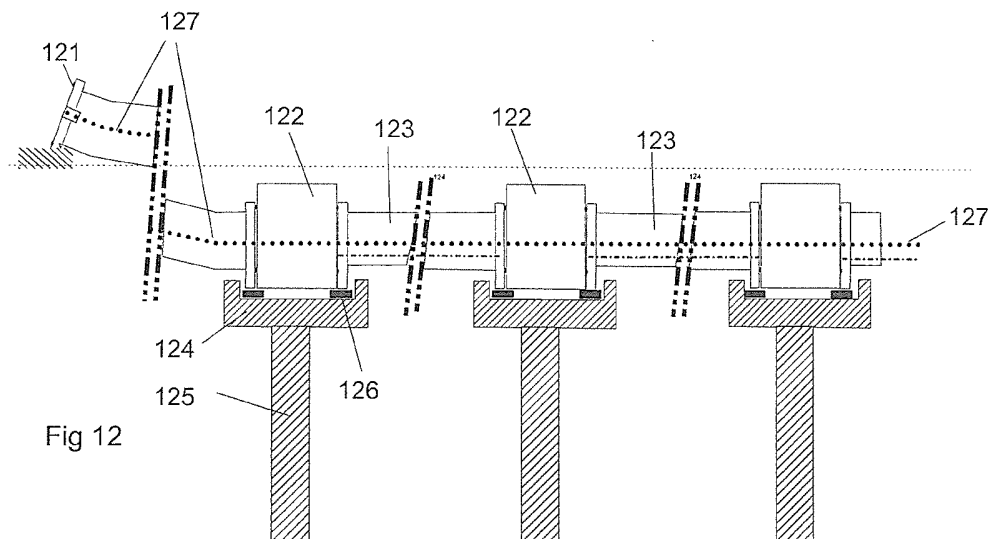
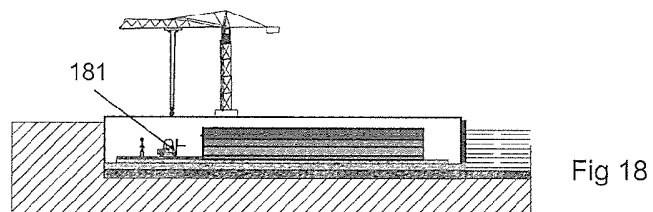
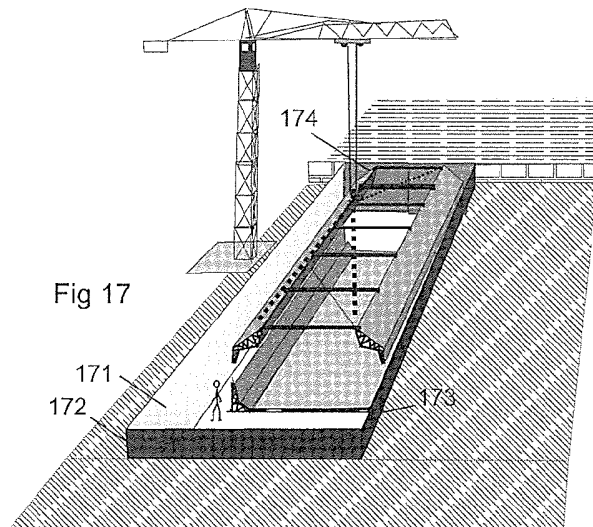
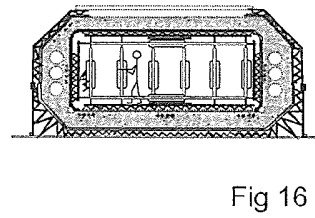
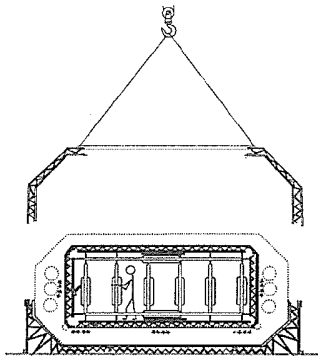
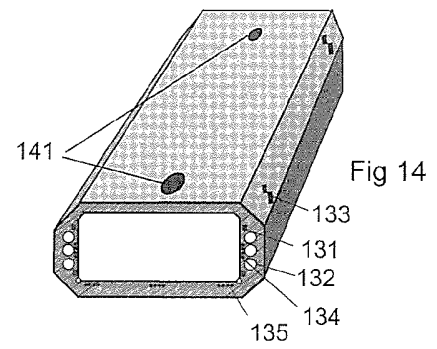
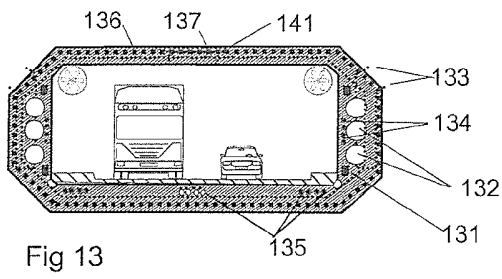


