

CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) CH 720 731 A2

Demande de brevet pour la Suisse et le Liechtenstein
Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

(51) Int. Cl.: B63B 1/30 (2006.01)
B63B 25/00 (2006.01)
G05D 1/69 (2024.01)
G05D 1/68 (2024.01)

(12) **DEMANDE DE BREVET**

(21) Numéro de la demande: 000429/2023

(71) Requéérant:
Alain Thébault, Rue de Rive 4
1204 Genève (CH)

(22) Date de dépôt: 25.04.2023

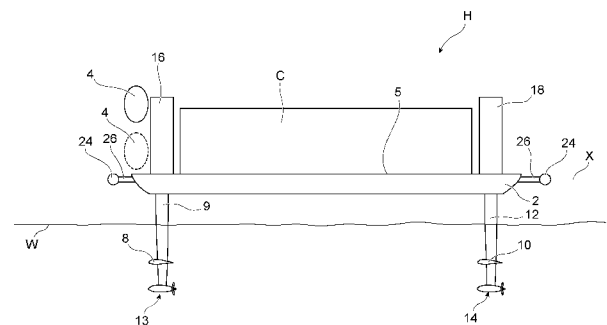
(72) Inventeur(s):
Alain Thébault, 1204 Genève (CH)

(43) Demande publiée: 31.10.2024

(74) Mandataire:
BUGNION SA, Route de Florissant 10
1206 Genève (CH)

(54) **Système de transport à hydroptère comportant au moins un hydroptère**

(57) L'invention concerne un système de transport à hydroptère comportant au moins un hydroptère comprenant une coque s'étendant selon une direction longitudinale (X), un pont, des moyens de propulsion, ledit hydroptère comportant également au niveau de sa proue un premier mât sous-marin (9) situé sur la direction longitudinale (X) et au niveau de sa poupe d'un deuxième mât sous-marin (12) situé sur la direction longitudinale (X), le premier mât sous-marin (9) comportant à une extrémité destinée à être immergée un premier hydrofoil (8), le deuxième mât sous-marin (12) comportant à une extrémité destinée à être immergée un deuxième hydrofoil (10), chaque hydrofoil (8, 10) étant connecté audit mât sous-marin (9, 12) au niveau d'une zone centrale, chaque hydrofoil (8, 10) étant destiné à prendre au moins deux positions, une première position dans laquelle l'hydrofoil (8, 10) a une orientation orthogonale à la direction longitudinale (X), et une deuxième position dans laquelle l'hydrofoil a une orientation différente de l'orientation orthogonale, et dans lequel ledit pont comporte une zone de réception (5), par exemple d'au moins un conteneur de transport (C).



Description

DOMAINE TECHNIQUE ET ART ANTERIEUR

[0001] La présente invention se rapporte à un système de transport à hydroptère, ledit système transportant par exemple des marchandises, du fret, de préférence contenues dans au moins un conteneur.

[0002] Un hydroptère est un bateau dont la coque est munie d'un moins un foil. La vitesse de déplacement du bateau engendre sur le ou les foils une portance hydrodynamique capable de soulever la coque du bateau partiellement ou totalement hors de l'eau, ce qui a pour effet de réduire la traînée de la coque de l'ordre de 30% à 40% et de réduire la puissance nécessaire à la vitesse de croisière. En outre, il ne génère peu ou pas de vagues à vitesse élevée, ce qui permet de limiter l'érosion des berges et des côtes.

[0003] Cette réduction de la puissance nécessaire permet de réduire l'énergie requise pour déplacer le bateau.

[0004] Par ailleurs, le transport terrestre de marchandises est très important, la majeure partie de ce transport est réalisé par camion. Une faible partie du transport de marchandises est réalisé par voie fluviale ou lacustre. Or un tel moyen de transport présente l'avantage de désencombrer les routes et de réduire les risques d'accidents impliquant des camions. En outre, il consomme sensiblement moins d'énergie. Le transport fluvial s'effectue généralement au moyen de barges ou péniches. Cependant la consommation énergétique est encore relativement importante au vu des contraintes écologiques qui s'imposent dans tous les domaines. En outre, le transport par barge ou péniche est relativement lent. Une vitesse lente est imposée pour réduire la génération de vagues et limiter l'érosion, ainsi que la gêne des riverains.

[0005] Au vu des enjeux écologiques auxquels le monde est confronté, l'hydroptère apparaît alors comme une alternative très intéressante dans le transport maritime et fluvial. Cependant les hydroptères existants ne sont pas adaptés au transport d'un chargement de masse importante.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

[0006] C'est par conséquent un but de la présente demande d'offrir un nouveau système de transport sur l'eau, par exemple de marchandises, ne présentant pas tout ou partie des inconvénients ci-dessus.

[0007] Le but énoncé ci-dessus est atteint par un système de transport, par exemple de marchandises, comportant au moins un hydroptère comprenant une coque munie au niveau de la proue un premier hydrofoil orientable et au niveau de la poupe un deuxième hydrofoil orientable, un poste de pilotage et sur la coque un espace de stockage de marchandises. La mise en œuvre de deux hydrofoils permet d'offrir une portance suffisante pour le transport d'un chargement de masse importante. En outre, le changement d'orientation des hydrofoils permet de réduire sensiblement la traînée à faible vitesse et à limiter l'encombrement transversale du bateau, notamment dans les ports, ce qui facilite son déplacement et son accostage.

[0008] En outre, l'utilisation d'un hydroptère permet d'atteindre des vitesses trois à quatre fois supérieures à celle des péniches et des barges sans générer de vagues. Par exemple l'hydroptère peut atteindre 20 nœuds en vitesse de croisière en générant peu ou pas de vagues, alors que la vitesse d'une péniche ou d'une barge est limitée à 5 nœuds pour réduire la génération de vagues. En effet dans les canaux, les fleuves et sur certaines côtes la vitesse de déplacement est limitée pour réduire la génération de vagues responsable de l'érosion et responsable d'une gêne pour les résidents. Grâce à l'invention, il est possible de s'affranchir de cette limitation.

[0009] Très avantageusement, l'espace de stockage est suffisant pour pouvoir loger soit 2 conteneurs de 20 pieds, soit un conteneur de 40 pieds pouvant contenir jusqu'à 30 tonnes de marchandises.

[0010] De manière particulièrement avantageuse, les hydrofoils sont fixés à des mâts sous-marins rétractables verticalement.

[0011] Grâce à l'invention, le système de transport mettant en œuvre les hydrofoils orientables permet de diminuer encore la consommation énergétique des systèmes de transports maritimes et fluviaux, réduisant davantage son empreinte carbone par rapport aux autres moyens de transport, notamment routier.

[0012] De manière particulièrement avantageuse, le système de transport comporte plusieurs hydroptères se déplaçant en convoi, l'hydroptère en tête du convoi pilotant le déplacement de l'ensemble du convoi, des moyens de communication étant établis entre les différents hydroptères. Un seul pilote est alors requis pour transporter une grande quantité de marchandises.

[0013] La présente invention a alors pour objet un système de transport à hydroptère comportant au moins un hydroptère comprenant une coque s'étendant selon une direction longitudinale, un pont, des moyens de propulsion et un poste de pilotage, ledit hydroptère comportant également au niveau de sa proue un premier mât sous-marin situé sur la direction longitudinale et au niveau de sa poupe d'un deuxième mât sous-marin situé sur la direction longitudinale, le premier mât sous-marin comportant à une extrémité destinée à être immergée un premier hydrofoil, le deuxième mât sous-marin comportant à une extrémité destinée à être immergée un deuxième hydrofoil, chaque hydrofoil étant connecté audit mât sous-marin au niveau d'une zone centrale, chaque hydrofoil étant destiné à prendre au moins deux positions, une première position dans laquelle l'hydrofoil a une orientation orthogonale à la direction longitudinale, et une deuxième position dans

laquelle l'hydrofoil a une orientation différente de l'orientation orthogonale. Le pont comporte une zone de réception, par exemple d'au moins un conteneur.

