(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

COURBEVOIE

(11) **N° de publication :** ***3 145 924***

(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) **N° d'enregistrement national :** **23 01516**

(51) Int Cl[8] : ***B 63 B 1/10*** *(2023.01), B 63 B 1/40, 35/44*

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt :** 17.02.23.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 23.08.24 Bulletin 24/34.

(56) **Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire :** *Se reporter à la fin du présent fascicule*

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

◯ **Demande(s) d'extension :**

(71) **Demandeur(s) :** *ASTRAEA TECHNOLOGIES SARL* — FR.

(72) **Inventeur(s) :** OUDOT Martin et GASSEND Olivier.

(73) **Titulaire(s) :** ASTRAEA TECHNOLOGIES SARL.

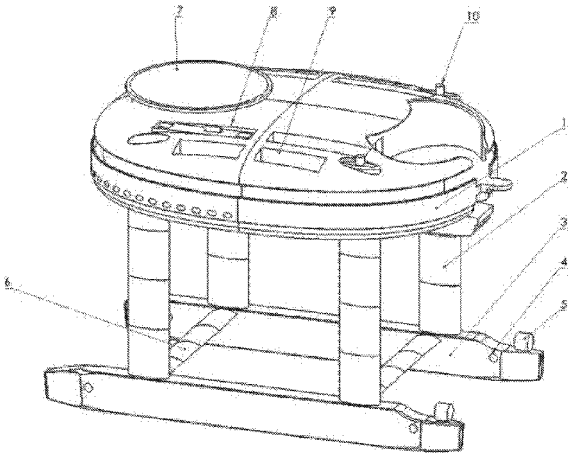
(74) **Mandataire(s) :**

(54) **Plateforme haute mer à stabilité active.**

(57) L'invention concerne une structure maritime à stabilité améliorée comprenant des moyens de manœuvre et de navigation et comprenant :

- au moins une plateforme aérienne (1) ;
- au moins trois mâts (2) de hauteur ajustable ;
- au moins un flotteur sous-marin (3) équipé d'au moins un propulseur latéral (4) et d'au moins un propulseur longitudinal (5), ladite plateforme étant arrimée au(x)dit(s) flotteur(s) au moyen desdits mâts ;
- des moyens de ballastage statique à l'intérieur dudit ou desdits flotteur(s) ;
- des moyens de ballastage dynamique asservis situés à l'intérieur desdits mâts ;
- des moyens de contrôle de la position et de l'assiette comprenant au moins un capteur et au moins un moyen d'asservissement desdits moyens de ballastage dynamique afin de contrôler en temps réel la position et la stabilité de ladite structure maritime en fonction de la houle et du vent.

Figure 1 à publier



FR 3 145 924 - A1

Description

Titre de l'invention : Navire de haute mer à stabilité active

Domaine technique

[0001] L'invention concerne le domaine de la mobilité maritime, notamment les navires de support et bases logistiques en mer, plus particulièrement les navires dédiés à la maintenance et l'entretien de supports flottants, comme des fermes éoliennes offshore. L'invention est applicable dans de nombreux domaines maritimes.

Technique antérieure

[0002] Un SWATH (en anglais : « Small Waterplane Area Twin Hull ») est un navire catamaran à faible surface de flottaison. Ce principe a été inventé par le Canadien Frederick G. Creed en 1938. Un SWATH est un navire motorisé à deux coques, chacune des coques étant profondément immergée. La plate-forme centrale est reliée aux coques par des jonctions minces au niveau de la flottaison. Le but recherché est d'améliorer la tenue à la mer par mauvais temps, notamment par rapport au catamaran classique.

[0003] Il est connu d'utiliser un ballastage pour stabiliser les navires, notamment de grandes dimensions. Le ballastage correspond généralement à un embarquement d'eau de mer dans des cuves également appelées *ballasts*. Ce type de ballastage est appelé dans la suite de la description ballastage lent ou statique.

[0004] Le document DE10336547 décrit un navire comprenant une carène de type SWATH comprenant un système de ballast.

[0005] Le brevet EP2511168 décrit un navire ayant une carène dite SWATH, avec un système de ballasts statiques. Certains projets de navires de maintenance, par exemple de type « Windkeeper » présentent des systèmes de ballasts dans les flotteurs (sans asservissement en temps réel) permettant de s'affranchir des effets de la houle, mais la stabilité relative de ce navire est mise en défaut dès que la houle dépasse deux ou trois mètres d'amplitude.

[0006] Le brevet US8689720 décrit un navire monocoque semi-submersible pour récupérer ou déployer des équipements offshores comprenant un système de ballast statique sous forme de réservoirs d'eau dans la partie inférieure de la coque et dans les colonnes reliant la coque à la plateforme.

[0007] Néanmoins les navires décrits ne permettent pas une navigation et une stabilisation active en temps réel, permettant de s'affranchir de l'influence du vent et des vagues, afin de naviguer et rester en mer par tout temps en assurant un niveau de sécurité et de confort optimal, notamment dans le cas d'une mer formée avec des vagues pouvant atteindre des hauteurs supérieures à 8 mètres.

[0008] Il existe donc un besoin pour des structures maritimes flottantes ballastées munie de moyens de manœuvre et de navigation, présentant une stabilité accrue en fonctions des conditions de mer et des conditions d'utilisation et permettant une maintenance sécurisée en mer.

Résumé de l'invention

[0009] L'invention permet de résoudre les inconvénients des solutions de l'art antérieur. La solution apportée par la présente invention repose notamment sur une géométrie particulière de la structure maritime alliée à un double système de ballastage statique et dynamique permettant d'obtenir une quasi-insensibilité à l'état de la mer et une stabilité accrue de ladite structure.

[0010] L'invention concerne à cet effet une structure maritime à stabilité améliorée comprenant des moyens de manœuvre et de navigation et comprenant :

[0011] - au moins une plateforme aérienne (1) ;

[0012] - au moins trois mâts (2) de hauteur ajustable ;

[0013] - au moins un flotteur sous-marin (3) équipé d'au moins un propulseur latéral (4) et d'au moins un propulseur longitudinal (5), ladite plateforme étant arrimée au(x)dit(s) flotteur(s) au moyen desdits mâts ;

[0014] - des moyens de ballastage statique à l'intérieur dudit ou desdits flotteur(s) ;

[0015] - des moyens de ballastage dynamique asservis situés à l'intérieur desdits mâts ;

[0016] -des moyens de contrôle de la position et de l'assiette comprenant au moins un capteur et au moins un moyen d'asservissement desdits moyens de ballastage dynamique afin de contrôler en temps réel la position et la stabilité de ladite structure maritime en fonction de la houle et du vent.

[0017] La structure maritime selon l'invention peut comprendre au moins deux flotteurs, de préférence trois flotteurs, et au moins une traverse profilée (6) reliant les dits flotteurs transversalement.

[0018] Au moins un capteur peut permettre au moins une mesure physique directe de l'assiette, de la hauteur de la plateforme par rapport à la surface de l'eau ou de la position absolue ou relative de la structure.

