(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) Numéro de publication: **0 093 759**
B1

(12) # FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication du fascicule du brevet: **29.01.86**

(51) Int. Cl.⁴: **E 02 B 15/04**

(21) Numéro de dépôt: **82903459.4**

(22) Date de dépôt: **23.11.82**

(86) Numéro de dépôt international: **PCT/FR 82/00198**

(87) Numéro de publication internationale: **WO 83/01799 (26.05.83** Gazette **83/13)**

(54) **ENGIN DE PRELEVEMENT SELECTIF D'UNE COUCHE DE LIQUIDE LEGER A LA SURFACE D'UNE NAPPE D'EAU.**

(30) Priorité: **23.11.81 FR 8121905**
18.12.81 FR 8123741

(43) Date de publication de la demande: **16.11.83 Bulletin 83/46**

(45) Mention de la délivrance du brevet: **29.01.86 Bulletin 86/5**

(84) *Etats contractants désignés:* **BE DE FR GB NL SE**

(56) Documents cités:
FR - A - 2 346 502
FR - A - 2 437 976
FR - A - 2 467 769

(73) Titulaire: **Benaroya, Henry, 41, Boulevard du Commandant Charcot, F-92200 Neuilly sur Seine (FR)**
Titulaire: **Le Foll, Jean, 14, avenue de l'Europe, F-78160 Marly Le Roi (FR)**
Titulaire: **CADOUX, Jean-Elie, Le Mesnil Hubert en Exmes, F-61230 Gacé (FR)**

(72) Inventeur: **Benaroya, Henry, 41, Boulevard du Commandant Charcot, F-92200 Neuilly sur Seine (FR)**
Inventeur: **Le Foll, Jean, 14, avenue de l'Europe, F-78160 Marly Le Roi (FR)**
Inventeur: **CADOUX, Jean-Elie, Le Mesnil Hubert en Exmes, F-61230 Gacé (FR)**

(74) Mandataire: **Fort, Jacques et al, CABINET PLASSERAUD 84, rue d'Amsterdam, F-75009 Paris (FR)**

EP 0 093 759 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

La présente invention concerne un engin de prélèvement sélectif d'une couche de liquide léger, tel qu'un hydrocarbure, flottant à la surface d'une nappe d'eau susceptible d'être soumise à la houle, utilisable notamment pour dépolluer des zones recouvertes d'une couche d'hydrocarbure à la suite de déversements accidentels.

Il convient tout d'abord de rappeler quels sont les problèmes auxquels se heurte la réalisation d'un engin dépollueur devant être utilisé à la mer.

L'hydrocarbure polluant se présente sous forme d'une couche mince (de l'ordre du millimètre) constituée par une phase d'hydrocarbure qui peut être très visqueuse par suite de l'évaporation des composants légers ou par une émulsion polyphasique d'hydrocarbure avec l'eau de mer et/ou l'air, à la suite du brassage provoqué par les lames.

L'engin doit être conçu pour dépolluer à chaque passage sur une largeur aussi élevée que possible. L'eau inévitablement prélevée en même temps que le polluant doit représenter une fraction aussi faible que possible de la partie extraite et stockée. L'obtention de ce dernier résultat est contrariée par le rapport très faible entre l'épaisseur de la couche de polluant et celle de la lame d'eau qu'il est nécessaire de capter du fait des variations de niveau dues en particulier à la houle.

La demande de brevet FR-A-2 467 769 décrit un engin d'un type qui comprend une coque munie de moyens de propulsion permettant de le maintenir en allure de fuite, la coque ayant une partie centrale faisant saillie vers l'avant par rapport à deux parties latérales qui délimitent avec la partie centrale des conduits d'amenée à des séparateurs et la partie centrale présentant des moyens déflecteurs, tels que des ailes, pour créer des tourbillons dont l'orientation tend à diminuer la divergence de l'écoulement en surface autour de la coque.

Les moyens déflecteurs permettent d'atteindre un double résultat. D'une part, l'engin balaie ainsi la mer entre deux lignes de courant qui, en amont, ont un écartement beaucoup plus grand que celui qu'elles auraient en l'absence de ces moyens; corrélativement, il y a épaississement de la couche de liquide léger à l'entrée des conduits d'amenée. Du fait que le prélèvement s'effectue en allure de fuite, le sillage du navire provoque un amortissement de la houle.

On peut ainsi réaliser, entre la mer ouverte en amont de l'engin et les prises d'eau d'entrée des conduits 16, un épaississement par un facteur de l'ordre de 2,5. Dans la pratique, on peut réaliser, grâce à la convergence des lignes de courant, un taux d'épaississement de la couche d'hydrocarbure de l'ordre de 2,5.

Un tel épaississement reste toutefois très insuffisant pour permettre d'alimenter un séparateur, notamment centrifuge, dans des conditions telles que le rapport entre polluant et eau dans le débit prélevé soit acceptable.

L'invention vise notamment à fournir un engin de prélèvement dans lequel on réalise un épaississement progressif de la couche de liquide léger tout au long d'un écoulement en veine ouverte jusqu'à séparation par un processus tourbillonnaire à surface libre, à axe vertical et prélèvement central.

Cet épaississement doit s'effectuer de façon très progressive depuis l'étrave de la partie centrale jusqu'au prélèvement par tube plongeur axial. En effet, l'équilibre d'une couche de liquide léger d'épaisseur variable fait intervenir un entraînement de ce liquide par l'eau résultant d'une discontinuité de vitesse à l'interface avec une contrainte tangentielle proportionnelle au gradient du carré de l'épaisseur; cet équilibre devient instable au-delà d'une valeur limite de cette contrainte, donc aussi de ce gradient ou de la discontinuité de vitesse.

Dans ce but, l'invention propose un engin selon la revendication 1.

La cloison est avantageusement renflée à sa partie inférieure, située à distance du plancher, pour limiter la courbure des trajectoires du liquide qui passe d'un sous-canal à l'autre; la section totale des deux sous-canaux est sensiblement constante dans le sens de l'écoulement, la section du premier sous-canal diminuant tandis que l'autre augmente.

On réalise ainsi un épaississement par trois phénomènes successifs en veine à surface libre:

— un tourbillon libre d'axe horizontal et approximativement parallèle au plan de symétrie du navire, engendré par les moyens déflecteurs, typiquement par une voilure portante immergée raccordée au fond de la partie centrale de la coque et dépassant l'étrave vers l'avant. Ce tourbillon superpose, au champ de vitesse divergent engendré par la partie centrale, des composantes de vitesse convergeant vers le plan de symétrie au niveau de la surface libre et provoque un épaississement progressif de la nappe par convergence à vitesse constante (taux d'épaississement de l'ordre de 2,5);

— un tourbillon oblique et approximativement horizontal dû au plancher profilé déporteur formant le fond de chaque conduit et dont le bord d'attaque présente une flèche négative, au moins à proximité de la partie centrale de la coque. Le tourbillon induit en surface des composantes de vitesse qui ralentissent progressivement l'écoulement en amont du bord d'attaque du plancher au prix d'une divergence très modérée. Il en résulte un ralentissement de la nappe, à largeur presque constante, et un nouvel épaississement progressif (taux de l'ordre de 2);

— un soutirage de la majeure fraction du débit capté dans le conduit au-dessus du bord d'attaque du plancher et qui reste complètement séparé de l'écoulement à l'extérieur de l'engin jusqu'à son éjection finale après passage dans une pompe, cette configuration permettant un meilleur contrôle du soutirage progressif de la quasi-totalité du débit. Pour cela, pratiquement depuis l'entrée du conduit et jusqu'à l'injection dans le tourbillon du séparateur, le conduit est séparé en deux sous-canaux par la cloison sensiblement verticale, oblique par rapport au plan médian de l'engin, qui coupe la ligne de flottaison et descend jusqu'à une faible distance du plancher. La somme des aires des sections droites des deux sous-canaux restant

sensiblement constante, celle du sous-canal de décharge (ou de soutirage) croît de 0 à environ 9/10 de l'aire totale, tandis que celle du sous-canal d'alimentation, qui reçoit initialement tout le débit capté, diminue d'autant. De ce fait, la composante de vitesse parallèle au plan de symétrie reste à peu près constante dans le sous-canal d'alimentation, à la fois pour l'eau et pour la nappe polluante qui s'épaissit progressivement (taux d'épaississement de l'ordre de 10). Cette disposition peut d'ailleurs être inversée, le sous-canal d'alimentation étant alimenté par-dessus la cloison, qui forme déversoir.

Le plancher du chenal est avantageusement constitué par une cloison épaisse dont les sections par des plans verticaux parallèles au plan de symétrie de la coque sont des profils déporteurs, ayant donc une face inférieure très convexe. Habituellement, la face inférieure descend approximativement jusqu'à une profondeur égale au tirant d'eau pour remonter ensuite vers l'arrière. La face supérieure présentera alors un seuil horizontal parallèle au bord d'attaque et immergé à une profondeur égale approximativement au tiers du tirant d'eau et, en arrière de ce seuil, descendra jusqu'à la profondeur limite compatible avec l'épaisseur nécessaire à la tenue mécanique du plancher. L'accroissement initial de la profondeur du conduit simplifie le problème posé par la perte de section droite utile due à la cloison de séparation entre les deux sous-canaux puisqu'il compense cette perte par une augmentation de la section droite totale disponible.

A l'arrière, la cloison verticale rejoint la paroi latérale intérieure du sous-canal d'alimentation.

Le bord d'attaque de la cloison sépare définitivement le sous-canal d'alimentation, qui joue dès lors le rôle de gouttière d'injection pour le tourbillon en veine ouverte du séparateur, du sous-canal de décharge qui devient un simple canal d'échappement dont tout le débit est aspiré par une pompe qui peut constituer moyen de propulsion de l'engin.

Il est nécessaire d'éviter la formation dans l'écoulement biphasique de déferlements ou de ressauts. Ce problème est rendu particulièrement aigu du fait que l'engin doit être prévu pour travailler en eaux agitées, par exemple soumises à la houle ou à une mer de vent. On connaît déjà les conditions à remplir, en cas d'écoulement permanent, pour éviter les passages d'écoulement torrentiel à un écoulement fluvial qui donnent naissance à un ressaut. Des considérations théoriques permettent de dégager, en cas de régime périodique et même lorsque l'écoulement présente des parties en charge où les sollicitations périodiques se traduisent par des ondes de compression périodiques, les conditions à remplir pour éviter les déferlements dans l'écoulement biphasique et les brassages qu'ils provoquent.

L'expérience sur modèle a confirmé ces considérations, qui n'étaient nullement évidentes pour l'homme du métier, habitué à considérer uniquement des écoulements permanents. Elles conduisent à prévoir un amortissement de la houle provenant de l'arrière en allure de fuite à l'aide d'une aile immergée arrière qui d'ailleurs apporte, de façon inattendue, des propriétés favorables supplémentaires. De plus, il est souhaitable d'interposer, dans le sous-canal de décharge en aval de la cloison dans le sens d'écoulement général, un déversoir immergé qui provoque localement une transition écoulement torrentiel, écoulement fluvial et la formation d'un ressaut et de déferlements à un emplacement bien localisé où ce phénomène ne présente pas d'inconvénients et évite la formation de nouveaux déferlements plus en amont.

Dans un mode particulier de réalisation, le sous-canal de l'engin qui débouche dans les moyens de pompage présente successivement une fraction constituant cuvette d'amortissement, puis une partie en chargé débouchant dans les moyens de pompage. Le sous-canal est à paroi pleine, de sorte que les pompes ne peuvent aspirer que de l'eau qui a pénétré dans le sous-canal en passant au-dessus ou au-dessous de la cloison.

Etant donné que le débit aspiré par les moyens de pompage est sensiblement constant, ou du moins varie peu, alors que le débit prélevé par chaque conduit d'amenée varie périodiquement, par exemple du fait de la houle, le volume d'eau contenu dans la cuvette limitée en amont par la cloison varie en fonction du temps. Il faut éviter que le niveau bas de la surface libre dans la cuvette descende au-dessous d'une valeur limite pour laquelle les moyens de pompage aspireraient de l'air, ce qui risquerait de les détériorer. Ce résultat peut être atteint en donnant des dimensions en plan importantes à la cuvette. Mais, lorsque l'engin est prévu pour opérer dans des houles présentant un creux important, on arrive à des dimensions en plan inacceptables de la cuvette.

Pour autoriser le fonctionnement dans des conditions telles que le débit prélevé varie notablement, sans pour autant exiger une cuvette d'amortissement de grandes dimensions, le sous-canal qui débouche dans les moyens de pompage est avantageusement muni de moyens d'alimentation en eau à partir de la nappe d'eau prévus pour fournir un débit d'appoint aux moyens de pompage, au moins lorsque le niveau dans ce canal descend jusqu'à un niveau déterminé ou le dépasse.