[0014] De préférence, chaque hydrofoil dans la deuxième position est sensiblement aligné avec la direction longitudinale.

[0015] Dans un exemple avantageux, chacun des mâts sous-marins est configuré de sorte que dans la première position l'hydrofoil est éloigné de la coque, et de sorte que dans la deuxième position l'hydrofoil est proche de la coque.

[0016] Dans un exemple de réalisation, le système de transport comporte sur le pont un premier aménagement au droit du premier mât sous-marin pour recevoir le premier mât sous-marin lorsque le premier hydrofoil est dans une deuxième position, et un deuxième aménagement au droit du deuxième mât sous-marin pour recevoir le deuxième mât sous-marin lorsque le deuxième hydrofoil est dans une deuxième position, et la zone de réception est située entre les deux aménagements.

[0017] Dans un exemple préféré, des moyens de propulsion sont situés au niveau du premier hydrofoil et des moyens de propulsion sont situés au niveau du deuxième hydrofoil. En outre, les moyens de propulsion sont avantageusement articulés en rotation de sorte à conserver une orientation alignée avec la direction longitudinale quelle que soit la position des premier et deuxième hydrofoils.

[0018] Le poste de pilotage est avantageusement situé à la proue de l'hydroptère et le poste de pilotage est capable de prendre une position basse et une position haute, ledit poste de pilotage étant avantageusement monté coulissant sur le premier aménagement.

[0019] Le système de transport peut comporter des moyens de mesure de l'assiette longitudinale de l'hydroptère et des moyens de correction par rapport à un plan horizontal.

[0020] Dans un autre exemple de réalisation, l'hydroptère est dit hydroptère pilote, ledit système comportant au moins un autre hydroptère, dit hydroptère suiveur, ledit hydroptère suiveur comprenant une coque s'étendant selon une direction longitudinale, un pont, des moyens de propulsion, ledit hydroptère comportant également au niveau de sa proue un premier mât sous-marin situé sur l'axe longitudinal et au niveau de sa poupe un deuxième mât sous-marin situé sur l'axe longitudinal, chaque mât sous-marin comportant à une extrémité destinée à être immergée un hydrofoil, ledit hydrofoil étant connecté audit mât sous-marin au niveau d'une zone centrale, chaque hydrofoil étant destiné à prendre au moins deux positions une première position dans laquelle l'hydrofoil a une orientation orthogonale à l'axe longitudinal et une deuxième position dans laquelle l'hydrofoil a une orientation différente de l'orientation orthogonale. Le pont comporte une zone de stockage. Le système de transport comporte également des moyens de communication permettant un échange d'informations entre l'hydroptère pilote et l'hydroptère suiveur, lesdits moyens de communication étant avantageusement des moyens de communication dédiés à courte portée configurés pour assurer un échange d'informations direct entre l'hydroptère pilote et l'hydroptère suiveur. L'hydroptère pilote comporte une unité de commande et des moyens de géolocalisation. L'hydroptère suiveur comporte une unité de commande et des moyens de géolocalisation, ledit système de transport étant configuré pour fonctionner au moins selon un mode imitation. L'hydroptère pilote est commandé par un conducteur et l'hydroptère suiveur reproduit le comportement de déplacement de l'hydroptère pilote, et selon un mode différencié dans lequel le comportement de déplacement de l'hydroptère suiveur est commandé par l'hydroptère pilote.

[0021] Dans le mode différencié, le comportement de déplacement de l'hydroptère suiveur peut être commandé directement par le conducteur.

[0022] Dans un exemple de réalisation, l'hydroptère pilote est configuré pour envoyer à l'unité de commande de l'hydroptère suiveur au moins le positionnement, la direction et la vitesse de l'hydroptère pilote et l'unité de commande de l'hydroptère suiveur est configurée pour calculer la trajectoire de l'hydroptère suiveur sur la base de la direction et la vitesse de l'hydroptère pilote et/ou le système de transport est configuré pour fonctionner selon un autre mode, dit mode d'imitation partielle, dans lequel l'hydroptère suiveur reproduit une partie seulement du comportement de déplacement de l'hydroptère pilote.

BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

[0023] La présente demande sera mieux comprise à l'aide de la description qui va suivre et des dessins en annexe sur lesquels :

- La figure 1 est une vue de côté représenté schématiquement d'un système de transport de marchandise selon un exemple de réalisation de la présente invention, dans une configuration à vitesse élevée,
- La figure 2 est une vue de côté du système de transport de la figure 1 dans une configuration à basse vitesse,
- La figure 3 est une vue de face du côté de la proue du système de transport de la figure 1,
- La figure 4 est une vue de dessous du système de transport de la figure 1,

- La figure 5 est une représentation schématique d'un exemple de système de transport selon un autre exemple de réalisation, comportant deux hydroptères,
- La figure 6 est une représentation schématique vue de dessus d'un déplacement du système de transport en mode imitation ou clone,
- La figure 7 est une représentation schématique vue de dessus du système de transport dans un mode différenciée, également désigné mode drone,

DESCRIPTION DÉTAILLÉE DE MODES DE RÉALISATION

[0024] La présente invention porte sur un système de transport à hydroptère utilisable sur les mers et les océans, sur les fleuves et canaux et sur les lacs.

[0025] Dans la description qui va suivre, les termes „bateau“, „hydroptère“ et „navire“ sont utilisés indifféremment.

[0026] Par ailleurs, la description portera plus particulièrement sur un bateau adapté au transport de marchandises ou de fret, mais il sera compris que l'invention porte également sur un hydroptère configuré pour le transport de personnes et/ou de marchandises.

[0027] Sur la figure 1, on peut voir une représentation schématique d'un exemple d'un système de transport selon l'invention. Le système de transport comporte au moins un hydroptère H.

[0028] Sur les figures 1, 2 et 3, on peut voir en détail l'hydroptère H comportant une coque 2, un poste de pilotage 4, un premier hydrofoil 8 fixé au niveau de sa partie centrale à l'extrémité d'un premier mât sous-marin 9 et disposé à la proue de l'hydroptère, un deuxième hydrofoil 10 fixé au niveau de sa partie centrale à l'extrémité d'un deuxième mât sous-marin 12 et disposé à la poupe de l'hydroptère et des moyens de propulsion 13, 14. En variante, l'hydroptère peut comporter un ou plusieurs moyens de propulsion. Les mâts sous-marins sont désignés „Under water struts“ en terminologie anglo-saxonne.

[0029] En outre, l'hydroptère comporte sur le pont une zone de réception 5 qui est configuré dans cet exemple pour le stockage de marchandises. Très avantageusement cette zone de stockage est dimensionnée pour pouvoir stocker un conteneur de transport C, par exemple un conteneur de 40 pieds, i.e. présentant une longueur de 12 m, une largeur de 2,44 m et une hauteur de 2,59 m. ce type de conteneur peut transporter jusqu'à 30 tonnes de marchandises.

[0030] W désigne la surface de l'eau.

[0031] Dans cet exemple, la coque 2 est à fond plat, mais ceci n'est en aucun cas limitatif. Un hydroptère à fond bombé ne sort pas du cadre de la présente invention.

[0032] Les premier et deuxième mât sous-marins sont disposés sensiblement sur l'axe longitudinale X de la coque 2, comme cela est visible sur la vue de dessous représentée sur les figures 3 et 4.

[0033] Chaque mât sous-marin équipé d'un hydrofoil a la forme d'un T renversé. Avantageusement, le mât et l'hydrofoil sont réalisés d'un seul tenant, par exemple en acier.

[0034] Les moyens de propulsion 13 et 14 comportent des hélices ou turbines. Dans cet exemple, les hélices ou turbines sont prévues au niveau des hydrofoils 8 et 10. De préférence, les moyens de propulsion comportent chacun un ou plusieurs moteurs électriques. L'énergie électrique peut être fournie par des batteries électriques rechargeables ou par un moteur à hydrogène. En variante, un moteur à énergie fossile générant une énergie mécanique assure l'entraînement des hélices.