[0019] Lesdits moyens de ballastage dynamiques peuvent être constitués par au moins un cylindre sous vide d'air ou rempli d'air (13) à l'intérieur de chaque mât, chacun desdits cylindres étant relié à des moyens d'injection et d'éjection d'eau (14).

[0020] Lesdits moyens de ballastage statique peuvent être constitués par au moins un réservoir de ballast (15) à l'intérieur de chaque flotteur.

[0021] La structure maritime selon l'invention peut comprendre au moins un moyen d'asservissement type DP2 en position et en cap, sans ancrage, permettant à la plateforme de se maintenir dans une position fixe et de s'affranchir de l'influence du

vent et des vagues et un moyen d'asservissement en altitude, en tangage et en roulis permettant de conserver une assiette sensiblement nulle.

[0022] La structure maritime selon l'invention peut comprendre des moteurs électriques permettant d'assurer la propulsion ainsi que l'asservissement en position et en cap.

[0023] La structure maritime selon l'invention peut comprendre des moyens de production d'électricité autonomes choisis parmi éoliennes, panneaux photovoltaïques, aéro-turbines et des moyens de stockage d'énergie.

[0024] La structure maritime selon l'invention peut comprendre des moyens de génération d'énergie électrique, permettant d'alimenter au moins en partie électriquement le ou les propulseurs longitudinaux et latéraux dudit ou desdits flotteurs.

[0025] La structure maritime selon l'invention peut comprendre au moins un générateur à combustible nucléaire.

[0026] La structure maritime selon l'invention peut comprendre en outre des moyens de propulsion à voile.

[0027] La plateforme aérienne peut être de forme aérodynamique afin de minimiser la trainée générée par le vent absolu et relatif, et d'épaisseur très nettement inférieure à sa longueur afin de limiter sa surface frontale et sa prise au vent.

[0028] La structure maritime selon l'invention peur comprendre des moyens d'ajustement de la hauteur de la plateforme par rapport au(x) flotteur(s).

[0029] L'invention concerne également l'utilisation de la structure maritime selon l'une quelconque des variantes décrites pour la manutention ou l'entretien d'équipements en pleine mer.

Liste des figures

[0030] D'autres caractéristiques et avantages du dispositif selon l'invention, apparaîtront à la lecture de la description ci-après d'exemples non limitatifs de réalisations, en se référant aux figures annexées et décrites ci-après.

[Fig 1]

[0031] La [Fig.1] représente une vue en 3D d'une structure maritime selon l'invention.

[Fig 2]

[0032] La [Fig.2] représente une vue de profil d'une structure maritime selon l'invention.

[Fig 3]

[0033] La [Fig.3] représente une vue en 3D d'un mode de réalisation d'une structure maritime selon l'invention, de conception modulaire et dans lequel la base comprend trois flotteurs.

Description des modes de réalisation

[0034] Dans la suite du texte on appelle « tirant d'eau » la hauteur de la partie immergée d'un navire ou d'une structure maritime qui varie en fonction de la

charge transportée. Il correspond à la distance verticale entre la flottaison et le point le plus bas de la coque.

[0035] On appelle assiette d'un navire ou d'une structure maritime le quotient de la différence des tirants d'eau arrière et avant d'un navire ou d'une structure maritime par sa longueur. L'assiette traduit l'inclinaison longitudinale du navire ou de la structure maritime et conditionne sa bonne marche. Un navire est à tirant d'eau égal ou sans différence lorsque son tirant d'eau est le même à l'avant et à l'arrière : assiette nulle.

[0036] On entend par « ballast statique » un système de ballast lent sous forme de réservoirs d'eau de mer répartis dans la coque de la structure maritime, dans le cas de la présente invention dans les flotteurs à l'avant et à l'arrière de chaque flotteur

[0037] On entend par « ballast dynamique » un système de ballast à variation de volume quasi-instantanée permettant de compenser les mouvements générés par la mer, le vent et les déplacements de charges en temps réel.

[0038] L'invention concerne une structure maritime ballastée comprenant une partie aérienne, ladite structure étant munie de moyens de navigation et de manoeuvre. Ladite structure maritime s'apparente dans ses déplacements à un navire. La structure maritime selon l'invention peut notamment naviguer, manœuvrer et se positionner précisément en mer ouverte (ou pleine mer) par tout type de temps en offrant une grande stabilité, une sécurité accrue et un confort pour ses passagers.

[0039] La structure maritime selon l'invention comprend à la fois un ou plusieurs flotteurs immergé(s) équipé(s) de ballasts télécommandés et une superstructure ou plateforme aérienne fixée rigidement par des mâts étanches profilés et robustes auxdits flotteurs. La superstructure aérienne (ou partie supérieure aérienne) peut prendre la forme d'une plateforme, structure ou nacelle selon les usages.

[0040] La conception de la structure maritime selon l'invention comprenant un ou des flotteurs immergé(s) permet donc en premier lieu d'extraire la zone de flottabilité et de portance du navire de la zone turbulente des éléments environnants (mer, vent) en l'immergeant en profondeur. L'invention permet notamment de dissocier la zone de flottabilité de la zone de vie en les écartant de part et d'autre de la zone turbulente de surface.

[0041] Dans la suite du descriptif, la structure maritime selon l'invention est une structure comprenant deux flotteurs ([Fig.1] et [Fig.2]), mais on ne sortirait pas du cadre de l'invention en augmentant ou diminuant le nombre de flotteurs.

[0042] La présente invention est déclinable avec un ou plusieurs flotteurs. La [Fig.3] présente notamment une structure à trois flotteurs.

[0043] La grande majorité en volume de la partie aérienne supérieure (plateforme) étant positionnée plusieurs mètres au-dessus de la surface de l'eau, et l'équipement de flottabilité (flotteurs) étant positionné plusieurs mètres sous la surface, l'ensemble de la

structure maritime est intrinsèquement peu sensible aux mouvements de surface de la mer. Par ailleurs, la partie émergée des mâts représente avantageusement 50% de leur longueur totale. Pour une plateforme reposant sur des mâts de 20 m, la longueur immergée et la longueur émergée représentent ainsi avantageusement 10 m chacune par rapport au niveau moyen de la surface de l'eau, rendant la partie aérienne relativement insensible à des vagues pouvant aller jusqu'à 10 mètres de creux à crête. La hauteur de la partie aérienne reste ajustable à tout moment à l'aide des ballasts rapides (ballasts dynamiques) dont la position d'équilibre peut être contrôlée et paramétrée en temps réel en fonction des conditions de navigation, de sécurité ou de confort recherchées.

[0044] La structure maritime selon l'invention comprend des moyens de ballastage statique (également appelés ballasts statiques) répartis à l'intérieur du ou des flotteur(s) et des moyens de ballastage dynamique (également appelés ballasts dynamiques) asservis répartis à l'intérieur des mâts.