Ces moyens pour fournir un débit d'appoint peuvent se limiter à une ouverture de communication avec la nappe d'eau ménagée dans la paroi du sous-canal, avantageusement dans le plancher. Cette ouverture sera généralement placée à l'entrée de la partie en charge du sous-canal qui débouche dans les moyens de pompage ou immédiatement en amont. L'entrée de la partie en charge pourra constituer un seuil en saillie vers le bas par rapport à la portion en aval, de façon à mieux éviter l'aspiration d'air vers les moyens de pompage.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit de modes particuliers de réalisation donnés à titre d'exemples non limitatifs. La description se réfère aux dessins qui l'accompagnent, dans lesquels:

— la figure 1 est un schéma de principe montrant la forme en plan de l'engin à la flottaison et une

forme possible de l'aile avant de création de tourbillons et de l'aile arrière d'amortissement de la houle;

– la figure 2 est une vue en perspective schématique montrant la coque et les ailes de l'engin de la figure 1;

– les figures 3 et 4 montrent, respectivement en plan et en élévation, la disposition d'une aile avant de création de tourbillons déflecteurs;

– les figures 5 et 6 montrent, respectivement en plan et en élévation (ligne VI-VI de la figure 5), une forme possible d'aile et d'aileron de relèvement de tourbillon;

– les figures 7 et 8 montrent, respectivement en plan et suivant la direction VIII de la figure 7, une forme d'aile constituant une variante de celle des figures 5 et 6;

– la figure 9 est un schéma montrant la forme générale du plancher d'un conduit de prise, en coupe suivant une surface verticale;

– les figures 10A à 10G sont des vues en coupe transversale montrant une évolution possible de la forme du plancher et de l'aile verticale située à l'orifice de prise;

– la figure 11 est un schéma en perspective montrant le fractionnement du conduit en deux sous-canaux par une cloison oblique;

– la figure 12 est un schéma de principe, en coupe suivant un plan vertical, montrant l'allure d'un séparateur centrifuge à surface libre alimenté par l'un des sous-canaux de la figure 11;

– la figure 13 est une coupe, similaire aux figures 10, montrant l'allure du profil de l'aile arrière;

– les figures 14 et 15 sont des schémas de principe, respectivement en plan et en élévation, montrant une constitution du deuxième sous-canal de nature à éviter des déferlements dans le conduit;

– la figure 16 montre une constitution possible d'une aile annulaire permettant d'augmenter encore l'épaississement de la couche de liquide léger en amont des conduits;

– les figures 17 et 18 montrent schématiquement une autre variante de réalisation, respectivement en vue de dessus et en coupe suivant la ligne XVII-XVII;

– la figure 19 est une courbe montrant la variation des débits d'alimentation d'un sous-canal et d'aspiration par la pompe en fonction du temps t;

– la figure 20 est un schéma de principe, en coupe verticale, montrant les variations du niveau d'eau dans la chambre d'amortissement, dans le cas d'une disposition du genre montré en figure 11;

– la figure 21, similaire à la figure 20, correspond à un mode d'exécution de l'invention.

Avant de décrire l'engin, il faut rappeler qu'il constitue un navire qui se déplace à la surface de la mer et que le mouvement initial du liquide léger par rapport à ce navire est celui d'une couche mince, de largeur illimitée à l'échelle du navire animé d'un mouvement de translation horizontale uniforme, auquel se superpose le mouvement dû à la houle.

Si, comme c'est le cas général, l'opération finale d'extraction du liquide léger s'effectue, dans un séparateur utilisant les forces centrifuges, à l'aide d'un tube central, il est souhaitable d'amener les lignes de courant à s'infléchir progressivement pour passer d'une translation uniforme en amont de l'engin à un mouvement convergent vers l'axe vertical des séparateurs avec une composante radiale de vitesse. La solution la plus rationnelle pour cela consiste à donner aux lignes de courant du liquide léger une forme qui, initialement rectiligne, se transforme en une spirale logarithmique au voisinage du tube de prélèvement.

Pour cela, la partie centrale 10 et les parties latérales 11 de la coque 12 présentent des surfaces qui délimitent l'écoulement suivant des spirales internes 13 et des spirales externes 14 et se rejoignent en un point de rebroussement 15 (fig. 1). Ces surfaces latérales doivent se prolonger à peu près verticalement, au moins jusqu'à une profondeur qui est choisie en fonction du creux de houle maximum pour lequel l'engin est conçu. Dans la pratique, cette verticalité est assurée jusqu'à une profondeur qui est de l'ordre de la moitié du tirant d'eau D de l'engin.

Les surfaces 13 sont ainsi constituées par la muraille de la partie centrale 10 de la coque, à partir de l'étrave qui doit être conçue pour limiter au maximum la vague d'étrave qui crée des turbulences. Chaque surface externe 14 est matérialisée par la paroi intérieure d'une partie latérale 11, depuis l'étrave 30 de cette dernière, qui sera généralement située à mi-longueur de la coque. La figure 1 montre que l'on arrive ainsi à une forme qui, entre l'étrave de la partie centrale 10 et un point approximativement à mi-longueur du navire, correspond à la moitié avant d'une coque de navire classique. Entre chaque étrave d'une partie latérale 11 et la poupe, la ligne de flottaison correspond sensiblement à la moitié arrière d'un navire monocoque ayant un maître couple plus grand que celui de la coque centrale 10.

Les paramètres de forme globaux de l'engin (et notamment la longueur totale L, la largeur hors tout 2l et la largeur de prise 2lc) doivent être proportionnés les uns aux autres pour assurer un écoulement satisfaisant. Dans la pratique, le rapport L/2l restera compris entre 3,6 et 4 environ. Le rapport l/lc sera compris entre 1,5 et 2,5, une valeur de l'ordre de 2 étant généralement satisfaisante.

Un troisième paramètre important est le rapport D/L du tirant d'eau à la longueur. Mais le choix de ce rapport doit tenir compte d'impératifs différents suivant qu'il s'agit d'un engin destiné à travailler au large ou à proximité immédiate des côtes.

Dans le premier cas, la longueur L sera généralement supérieure à 75 m et D/L sera alors déterminé par la valeur maximale que l'on peut donner à D pour un travail de dépollution, généralement inférieure à 12 m: on arrive à une valeur inférieure à 0,1, c'est-à-dire à un engin très plat.

Au contraire, les engins destinés à opérer près des côtes, les plus fréquents, auront une longueur inférieure à 75 m et, dans ce cas, on peut adopter une valeur de D/L entre 0,14 et 0,16.

Quant au rapport D/lc, également important, il

sera lui aussi très différent suivant qu'il s'agit d'un engin de haute mer, où on aura $D/lc \simeq 0,9$, ou côtier, où l'on aura $D/lc \simeq 2,25$.

Dans tous les cas, on voit que, lorsque l'engin avance dans la direction de la flèche V, la nappe d'eau portant une couche de polluant peut contourner la partie centrale 10 et s'engouffrer dans les conduits ou chenaux 16 délimités par les surfaces 13 et 14, dont l'orifice de prise a généralement une largeur lc de l'ordre du quart de la largeur hors tout 2l de l'engin. On constate immédiatement que le débit qui pénètre dans chaque conduit 16 est énorme. En moyenne, il s'agit d'une lame d'eau et de polluant dont l'épaisseur sera approximativement égale à la moitié du tirant d'eau D, dont la vitesse est de l'ordre de celle du navire et dont la largeur est d'environ la moitié de la largeur l au maître couple.

Le débit prélevé par le tube plongeur du séparateur doit être de deux ordres de grandeur au moins inférieur à ce débit d'entrée, ce qui conduit à rechercher un épaississement de la couche de liquide léger avant admission aux séparateurs. Cet épaississement va s'effectuer en plusieurs étapes, sous l'action de composants placés en série et qui seront successivement décrits.

Moyens déflecteurs avant: Comme dans le cas de l'engin décrit dans le document FR-A-2 467 769, des moyens déflecteurs sont prévus pour faire converger les filets de liquide en surface, sans pour autant provoquer des phénomènes de déferlement ou de ressaut.

Dans le cas illustré en figures 1 et 2, ces moyens comprennent une aile avant en flèche 17, munie d'ailerons 18 dirigés vers le haut, dont les pieds convergent vers l'avant et dont le rôle sera exposé plus loin. Il s'agit là d'une disposition qui ne se différencie de celle du document FR-A-2 467 769 que par la présence des ailerons. L'aile 17, à portance positive, crée des tourbillons provoquant une convergence en surface.

Cette disposition n'est pas la seule possible; avant de décrire des variantes de réalisation, il est préférable d'analyser le rôle des moyens déflecteurs et d'en déduire les caractéristiques à rechercher et la façon dont les obtenir.

Lorsque les moyens déflecteurs sont constitués par une aile, cette dernière doit engendrer des tourbillons marginaux dont l'efficacité (mesurée par le déplacement transversal relatif des filets d'eau qu'elle provoque en surface) est aussi importante que possible sans provoquer des déferlements en surface, pour une vitesse donnée de l'engin.

Le déplacement transversal est proportionnel à la circulation du tourbillon créé par les ailes. Il augmente avec la distance, projetée sur l'axe longitudinal, qui sépare l'étrave 30 de la partie latérale de l'origine du tourbillon, ainsi qu'avec la distance qui sépare le tourbillon du plan de symétrie.

L'influence de la profondeur de l'aile est moins marquée: si l'efficacité d'un tourbillon passe par un maximum lorsque la profondeur de l'aile, égale au tirant d'eau, est égale à $l_a/2$ (figures 3 et 4), ce maximum est assez plat.

Pour augmenter la distance entre l'étrave de la coque latérale et l'origine du tourbillon, il faut déplacer l'aile 31 vers l'avant, ce qui conduit à placer le bord d'attaque de l'aile 31 en avant du point où l'étrave 20 coupe la ligne d'eau, donc à augmenter la longueur hors tout de l'engin. On peut remarquer que cette augmentation de longueur n'intervient toutefois que par rapport à la ligne d'eau 32 du bateau, l'étrave pouvant faire saillie en forme d'éperon au-dessous de la ligne d'eau, comme on le verra plus loin.

Si on veut augmenter la distance qui sépare l'origine du tourbillon du plan de symétrie, on est pratiquement limité à adopter $l_a = l$, aucun marin n'acceptant volontiers que les œuvres vives du bateau aient un encombrement latéral supérieur à celles des parties visibles du pont.

L'efficacité du tourbillon marginal, qui regroupe toute la circulation d'une nappe de tourbillons libres déversée par l'aile, est égale à la circulation autour du profil à son emplanture, elle-même proportionnelle à la portance du profil. Il est donc souhaitable d'augmenter cette portance, mais cet accroissement va se heurter à d'autres impératifs qui sont également à respecter.

Pour augmenter la portance à partir d'un profil initial indiqué en trait plein sur la figure 4, qui conduit à une profondeur h_o du point le plus haut, on peut augmenter l'incidence de l'aile ou sa cambrure. Dans les deux cas, le point le plus haut est situé à une profondeur plus faible, h_1 ou h_2. Le coefficient de survitesse augmentant également avec la circulation, le nombre de Froude $F = v/\sqrt{gh}$ (v étant la vitesse maximale en surface) augmente donc pour une vitesse V donnée de l'engin quand on augmente la portance. Or, pour éviter le déferlement en surface, il faut respecter la condition $F \leqslant 1$, ce qui limite la portance acceptable.

De plus, les considérations ci-dessus ne tiennent pas compte de la présence de la partie centrale 10 de la coque qui provoque des perturbations de vitesse en surface (sous-vitesse au voisinage de l'étrave 20, survitesse en aval). C'est la résultante des perturbations dues à l'aile et des perturbations dues à la coque qui intervient pour définir la valeur de v à ne pas dépasser. On a donc intérêt à faire coïncider, dans la mesure du possible, le point où l'étrave 20 coupe la surface libre de la nappe d'eau avec celui où l'extrados du profil d'aile passe par le point le plus haut (figure 4).

Comme par ailleurs, il faut assurer une liaison mécanique robuste entre la partie centrale 10 de la coque et l'aile 31, il est souhaitable de prolonger l'étrave 20 vers l'avant sous la surface libre, pour constituer un éperon muni d'un bulbe de raccordement avec l'aile. Les figures 5 et 6, où la forme de la partie centrale 10 au niveau de la surface libre est montrée en traits épais, tandis que la forme à l'emplacement du raccordement avec l'aile est montrée en traits fins et une ligne de niveau intermédiaire en tirets, montre une disposition qui s'est révélée particulièrement satisfaisante.

Toutefois, une aile isolée donne aux tourbillons une profondeur d'immersion du tourbillon marginal qui est supérieure à la valeur optimale, men-

tionnée plus haut, même dans le cas d'un engin relativement plat, pour lequel D/l_c est de l'ordre de 0,9, et à fortiori dans le cas d'engins à fort tirant d'eau (D/l_c de l'ordre de 2,25).

Il est donc souhaitable de relever le niveau du tourbillon.