[0035] Les moyens de propulsion sont avantageusement montés articulés en rotation sur les mâts autour de la direction verticale, de sorte à conserver une orientation alignée avec la direction longitudinale quelle que soit l'orientation des hydrofoils, de sorte à pouvoir assurer la propulsion à faible vitesse. En outre, cette articulation verticale des moyens de propulsion permet également d'assurer l'orientation du bateau.

[0036] En variante les moyens de propulsion peuvent être fixés à l'extrémité de mâts sous-marins rétractables distincts des mâts 9 et 12

[0037] La surface totale des hydrofoils est adaptée pour pouvoir assurer une portance suffisante à l'hydroptère chargé de marchandises. A titre d'exemple, chaque hydrofoil 8, 10 a une envergure de 10 m et une surface de 13 m². En prévoyant des hydrofoils relevables et pivotants de sorte qu'ils s'alignent avec l'axe de la coque, la traînée du bateau est sensiblement réduite à faible vitesse, ce qui permet de réduire encore davantage l'énergie nécessaire pour déplacer le bateau.

[0038] A titre d'exemple, la coque a une largeur de 4,5 m et une longueur de 17 m.

[0039] Les moyens de propulsion sont également configurés pour pouvoir déplacer le bateau „en vol“ avec sa charge maximale. Par exemple, dans le cas d'un conteneur de 40 pieds qui peut contenir jusqu'à 30 tonnes de marchandises, et en considérant que l'hydroptère à vide a une masse de 8 à 10 tonnes, les moyens de propulsion sont configurés pour déplacer une masse de 40 tonnes.

[0040] A titre d'exemple, la vitesse de décollage est comprise entre 13 nœuds et 15 nœuds, la vitesse de croisière est comprise entre 20 nœuds et 22 nœuds, et la vitesse de pointe est de l'ordre de 25 nœuds.

[0041] De manière très avantageuse et comme cela est visible sur les figures 1 et 2, les premier et deuxième mâts sous-marins munis d'un hydrofoil sont rétractables facilitant le déplacement en eau peu profonde.

[0042] Un premier aménagement 16 est prévu sur le pont du bateau au droit du premier mât sous-marin 9, et reçoit le premier mât sous-marin 9 en position rétractée ou relevée, et un deuxième aménagement 18 est prévu sur le pont du bateau au droit du deuxième mât sous-marin 12, et reçoit le deuxième mât sous-marin 12 en position rétractée ou relevée.

[0043] La mise en œuvre de deux hydrofoils relevables permet de ménager une zone de stockage suffisante pour recevoir un ou plusieurs conteneurs. Le premier aménagement 16 et le deuxième aménagement 18 sont avantageusement disposés l'un par rapport à l'autre de sorte à libérer un espace permettant de recevoir un conteneur de 40 pieds ou deux conteneurs de 20 pieds.

[0044] Dans une configuration déployée, lorsque les mâts sous-marins 9 et 12 sont immergés, les hydrofoils 8 et 10 s'étendent orthogonalement à la direction longitudinale X de la coque 2. De manière très avantageuse, dans une configuration rétractée lorsque les mâts sous-marins 9 et 12 sont logés dans leur aménagement respectif 16, 18, les hydrofoils 8 et 10 s'étendent dans la direction longitudinale X de la coque 2.

[0045] Lors de la remontée de chacun des mâts sous-marins, chaque hydrofoil pivote autour de l'axe du mât sous-marin pour s'aligner avec la direction longitudinale X de la coque.

[0046] Par exemple, chaque mât sous-marin 9, 12 est guidé par une forme en hélice dans son aménagement respectif de sorte qu'en se relevant, il pivote naturellement entre la position de l'hydrofoil orthogonale à la direction longitudinale et la position de l'hydrofoil sensiblement alignée avec la direction longitudinale. Il sera compris que l'angle de rotation entre la position abaissée et la position relevée peut être inférieure à 90°. Ainsi en position relevée les hydrofoils peuvent prendre toute orientation entre l'orientation orthogonale et l'orientation alignée, cette orientation présentant néanmoins une réduction de l'encombrement latérales et de la traînée.

[0047] La rotation et le relevage de chacun des mâts sous-marins sont de préférence assurés par des moteurs électriques.

[0048] En variante, le déplacement vertical des mâts et la rotation des hydrofoils sont successifs. Par exemple dans un premier temps, les mâts sont abaissés et dans un deuxième temps les hydrofoils sont pivotés pour prendre la position active. Avantageusement la rotation de l'hydrofoil est déclenchée automatiquement après que le mât sous-marin a atteint la position déployée souhaitée.

[0049] De préférence, le fond de la coque est conformé pour loger l'hydrofoil lorsqu'il est en position rétractée. Par exemple, le fond de la coque comporte un renforcement 22 s'étendant le long de l'axe X dans lequel viennent se loger les hydrofoils (figure 4).

[0050] Lorsque les hydrofoils sont par exemple alignés avec la direction X, ils font saillie de la proue et la poupe. De manière très avantageuse, l'hydrofoil comporte des moyens anticollisions pour réduire les risques de collision avec les hydrofoils à basse vitesse dans une position autre que la position orthogonale. Dans l'exemple représenté, les moyens anticollisions comporte une bouée 24 montée à l'extrémité de tiges télescopiques 26, qui se déploient lors que les hydrofoils sont alignés avec la direction X et font saillie à la proue et à la poupe du bateau (figures 2 et 5). Tout autre moyen permettant d'éviter un contact avec les hydrofoils entre dans le cadre de la présente demande.

[0051] L'hydroptère comporte une unité de commande électronique UC1 ou calculateur central et au moins un capteur de position des mâts sous-marins. L'hydroptère comporte également tous les éléments de mesure équipant habituellement un bateau pour assurer une navigation sûre et réglementaire. L'unité de commande UC1 est reliée aux moyens de propulsion et au poste de commande. Une manœuvre du conducteur par l'intermédiaire du poste de pilotage est transmise aux moyens de propulsion et aux différents équipements du bateau pilote par l'unité de commande UC1.

[0052] Le poste de pilotage 4 peut être un poste de pilotage classique avec un volant ou des manettes. En variante, le poste de pilotage 4 comporte une interface homme-machine de type écran ou tablette tactile connectée à l'unité de commande UC1, par laquelle le conducteur donne ses instructions de pilotage et choisit ses modes.

[0053] Dans cet exemple, le poste de pilotage 4 est disposé à la proue du bateau et est fixé sur l'aménagement 16. Il se présente sous la forme d'une cabine de pilotage. Très avantageusement, la cabine de pilotage est montée coulissante verticalement sur l'aménagement 16 entre une position basse (représentée en pointillés) permettant au pilote d'accéder facilement à l'intérieur de la cabine de pilotage, et une position haute offrant une bonne visibilité au pilote.

[0054] Par exemple, un système de crémaillère (non représenté) est prévu entre la cabine et l'aménagement 16 et un moteur électrique assure le déplacement de la cabine de pilotage.

[0055] Un système de transport de marchandises dans lequel le poste de pilotage serait sur le pont ou au niveau de la poupe, ne sort pas du cadre de la présente invention.

[0056] De préférence, les hydrofoils 8 et 10 sont équipés de volets 20 ou surface de commande articulées. Dans l'exemple représentés, chaque hydrofoil comporte quatre volets articulés disposés de part et d'autre du mât sous-marin, et formant le bord de fuite. La commande de ces volets permet de gérer le roulis et la stabilité longitudinale. En variante, l'hydrofoil comporte un volet de chaque côté du mât ou plus de deux volets.

[0057] Les deux mâts sous-marins peuvent être déployés à des profondeurs différentes. L'ajustement de ces deux profondeurs permet de régler l'assiette longitudinal du bateau. De préférence, la commande de l'angle du roulis et la commande de l'assiette longitudinale sont interdépendantes. Cette interdépendance peut être gérée par un pilote expérimenté ou de manière automatique à l'aide de modèles comme cela est bien connu de l'état de la technique.