[0045] Dans un mode de réalisation, des réservoirs d'eau de mer répartis dans les flotteurs à l'avant et à l'arrière de chaque flotteur servent de ballast statique ou lent, tandis que les ballasts dynamiques disposés dans les mâts de liaison permettent de régler l'assiette et l'altitude de la plateforme en temps réel, de manière à compenser les mouvements générés par la mer, ainsi que les déplacements de charges sur la structure, en longitudinal et en transversal.

[0046] Les flotteurs sous-marins sont équipés avantageusement à leurs extrémités de propulseurs longitudinaux et transversaux offrant la capacité de manœuvrer le navire avec une grande efficacité, en longitudinal, en transversal et en rotation.

[0047] La stabilité active de l'ensemble de la structure maritime, apportée notamment par les ballasts dynamiques et le système d'asservissement, assure un grand confort de vie à bord et une sécurité optimale pour les personnels et le matériel transportés.

[0048] Cette capacité à affronter sereinement des mers fortes et mauvaises accroît la plage d'utilisation et d'intervention de la structure maritime selon l'invention, quel qu'en soit l'usage final.

[0049] De préférence, la forme aérodynamique de la partie aérienne permet également de minimiser la trainée générée par le vent absolu et relatif, et donc le besoin en énergie pour la mouvoir ou la maintenir en position lors de conditions de vent fort. La géométrie de la structure maritime selon l'invention permet ainsi avantageusement de réduire la surface frontale de la partie aérienne ou émergée (comprenant la partie émergée des mâts et la plateforme). Par forme aérodynamique, on entend dans la présente invention que la forme de la partie aérienne est telle que l'air ne s'oppose que faiblement à son déplacement, la plateforme ayant notamment une forme aplatie et arrondie à ses extrémités permettant de limiter sa surface frontale et sa prise au vent.

L'écoulement de l'air sur ses faces est ainsi optimisé.

[0050] Dans un mode de réalisation, les mâts porteurs de la plateforme permettent de mettre en œuvre une propulsion hybride à voile.

[0051] La plateforme aérienne repose par l'intermédiaire d'au moins trois mâts (par exemple quatre mâts) sur une base comprenant au moins un flotteur (par exemple deux flotteurs) immergé. La profondeur d'immersion du ou des flotteurs, et donc la hauteur de la plateforme par rapport à la surface de l'eau, sont ajustables en fonction des conditions de mer et des besoins liés par exemple à l'accostage ou l'arrimage de la plateforme au flotteur ou à la tour de l'éolienne dans le cas d'une utilisation pour l'éolien offshore.

[0052] Afin d'apporter davantage de flexibilité, par exemple pour diminuer le tirant d'eau et descendre le centre de gravité au port, la hauteur de la plateforme peut également être ajustable par rapport aux flotteurs. La structure maritime selon l'invention peut comprendre des moyens d'ajustement de la hauteur de la plateforme sur les mâts. Ces moyens d'ajustement permettent à la plateforme de se mouvoir vers le haut ou vers le bas par rapport aux flotteurs.

[0053] Dans un mode de réalisation, les moyens d'ajustement comprennent un mécanisme constitué d'un système à crémaillère verticale sur les mâts. En dehors des phases de montée et descente de la plateforme sur les crémaillères, le mécanisme peut être totalement verrouillé afin de garantir la rigidité et la sécurité de l'ensemble.

[0054] La position et l'assiette de la structure maritime selon l'invention sont contrôlées en permanence grâce à un asservissement de manière à garantir la stabilité de la plateforme dans toutes les conditions, que ce soit dans des conditions de mer formée ou pour compenser des transferts de charge lors de manutentions ou d'efforts générés par le vent. L'asservissement permet de garantir un maintien en position et en cap sans ancrage, quelle que soit la direction du vent par rapport à l'axe de la plateforme, ainsi qu'une stabilité permanente en altitude, tangage et roulis. Le système complet repose sur une approche à sécurité passive : la plateforme est stable par conception et revient à un état stable en cas de panne totale du système. L'asservissement inclut plusieurs modes dégradés, permettant de garantir la sécurité à tous les niveaux.

[0055] La technologie de ballasts dynamiques asservis à réponse immédiate permettant une stabilité active de la structure maritime selon l'invention permet d'envisager une application à des structures maritimes de toutes dimensions et toutes charges utiles.

[0056] L'invention peut notamment être appliquée à tous les secteurs nécessitant un moyen de déplacement stabilisé et/ou une plateforme stabilisée en mer, comme les plateformes d'exploration scientifique et de collecte de données, ou le transport de passagers dans des conditions optimales, ou encore les plateformes de déploiement logistique aérien (transport, maintenance, décollage et atterrissage d'hélicoptère ou

encore décollage et récupération d'engins stratosphériques et spatiaux).

[0057] A titre non limitatif le navire selon l'invention peut être utilisé et adapté pour de multiples usages, moyennant l'ajustement des dimensions et des équipements embarqués : navire SOV (Service Operations Vessel) choisi parmi navire de service offshore, transport de fret et de personnel, base de vie en mer, navire de surveillance et d'intervention, navire autonome, hélistation, base de plongée et d'exploration sous-marine, navire de sauvetage, de dépollution, navire ou base de déploiement et de récupération de drones et de robots sous marins dits ROV), base de vie pour l'aquaculture marine, hôpital maritime, station météo, bâtiment militaire, eco Yacht solaire, navire de croisière, navire d'habitation échouable à marée basse, navire amphibie, bateau grue de renflouage…

[0058] Le rapport entre la longueur et la largeur du navire selon l'invention n'est pas figé et n'est pas un facteur limitant. Typiquement, l'invention peut être déclinée sur des navires ayant des longueurs comprises entre 10 et 200 mètres, et des largeurs comprises entre 4 et 100 mètres.

[0059] De même, le rapport entre largeur et hauteur du navire de l'invention n'est pas un facteur limitant. Selon les exigences et le cahier des charges propres à chaque usage et chaque destination possibles, la hauteur des mâts et la hauteur totale du navire peuvent être principalement définies avec l'objectif d'assurer d'une part une sensibilité réduite à l'état de la mer, et d'assurer d'autre part la stabilité (au sens d'un renversement possible) par toutes les conditions définies dans le cahier des charges. Typiquement, l'invention concerne des navires pour lesquels la hauteur des mâts peut être comprise entre 2 et 40 mètres. Des mâts de faible dimension peuvent être utilisés sur des navires côtiers.

[0060] Pour certaines applications de l'invention, notamment celles nécessitant une vitesse de déplacement accrue, la forme des flotteurs immergés peut varier en fonction de la vitesse de déplacement du navire : dans un souci de réduction de la traînée, la conception spécifique des flotteurs immergés profilés permet au système de pilotage de diminuer la surface frontale des flotteurs en faisant varier leur volume. La diminution de flottabilité qui en résulte est avantageusement compensée en déplacement par la portance générée par les gouvernes horizontales prévues à cet effet.

[0061] L'architecture de la structure maritime selon l'invention, qui s'apparente dans son principe et dans son mode de réalisation comprenant deux flotteurs à une carène SWATH, offre une bonne aptitude à la stabilité dans des conditions de mer difficiles.