Dans le cas d'un engin relativement plat, ce résultat peut être atteint en munissant chaque aile 31 d'un aileron 32 pratiquement vertical. Pour tenir compte de la déflexion des filets d'eau provoqués en surface par la partie centrale 10 de la coque, il est souhaitable de donner au plan vertical bissecteur au bord de fuite de l'aileron 32 une inclinaison importante par rapport au plan médian, typiquement 30 à 35°. Ce résultat peut être obtenu soit avec un profil à faible cambrure et forte incidence, comme indiqué dans le cas de la figure 5, soit avec une incidence moyenne et une forte cambrure.

Une autre solution, montrée en figures 7 et 8, consiste à donner à la partie terminale de l'aile 31 une forme «enroulée»: cette dernière solution sera généralement préférable dans le cas d'engins à fort tirant d'eau. Là encore, le plan bisecteur de la partie terminale de l'aile, présentant un dièdre important, doit être fortement incliné sur le plan médian du navire (figures 7 et 8).

Ralentissement et épaississement de la couche à l'orifice de prise

La réalisation de moyens de prise, à l'entrée des conduits ou chenaux, pose différents problèmes dont les plus importants sont d'éviter la formation de déferlement ou de ressaut et le rejet, à l'extérieur des étraves latérales 30, d'une fraction du liquide léger.

Le risque de déferlement apparaît si l'on étudie la situation immédiatement en amont du seuil de l'orifice de prise, de largeur l_c en présence d'oscillations de niveau dues par exemple à la houle. Si on désigne par D_c la profondeur du seuil du conduit et par v_c la vitesse au-dessus de ce seuil, l'épaisseur d'eau au-dessus du seuil sera, au passage du creux d'une houle d'amplitude A:

$$h_c = D_c - A.$$

Le nombre de Froude correspondant sera $F = v/\sqrt{gh_c}$.

Ce nombre de Froude ne doit pas dépasser 1, ce qui signifie que la profondeur d'immersion D_c du seuil en eau calme doit être:

$$D_c \geqslant A + v^2/g.$$

Par ailleurs, il faut donner à D_c la plus petite valeur possible, pour minimiser le débit moyen d'eau captée, qui est égal à $n_c D_c v$.

On voit l'intérêt d'obtenir une valeur de v nettement inférieure à la vitesse V du navire, par exemple de l'ordre de 0,5 à 0,6 V, donc de ralentir l'écoulement du liquide immédiatement en amont du seuil. Mais il faut en même temps éviter une divergence locale appréciable de la couche polluante, qui diminuerait la largeur de captation et l'épaisseur de cette couche.

Dans la pratique, comme indiqué plus haut, on cherchera à donner au seuil une profondeur D_c de l'ordre du tiers du tirant d'eau D du navire et ce choix n'est possible qu'avec un ralentissement important.

Ce ralentissement peut être obtenu en délimitant inférieurement la veine ouverte par un plancher 33 présentant une forme générale d'aile horizontale à portance négative. L'allure générale du profil, suivant la ligne en trait mixte de la figure 1, peut alors être celle montrée en figure 9. L'aile a une envergure égale à l_c. Son bord d'attaque est à une profondeur de l'ordre de D/2 si le seuil est à un niveau de D/3. En arrière d'un seuil, à profondeur D/3, la face supérieure de l'aile descend pour augmenter la profondeur du conduit, puis se relève tandis que l'extrados descend jusqu'à une profondeur sensiblement égale au tirant d'eau.

Si elle est utilisée isolément, une telle forme de plancher assure effectivement un ralentissement mais elle crée un tourbillon marginal qui tend à remonter à l'intérieur de l'étrave de la partie latérale 11 et à provoquer le déversement de la couche de polluant vers l'extérieur.

Diverses solutions peuvent être utilisées pour écarter cet inconvénient.

Un premier palliatif consiste à prolonger le plancher vers l'avant au-delà de l'étrave 20 et à donner à son bord d'attaque une forme présentant, du moins à proximité de la partie centrale 10, une flèche inversée. Sur la figure 1, le bord d'attaque présente, sur la majeure partie de son développement à partir de la partie centrale une flèche inversée, tandis que la partie externe 34 présente une flèche notable, à partir d'une pointe qui se trouve légèrement à l'intérieur de l'étrave dans le sens transversal. Les tourbillons créés par la portion en flèche inverse provoquent une convergence de la couche de liquide léger vers la partie centrale 10, ce qui est favorable. Mais les tourbillons dus à l'autre partie, ainsi que le tourbillon vertical dû à la pointe, tendent à provoquer une divergence.

Cette divergence résiduelle peut être compensée dans une large mesure par l'adjonction au plancher d'une aile verticale 35 dirigée vers le bas, du genre montré en traits mixtes sur la figure 9. Si elle était isolée, cette aile libérerait un tourbillon marginal dans un sens tendant à faire converger les filets fluides à une profondeur de l'ordre de D/2, ainsi qu'un tourbillon marginal antagoniste sans incidence sur l'écoulement en surface, à la profondeur D. Lorsqu'une telle aile 35 est assemblée au plancher, et si les deux profils sont choisis de façon à créer des circulations comparables, le tourbillon créé par l'aile 35 compense le tourbillon créé par la partie 34 du plancher et, de ce fait, le tourbillon vertical au niveau de la pointe disparaît.

A titre d'exemple, on a représenté en figures 10A à 10G des profils successifs du plancher 33. Sur ces figures, le profil de la partie centrale 10 de la coque à l'emplacement de la coupe est indiqué en traits pleins, tandis que le maître couple est indiqué en traits mixtes.

La figure 10A montre une coupe suivant le plan A de la figure 1, immédiatement en arrière de la pointe du plancher. On y voit l'aile verticale 35

ainsi qu'un fragment, de faible largeur, du plancher. Les figures 10B, 10C et 10D sont des coupes dans des plans échelonnés depuis celui de la figure 10A jusqu'à l'étrave 30 de la partie latérale (figure 10D). La figure 10E montre l'évolution de la section droite immédiatement derrière l'étrave, et notamment l'épaississement de la coque latérale 11. Enfin, les figures 10F et 10G sont des coupes approximativement au niveau des plans F et G de la figure 1.

Sur la figure 10G, on voit que la coque latérale 11 se creuse vers le haut progressivement. Cette forme correspond à un mode de réalisation dans lequel la cloison de séparation entre les deux sous-canaux constitue déversoir, une faible fraction du débit capté se déversant, à partir du conduit, dans un sous-canal d'alimentation du séparateur. On a représenté en tirets sur la figure 10G l'allure générale que prend la cloison de séparation 36 en arrière de la section suivant le plan G.

Soutirage progressif

Comme cela a déjà été indiqué plus haut, il est nécessaire d'orienter vers un canal de décharge la majeure partie de l'eau captée jusqu'à une profondeur approximativement égale au demi-tirant d'eau de l'engin. Ce résultat peut être atteint grâce à un soutirage au-dessous d'une cloison. Sous réserve que le polluant capté ne soit pas entraîné par le mouvement descendant de l'eau pour passer sous la cloison, la couche de liquide léger polluant s'épaissit au fur et à mesure que l'on se rapproche du séparateur.

Le problème à résoudre est alors l'organisation d'un écoulement en veine ouverte dans les conduits compatible à la fois avec la stabilité nécessaire de l'interface eau-liquide léger, même en présence de houle, avec soutirage de la quasi-totalité du débit liquide initialement capté dans le conduit.

Pour mieux faire comprendre le mécanisme du soutirage et le rôle des divers éléments qui entrent en jeu pour l'effectuer, on fera référence à la figure 11 qui schématise la disposition de la cloison transversale qui sépare chaque conduit progressivement en deux sous-canaux.

La figure 11 montre un conduit d'amenée à section constante, que l'on assimilera au canal délimité par les surfaces 13 et 14 et le plancher 23 sur la figure 1. La cloison 37 est placée obliquement par rapport à la direction du conduit, de façon à réduire progressivement la section de passage offerte à un sous-canal 38 qui va vers le séparateur. Cette cloison se termine, vers le haut, au-dessus de la surface libre et, en dessous, à distance du fond du canal. Une fraction du débit est ainsi progressivement soutirée par le fond dans un volume constituant cuvette d'amortissement 39, qui se prolonge par un sous-canal d'évacuation 40 dont la paroi externe 41 est constituée par la paroi intérieure de la partie latérale de la coque. Cette paroi externe du sous-canal d'échappement est représentée rectiligne sur la figure 11. Dans la pratique, elle sera évidemment conformée pour correspondre à la forme de la coque.

L'écoulement vers la cuvette 39 implique un changement d'orientation des filets fluides. Pour éviter les turbulences, ce changement d'orientation est aidé par des aubes 42 qui, en même temps, soutiennent la cloison 37. De plus, la cloison est épaisse pour que le changement d'orientation soit progressif. La diminution de section droite qui résulte de la présence de la cloison est compensée par le fait que la cuvette représente une augmentation de la section de passage.

Dans la cuvette approximativement triangulaire 39 et le sous-canal 40 qui lui succède en aval, le niveau de l'eau pourra varier. Il faut toutefois que cette variation reste dans un domaine limité inférieurement par le risque d'entrée d'air dans la pompe de rejet et, supérieurement, par la présence d'une charge inférieure à la charge amont. Si la pompe tourne à vitesse constante, ce qui sera le cas général, le débit qu'elle prélève dans la cuvette 39 diminue quand le niveau baisse, même dans le cas d'une section constante à l'éjection. Bien que cette variation de débit ne soit pas en phase avec celle du débit reçu par la cuvette 39, elle contribue à diminuer le volume tampon offert par la cuvette qui est nécessaire. Dans une variante de réalisation, l'orifice d'éjection est muni de moyens de réglage de section, par exemple à l'aide d'un volet commandé par un vérin. Dans ce cas, on peut asservir le vérin pour moduler la section d'éjection en fonction de la hauteur d'eau dans la cuvette, ce qui permet d'obtenir des variations de débit plus importantes et dont la phase est mieux adaptée, donc de réduire le volume tampon minimum requis de la cuvette.

Séparateur centrifuge

Le courant diphasique fourni par le sous-canal d'alimentation, dans lequel l'épaisseur de la couche de liquide léger est environ dix fois plus grande qu'au début du conduit, est admis tangentiellement dans un séparateur centrifuge à veine ouverte. Dans ce séparateur, l'écoulement en veine ouverte d'alimentation doit donner naissance à deux écoulements en veine fermée, l'un constitué par un écoulement de décharge s'échappant par le fond du séparateur vers une pompe d'extraction, l'autre par un écoulement de prélèvement aspiré par des moyens de pompage vers des récipients de stockage.

Le liquide léger étant souvent un hydrocarbure extrêmement visqueux, il est nécessaire de le réchauffer. Ce réchauffage est à peu près impossible à réaliser en veine ouverte. Il s'effectuera donc dans l'écoulement en veine fermée de prélèvement, qui commence à l'entrée d'un tube vertical plongeant dans la masse de liquide, jusqu'à une profondeur dans laquelle on trouve en permanence du polluant.

Avant de décrire le mode particulier de réalisation de séparateur qui est montré schématiquement en figure 12, il faut rappeler que le fonctionnement d'un séparateur en veine ouverte est très différent de celui d'un séparateur en veine fermée, où l'on peut obtenir facilement des valeurs de la composante tangentielle de la vitesse élevées, qui fournissent une accélération radiale très supérieu-

re à l'accélération de la pesanteur. En effet, dans un écoulement en veine ouverte, la surface libre prend une pente proportionnelle au carré de la vitesse tangentielle, et une valeur trop élevée de cette dernière se traduirait par un creusement excessif de la région centrale de la masse de liquide. Par ailleurs, si les composantes radiale et verticale de la vitesse sont très faibles (et elles resteront toujours inférieures d'un ordre de grandeur à la composante tangentielle), l'interface entre la couche de liquide léger et l'eau reste sensiblement parallèle à la surface libre si la vitesse tangentielle reste constante sur toute la hauteur de la masse d'eau.

Pour obtenir un épaississement, on prévoira des moyens qui donnent à la vitesse tangentielle une valeur décroissante de la surface vers le fond, à rayon autour de l'axe du séparateur constant.

Dans le mode de réalisation montré en figure 12, ce résultat est obtenu en constituant le séparateur par une cavité 45 d'axe vertical 46 dans laquelle pénètre un tube plongeur 47. Le sous-canal d'alimentation 38 débouche tangentiellement à la partie supérieure de la cavité 45 pour entretenir le mouvement de rotation. L'effet retardateur des frottements sur le tube central 47 donne à la surface libre 48 une forme du genre indiqué sur la figure 12 et provoque un épaississement de la couche de liquide léger, comme le montre la forme des frontières haute et basse 49 de l'interface sur la figure 12. Pratiquement, l'épaisseur maximale de couche polluante que l'on peut atteindre autour du tube 47 n'est limitée que par le risque d'entraînement du polluant vers le bas par l'écoulement de décharge.

Pratiquement, on obtient aisément une épaisseur de couche de liquide léger de l'ordre de la moitié du rayon du tourbillon à l'orifice d'alimentation, ce qui correspond, en général, à une épaisseur d'environ un centième de la longueur hors tout de l'engin.