[0058] De préférence, le bateau est équipé de moyens de mesure de la hauteur du bateau par rapport la surface de l'eau en vol et des moyens de détection des autres navires, par exemple ces moyens sont de type LIDAR (Light Detection And Ranging en terminologie anglo-saxonne) utilisant le principe de télémétrie laser.

[0059] L'hydroptère comporte également de préférence des moyens pour compenser le décentrage éventuel des marchandises, par exemple du conteneur sur l'hydroptère. Les moyens comportent par exemple un capteur d'assiette longitudinale pour mesurer l'assiette du bateau et des moyens pour compenser l'écart par rapport à un plan horizontal. Les moyens de compensation comportent par exemple au moins une masselotte mobile longitudinalement qui est déplacée pour compenser l'écart à l'horizontal. La masse est par exemple montée sur une crémaillère, une vis sans fin ou un rail, situé au centre sous le pont. La masse est par exemple de l'ordre de quelques tonnes. En variante la compensation est obtenue au moyen d'un ou des ballasts sont mis en œuvre. Ces moyens sont mis en œuvre dans le but de rééquilibrer le centre de gravité par rapport au centre poussée des hydrofoils afin de voler de manière stable.

[0060] Un exemple de fonctionnement du système de transport de marchandises est le suivant.

[0061] L'hydroptère est à quai, par exemple dans un port fluvial. Les premiers et deuxièmes mâts sous-marins 9, 12 sont en position relevée dans les aménagements 16 et 18 et les hydrofoils 8 et 10 sont alignés avec l'axe X de l'hydroptère. Ainsi les hydrofoils 8, 10 ne dépassent pas latéralement de la coque et sont disposés au plus près de la coque, voire sont logés dans le renforcement 22 le cas échéant. Le positionnement à quai en est facilité. Les risques d'interaction avec la faible profondeur du fond sont réduits.

[0062] Une grue charge un conteneur C sur la zone de stockage de l'hydroptère entre les deux aménagements 16 et 18.

[0063] Des moyens sont éventuellement prévus pour solidariser le conteneur au pont, par exemple des systèmes de sangle.

[0064] L'assiette est mesurée et est corrigée si nécessaire.

[0065] Lorsque le conteneur est en place. Le pilote commence les manœuvres pour quitter le port. Il met en route les moyens de propulsion. Les mâts sous-marins restent en position rétractée. L'hydroptère H s'éloigne du quai à faible vitesse.

[0066] Lorsque l'hydroptère est dans des eaux suffisamment profondes, cette information est par exemple fournie au pilote au moyen d'un sonar équipant le bateau, le pilote augmente la vitesse de déplacement du bateau. Lorsqu'une vitesse suffisante est atteinte, le pilote commande le déploiement des mâts sous-marins. Ceux-ci coulissent vers le bas et pivotent simultanément, permettant alors au bateau de s'élever au-dessus de la surface de l'eau et de „voler au-dessus“ de l'eau en appui sur les hydrofoils. Simultanément les bouées 24 sont rétractées. La consommation d'énergie requise pour ce déplacement est sensiblement réduite par rapport à des transports de marchandises sur l'eau classiques.

[0067] Dans un exemple de réalisation, le déploiement des mâts peut être commandé automatiquement dès qu'une vitesse minimale est atteinte. De manière similaire, la rétractation des mâts peut être commandée automatiquement dès que la vitesse du bateau passe en dessous d'une vitesse maximale.

[0068] A l'approche du port d'acheminement du conteneur, le pilot réduit la vitesse du bateau et commande le relevage des mâts sous-marins, ce qui provoque simultanément la rotation des hydrofoils dans la position alignée avec l'axe de la coque et le déploiement des bouées 24. Dans cette position, le bateau peut atteindre le quai sans risque de collision entre les hydrofoils et le fond ou tout autre installation. Lorsque le bateau est amarré à quai, une grue décharge le conteneur. Soit un autre conteneur est chargé sur le bateau, par exemple un conteneur vide, soit le bateau repart à vide.

[0069] Dans un exemple très avantageux représenté schématiquement sur les figures 5 à 7, le système de transport de marchandises comporte un hydroptère maître ou pilote P similaire à l'hydroptère H de la figure 1, et un ou plusieurs hydroptères suiveurs désignés par la référence S, formant ainsi un convoi avec un hydroptère pilote et des hydroptères suiveurs, permettant ainsi le transport de plusieurs conteneurs avec un seul pilote.

[0070] Dans la description qui va suivre, le système de transport comporte un seul hydroptère suiveur. L'hydroptère suiveur S est de structure relativement proche de celle de l'hydroptère pilote P. Il comporte une coque 102, un premier hydrofoil 108 fixé à l'extrémité d'un premier mât sous-marin 109, un deuxième hydrofoil 110 fixé à l'extrémité d'un deuxième mât sous-marin 112, et des moyens de propulsion 113, 114. En variante, le bateau suiveur peut comporter un ou plusieurs moyens de propulsion.

[0071] Dans l'exemple représenté, les moyens de propulsion 113, 114 sont prévus au niveau des hydrofoils.

[0072] De manière très avantageuse, les mâts sous-marins 109 et 112 munis d'un hydrofoil sont rétractables facilitant le déplacement en eau peu profonde et réduisant la traînée à faible vitesse. Des aménagements 116 et 118 sont prévus sur le pont du bateau au droit des mâts sous-marins, et reçoivent les mâts sous-marins en position rétractée. Une zone de stockage est prévue entre les deux aménagements 116, 118 et est configuré par exemple pour recevoir un conteneur.

Des moyens d'arrimage des marchandises, par exemple d'un conteneur sont avantageusement prévus au niveau de la zone de stockage.

[0073] Dans cet exemple, l'hydroptère suiveur S ne comporte pas de poste de pilotage.

[0074] Comme pour l'hydroptère H, l'hydroptère pilote P comporte une unité de commande électronique UC1 ou calculateur central et au moins un capteur de position des mâts sous-marins. L'hydroptère pilote P comporte également tous les éléments de mesure équipant habituellement un bateau pour assurer une navigation sûre et réglementaire. L'unité de commande UC1 est reliée aux moyens de propulsion et au poste de commande. Une manœuvre du conducteur par l'intermédiaire du poste de pilotage est transmise aux moyens de propulsion et aux différents équipements du bateau pilote par l'unité de commande UC1.

[0075] Le poste de pilotage est similaire à celui de l'hydroptère H.

[0076] L'hydroptère suiveur comporte une unité de commande UC2 et les éléments de mesure équipant habituellement un bateau pour assurer une navigation sûre.

[0077] L'hydroptère pilote P et l'hydroptère suiveur S comportent également des moyens de géolocalisation par satellite GP, GS respectivement permettant une localisation de quelques mètres, par exemple de l'ordre de quelques mètres.

[0078] L'hydroptère pilote et l'hydroptère suiveur comportent des moyens de communication entre eux TCP, TCS. De préférence ces moyens sont des moyens de communication courte portée mettant en œuvre une technologie désignée „communications dédiées à courte portée“ ou DSRC (Dedicated short-range communication). Ces moyens de communication sont particulièrement adaptés à la communication directe véhicule à véhicule ou V to V (une dizaine de mètres). Un exemple de tels moyens de communication est décrit dans le document „Vehicle to vehicle data transfer and communication using LI-FI technology“, Anbalagan et al. in materialstoday : PROCEEDINGS, vol. 45, Part7, 2021, pages 5925-5933.

[0079] Ces moyens sont des moyens de radiocommunication qui permettent une communication très localisée. En outre ils ne perturbent pas les autres systèmes de communication.

[0080] Les moyens de communication TCP de l'hydroptère pilote P comportent un émetteur pilote et un récepteur pilote et les moyens de communication TCS de l'hydroptère suiveur S comportent un émetteur suiveur et récepteur suiveur qui communiquent par télétransmission.

[0081] L'émetteur pilote est configuré pour envoyer des informations et instructions à l'unité de commande UC2 de l'hydroptère suiveur via le récepteur suiveur, et l'émetteur suiveur est configuré pour envoyer des informations à l'unité de commande UC1 de l'hydroptère pilote via le récepteur pilote.