[0062] La base de la structure maritime selon l'invention comprend avantageusement au moins une, voire deux traverses profilées reliant les flotteurs. Par rapport à des carènes ou architectures classiques, la technique de la carène avec surface de flottaison réduite permet de réduire la sensibilité aux vagues et offre une bonne tenue à la mer. La

solution apportée par la présente invention consiste notamment à positionner les flotteurs plus bas sous la surface dans une couche d'eau stable et cette position est réglée par ballastage et par orientation des traverses profilées en fonction de l'état de la mer aussi bien en navigation qu'à l'arrêt du navire.

[0063] De préférence, deux systèmes d'asservissement sont mis en oeuvre :

[0064] -Un asservissement type DP2 (en référence à la circulaire de l'OMI : MSC.1/Circ.1580 - Guidelines for vessels and units with dynamic positioning (DP) systems) en position et en cap, sans ancrage, permettant à la plateforme de se maintenir dans une position fixe et de s'affranchir de l'influence du vent et des vagues. Dans le cas d'une éolienne flottante, l'asservissement permet à la plateforme de suivre l'éolienne dans ses déplacements autour des ancrages le cas échéant.

[0065] -Un asservissement en altitude, en tangage et en roulis (assiette et gite), permettant à l'équipe d'intervention de manutentionner des charges lourdes sur la plateforme ou depuis le flotteur d'une éolienne flottante, et d'assurer la maintenance en atelier dans des conditions optimales de sécurité lors de conditions de mer et de vent difficiles.

[0066] Le fonctionnement du système repose ainsi sur la mise en œuvre de deux principes de ballastage :

[0067] -des ballasts statiques de technologie classique, qui sont mis en œuvre pour compenser les variations de charges lentes, comme celles dues à la diminution de la masse de carburant et à la charge des équipements et personnels embarqués.

[0068] -des ballasts dynamiques à variation de volume quasi-instantanée permettant une réponse immédiate, disposés de telle sorte qu'ils permettent de compenser en temps réel les transferts de charges au niveau de la plateforme dus aux effets des vagues, du vent et de la manutention de charges lourdes sur la plateforme.

[0069] Le système composé de ballasts dynamiques à variation de volume quasi-instantanée et les moyens d'asservissement associés constituent une des spécificités techniques de l'invention. Ces ballasts dynamiques, du fait de leur réponse immédiate, permettent de compenser en temps réel les mouvements que génèreraient les variations de forces qui s'exercent sur le système.

[0070] Le système repose sur une approche à sécurité passive : en cas de panne partielle ou totale du système, la plateforme revient à une position stable. Le ballastage statique est assuré par le ou les flotteurs immergés et remplis majoritairement d'air de manière à assurer la flottabilité de l'ensemble de manière passive. Le ballastage dynamique asservi est réalisé selon l'approche sécuritaire choisie, soit par ajout de masse (eau de mer) au-dessus du niveau de la surface, soit par retrait de masse en dessous du niveau de la surface. Le volume utilisé pour ledit ballastage dynamique est un volume spécifiquement dédié dans les mâts. Chaque mât comporte avantageusement au moins un cylindre vertical, de préférence deux cylindres verticaux dont la base descend jusqu'au

niveau inférieur des flotteurs. Deux modes de réalisation peuvent être envisagés.

[0071] Dans un premier mode de réalisation, les cylindres sont sous vide partiel, ce qui fait naturellement remonter le niveau de l'eau au-dessus de la surface de flottaison. Le point d'équilibre de flottaison du navire repose sur ce niveau d'eau au-dessus de la surface de l'eau dans les cylindres. En cas de panne totale du système, la sécurité passive fait naturellement remonter les flotteurs à la surface de l'eau et flotter l'ensemble du navire.

[0072] Dans un autre mode de réalisation, les cylindres sont sous pression d'air positive, ce qui fait naturellement baisser le niveau de l'eau en dessous de la surface de flottaison dans les cylindres dédiés. Le point d'équilibre de flottaison du navire repose sur ce niveau d'eau en dessus de la surface de l'eau. En cas de panne totale du système, la sécurité passive fait naturellement couler les flotteurs, afin de faire descendre la plateforme jusqu'à la surface de l'eau. Par conception, la plateforme est avantageusement flottante.

[0073] Les moyens de ballastage statique à l'intérieur dudit ou desdits flotteur(s), ainsi que les moyens de ballastage dynamique asservis situés à l'intérieur desdits mats incluent des moyens de remplissage et vidage d'eau ou d'air de type pompe ou électrovanne ou propulseurs à tuyère verticale ainsi que des moyens de contrôle de la pression d'air de type compresseur ou pompe à vide.

[0074] L'asservissement s'appuie sur des mesures physiques directes : de l'assiette (par exemple à l'aide d'une centrale inertielle fournissant les paramètres d'attitude ,d'inclinaisons longitudinale et transversale et de gyrocompas), de la hauteur de la plateforme par rapport à la surface de l'eau (par exemple la hauteur est mesurée par un algorithme s'appuyant sur les signaux reçus de capteurs de pression d'eau et/ou de capteurs de proximité de type LIDAR ou à ultra-son), de la géolocalisation (GNSS : Global Navigation Satellite System), d'autres capteurs (de position, d'inclinaison, de vitesse du vent, de température, etc) si nécessaire.

[0075] Les moyens d'asservissement peuvent comprendre un automate informatique équipé d'un logiciel de navigation et de maintien en position, recevant des informations des différents capteurs et pilotant des actionneurs. Les moyens d'asservissement peuvent comprendre une interface homme-machine permettant de piloter sur place ou à distance une partie ou l'ensemble des fonctions. Notamment la vitesse, la position, le cap, l'angle de lacet, la hauteur de la structure peuvent être pilotés manuellement ou automatiquement.

[0076] Les principaux actionneurs utilisés peuvent être les suivants :

[0077] -Propulseurs longitudinaux (par exemple un ou deux par flotteurs, fixes ou sur pod orientable selon les applications)

[0078] -Propulseurs latéraux ou transversaux (par exemple un propulseur latéral de proue et

un propulseur latéral de poupe sur chaque flotteur)

[0079] -Pompes et électrovannes pour remplir ou vider les ballasts statiques

[0080] -Propulseurs à tuyère verticale permettant d'ajuster le niveau d'eau dans chaque cylindre de ballastage dynamique (typiquement deux propulseurs par mât)

[0081] -Gouvernes horizontales avant et arrière

[0082] -Un pod orientable ou un safran sur chaque flotteur

[0083] -Un compresseur et une pompe à vide permettant d'ajuster les niveaux de pression dans les réservoirs de ballastage statique et de ballastage dynamique.

[0084] L'intégration de modes dégradés dans le système d'asservissement dès sa phase de conception permet d'assurer le niveau de sécurité requis pour tout type d'utilisation en prenant en compte la ou les pannes de capteurs, d'actionneurs ou des moyens d'asservissement eux-mêmes. Les premiers modes dégradés incluent la ou les panne(s) d'un propulseur longitudinal, d'un ou de plusieurs propulseurs latéraux, d'une ou de plusieurs pompes de pilotage des ballasts, du capteur d'assiette, d'un ou de plusieurs capteurs de mesure de la hauteur de la plateforme, etc. L'architecture de l'automate est avantageusement sans échec (« fail safe »), elle repose par exemple sur une redondance des calculateurs.