Le séparateur montré sur la figure 12, que l'on peut considérer comme une coupe suivant un plan sensiblement parallèle au plan médian de l'engin, comporte une plaque épaisse horizontale 50 de partition percée d'un trou central approximativement circulaire et centré sur l'axe 46. La plaque 50 limite une chambre d'alimentation dans laquelle débouche le sous-canal d'alimentation 38 qui entretient l'écoulement tourbillonnaire et dont la paroi présente une forme approximativement cylindrique dont la directrice est une spirale. La chambre de décharge placée au-dessous de la plaque 50 est délimitée vers le bas par un plancher 51. Elle s'ouvre par un canal d'échappement tangentiel 52. L'écoulement dans cette chambre et le canal d'échappement divergent présentent une large symétrie avec l'écoulement d'alimentation. Le moment cinétique de la masse d'eau déchargée est conservé, aux pertes de charge près. L'énergie correspondante peut être récupérée dans un tourbillon placé en aval ou le canal d'échappement 52 peut déboucher directement dans une pompe d'extraction, qui peut d'ailleurs être confondue avec la pompe de propulsion 53 (figure 1) qui reçoit le débit provenant du sous-canal 40. Il faut remarquer que, sauf dans la région centrale du tourbillon, le niveau de la veine libre dépassera celui de la flottaison du fait de la conservation de l'énergie de l'écoulement et il faut tenir compte du poids du volume d'eau correspondant dans l'équilibre longitudinal de l'engin.

Le tube 47 doit aspirer tout le débit de liquide léger polluant qui arrive au séparateur, ce qui implique qu'il aspire en même temps un débit d'eau suffisant pour entraîner le polluant même si la viscosité de celui-ci est si élevée qu'il se présente en grumeaux. Pour éviter que le polluant n'obstrue progressivement le tube plongeur 47 en se collant le long de sa paroi interne, le tube 47 montré en figure 12 est à double paroi et présente un conduit interne 54 d'amenée de vapeur qui s'échappe vers le haut par une série de trous 55 ménagés dans un rebord interne du tube, à la partie basse de celui-ci. Cette injection de vapeur réchauffe en même temps le polluant et en rend la manutention plus facile. Il faut noter au passage que l'eau d'entraînement aspirée par le tube plongeur tend à occuper la partie centrale du tube et qu'en conséquence l'injection de vapeur à la périphérie réchauffe préférentiellement le polluant. Pour éviter que la vapeur ne sorte à trop grande vitesse des trous 55, on peut prévoir sur le conduit 54 des étranglements calibrés d'entrée: le laminage correspondant est adiabatique et ne modifie pas sensiblement l'apport de chaleur de la vapeur.

On voit que la couche de liquide léger polluant se concentre dans le séparateur pour former un noyau dont l'épaisseur et le volume correspondent à un équilibre entre le débit aspiré par le tube 47 et un débit injecté qui peut varier très rapidement, puisqu'il est sensiblement proportionnel à chaque instant à l'épaisseur de la couche de liquide polluant, elle-même en gros cinquante fois plus grande que l'épaisseur moyenne de la nappe polluante au droit de l'étrave 20. Ce noyau constitue un volume tampon. Il est normalement maintenu entre des limites déterminées en commandant la pompe (non représentée) d'aspiration du liquide léger par un relais actionné par des moyens de détermination de niveau de l'interface, indiqués schématiquement en 56. Ces moyens peuvent être constitués notamment par une cellule électrique ou par un flotteur dont la densité moyenne est comprise entre celle de l'eau et celle du liquide léger, relié à un relais de commande du moteur de la pompe.

La totalité du liquide léger polluant doit être aspirée par le tube 47. Pour remplir cette condition à coup sûr, alors que le débit de ce liquide subit des variations impossibles à mesurer, il faut admettre dans l'écoulement aspiré une proportion d'eau, qui en règle générale sera inférieure à deux tiers. Cette proportion est suffisamment faible pour que l'eau résiduelle puisse être éliminée par un séparateur centrifuge classique (non représenté) fonctionnant en veine fermée, interposé entre le tube 47 et la pompe d'aspiration.

Le liquide léger finalement obtenu sera stocké. Ce stockage peut s'effectuer dans des citernes placées à bord de l'engin dépollueur, d'où le polluant sera ultérieurement transvasé dans des réservoirs

placés à terre. On peut toutefois, surtout dans le cas d'engins de petite dimension, stocker le polluant dans des conteneurs qui sont fermés et lestés. Ces conteneurs sont ensuite immergés au fur et à mesure de leur remplissage à des emplacements repérés par des bouées. Les conteneurs sont ensuite repêchés par des navires non spécialisés.

Il faut remarquer que le volume tampon représenté par le noyau sera généralement suffisant pour autoriser un arrêt momentané de la pompe d'aspiration pendant le temps nécessaire à un changement de récipient de stockage de liquide léger polluant.

Jusqu'à présent, il a essentiellement été question des moyens permettant d'épaissir l'épaisseur de la couche polluante, puis de l'extraire en même temps qu'un débit aussi faible que possible d'eau. Il s'agit là des moyens dont le rôle est essentiel en eau calme. Mais, dans les conditions de travail à la mer, il faut de plus éviter le déferlement et la formation de ressauts à des emplacements où ils risquent de provoquer un brassage nuisible à la séparation, en particulier dans les conduits et à leur entrée constituant orifice de prise.

Un premier remède consiste à réduire l'amplitude de la houle provenant de l'arrière en allure de fuite, au cours de son trajet le long de la coque avant qu'elle n'atteigne les orifices de prise. Dans le mode de réalisation montré en figures 1, 2 et 3, l'engin comporte une aile arrière 57. Il est préférable que cette aile ne déborde pas de l'engin vers l'arrière. L'épaisseur de l'aile 57 augmente de l'arrière vers l'avant et l'aile est placée à une profondeur légèrement inférieure au tirant d'eau de l'engin. En allure de fuite par rapport à la houle, surtout sur des engins de grande longueur, l'aile 57 amortit le mouvement absolu de la houle dans une zone de pénombre qui recouvre tout l'écoulement en veine libre avant entrée dans les orifices de captation des conduits.

De plus, sur les engins de grande longueur, l'aile réduit l'amplitude du tangage. Sur les engins de faible longueur, elle amortit le mouvement relatif du navire par rapport à la mer, surtout si elle présente une portance positive. L'aile joue enfin un rôle de quille anti-roulis.

Un second remède tient compte de ce que les perturbations les plus dangereuses du point de vue du risque de déferlement sont celles qui remontent l'écoulement général. De telles perturbations peuvent apparaître dans les conduits par suite de la réflexion des ondes qui descendent le conduit, puis le sous-canal d'échappement vers la partie en charge de ce dernier.

Ce résultat peut notamment être atteint grâce à une géométrie du sous-canal d'évacuation qui conduit à un déferlement localisé en arrière de la cloison 37 (dans le sens de l'écoulement général) et à proximité immédiate de cette cloison et à une commande appropriée de la pompe de propulsion, afin de maintenir dans la cuvette 39 une hauteur de charge suffisamment basse pour assurer un écoulement torrentiel.

Les conditions à établir apparaîtront mieux si on analyse l'écoulement d'évacuation vers le sous-canal 40 sur un schéma simplifié du conduit 16, de la cuvette 39 et du sous-canal 40, qui passe en charge en aval de la cuvette. Les figures 14 et 15 schématisent ces composants de l'installation en alignement pour faciliter l'analyse.

La pompe d'aspiration du débit qui parcourt le sous-canal 40 est commandée de façon que ce sous-canal reste en charge et qu'il n'y ait pas d'admission d'air dans la pompe et aussi de façon à maintenir immédiatement en amont une vitesse et une hauteur d'eau telles que l'écoulement soit de type fluvial, c'est-à-dire avec un nombre de Froude inférieur à 1. On donne à la cuvette 39 une largeur l_2 supérieure à la largeur l_1 du conduit et on y place un déversoir noyé 59 qui réduit la profondeur et, corrélativement, provoque un accroissement local de la vitesse. L'élargissement l_2/l_1 et la hauteur du déversoir 59 sont choisis de façon que les variations subies par l'écoulement de l'amont à l'aval soient les suivantes.

Dans le conduit 16, en amont de la cloison 37, la vitesse d'écoulement et la profondeur h_1 sont telles que l'écoulement est fluvial (nombre de Froude inférieur à 1). Dans la partie amont de la cuvette, ce caractère fluvial est encore accru du fait de la diminution de la vitesse provoquée par l'augmentation de largeur. Par contre, la profondeur h_2 de l'écoulement au droit du déversoir devient telle que le nombre de Froude devient égal, puis supérieur, à 1. Il se maintient supérieur à 1, puis l'écoulement redevient fluvial avec formation d'un ressaut 60 qui est susceptible de se déplacer longitudinalement dans un domaine limité. Les perturbations se propageant d'amont en aval traversent le ressaut et peuvent se réfléchir sur l'entrée du sous-canal en charge 40. Mais les perturbations réfléchies ne peuvent franchir le ressaut et venir perturber l'écoulement dans le conduit.

L'invention ne se limite pas aux modes particuliers de réalisation donnés à titre d'exemples mais, au contraire, est susceptible de nombreuses variantes de réalisation. On peut en particulier noter que des moyens autres que les ailes verticales 35 montrées en figures 1 et 10 peuvent être utilisés. La figure 16 montre à titre d'exemple une aile 67 de forme annulaire susceptible d'être utilisée à l'avant du plancher 33. Cette aile se raccorde au plancher 33 par un profil qui peut être similaire à celui montré en figure 10G puis l'aile se retourne vers l'avant pour se raccorder à la partie centrale 10 de la coque par un profil proche de l'horizontale, comme indiqué par une coupe rabattue en tirets. A son emplanture sur le plancher 33, l'aile a toutefois une longueur moindre que dans le cas de la figure 10 et une incidence plus forte, de façon que l'aile 61 ne descende pas au-dessous du tirant d'eau de la coque.

Cette disposition apporte un double avantage. L'aile annulaire, encastrée à ses deux extrémités, a une rigidité et une résistance plus importante qu'une aile en porte à faux; on supprime les tourbillons libres qui s'échappent d'une aile du genre montré en figures 1 et 10, tourbillons qui peuvent être dans certains cas gênants, bien qu'ils soient libérés à profondeur importante.

Le plancher 33 du mode de réalisation montré en figures 1, 2 et 9 est plein. En dépit du ralentissement de l'écoulement réalisé en amont de la captation, il limite la vitesse à laquelle peut se déplacer l'engin, étant donné qu'il est nécessaire d'éviter un déversement. Dans la variante de réalisation montrée en figures 17 et 18, on écarte dans une large mesure cette limitation en effectuant la captation (c'est-à-dire la séparation entre l'écoulement pollué prélevé et l'eau retournée à la nappe ambiante) en deux étapes. On ferme d'abord latéralement la veine de liquide prélevé par la coque latérale 11, placée obliquement, et on ferme ensuite la veine par le plancher 33 en aval de la proue de la coque latérale. Dans sa partie amont, le plancher 33 se limite à des aubes 65 et 66 inclinées, reliant les deux coques et de profondeur progressivement décroissante (figure 17). Ces aubes ont pour but d'éjecter vers le bas et vers l'extérieur, sous la coque latérale 11, la partie inférieure du débit d'eau de la veine, partie qui ne contient pas de polluant. La partie avant de la coque latérale aura dans ce cas une profondeur comprise entre la moitié et le tiers du tirant d'eau. La partie non rejetée de la veine est dirigée vers les pompes.

La courbe en trait plein sur la figure 19 montre la variation du débit d'alimentation fourni à un sous-canal débouchant dans des moyens de pompage en fonction du temps, en présence d'une houle de période T. Ce débit d'alimentation se déverse dans une cuvette d'amortissement 39 (figure 20) communiquant avec les moyens de pompage 53 par un conduit en charge 40. Les moyens de pompage 53 sont prévus pour aspirer un débit approximativement constant (ligne en tirets sur la figure 19) qui correspond au débit moyen d'alimentation. Le niveau de la masse d'eau contenue dans la cuvette varie donc en fonction du temps, la différence entre le volume moyen et le volume minimal d'eau dans la cuvette étant représentée par la surface hachurée sur la figure 19. A chaque valeur de cette différence de volume correspond une différence entre le niveau moyen m de l'eau dans la cuvette (en aval du ressaut 60 dû notamment à la présence du déversoir noyé 59) et le niveau bas. Cette différence est d'autant plus grande que la surface en plan de la cuvette 39 est plus faible.

Il faut éviter que les moyens de pompage 53 aspirent de l'air, ce qui impose d'interdire au niveau bas de descendre au-dessous d'une limite l au-delà de laquelle le tunnel 40 n'est plus en charge. Il faut remarquer que toute aspiration d'air par la pompe amplifie le phénomène car le canal d'éjection dans lequel est placée la pompe se vide alors partiellement de l'eau qu'il contient, ce qui tend à relever l'arrière de l'engin et, notamment, le seuil du déversoir 59, d'où une diminution supplémentaire du débit d'alimentation.