[0082] Selon l'invention, le système de transport est configuré pour que dans un premier mode de fonctionnement, dit mode d'imitation ou clone, l'hydroptère suiveur S reproduise le comportement de déplacement de l'hydroptère pilote P, et dans un deuxième mode de fonctionnement, dit mode différencié ou mode drone, l'hydroptère suiveur S suive les instructions provenant du poste de pilotage et ait un comportement de déplacement différent de celui de l'hydroptère pilote P.

[0083] Dans le mode d'imitation, l'unité de commande UC1 envoie à l'unité de commande UC2 via l'émetteur pilote et le récepteur suiveur la trajectoire de l'hydroptère pilote qui traite cette information et calcule la trajectoire de l'hydroptère suiveur. De préférence, l'envoi se fait directement entre l'émetteur pilote et le récepteur suiveur, i.e. en V to V, ce qui permet d'avoir un temps d'échange raccourci, une réactivité accrue et d'augmenter la sécurité de transmission. En variante, la transmission peut se faire via un dispositif tiers, par exemple via un serveur local ou un cloud distant. Cette variante est envisageable dans des zones offrant une bonne couverture du réseau internet. En outre, le recours au cloud peut être prévu pour le traitement de tout ou partie de certaines tâches dans la mesure où le temps de communication est acceptable et la sécurité de communication est assurée.

[0084] Cette trajectoire est par exemple obtenue par les moyens de géolocalisation par satellite. L'unité de commande UC2 commande l'ensemble des moyens participant au déplacement de l'hydroptère suiveur, tels que les moyens de propulsion et les hydrofoils, de sorte qu'ils reproduisent la trajectoire de l'hydroptère pilote tout en maintenant une distance entre l'hydroptère pilote et l'hydroptère suiveur. La distance est choisie de sorte à assurer la sécurité des bateaux et en fonction de la distance maximale de communication entre les bateaux.

[0085] En outre cette distance peut varier en fonction des conditions météorologiques. En effet en cas de fortes houles il peut être prévu d'augmenter cette distance.

[0086] La précision de la géolocalisation par satellite est suffisante pour gérer la distance entre les bateaux. En effet il n'est pas requis de devoir maintenir strictement cette distance, celle-ci peut éventuellement varier de quelques mètres. Il est alors prévu une marge de sécurité pour éviter tout risque de collision.

[0087] Le fait d'utiliser la géolocalisation par satellite pour maintenir la distance entre les bateaux permet de ne pas avoir à mettre en œuvre de capteurs entre les bateaux, ceci est d'autant plus avantageux que tels capteurs sont très difficiles à mettre en œuvre en milieu marin.

[0088] La communication entre le bateau pilote et le bateau suiveur s'effectue par exemple de la manière suivante.

[0089] L'émetteur pilote envoie une trame d'informations au récepteur suiveur à une certaine fréquence, par exemple une à plusieurs dizaines de fois par seconde.

[0090] Les informations contenues dans la trame sont par exemple au moins la direction du bateau pilote, la vitesse du bateau pilote, et éventuellement l'emplacement du bateau pilote. Avantageusement l'état des hydrofoils est également transmis, i.e. un état déployé ou un état rétracté.

[0091] De préférence, les informations sur la vitesse et la direction sont par exemple obtenus par les moyens de géolocalisation. En variante, ces informations sont obtenues par des moyens embarqués dans le bateau pilote.

[0092] Lorsque le récepteur suiveur reçoit ces informations, l'émetteur suiveur émet un accusé réception confirmant la réception et la prise en compte de ces informations.

[0093] L'unité de commande UC2 utilise ces informations ainsi que les données de géolocalisation du bateau suiveur et en déduit les caractéristiques de déplacement du bateau suiveur, afin qu'il reproduise la même trajectoire tout en maintenant une certaine distance. Il est à noter que les instructions envoyées aux moyens de propulsion 113 tiennent compte de la masse du bateau suiveur et d'autres caractéristiques du bateau suiveur qui interviennent sur le déplacement du bateau suiveur.

[0094] Cette communication en boucle se poursuit pendant tout le déplacement en mode imitation.

[0095] La trame d'informations permet également un transfert d'informations du bateau suiveur au bateau pilote, telles qu'une avarie, une information sur les conditions de navigation, par exemple une augmentation de la houle. Ainsi l'unité de commande UC1 connaît à tout moment l'état et les conditions de navigation du bateau suiveur.

[0096] D'autres informations peuvent être envoyées au bateau suiveur, par exemple l'allumage des feux de circulation. Ces informations sont alors traitées par l'unité de commande UC2 comme devant être reproduites.

[0097] Il est à noter que, de préférence, la stabilité du bateau suiveur est gérée automatiquement par l'équipement embarqué dans le bateau suiveur, ainsi le conducteur du bateau pilote n'a pas à gérer celle-ci d'autant qu'il est à distance du bateau pilote.

[0098] Ce mode de communication directe entre les deux bateaux offre un fonctionnement robuste et sécurisé.

[0099] Néanmoins, de manière préférée, il peut être prévu des moyens de sécurité informatiques, également appelés moyens de cybersécurité pour augmenter la sécurité de fonctionnement du système de transport en sécurisant les communications entre les deux bateaux et éviter toute intrusion d'un tiers dans leurs architectures électroniques embarquées.

[0100] L'imitation peut être partielle. Dans certaines situations, on souhaite que le comportement du bateau pilote ne soit pas reproduit à l'identique. Par exemple, le conducteur décide que le bateau suiveur ne doit ou ne peut pas imiter le bateau pilote, par exemple il considère que sa charge est trop importante et qu'il ne peut déployer ses hydrofoils, dans ce cas il envoie une instruction à l'unité de commande UC2 de ne pas déployer les hydrofoils. Ainsi lorsque le bateau pilote se déplace à une vitesse suffisante pour se déplacer sur les hydrofoils, le bateau suiveur reproduit la trajectoire du bateau pilote et éventuellement d'autres comportements du bateau pilote mais se déplace sur sa coque. Dans cette configuration, le bateau suiveur envoie un signal au bateau pilote dès que la distance entre les deux bateaux dépasse une valeur limite, le bateau suiveur réduit alors sa vitesse pour réduire la distance.

[0101] Le mode différencié va maintenant être décrit.

[0102] Selon l'invention, le bateau suiveur peut être commandé directement par le bateau pilote, par exemple par le conducteur du bateau pilote de sorte que le bateau suiveur ait un déplacement distinct de celui du bateau pilote, par exemple lors de l'accostage.

[0103] En effet, lorsque le bateau pilote accoste un quai, il s'immobilise, le bateau suiveur vient alors s'immobiliser derrière le bateau pilote à une certaine distance déterminée. Afin de pouvoir également faire accoster le bateau suiveur, celui-ci peut être commandé pour effectuer une manœuvre d'accostage alors que le bateau pilote est immobilisé. En outre l'accostage se fera à un emplacement distinct de celui du bateau pilote. Pour cela, le conducteur par l'intermédiaire de l'interface homme-machine „prend la main“ et envoie directement des instructions spécifiques à l'unité de commande UC2 du bateau suiveur de sorte que le bateau suiveur effectue des manœuvres particulières. En d'autres termes, le bateau suiveur est télécommandé par le conducteur. Ces commandes peuvent transiter par les moyens de communication courte portée.

[0104] Cette instruction au bateau suiveur peut être envoyée manuellement par le conducteur ou automatiquement par l'unité de commande UC1.

[0105] En variante encore, un message est envoyé au conducteur via l'interface homme-machine qui décide ou non de commander à l'unité de commande UC2 d'interdire le déploiement des hydrofoils.

[0106] Ce type d'instruction peut tenir compte de plusieurs paramètres, la masse des marchandises, les conditions météorologiques tels que la vitesse du vent, la hauteur des vagues...

[0107] De manière avantageuse, dans le mode imitation il est prévu que le bateau suiveur ne puisse pas dépasser le bateau pilote. Ainsi des moyens sont mis en œuvre pour que le bateau suiveur soit en permanence maintenu derrière le bateau pilote sauf si une manœuvre à quai l'oblige.