[0085] Les moyens de ballastage dynamique peuvent fonctionner :

- En mode passif : le vide partiel est ajusté dans les cylindres, les échanges d'eau avec l'extérieur se font par l'intermédiaire de pertes de charges calibrées, situées à la base des cylindres (le système fonctionne comme un amortisseur)
- En mode actif : chaque cylindre est équipé d'une pompe qui permet d'en piloter dynamiquement le niveau d'eau en temps réel.

[0086] L'atout principal de ce choix technique est de minimiser la consommation d'énergie tout en garantissant une stabilisation et une sécurité optimales. Dans sa conception, l'ensemble du système d'asservissement se met automatiquement en sécurité en cas d'une ou plusieurs défaillances. Le système comporte plusieurs modes dégradés, notamment si la flottabilité des flotteurs est compromise, la superstructure aérienne est flottante par conception.

[0087] Un exemple de navire SOV est décrit à titre non limitatif sur la [Fig.1]. Le navire comprend une plateforme aérienne (1) profilée située 12 mètres au-dessus des vagues et des embruns.

[0088] Cette plateforme (1) est fixée solidement par quatre mâts (2) à un châssis sous-marin comprenant deux flotteurs (3), quatre propulseurs latéraux (4), des propulseurs longitudinaux (5) carénés rotatifs orientables (dits « pods ») et deux traverses profilées (6) ayant des profils hydrodynamiques et aérodynamiques pour faciliter l'avancement du navire. Sur la [Fig.1], la plateforme (1) est équipée d'une hélisurface (7).

[0089] La propulsion du navire est assurée par les deux pods électriques (5) alimentés par des générateurs (8) containerisés. Les pods (en français, cosse ou capsule) sont des propulseurs carénés rotatifs orientables, permettant d'assurer une poussée de propulsion dans la direction souhaitée, y compris vers l'avant si nécessaire, ce qui permet de battre en arrière sans inverser le sens de rotation ou le pas de l'hélice. L'énergie de service à bord est assurée par des packs de batteries de type LFP stockés en conteneur de 20 pieds dans des emplacements de conteneurs (9) et sont rechargés par 1200 m^2 de panneaux photovoltaïques et 2 ou 3 éoliennes à axe vertical grâce à un axe structurel support de grue ou d'éolienne (10).

[0090] La [Fig.2] est une vue de profil de la structure selon l'invention permettant de décrire un mode de réalisation dans lequel la plateforme (1) est équipée d'une hélisurface (7) sous laquelle se trouve la passerelle de commandement (11). La plateforme comprend une nacelle (12) avec base de vie, ateliers et zones stockage sur trois niveaux et coursive ouverte périphérique.

[0091] La [Fig.2] détaille le double système de ballastage, notamment :

[0092] - les moyens de ballastage dynamique asservis sous forme de ballasts dynamiques verticaux de forme cylindrique (13) situés à l'intérieur des mâts (2), qui sont remplis et/ou vidés par des propulseurs verticaux (14);

[0093] - les moyens de ballastage statique sous forme de réservoirs de ballasts statiques (15) à l'intérieur des flotteurs (3).

[0094] Sous la nacelle (12) s'articule une passerelle inclinable (16) de mise à l'eau et récupération de vedettes rapides (2 semi-rigides de 10m) et de ROVs (Remotely Operated underwater Vehicle).

[0095] Au moins un des mâts peut comprendre un axe structurel (17) sur tête de mât pour la fixation d'une grue ou d'une éolienne à axe vertical.

[0096] Le pont arrière de la nacelle offre 350 m^2 de surface ouverte pour le grutage et la manutention des équipements de maintenance et d'une passerelle rétractable (18) articulés pour le transfert des personnels et matériels sur les éoliennes.

[0097] L'équilibrage général et la hauteur de la plateforme au-dessus des flots est réglable à l'aide des réservoirs de ballasts statiques (15) répartis horizontalement dans les flotteurs (3).

[0098] Les moyens de contrôle de position et de l'assiette comprenant au moins un capteur et au moins un moyen d'asservissement desdits moyens de ballastage dynamique permettent de contrôler en temps réel la position et la stabilité de la structure maritime en fonction de la houle et du vent.

[0099] L'équilibrage dynamique qui permet de compenser les déplacements de charges et garder une assiette horizontale est ici asservi par un dispositif électronique qui pilote des propulseurs verticaux (14) qui remplissent et vident rapidement les ballasts dy-

namiques verticaux (13) répartis dans les quatre mâts (2). Les moyens de remplissage/ vidange des ballasts rapides sont dénommés « propulseurs verticaux » en ce sens qu'ils ajoutent une composante de poussée (par action/réaction) quand ils éjectent l'eau des ballasts, créant une force verticale vers le bas s'ajoutant ponctuellement à la variation de flottabilité des ballasts et permettant une meilleure réactivité du système dans sa globalité.

[0100] Les propulseurs longitudinaux carénés rotatifs orientables (5), les quatre propulseurs latéraux (4) et les ballasts dynamiques (13) couplés à un logiciel de navigation par satellite assurent des manœuvres précises et la possibilité de maintenir une position géostationnaire sans ancrage.

[0101] La conception du navire selon ce type d'architecture permet d'envisager des plateformes de grande dimension avec des masses déplacées inférieures aux masses déplacées par des navires classiques de même taille, permettant des économies d'énergie pour le déplacement du navire.

[0102] De manière avantageuse, la conception du navire est basée sur la modularité et la redondance des éléments de construction, visant à limiter les coûts de fabrication (y compris pour le transport des modules) tout en permettant de couvrir une large gamme de gabarits de navires. Un mode de construction avec éléments modulaires peut ainsi être envisagé.

[0103] Par exemple, comme illustré sur la [Fig.3] pour une structure maritime comprenant trois flotteurs et six mâts, les mâts et flotteurs peuvent être composés d'éléments modulaires : éléments modulaires de flotteurs (19) et éléments modulaires de mâts (20) permettant de mettre en œuvre différents concepts et architectures de navires. Les éléments modulaires sont des éléments identiques et répétables de faible longueur (par rapport à celle du navire, en général la longueur est imposée par les dimensions standards des matériaux de contruction) permettant par assemblage les uns aux autres d'obtenir une longueur totale variable et à moindre coût en fonction du besoin. Cette approche permet d'optimiser le coût d'achat de certains matériaux comme les tôles (modules de 6 ou 12 mètres par exemple) et de faciliter le transport par voie terrestre ou maritime.