Le risque de dénoyage des moyens de pompage 53 est évité en munissant le sous-canal de moyens d'alimentation en eau à partir de la nappe d'eau dans laquelle circule l'engin. Dans le mode de réalisation montré en figure 21, les moyens d'alimentation du sous-canal en eau d'appoint sont constitués par une ouverture 62 ménagée dans le plancher pour réaliser une communication permanente entre le sous-canal et la mer. L'ouverture représentée est placée dans la partie avant du tunnel en charge 40. Le plafond de cette partie avant présente un seuil 61 en saillie vers le bas, permettant de diminuer encore le risque d'aspiration d'air. Pour le niveau moyen m, l'écoulement des filets d'eau au fond du sous-canal s'effectue le long du plancher en amont et en aval de l'ouverture 62 (flèche f_o). Lorsque le niveau descend du fait d'une diminution du débit d'alimentation, il y a aspiration d'eau à partir de la nappe ambiante (flèche f_1). On peut ainsi, pour le débit qui correspond à la limite 1 dans le cas de la figure 20, maintenir dans la cuvette 39 un niveau bas b suffisant pour éviter toute aspiration d'air.

On peut aisément déterminer expérimentalement les dimensions optimales à donner à l'ouverture 62. En règle générale, cette ouverture sera soit à l'entrée de la partie en charge 40, soit immédiatement en amont, en partie sous le seuil 61. Lorsque le niveau de l'eau dans la cuvette d'amortissement 39 est supérieur au niveau moyen, il y a éjection d'eau par l'ouverture 62: cette éjection est sans inconvénient, ce débit d'eau étant dépourvu de polluant.

Suivant la position relative en hauteur et en angle d'incidence du bord d'attaque 63 en aval de l'ouverture 62 et du bord de fuite 64 en amont, on peut donner au débit d'appoint vers les moyens de pompage 53 une valeur moyenne dans le temps qui est positive, nulle ou même négative, lorsque l'engin se déplace à sa vitesse de mise en œuvre normale, le débit d'appoint étant toujours positif dans le cas d'une vitesse nulle. Si par exemple on prévoit l'ouverture 62 pour qu'elle fournisse un débit d'appoint moyen de l'ordre de 10 à 20% du débit total aspiré par les moyens de pompage 53, on peut obtenir un débit maximal de l'ordre de 50% du débit aspiré par la pompe, ce qui fait clairement apparaître une incidence très importante sur le maintien du niveau dans la cuvette d'amortissement 39 à une hauteur suffisante.

L'ouverture d'entrée d'un débit d'apport peut être munie de volets oscillants évitant l'éjection d'une fraction du débit qui a franchi le déversoir noyé. Ces volets peuvent être munis de vérins qui les maintiennent fermés lorsque l'engin se déplace sans fonctionner pour prélever une couche de liquide léger, par exemple pour aller vers un lieu d'intervention.

Revendications

1. Engin de prélèvement sélectif d'une couche de liquide léger flottant à la surface d'une nappe d'eau susceptible d'être soumise à la houle, comprenant une coque (12) munie de moyens de propulsion permettant de le maintenir en allure de fuite, la coque ayant une partie centrale (10) qui fait saillie vers l'avant par rapport à deux parties latérales (11) qui délimitent avec la partie centrale des conduits (16) d'amenée à des séparateurs et la partie centrale présentant des moyens déflecteurs,

tels qu'une aile (17), pour créer des tourbillons dont l'orientation tend à diminuer la divergence de l'écoulement en surface autour de la coque, caractérisé en ce que chaque conduit (16) comporte un plancher (33) à profil déporteur dont le bord d'attaque fait saillie en amont de l'orifice d'entrée du conduit, plancher destiné à ralentir l'écoulement en amont du bord d'attaque et à provoquer un épaississement progressif de la couche de liquide léger et en ce qu'une cloison (37) approximativement verticale et se terminant d'une part au-dessus de la limite haute et d'autre part en dessous de la limite basse de la lame d'eau qui parcourt le conduit sépare ce dernier, sur une fraction de sa hauteur, en deux sous-canaux (38, 40) dont l'un (38) communique en aval avec le séparateur et dont l'autre (40) débouche en aval dans des moyens (53) de pompage et de rejet de l'eau à l'arrière de l'engin pour provoquer un effet propulsif.

2. Engin suivant la revendication 1, caractérisé en ce que la cloison (37) se termine à distance du plancher et est renflée dans sa partie basse pour limiter la courbure des filets de liquide qui passent du conduit et du premier sous-canal (38) au second sous-canal (40), la section totale des deux sous-canaux étant sensiblement constante le long de l'écoulement et la section du sous-canal allant vers le séparateur diminuant tandis que l'autre augmente.

3. Engin suivant la revendication 1, caractérisé en ce que le plancher (33) présente une forme d'aile dont le bord d'attaque a une flèche négative à proximité de la partie centrale de la coque.

4. Engin suivant la revendication 3, caractérisé en ce que la fraction (34) la plus à l'extérieur du bord d'attaque du plancher présente une flèche positive au droit de l'étrave (30) de la partie latérale (11) de la coque et en ce que le plancher porte, à proximité du bord d'attaque, une aile approximativement verticale (35) de compensation des effets de divergence en surface dus au bord d'attaque du plancher.

5. Engin suivant la revendication 1, caractérisé en ce que le plancher présente un profil à cambrure dirigée vers le bas, dont l'intrados présente un seuil à une profondeur sensiblement égale à la moitié du tirant d'eau du bateau, puis un approfondissement jusqu'à la distance maximum compatible avec la tenue mécanique du plancher.

6. Engin suivant la revendication 1 ou 5, caractérisé en ce que les moyens déflecteurs sont constitués par une aile à portance positive dont le bord d'attaque est situé en avant du point où l'étrave (20) de la partie centrale (10) de la coque coupe la ligne d'eau, l'envergure de l'aile étant sensiblement égale à la largeur hors tout de la coque.

7. Engin suivant la revendication 6, caractérisé en ce que l'aile (17) est à une profondeur du même ordre que le tirant d'eau de la coque pour éviter les déferlements et en ce que l'aile porte des ailerons sensiblement verticaux, présentant une convergence importante vers l'avant, en saillie vers le haut à partir de l'aile à proximité des extrémités de celle-ci pour relever les tourbillons.

8. Engin suivant la revendication 1 ou 6, caractérisé en ce que l'aile présente une profondeur du même ordre que le tirant d'eau de la coque à l'emplanture et une partie enroulée pour présenter un dièdre progressivement croissant vers ses extrémités.

9. Engin suivant la revendication 1, caractérisé en ce que l'étrave (20) de la partie centrale (10) forme, au-dessous de la ligne d'eau, un éperon à bulbe se raccordant avec l'aile.

10. Engin suivant la revendication 1, caractérisé en ce que le sous-canal qui débouche dans les moyens de pompage comporte un déversoir noyé destiné à provoquer le déferlement des perturbations qui remontent l'écoulement.

11. Engin suivant la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte une aile arrière (57) immergée à une profondeur du même ordre que le tirant d'eau de la coque, destinée à affaiblir la houle en allure de fuite et à réduire les perturbations à l'entrée des conduits.

12. Engin suivant la revendication 1, caractérisé en ce que chaque séparateur comporte une cavité (45) d'axe vertical (46) séparée par une plaque horizontale (50) percée d'un trou central en une chambre d'alimentation dans laquelle débouche le sous-canal (38) et une chambre de décharge s'ouvrant dans un canal d'échappement tangentiel (52), le séparateur comportant de plus un tube central (47) plongeant dans la partie haute de l'écoulement tourbillonnaire à surface libre dans la chambre d'alimentation et communiquant avec une pompe d'aspiration du liquide léger.

13. Engin suivant la revendication 12, caractérisé en ce que le tube (47) est à double paroi et présente un conduit interne (54) d'amenée de vapeur qui s'échappe vers le haut par des trous ménagés dans un rebord interne du tube à partie basse de celui-ci.

14. Engin suivant la revendication 1, caractérisé en ce que le sous-canal (40) qui débouche dans les moyens de pompage est muni de moyens d'alimentation en eau à partir de la nappe d'eau prévus pour fournir un débit d'appoint aux moyens de pompage, au moins lorsque le niveau dans ce canal descend jusqu'à une hauteur déterminée et la dépasse.

15. Engin suivant la revendication 14, caractérisé en ce que les moyens pour fournir un débit d'appoint sont constitués par une ouverture (62) ménagée dans la paroi du sous-canal.

16. Engin suivant la revendication 1, caractérisé en ce que le plancher (33) est constitué dans sa partie avant par des aubes (65, 66) reliant chacune la partie centrale (10) à une des parties latérales (11) et en ce que chaque partie latérale se prolonge vers l'avant dans ladite partie avant et présente, dans sa partie raccordée aux aubes, une profondeur comprise entre le tiers et la moitié du tirant d'eau de l'engin.

Patentansprüche

1. Einrichtung zur selektiven Beseitigung einer Schicht leichter Flüssigkeit von einer Wasserober-

fläche, die einem Wellengang unterworfen sein kann, mit einem durch Vortriebsmittel in Fahrt zu haltenden Rumpf (12) mit einem zentralen Rumpfteil (10), der gegenüber zwei Rumpfseitenteilen (11) nach vorn ansteigt, wobei die Rumpfseitenteile (11) zusammen mit dem zentralen Rumpfteil Zuführungskanäle (16) für Separatoren begrenzen und der zentrale Rumpfteil Ablenkmittel, z.B. einen Flügel (17) zur Erzeugung von Wirbeln aufweist, die so gerichtet sind, dass die Divergenz der Oberflächenströmung um den Rumpf verringert wird, dadurch gekennzeichnet, dass jeder der genannten Kanäle (16) eine Planke (33) mit einem Spoilerprofil umfasst, deren Vorderkante stromaufwärts der Eintrittsöffnung des Kanals ansteigt und die die Strömung stromaufwärts der Vorderkante verlangsamt und eine progressive Verdickung der Schicht leichter Flüssigkeit bewirkt, und dass eine annähernd vertikale Trennwand (37) vorgesehen ist, die einerseits über der Ober- und anderseits unter der Untergrenze des den Kanal durchlaufenden Wasserstreifens endet und den Kanal über einem Teil seiner Höhe in zwei Unterkanäle (38, 40) teilt, von denen der eine (38) stromabwärts mit dem Separator verbunden ist und der andere (40) stromabwärts in Pumpmitteln (53) mündet, die das Wasser zur Erzeugung einer Antriebswirkung nach hinten aus der Einrichtung auswerfen.

2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Trennwand (37) im Abstand von der Planke endet und in ihrem unteren Teil verdickt ist, derart dass sie die Krümmung der Flüssigkeitsstromfäden begrenzt, die aus dem Kanal und aus dem ersten Unterkanal (38) zu dem zweiten Unterkanal (40) verlaufen, wobei der Gesamtquerschnitt der beiden Unterkanäle im wesentlichen längs der Strömung konstant ist und der Querschnitt des zu dem Separator führenden Unterkanal abnimmt, während der Querschnitt des anderen Unterkanals zunimmt.

3. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Planke (33) die Form eines Flügels hat, dessen Vorderkante in der Nähe des zentralen Rumpfteils (10) eine negative Durchbiegung hat.

4. Einrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der am weitesten aussen liegende Teil (34) der Vorderkante der Planke im Bereich des Stevens (30) des Rumpfseitenteils (11) eine positive Durchbiegung besitzt und dass die Planke in der Nähe ihrer Vorderkante einen annähernd vertikalen Flügel (35) zur Kompensation der von der Vorderkante der Planke verursachten Oberflächendivergenzeffekte aufweist.

5. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Planke ein Profil mit nach unten gerichteter Krümmung aufweist, dessen Innenseite in einer Tiefe, die annähernd dem halben Tiefgang des Schiffes entspricht, eine Schwelle besitzt und sich dann bis zur der grösstmöglichen mit der mechanischen Haltbarkeit der Planke zu vereinbarenden Distanz vertieft.

6. Einrichtung nach Anspruch 10 der 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Ablenkmittel von einem Flügel mit positivem Auftrieb gebildet sind, dessen Spannweite im wesentlichen gleich der Breite des Rumpfes über alles ist und dessen Vorderkante vor dem Punkt liegt, in welchem der Steven (20) des zentralen Rumpfteils (10) die Wasserlinie schneidet.

7. Einrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Flügel (17) zur Vermeidung von Brechern in einer etwa dem Tiefgang des Rumpfes entsprechenden Tiefe liegt und annähernd vertikale Querruder zur Aufrichtung der Wirbel besitzt, die in der Nähe seiner Enden nach oben ragen und nach vorne stark konvergieren.