Fig 12



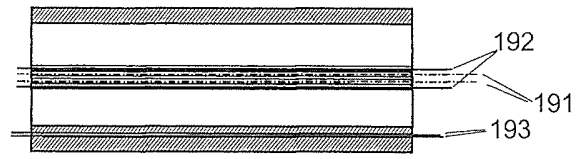


Fig 19

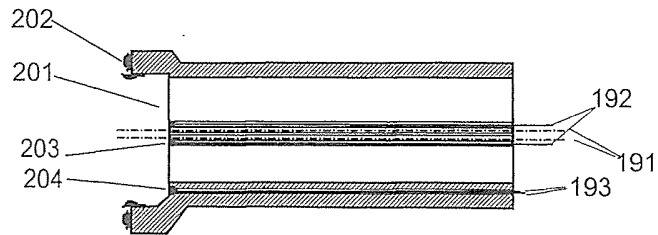


Fig 20



Fig 21

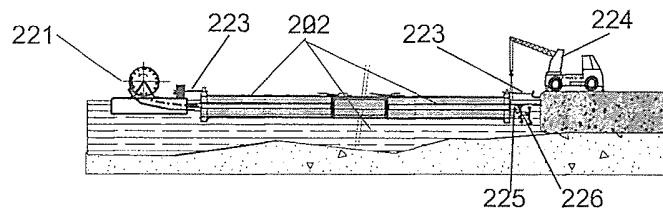


Fig 22

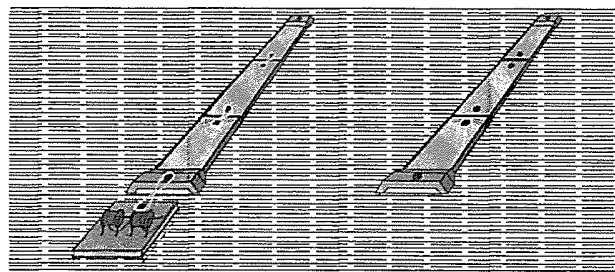


Fig 23

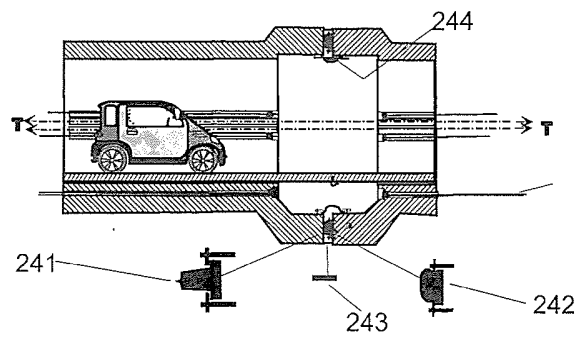