Avantages de l'invention

[0104] La plateforme est capable d'intervenir à tout moment, par tout type de temps, avec une autonomie en énergie, en moyens humains et en moyens logistiques qui permettent de garantir le succès d'opérations de maintenance ou réparation d'équipements en pleine mer. La plateforme permet de se rendre sur toute zone offshore à vitesse raisonnable (10 à 20 nœuds), de s'approcher au plus près de l'équipement, par exemple une éolienne flottante, et d'en suivre le mouvement en position et cap, de transférer une équipe d'intervention sur le flotteur de l'éolienne, de manutentionner des charges

lourdes et les ramener à bord pour pouvoir intervenir en toute sécurité. La cellule de vie permet à l'équipage d'être totalement autonome et installé dans des conditions de confort optimales pendant toute la durée de la mission.

[0105] Dans un mode de réalisation la structure maritime selon l'invention est autonome en énergie, en ce qu'elle comprend des moyens de production d'électricité autonomes choisis parmi éoliennes, panneaux photovoltaïques, aéroturbines et des moyens de stockage d'énergie (incluant batteries et stockage d'hydrogène pour pile à combustible). Des moyens de génération d'énergie électrique permettent d'alimenter au moins en partie électriquement les propulseurs longitudinaux et transversaux dudit ou desdits flotteurs, un fonctionnement hybride étant également possible en mettant en oeuvre en outre des moyens de propulsion à voile. Dans un mode de réalisation, il peut être envisagé de mettre en œuvre un générateur à combustible nucléaire.

Exemples

[0106] Un exemple non limitatif de réalisation d'un dispositif flottant (navire de maintenance pour équipements en pleine mer de type éoliennes offshore) selon l'invention est décrit dans le présent exemple.

[0107] Le système proposé est une structure maritime se présentant sous la forme d'une plateforme stabilisée (incorporant la cellule de pilotage, la base de vie, l'atelier, le magasin, les équipements de manutention, les groupes de génération d'énergie électrique) se déplaçant au-dessus de la surface de l'eau, permettant de se rendre et de rester pendant des périodes prolongées dans des zones éloignées des côtes (de l'ordre de 100 km), dont l'objectif est de permettre d'assurer la maintenance d'éoliennes offshore en continu, quelles que soient les conditions de mer. La plateforme est équipée des moyens suivants :

- Une capacité de stockage d'équipements et de pièces de rechange (magasin),
- Un atelier de maintenance
- Des équipements de manutention lourde (30t)
- Un système d'arrimage à l'éolienne
- Un moyen d'accès à l'éolienne
- Une cellule de vie confortable permettant aux équipes d'intervention d'assurer les opérations en mode 24/7
- Des cellules de lancement/récupération et pilotage de drones aériens et sous-marins

[0108] La plateforme dans sa configuration de base a une longueur de 48m, une largeur de 38m pour une hauteur totale (tirant d'eau plus tirant d'air) de 30m. Le tirant d'eau est variable et peut être temporairement réduit à 6m pour lui permettre d'accéder à des zones nécessitant un faible tirant d'eau. La hauteur de la plateforme par rapport à la

surface de l'eau est ajustable en permanence en fonction des besoins (grâce aux ballasts), walk-to-work (passerelle pour piéton, élevée et déployée à la hauteur requise pour donner accès à l'éolienne), manutention de charges entre l'éolienne et la plateforme, accostage, arrimage, mise à l'eau de ROV ou de bateau annexe et des contraintes (hauteur des vagues). La plateforme peut également être posée sur l'eau pour décupler significativement les capacités de manutention (elle n'est dans ce cas-là plus stabilisée et se comporte alors comme une barge).

[0109] Les volumes des flotteurs sous-marins (ballasts vides) sont de 500 m^3 chacun, donnant à l'ensemble une flottabilité maximale de 1000 tonnes.

[0110] La plateforme offre une surface de travail ouverte de 350 m^2. Un moyen de manutention télescopique permet de manipuler des charges lourdes (jusqu'à 30 tonnes) sans compromettre la stabilité de la plateforme. Cet équipement permet également de manutentionner une charge entre l'éolienne et la plateforme.

[0111] Les flotteurs sous-marins immergés sont équipés de moteurs électriques permettant d'assurer la propulsion ainsi que l'asservissement en position et en cap.

[0112] Les moteurs électriques peuvent être alimentés par des générateurs Diesel dont la fiabilité est reconnue. Les générateurs sont conteneurisés (fonctionnels, modulaires et amovibes dans leurs conteneurs standards (20 pieds ou 40 pieds), ce qui permet de les rendre interchangeables en fonctions des technologies retenues. Ainsi l'alimentation peut être modifiée et confiée à une pile à combustible à hydrogène générant l'électricité à bord et alimentant les moteurs. Cette conversion du générateur Diesel vers la pile à combustible se fait à moindre frais puisque la propulsion est déjà assurée par des moteurs électriques.

[0113] La plateforme permet de déployer 1200 m^2 de panneaux photovoltaïques générant une énergie électrique stockée dans des batteries de type MegaPack conteneurisées. Dans le mode de réalisation incluant une alimentation reposant sur une pile à combustible, l'énergie électrique générée par les panneaux photovoltaïques est transformée en hydrogène pour être stockée et réutilisée via ladite pile à combustible.

Revendications

[Revendication 1] Structure maritime à stabilité améliorée comprenant des moyens de manœuvre et de navigation et comprenant :
- au moins une plateforme aérienne (1) ;
- au moins trois mâts (2) de hauteur ajustable ;
- au moins un flotteur sous-marin (3) équipé d'au moins un propulseur latéral (4) et d'au moins un propulseur longitudinal (5), ladite plateforme étant arrimée au(x)dit(s) flotteur(s) au moyen desdits mâts ;
- des moyens de ballastage statique à l'intérieur dudit ou desdits flotteur(s) ;
- des moyens de ballastage dynamique asservis situés à l'intérieur desdits mâts ;
- des moyens de contrôle de la position et de l'assiette comprenant au moins un capteur et au moins un moyen d'asservissement desdits moyens de ballastage dynamique afin de contrôler en temps réel la position et la stabilité de ladite structure maritime en fonction de la houle et du vent.

[Revendication 2] Structure maritime selon la revendication 1 comprenant au moins deux flotteurs, de préférence trois flotteurs, et au moins une traverse profilée (6) reliant les dits flotteurs transversalement.

[Revendication 3] Structure maritime selon la revendication 1 ou 2 dans laquelle ledit au moins un capteur permet au moins une mesure physique directe de l'assiette, de la hauteur de la plateforme par rapport à la surface de l'eau ou de la position absolue ou relative de la structure.

[Revendication 4] Structure maritime selon l'une des revendications précédentes dans laquelle les moyens de ballastage dynamiques sont constitués par au moins un cylindre sous vide d'air ou rempli d'air (13) à l'intérieur de chaque mât, chacun desdits cylindres étant relié à des moyens d'injection et d'éjection d'eau (14).

[Revendication 5] Structure maritime selon l'une des revendications précédentes dans laquelle les moyens de ballastage statique sont constitués par au moins un réservoir de ballast (15) à l'intérieur de chaque flotteur.

[Revendication 6] Structure maritime selon l'une des revendications précédentes comprenant au moins un moyen d'asservissement type DP2 en position et en cap, sans ancrage, permettant à la plateforme de se maintenir dans une position fixe et de s'affranchir de l'influence du vent et des vagues et un moyen d'asservissement en altitude, en tangage et en roulis

permettant de conserver une assiette sensiblement nulle.