8. Einrichtung nach Anspruch 1 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Wurzel des Flügels sich in einer Tiefe befindet, die etwa dem Tiefgang des Rumpfes entspricht, und dass der Flügel einen abgebogenen Teil aufweist und so ein in Richtung auf seine Enden progressiv wachsendes Zweiflach darstellt.

9. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Steven (20) des zentralen Rumpfteils (10) unterhalb der Wasserlinie einen Bugwulst bildet, der sich mit dem Flügel verbindet.

10. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der in den Pumpmitteln mündende Unterkanal einen versenkten Überlauf besitzt, der dazu dient, die Strömung hinaufwandernde Störungen zu brechen.

11. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein hinterer Flügel (57) vorgesehen ist, der in eine Tiefe eingetaucht ist, die dem Tiefgang des Rumpfes entspricht, und der dazu bestimmt ist, den Wellengang bei Fahrt zu schwächen und die Störungen am Eingang der Kanäle zu verringern.

12. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass jeder Separator einen Hohlraum (45) mit vertikaler Achse (46) besitzt, der durch eine mit einer zentralen Öffnung versehene horizontale Platte (50) in eine Zuführungskammer, in der der Unterkanal (38) mündet, und eine Auslasskammer getrennt ist, die sich in einen tangentialen Auslasskanal (52) öffnet, und dass der Separator ferner ein zentrales Rohr (47) aufweist, das an der freien Oberfläche der Zuführungskammer in den oberen Teil der Wirbelströmung eintaucht und mit einer Saugpumpe für die leichte Flüssigkeit in Verbindung steht.

13. Einrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Rohr (47) doppelwandig ist und einen inneren Kanal (54) zur Zuführung von Dampf bildet, der nach oben durch Öffnungen entweicht, die in einem im unteren Teil des Rohrs vorgesehenen Innenrand angebracht sind.

14. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der in den Pumpmitteln mündende Unterkanal (40) Mittel zur Wasserzufuhr von der Wasseroberfläche aufweist, die den Pumpmitteln zumindest dann einen zusätzlichen Wasserdurchsatz zuführen, wenn der Pegel in diesem Unterkanal bis auf eine vorbestimmte Höhe abfällt und diese überschreitet.

15. Einrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel für die Zufuhr ei-

nes zusätzlichen Wasserdurchsatzes von einer in der Wandung des Unterkanals angebrachten Öffnung (62) gebildet sind.

16. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Planke (33) in ihrem vorderen Bereich von Schaufeln (65, 66) gebildet ist, von denen jede den zentralen Rumpfteil (10) mit einem der Rumpfseitenteile (11) verbindet, und dass jeder Rumpfseitenteil sich nach vorn in den genannten vorderen Bereich verlängert und sich mit seinem mit den Schaufeln verbundenen Teil in einer Tiefe befindet, die zwischen einem Drittel und der Hälfte des Tiefgangs der Einrichtung liegt.

Claims

1. A device for selectively taking up a layer of light liquid floating on the surface of a sheet of water likely to be subjected to swell, comprising a hull (12) having propulsion means for maintaining it running before the sea, the hull having a central part (10) which projects forwards with respect to two lateral parts (11) which define with the central part ducts (16) for supplying separators and the central part having deflecting means, such as a wing (17), for creating swirls whose orientation tends to reduce the divergence of the surface flow about the hull, characterized in that each duct (16) comprises a floor (33) with a negative lift profile whose leading edge projects upstream of the intake orifice of the duct, which floor is intended to slow down the flow upstream of the leading edge and to cause a progressive thickening of the light liquid layer and in that an approximately vertical dividing wall (37) terminating above the upper limit and under the lower limit of the water stream which flows through the duct separates the latter, over a fraction of its height, into two sub-channels (38, 40) one of which (38) communicates downstream with the separator and the other (40) opens downstream into pumping means (53) for pumping water and discharging it at the rear of the device to cause a propulsive effect.

2. Device according to claim 1, characterized in that the dividing wall (37) terminates at a distance from the floor and is bulged in its lower part to define the curvature of the liquid streams which pass from the duct and from the first sub-channel (38) to the second sub-channel (40), the total cross-sectional area of the two sub-channels being substantially constant along the flow and the cross-sectional area of the sub-channel directed towards the separator decreasing whereas the other one increases.

3. Device according to claim 1, characterized in that the floor (33) is in the form of a wing whose leading edge has a negative sweep back in the vicinity of the central part of the hull.

4. Device according to claim 3, characterized in that the outermost fraction (34) of the leading edge of the floor has a positive sweep back at the level of the stem (30) of the lateral part (11) of the hull and in that the floor carries, in the vicinity of the leading edge, an approximately vertical wing (35) for compensating the surface divergence effects due to the leading edge of the floor.

5. Device according to claim 1, characterized in that the floor has a profile with a downwardly directed sweep back, whose under surface has a sill at a depth substantially equal to half the draft of the ship, then deepening to the maximum distance compatible with the mechanical strength of the floor.

6. Device according to claim 1 or 5, characterized in that the deflector means are formed by a wing with positive lift whose leading edge is situated forwardly of the point where the stem (20) of the central part (10) of the hull intersects the waterline, the spread of the fin being substantially equal to the overall width of the hull.

7. Device according to claim 6, characterized in that the wing (17) is at a depth of the same order as the draft of the hull so as to avoid breakers and in that the fin carries substantially vertical winglets presenting considerable forward convergence, projecting upwards from the wing in the vicinity of the ends thereof to raise the swirls.

8. Device according to claim 1 or 6, characterized in that the wing has a depth of the same order as the draft of the hull at the root and a rolled up part for presenting a dihedron progressively increasing towards its ends.

9. Device according to claim 1, characterized in that the stem (20) of the central part (10) forms, below the waterline, a bulb connected to the wing.

10. Device according to claim 1, characterized in that the sub-channel which opens into the pumping means comprises a sunken overfall for causing the disturbances to break which travel up the flow.

11. Device according to claim 1, characterized in that it comprises a rear fin (57) immersed at a depth of the same order as the draft of the hull, for weakening the swell when running before the sea and for reducing the disturbances at the inlet of the ducts.

12. Device according to claim 1, characterized in that each separator comprises a cavity (45) with a vertical axis (46) separated by a horizontal plate (50) formed with a central hole into a supply chamber into which opens the sub-channel (38) and a discharge chamber opening into a tangential discharge channel (52), the separator further comprising a central tube (47) dipping into the top part of the swirling flow with free surface in the supply chamber and communicating with a light liquid suction pump.

13. Device according to claim 12, characterized in that the tube (47) has a double wall and has an internal duct (54) for supplying steam which escapes upwards through holes formed in an internal flange of the tube at the lower part thereof.

14. Device according to claim 1, characterized in that the sub-channel (40) which opens into the pumping means is provided with means for supplying water from the water sheet arranged for supplying a make-up flow to the pumping means at least when the level in that channel drops to a predetermined height and below.

15. Device according to claim 14, characterized in that the means for supplying a make-up flow are formed by an opening (62) formed in the wall of the sub-channel.

16. Device according to claim 1, characterized in that the floor (33) is formed in its front part by vanes (65, 66) each connecting the central part (10) to one of the lateral parts (11) and in that each lateral part is extended forwardly into said front part and presents, in its part connected to the vanes, a depth between one third and one half of the draft of the device.

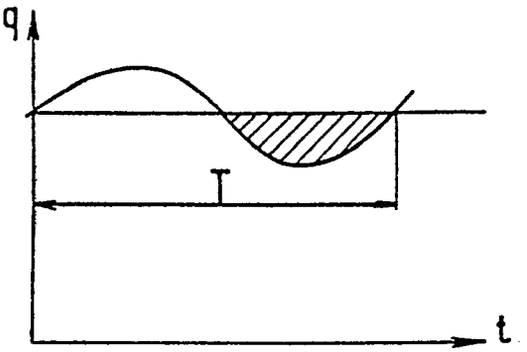


FIG.19.

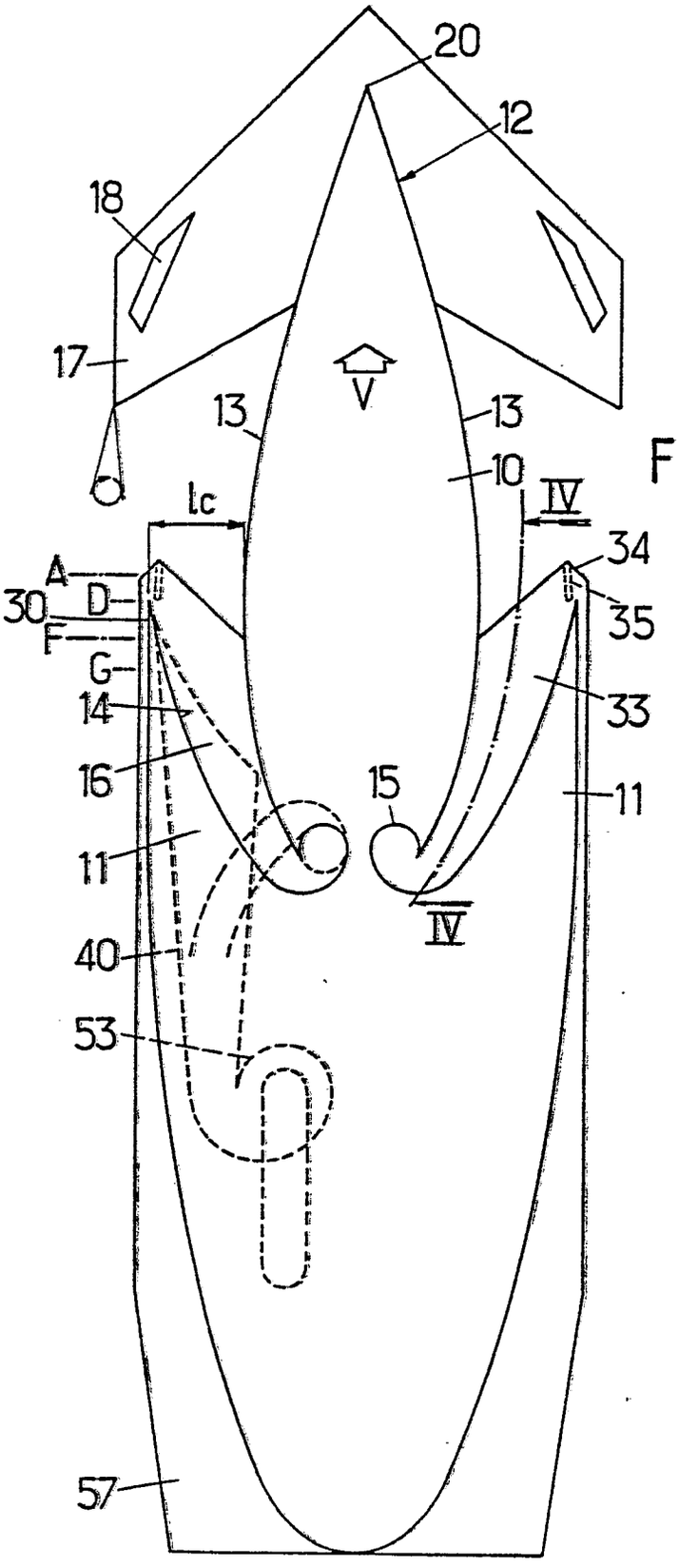


FIG.1.

FIG.13.

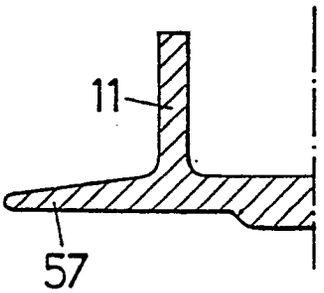


FIG.2.

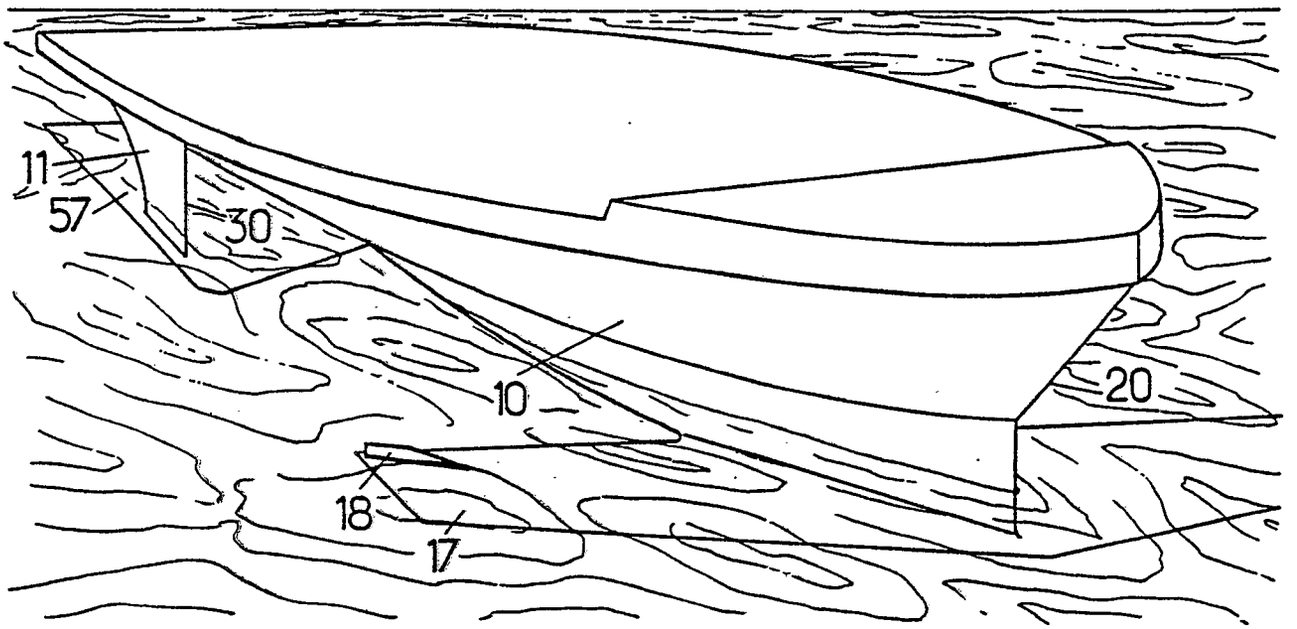


FIG.7.