Fig 24

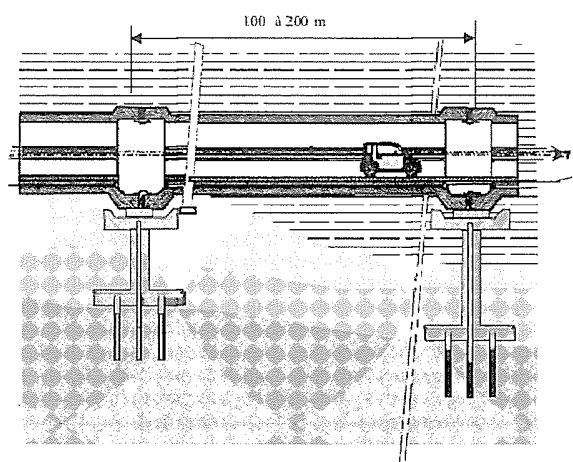


Fig 25

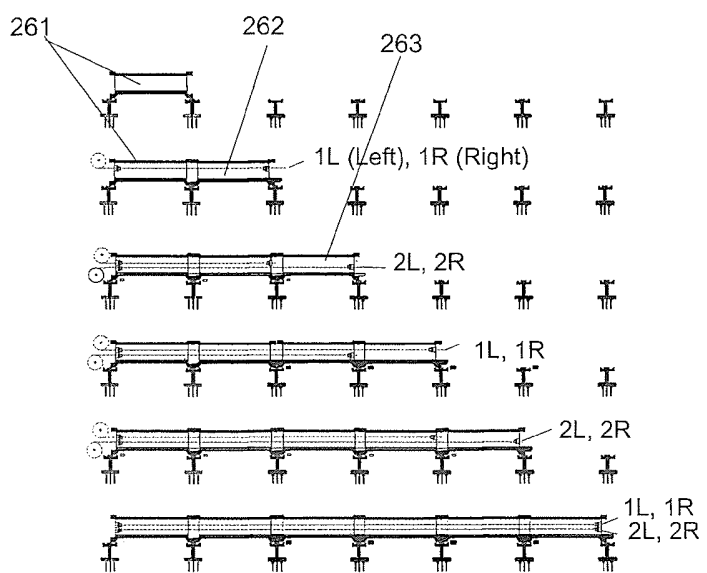
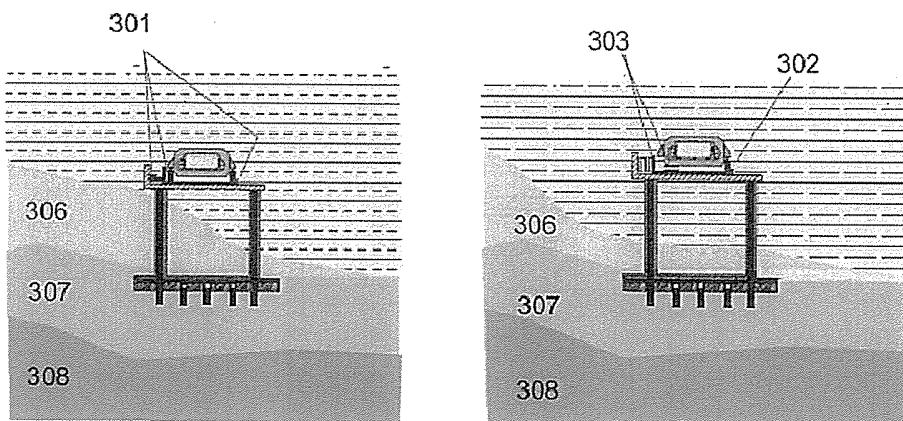
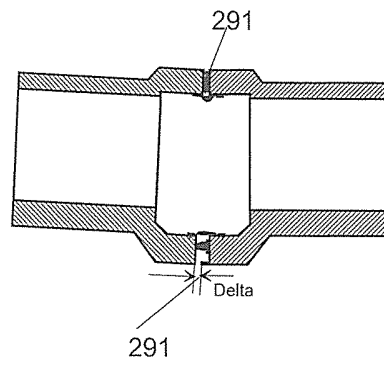
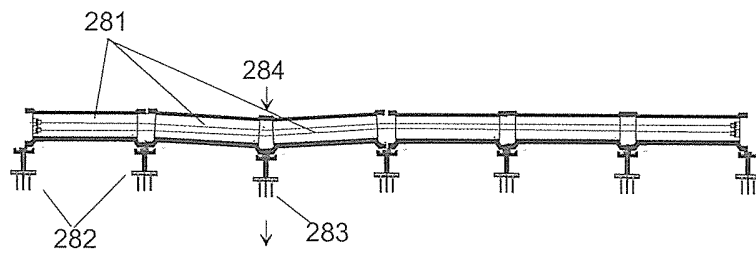
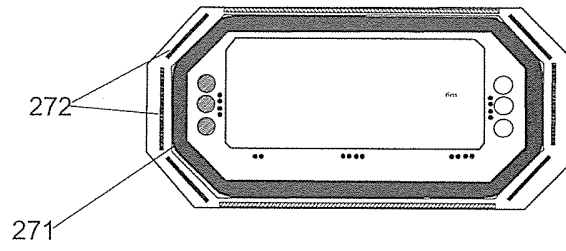