[Revendication 7] Structure maritime selon la revendication 6 comprenant des moteurs électriques permettant d'assurer la propulsion ainsi que l'asservissement en position et en cap.

[Revendication 8] Structure maritime selon l'une des revendications précédentes comprenant des moyens de production d'électricité autonomes choisis parmi éoliennes, panneaux photovoltaïques, aéroturbines et des moyens de stockage d'énergie.

[Revendication 9] Structure maritime selon l'une des revendications précédentes comprenant des moyens de génération d'énergie électrique, permettant d'alimenter au moins en partie électriquement le ou les propulseurs longitudinaux et latéraux dudit ou desdits flotteurs.

[Revendication 10] Structure maritime selon la revendication 9 comprenant au moins un générateur à combustible nucléaire.

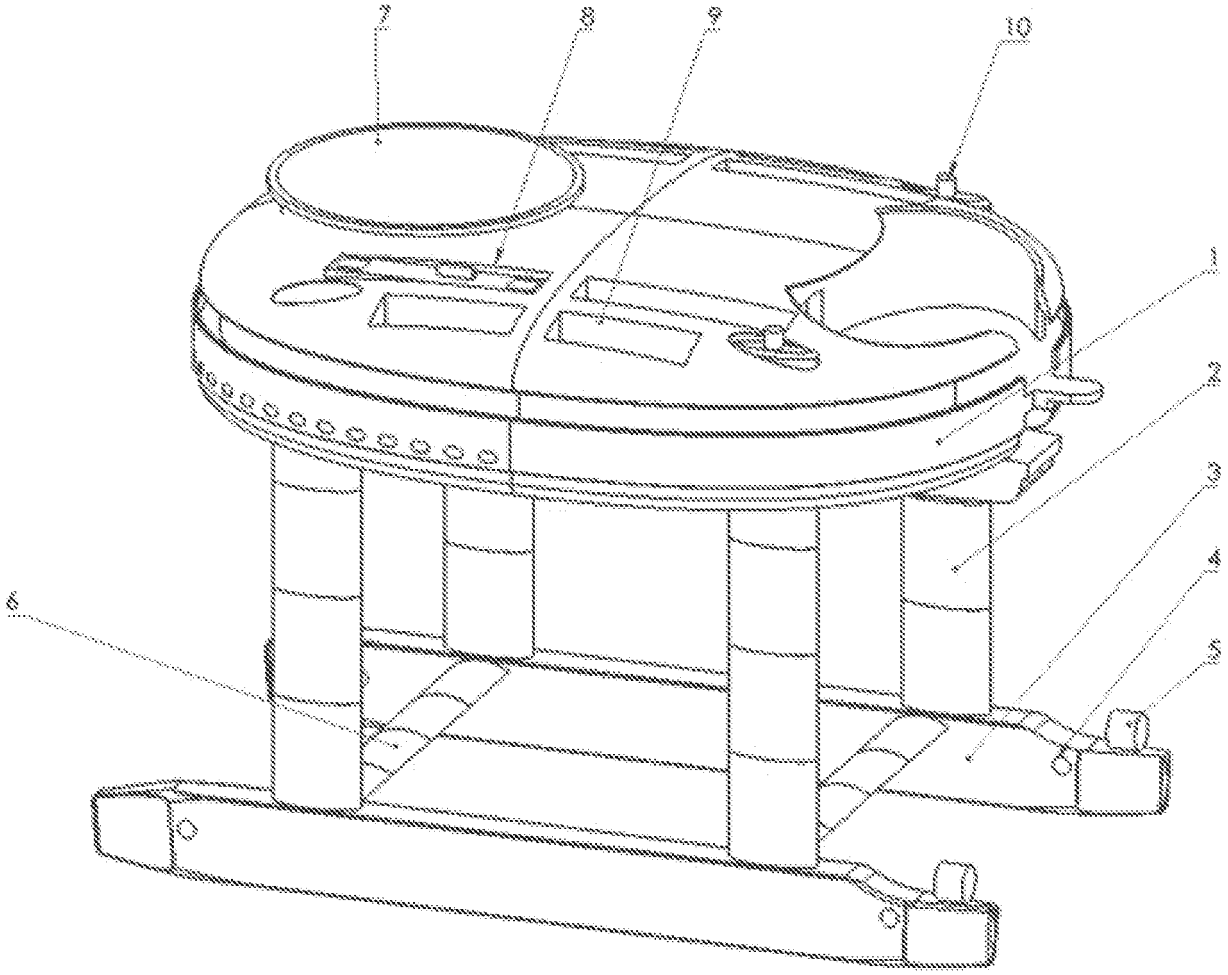
[Revendication 11] Structure maritime selon la revendication 9 ou 10 comprenant en outre des moyens de propulsion à voile.

[Revendication 12] Structure maritime selon l'une des revendications précédentes dans laquelle la plateforme aérienne est de forme aérodynamique afin de minimiser la trainée générée par le vent absolu et relatif, et d'épaisseur très nettement inférieure à sa longueur afin de limiter sa surface frontale et sa prise au vent.

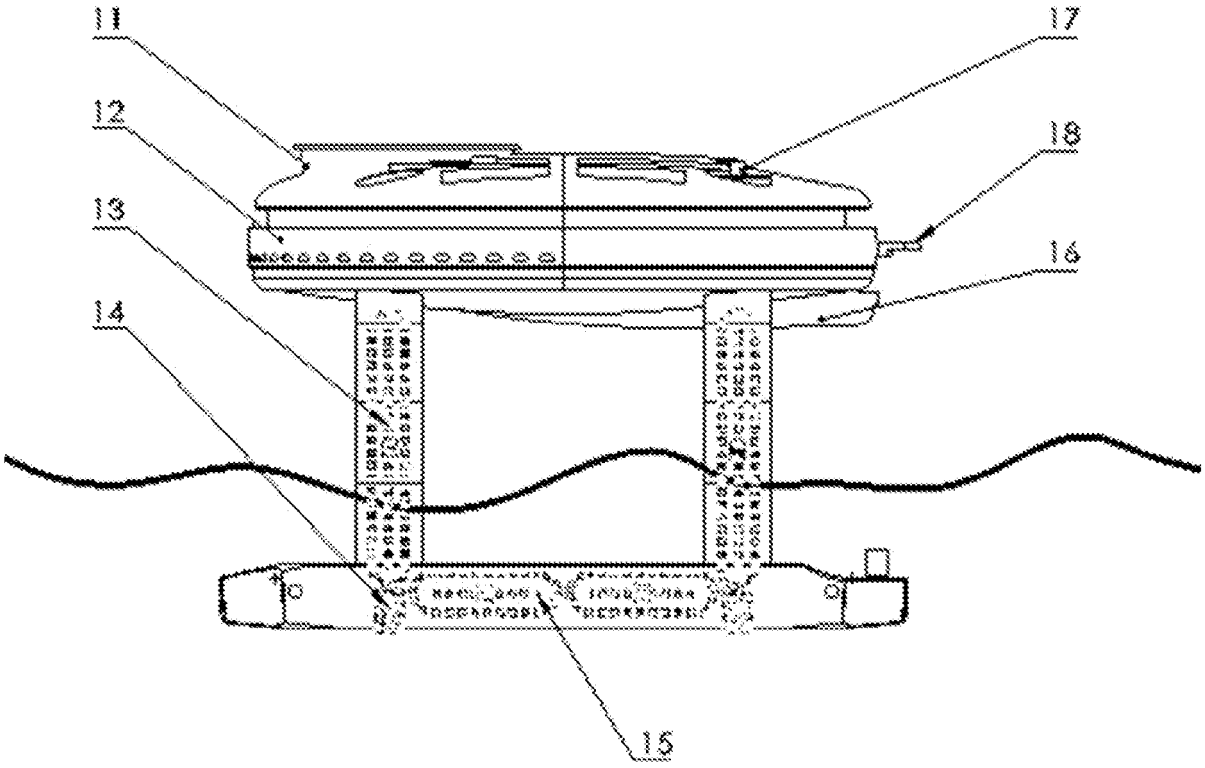
[Revendication 13] Structure maritime selon l'une des revendications précédentes comprenant des moyens d'ajustement de la hauteur de la plateforme par rapport au(x) flotteur(s).