[0108] De préférence toutes les informations relatives à la navigation du bateau suiveur sont affichées ou au moins accessibles sur l'interface homme-machine du bateau pilote afin que le conducteur ait une connaissance complète de la situation du bateau suiveur. Il peut par exemple être prévu d'afficher la disposition relative des deux bateaux, par exemple une représentation d'une vue de dessus représentant le bateau suiveur et le bateau pilote ou toute autre visualisation qui pourrait être obtenue avec ou sans l'aide de vision par caméras embarquées sur le bateau suiveur.

[0109] Un exemple de déplacement du système de transport va maintenant être décrit.

[0110] Le système de transport est par exemple utilisé pour transporter des conteneurs entre un premier port fluvial et un deuxième port fluvial.

[0111] Le bateau pilote et le bateau suiveur sont à quai au premier port. Les hydrofoils sont en position relevée.

[0112] Une grue charge un conteneur sur le bateau pilote et un conteneur sur le bateau suiveur S. L'assiette pour chacun des bateaux est mesurée et est corrigée si nécessaire. Les autres conditions sont vérifiées, et on considère que celles-ci sont telles que les hydrofoils de chacun des bateaux pourront être déployés. L'emplacement du bateau suiveur pour le chargement du conteneur peut être éloigné de celui du bateau pilote. Le positionnement à cet emplacement a pu être commandé par le conducteur du bateau pilote en mode différencié.

[0113] Le système de transport de marchandises est prêt à se déplacer jusqu'au deuxième port fluvial.

[0114] Le mode imitation est activé soit par le conducteur, soit automatiquement. Si l'emplacement du bateau suiveur est éloigné de celui du bateau pilote, il peut être prévu que celui-ci rejoigne automatiquement le bateau pilote.

[0115] Le conducteur met en route les moyens de propulsion du bateau pilote qui commence à avancer. Par imitation, l'unité de commande active les moyens de propulsion et commence à se déplacer. Le début du déplacement du bateau suiveur peut avoir lieu après le début du déplacement du bateau pilote afin de ménager la distance de sécurité requise.

[0116] Lorsque la profondeur du fond est suffisante, le conducteur déploie les hydrofoils du bateau pilote ainsi que les bouées. L'information est envoyée à l'unité de commande UC2 du bateau suiveur qui par imitation ordonne le déploiement des hydrofoils du bateau suiveur et des bouées.

[0117] Lorsque la vitesse du bateau pilote est suffisante, la coque se soulève et le bateau pilote passe en „mode vol“. Le bateau suiveur a par imitation le même comportement. Chaque bateau gère de manière autonome sa stabilité. Sur la figure 6, on peut voir une représentation schématique d'un déplacement du système de transport, le bateau pilote ayant la trajectoire T et le bateau suiveur imitant la trajectoire T.

[0118] Les deux bateaux se déplacent en convoi et le bateau suiveur suit la trajectoire du bateau pilote. À tout moment, le conducteur de manière manuelle, éventuellement suite à un avertissement émis à l'unité de commande UC1, ou l'unité de commande UC1 de manière automatique, peut envoyer une instruction au bateau suiveur afin qu'il modifie son comportement en fonction d'événements extérieurs. Les cas d'interventions automatiques de l'unité de commande UC1 sont pré-enregistrés dans la mémoire de l'unité de commande UC1.

[0119] Lorsque le convoi s'approche le deuxième port fluvial, la vitesse est abaissée, les mâts sont rétractés et les hydrofoils sont alignés avec la direction longitudinale et les bouées sont déployées. le bateau pilote P se positionne parallèlement au quai Q et s'arrête et le bateau suiveur s'arrête également parallèlement au quai (figure 7). Le conducteur peut passer en mode différencié si nécessaire. Pour cela il prend la main sur le bateau suiveur. Le conducteur, par exemple à l'aide de l'interface homme-machine, commande le déplacement du bateau suiveur, par exemple afin de positionner le bateau suiveur tout près du bateau pilote sans tenir compte de la distance fixée lors des déplacements. Lors du déplacement en mode différencié, le conducteur a le bateau suiveur en visuel.

[0120] Il est à noter que la communication entre le bateau suiveur et le bateau pilote est permanente, i.e. même lorsque les deux bateaux sont stationnés, et au moins tant que les bateaux sont alimentés électriquement.

[0121] Un système de transport comportant plus d'un bateau suiveur ne sort pas du cadre de la présente invention. Dans ce cas, le poste de commande est configuré pour permettre de sélectionner le ou les bateaux suiveurs auxquels on veut appliquer le mode différencié.

[0122] Dans les exemples décrit, chaque hydroptère transporte un conteneur, il sera compris que chaque hydroptère peut transporter plusieurs conteneurs de taille plus petite. Par ailleurs, l'hydroptère peut transporter des marchandises qui ne sont pas stockées dans un ou plusieurs conteneurs mais sous forme de caisse qui sont arrimées sur le pont, par exemple au moyen d'un filet ou de tout autre moyen.

[0123] La présente invention offre une alternative aux systèmes de transport maritimes et fluviaux de l'état de la technique, cette alternative étant à la fois économe en énergie et plus rapide. En outre, elle peut être relativement silencieuse.

Revendications

1. Système de transport à hydroptère comportant au moins un hydroptère comprenant une coque s'étendant selon une direction longitudinale (X), un pont, des moyens de propulsion et un poste de pilotage (4), ledit hydroptère comportant également au niveau de sa proue un premier mât sous-marin (9) situé sur la direction longitudinale (X) et au niveau

de sa poupe d'un deuxième mât sous-marin (12) situé sur la direction longitudinale (X), le premier mât sous-marin (9) comportant à une extrémité destinée à être immergée un premier hydrofoil (8), le deuxième mât sous-marin (12) comportant à une extrémité destinée à être immergée un deuxième hydrofoil (10), chaque hydrofoil (8, 10) étant connecté audit mât sous-marin (9, 12) au niveau d'une zone centrale, chaque hydrofoil (8, 10) étant destiné à prendre au moins deux positions, une première position dans laquelle l'hydrofoil (8, 10) a une orientation orthogonale à la direction longitudinale (X), et une deuxième position dans laquelle l'hydrofoil a une orientation différente de l'orientation orthogonale, et dans lequel ledit pont comporte une zone de réception (5), par exemple d'au moins un conteneur.