Fig 26



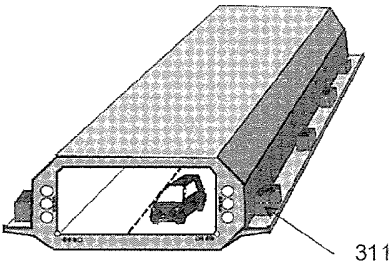


Fig 31

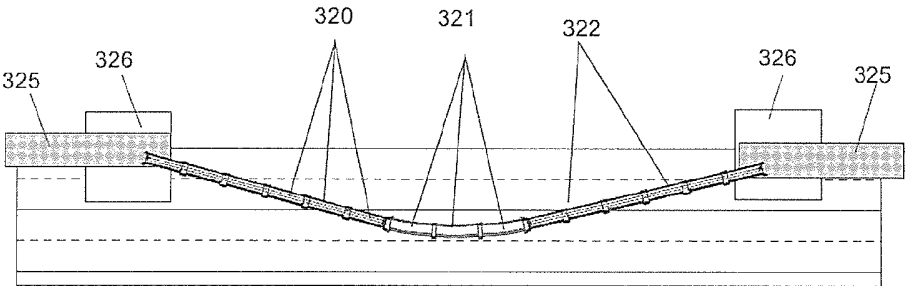


Fig 32

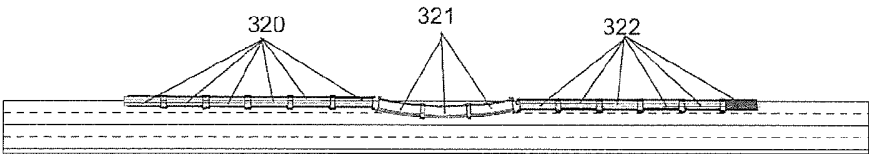


Fig 33