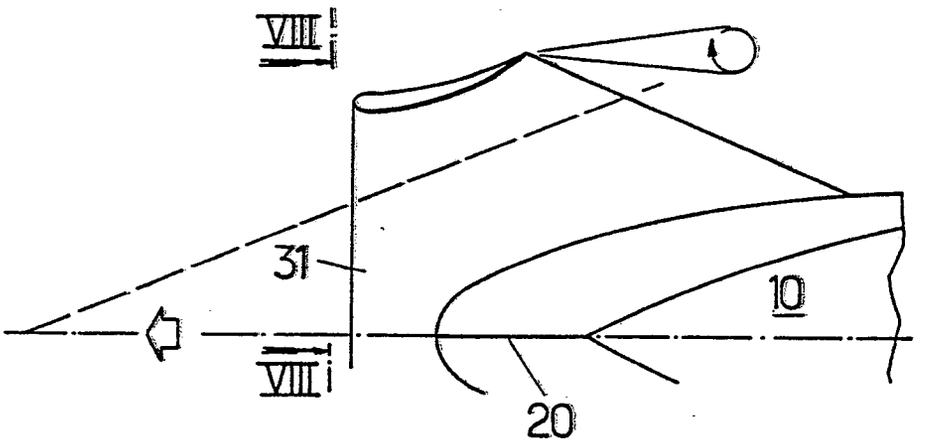


FIG.8.

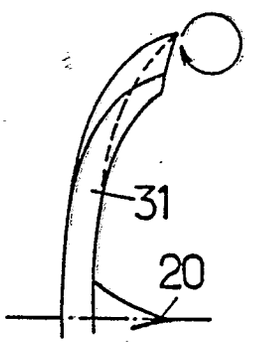


FIG.9.

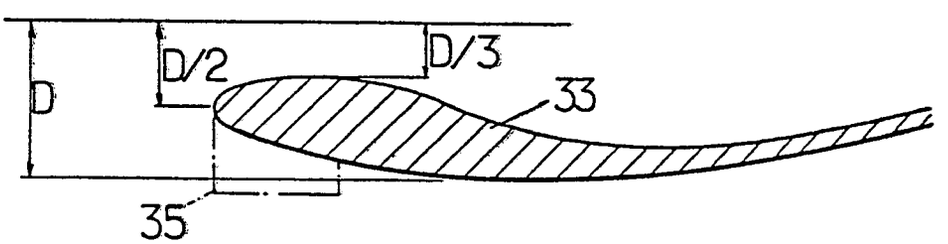


FIG. 3.

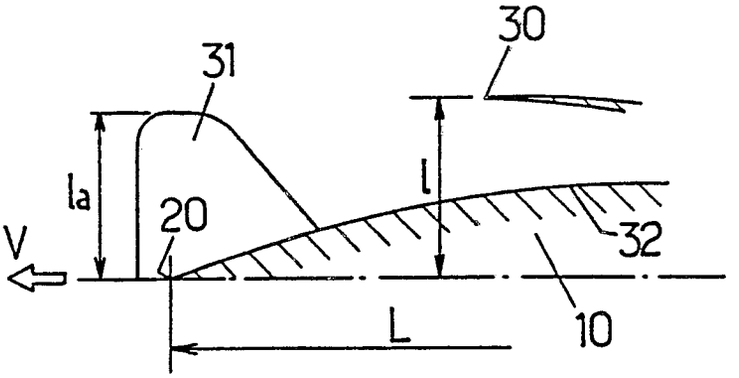


FIG. 4.

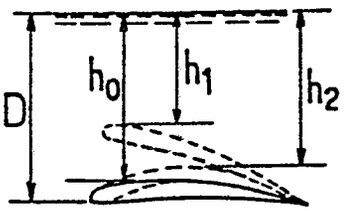


FIG. 6.

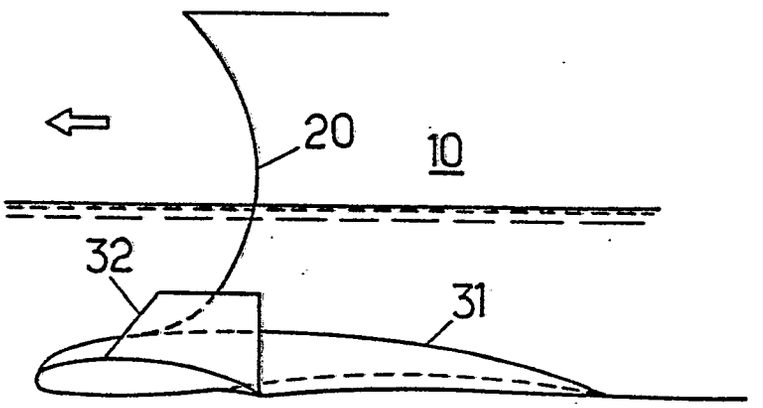


FIG. 5.

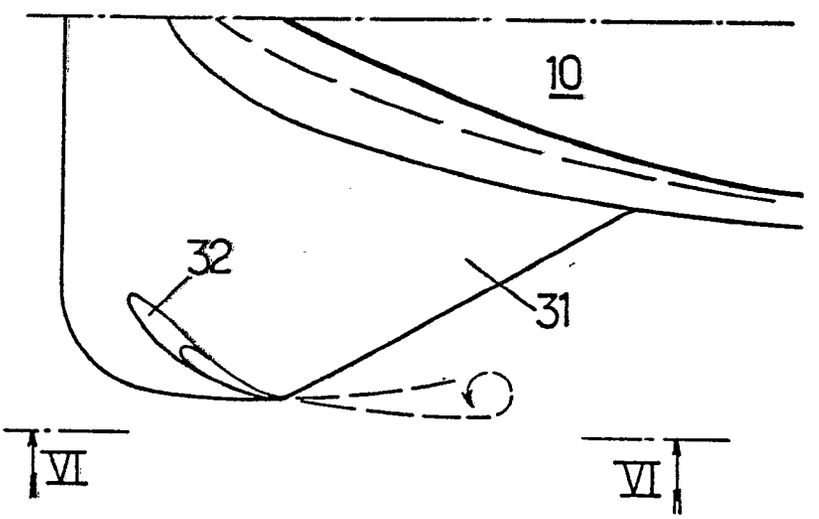


FIG.10A.

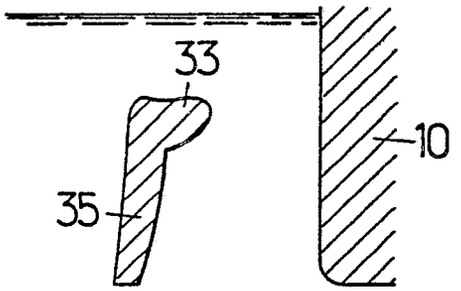


FIG.10B.

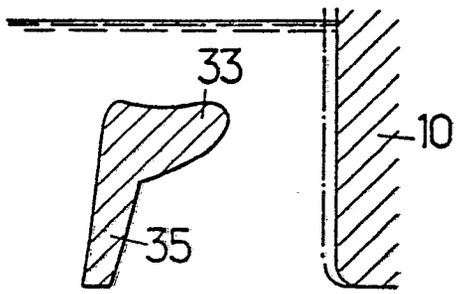


FIG.10C.

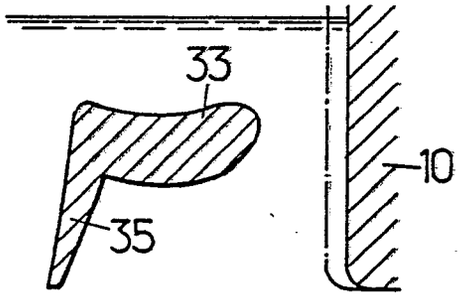


FIG.10D.

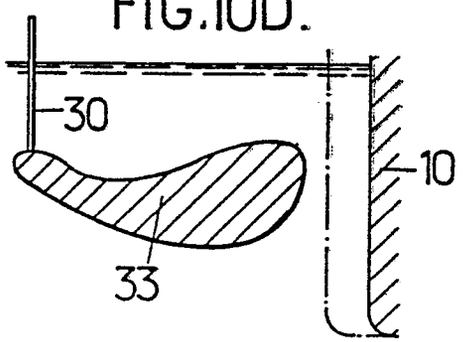


FIG.10E.

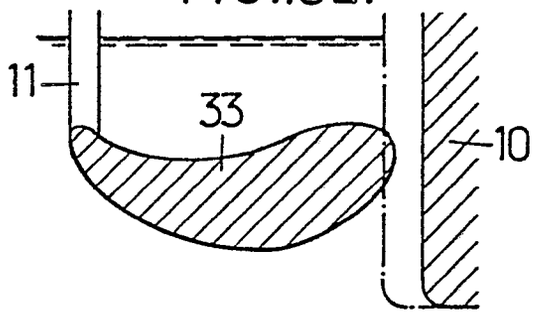


FIG.10F.

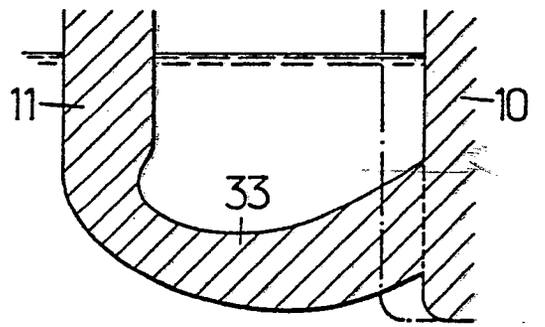
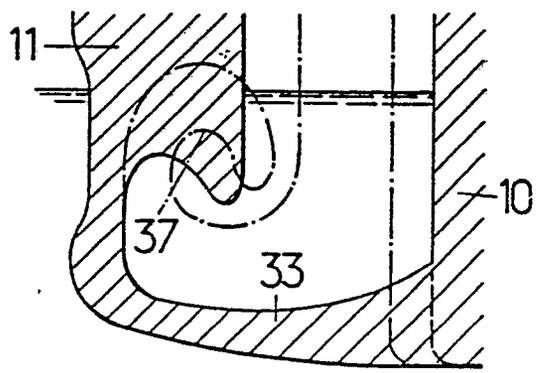


FIG.10G.