[Revendication 14] Utilisation de la structure maritime selon l'une des revendications 1 à 13 pour la manutention ou l'entretien d'équipements en pleine mer.

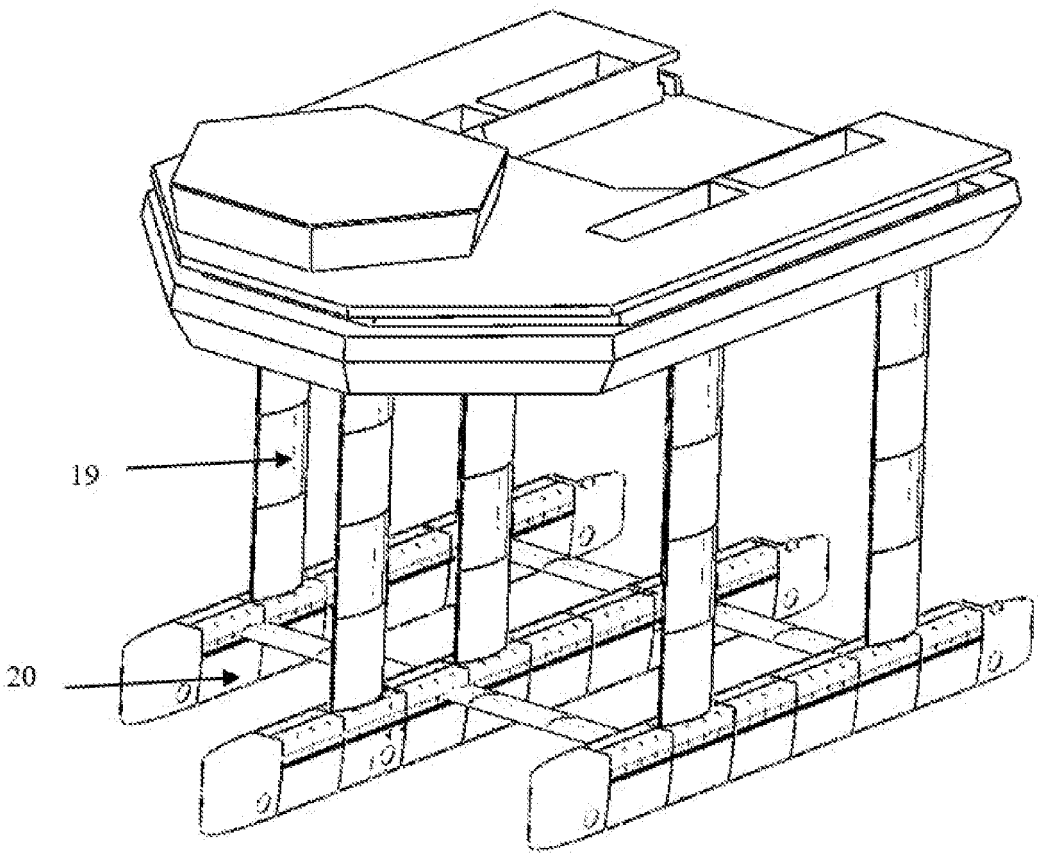
[Fig. 1]



[Fig. 2]



[Fig. 3]



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement national

FA 916765
FR 2301516

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
Y	GB 2 159 114 A (WORLEY ENG) 27 novembre 1985 (1985-11-27) * page 2; figures 1,2,4-6 *	1-14	B63B 1/10 B63B 1/40 B63B 35/44
Y	US 3 605 669 A (YU TSI V) 20 septembre 1971 (1971-09-20) * figures 1-6 *	1-14	
A	FR 2 997 919 A1 (BERGUERAND MARIE FRANCOIS HERVE [FR]) 16 mai 2014 (2014-05-16) * figures 1,2,4.1,4.2 *	1-14	
A	FR 2 636 042 A1 (LEFEBVRE JACQUES [FR]) 9 mars 1990 (1990-03-09) * figures 1-3a *	1-14	
A	US 5 941 189 A (JOHANSSON NILS ERIK [US]) 24 août 1999 (1999-08-24) * colonne 4, ligne 39 - colonne 5, ligne 20; figures 1,3,5,6 *	1-14	
A	WO 2012/136980 A1 (OCEAN SURVEYS SCIENCES AND ENGINEERING ASSOCIATES LTD [US] ET AL.) 11 octobre 2012 (2012-10-11) * figures 1-5 *	1-14	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) B63B

Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
6 septembre 2023	Mauriès, Laurent

CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS

X : particulièrement pertinent à lui seul
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
A : arrière-plan technologique
O : divulgation non-écrite
P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.
D : cité dans la demande
L : cité pour d'autres raisons
.....
& : membre de la même famille, document correspondant

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2301516 FA 916765

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **06-09-2023**
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
GB 2159114 A	27-11-1985	BR 8506744 A	23-09-1986
		GB 2159114 A	27-11-1985
		WO 8505339 A1	05-12-1985
US 3605669 A	20-09-1971	DE 2041925 A1	09-06-1971
		FR 2061001 A5	18-06-1971
		GB 1310142 A	14-03-1973
		NL 7012519 A	03-06-1971
		TR 16905 A	01-09-1973
		US 3605669 A	20-09-1971
		ZA 705508 B	28-04-1971
FR 2997919 A1	16-05-2014	AUCUN	
FR 2636042 A1	09-03-1990	FR 2636042 A1	09-03-1990
		WO 9113799 A1	19-09-1991
US 5941189 A	24-08-1999	AUCUN	
WO 2012136980 A1	11-10-2012	GB 2489935 A	17-10-2012
		WO 2012136980 A1	11-10-2012

EPO FORM P0465