Fig 34

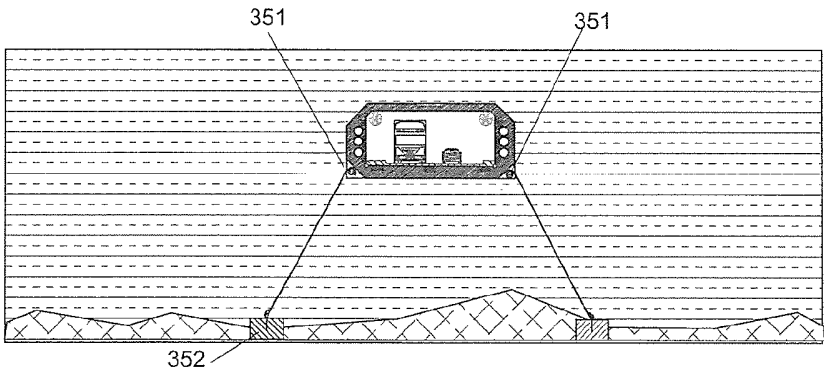


Fig 35

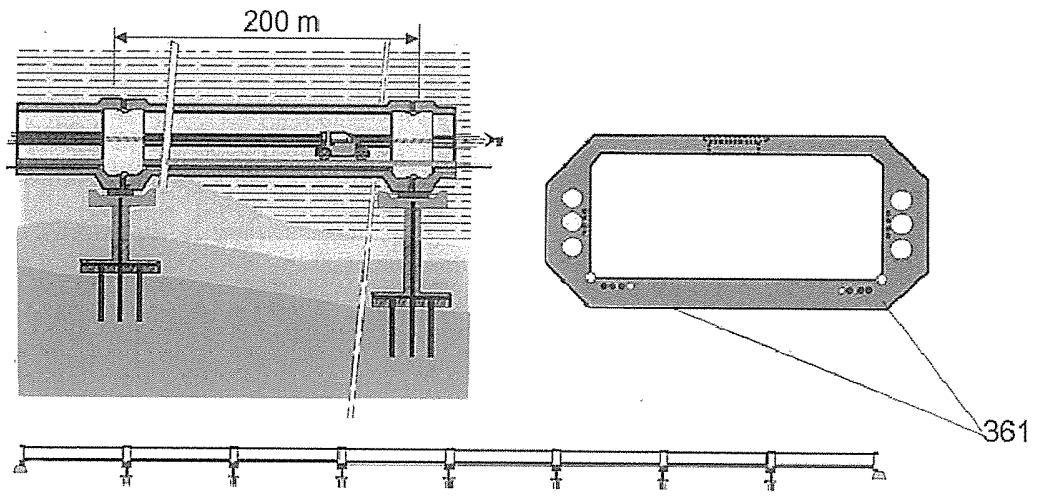


Fig 36

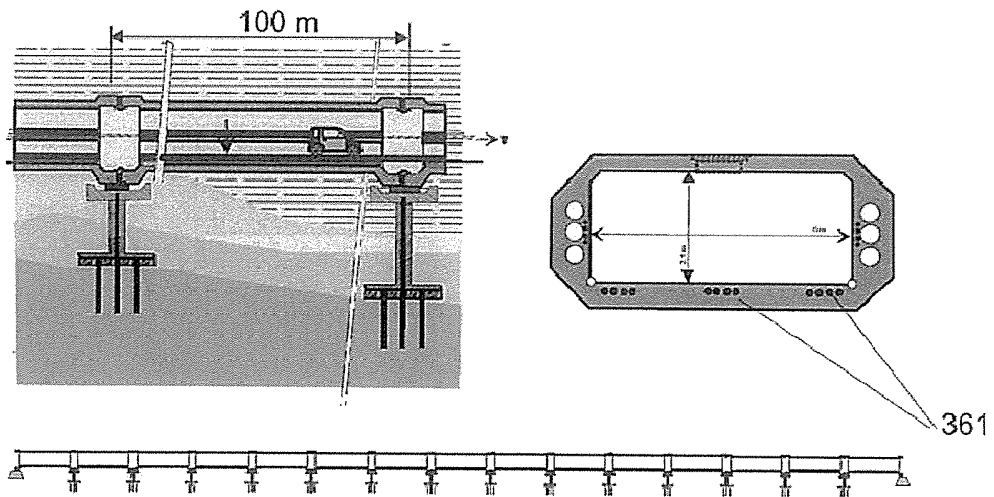


Fig 37