2. Système de transport selon la revendication 1, dans lequel chaque hydrofoil (8, 10) dans la deuxième position est sensiblement alignée avec la direction longitudinale (X).
3. Système de transport selon la revendication 1 ou 2, dans lequel chacun des mâts sous-marins (9, 12) est configuré de sorte que dans la première position l'hydrofoil (8, 10) est éloigné de la coque (2), et de sorte que dans la deuxième position l'hydrofoil (8, 10) est proche de la coque (2).
4. Système de transport selon la revendication 3, comportant sur le pont un premier aménagement (16) au droit du premier mât sous-marin (9) pour recevoir le premier mât sous-marin (9) lorsque le premier hydrofoil (8) est dans une deuxième position, et un deuxième aménagement (18) au droit du deuxième mât sous-marin (12) pour recevoir le deuxième mât sous-marin (12) lorsque le deuxième hydrofoil (10) est dans une deuxième position, et dans lequel la zone de réception est située entre les deux aménagements.
5. Système de transport selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel des moyens de propulsion sont situés au niveau du premier hydrofoil et des moyens de propulsion sont situés au niveau du deuxième hydrofoil et dans lequel les moyens de propulsions sont articulés en rotation de sorte à conserver une orientation alignée avec la direction longitudinale quelle que soit la position des premier et deuxième hydrofoils.
6. Système de transport selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel ledit poste de pilotage est situé à la proue de l'hydroptère et dans lequel ledit poste de pilotage est capable de prendre une position basse et une position haute, ledit poste de pilotage (4) étant avantageusement monté coulissant sur le premier aménagement (16).
7. Système de transport selon l'une des revendications 1 à 6, comportant des moyens de mesure de l'assiette longitudinale de l'hydroptère et des moyens de correction par rapport à un plan horizontal.
8. Système de transport selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel l'hydroptère (P) est dit hydroptère pilote, ledit système comportant au moins un autre hydroptère, dit hydroptère suiveur, ledit hydroptère suiveur comprenant une coque s'étendant selon une direction longitudinale (X), un pont, des moyens de propulsion, ledit hydroptère comportant également au niveau de sa proue un premier mât sous-marin situé sur l'axe longitudinal (X) et au niveau de sa poupe un deuxième mât sous-marin situé sur l'axe longitudinal (X), chaque mât sous-marin comportant à une extrémité destinée à être immergée un hydrofoil, ledit hydrofoil étant connecté audit mât sous-marin au niveau d'une zone centrale, chaque hydrofoil étant destiné à prendre au moins deux positions une première position dans laquelle l'hydrofoil a une orientation orthogonale à l'axe longitudinale et une deuxième position dans laquelle l'hydrofoil a une orientation différente de l'orientation orthogonale, dans lequel ledit pont comporte une zone de stockage, dans lequel le système de transport comporte également des moyens de communication (TCP, TCS) permettant un échange d'informations entre l'hydroptère pilote (P) et l'hydroptère suiveur (S), lesdits moyens de communication étant avantageusement des moyens de communication dédiés à courte portée configurés pour assurer un échange d'informations direct entre l'hydroptère pilote et l'hydroptère suiveur, dans lequel l'hydroptère pilote (P) comporte une unité de commande (UC1) et des moyens de géolocalisation (GP), dans lequel l'hydroptère suiveur (S) comporte une unité de commande (UC2) et des moyens de géolocalisation (GS), ledit système de transport étant configuré pour fonctionner au moins selon un mode imitation dans lequel l'hydroptère pilote (P) est commandé par un conducteur et l'hydroptère suiveur (S) reproduit le comportement de déplacement de l'hydroptère pilote, et selon un mode différencié dans lequel le comportement de déplacement de l'hydroptère suiveur (S) est commandé par l'hydroptère pilote (P).
9. Système de transport marin selon la revendication 8, dans lequel dans le mode différencié le comportement de déplacement de l'hydroptère suiveur est commandé directement par le conducteur.
10. Système de transport marin selon la revendication 8 ou 9, dans lequel l'hydroptère pilote est configuré pour envoyer à l'unité de commande de l'hydroptère suiveur au moins le positionnement, la direction et la vitesse de l'hydroptère pilote et l'unité de commande de l'hydroptère suiveur est configurée pour calculer la trajectoire de l'hydroptère suiveur sur la base de la direction et la vitesse de l'hydroptère pilote et/ou dans lequel le système de transport est configuré pour fonctionner selon un autre mode, dit mode d'imitation partielle, dans lequel l'hydroptère suiveur reproduit une partie seulement du comportement de déplacement de l'hydroptère pilote.