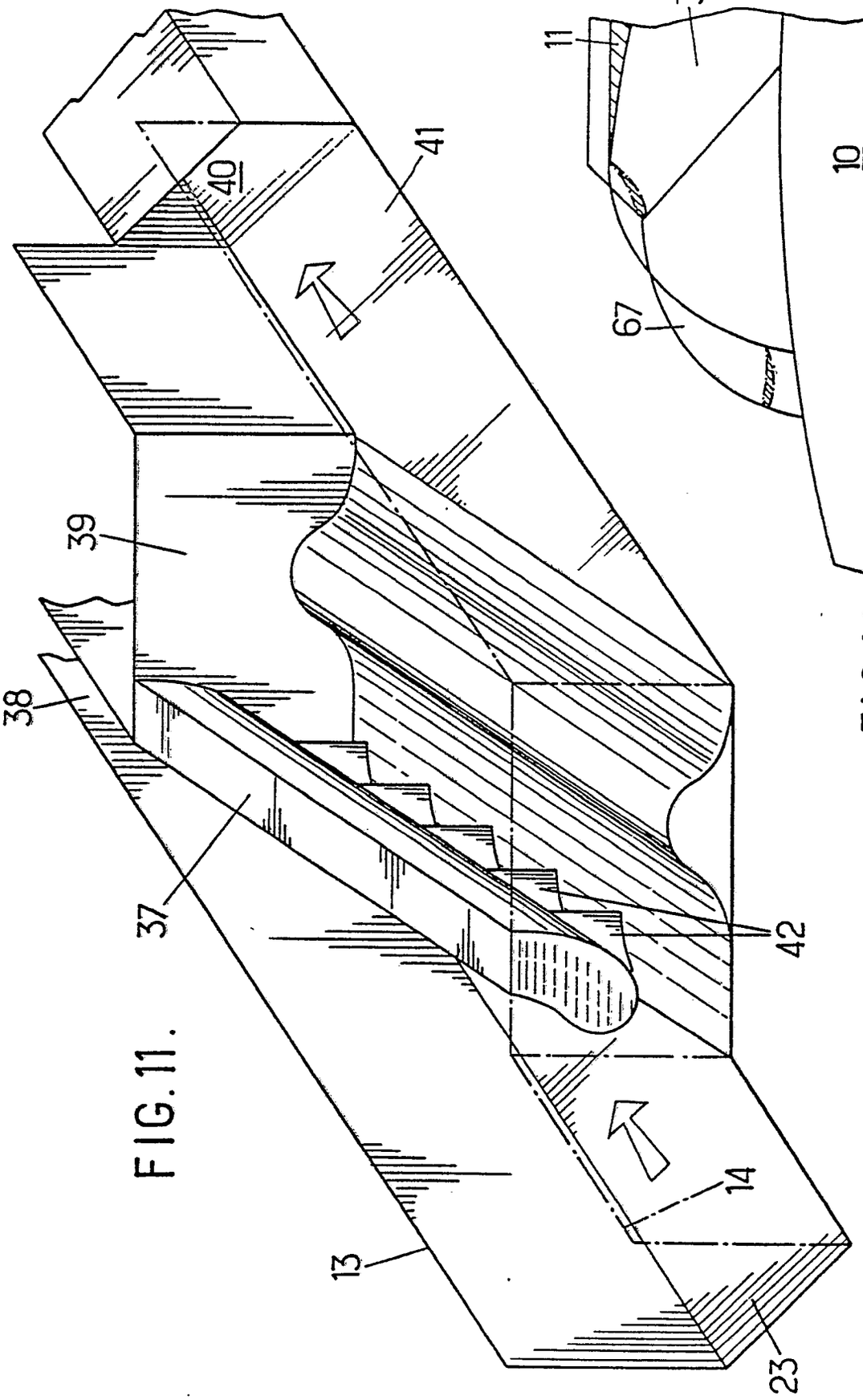


FIG.11.

FIG.16.

FIG.12.

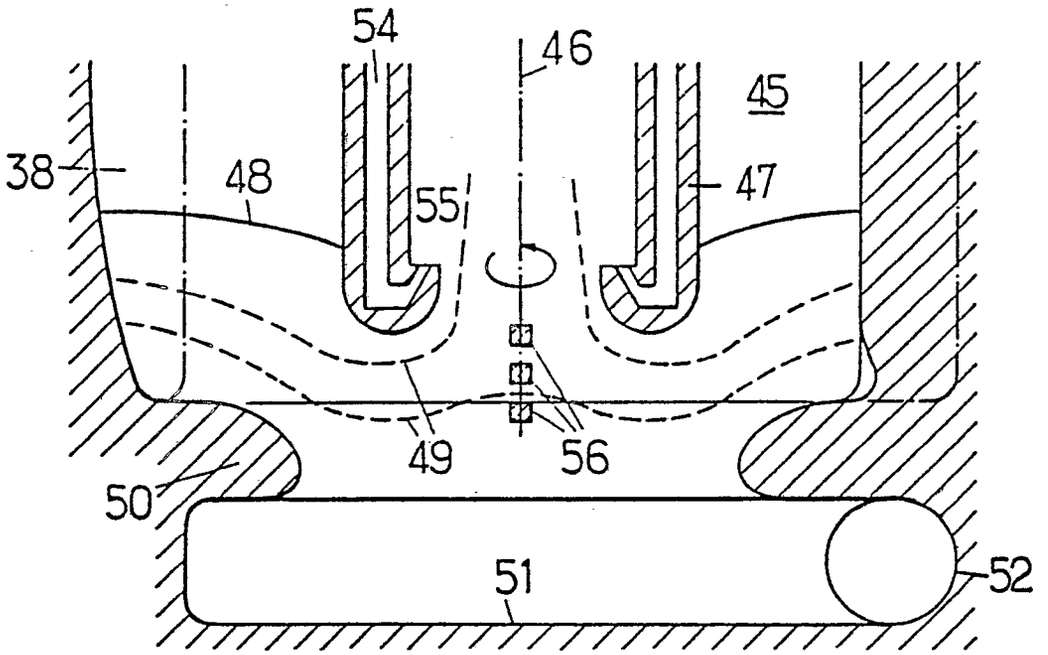


FIG.14.

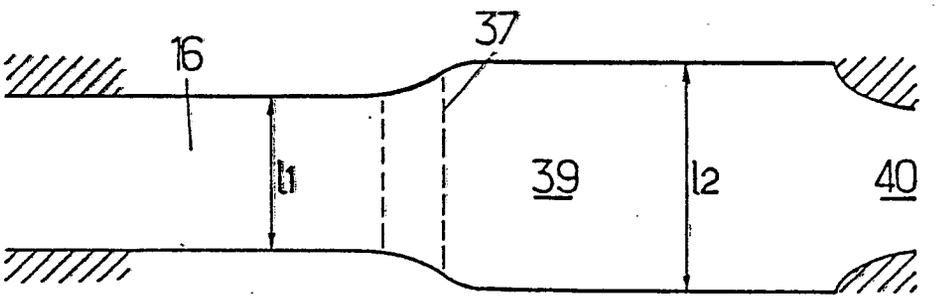


FIG.15.

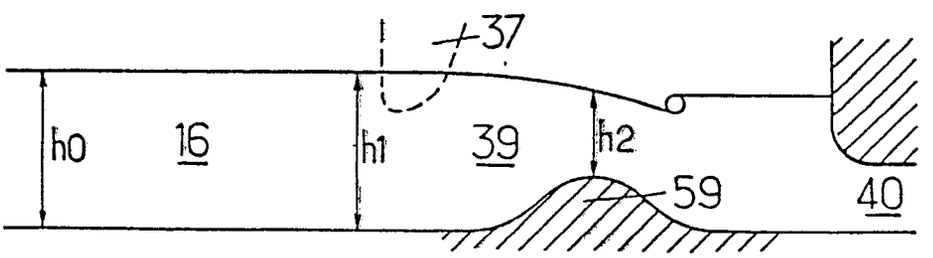
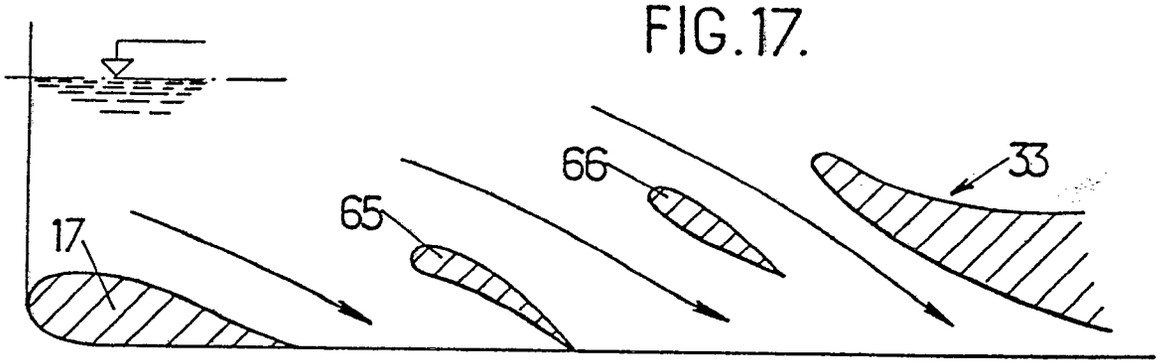


FIG.17.



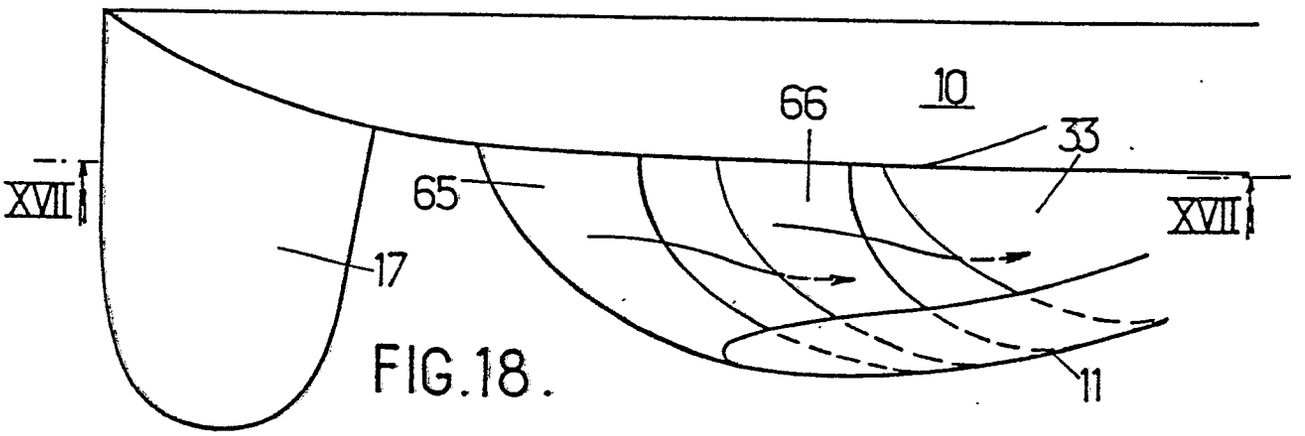


FIG.18.

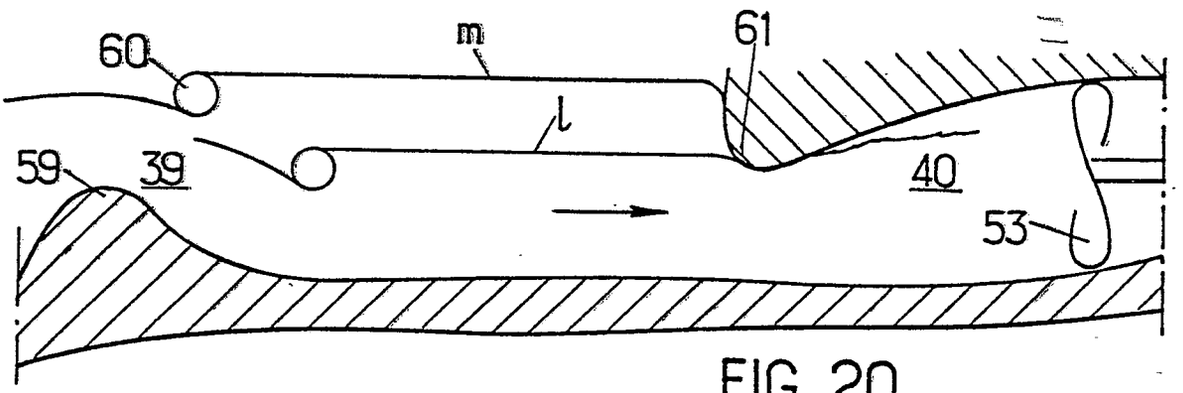


FIG.20.

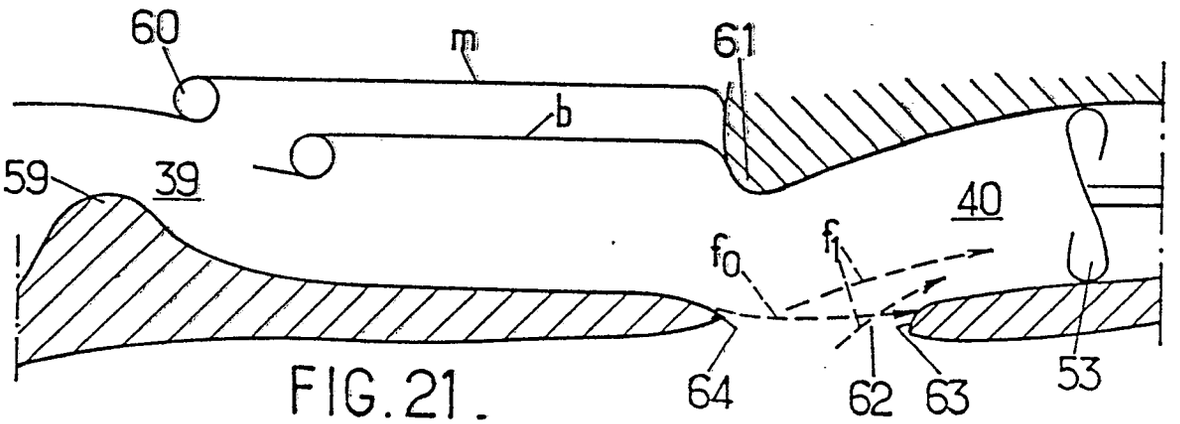


FIG.21.