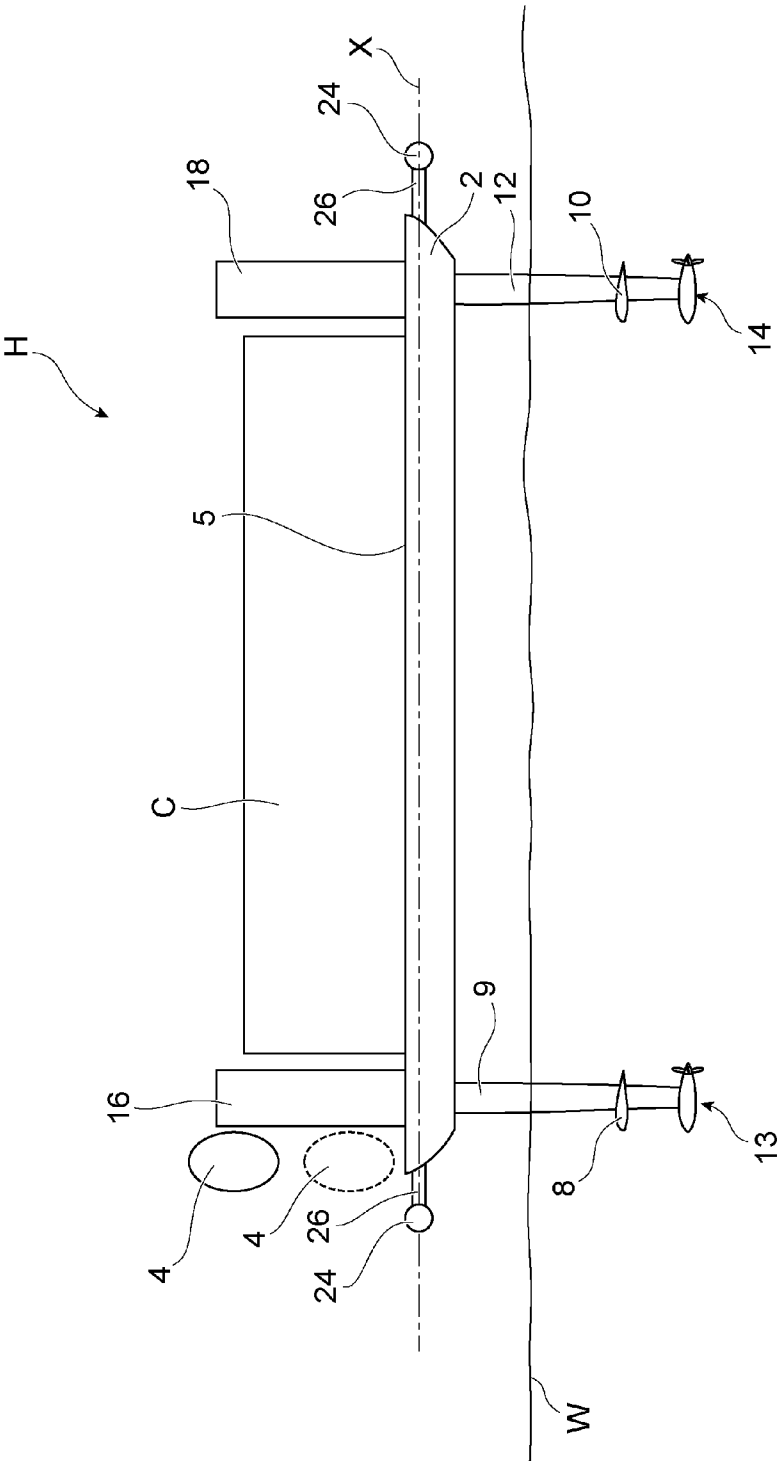


FIG. 1

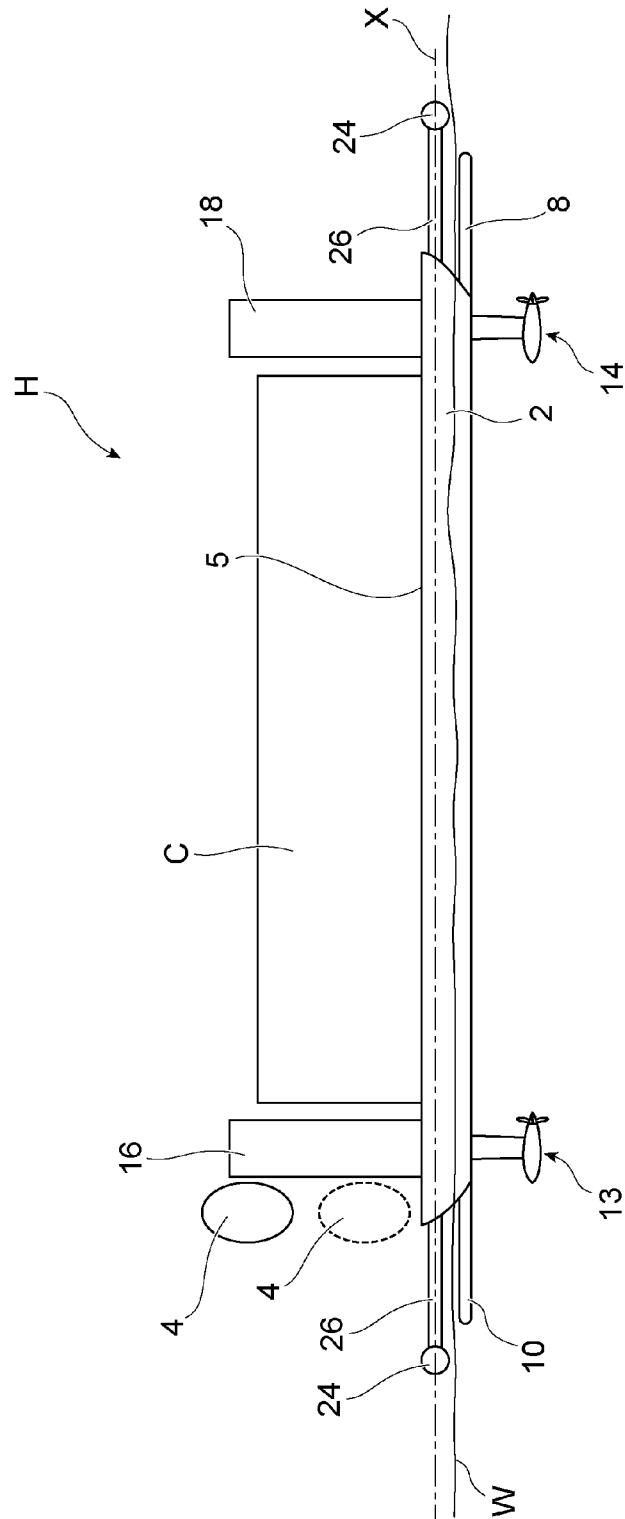


FIG. 2

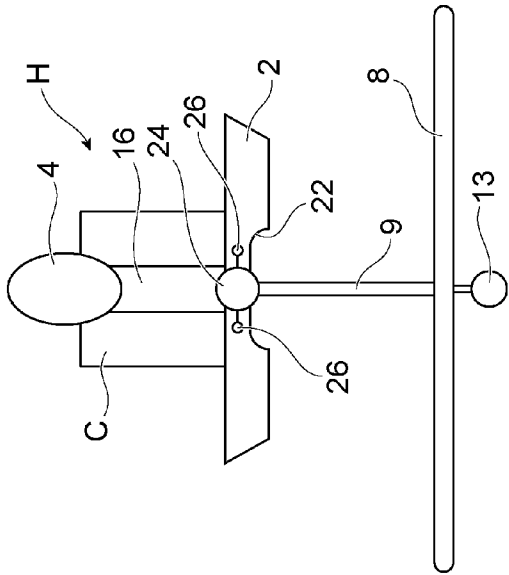


FIG. 3

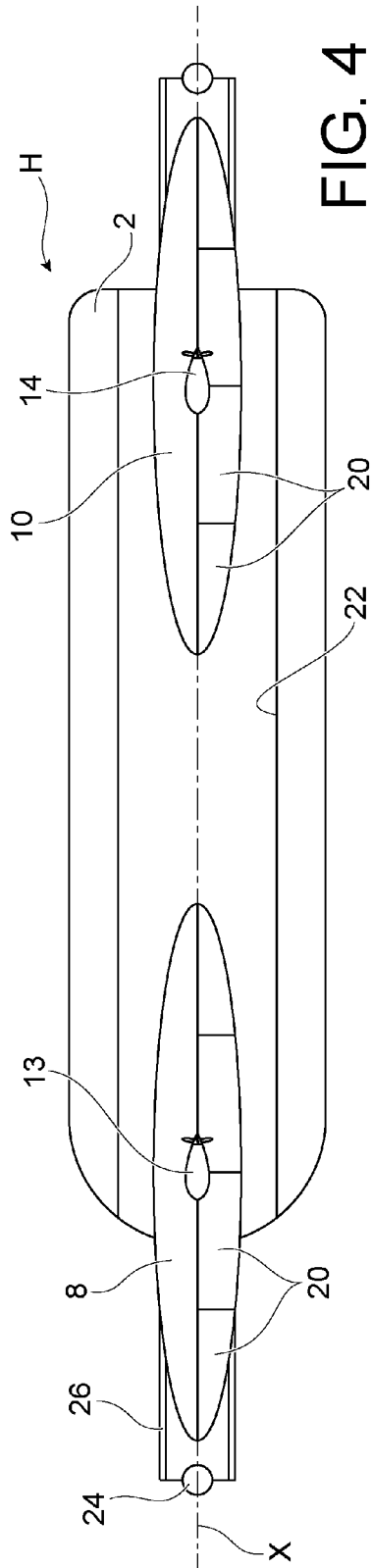


FIG. 4

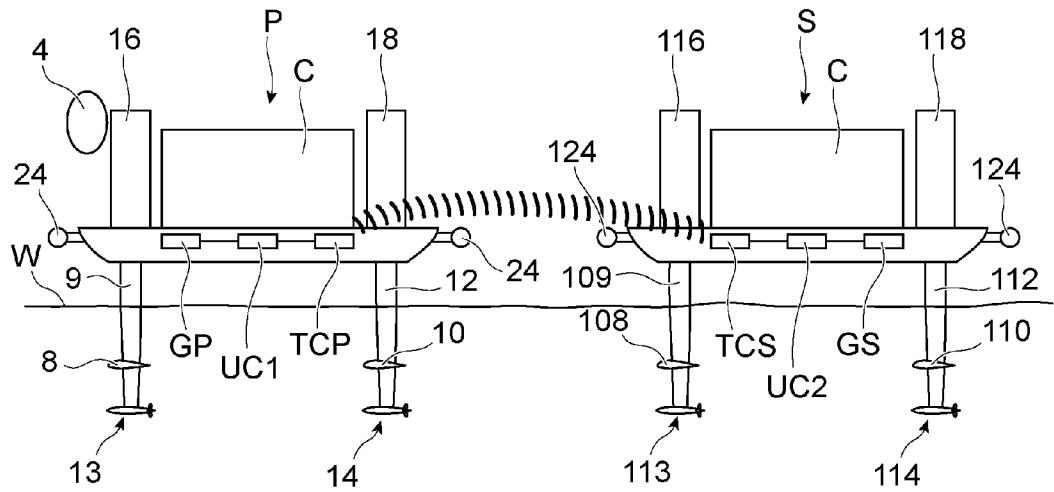


FIG. 5

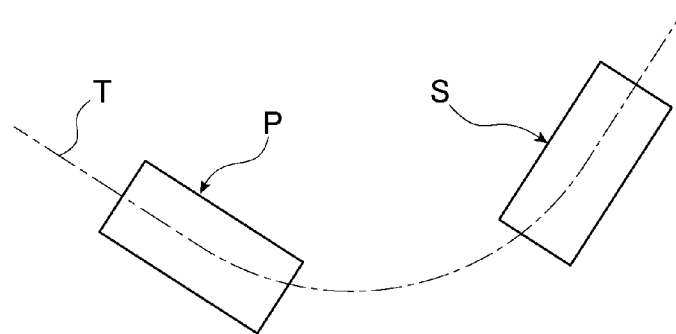


FIG. 6

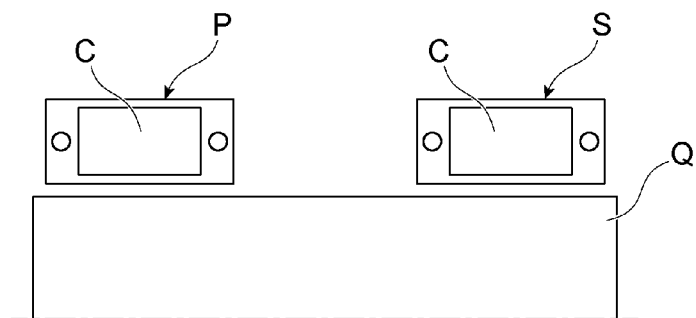


FIG. 7