

**DESCRIPTION****Titre : DISPOSITIF DE REDUCTION DE TRAINEE HYDRODYNAMIQUE****5           Domaine de l'invention**

Le domaine de l'invention concerne le domaine naval. Plus précisément, le domaine de l'invention concerne les dispositifs de réduction de la trainée hydrodynamique de navires. Le domaine de l'invention concerne donc le domaine de l'augmentation de l'efficacité énergétique des navires. Le  
10   domaine de l'invention concerne également le domaine des navires utilisant des piles à combustible afin de fournir l'énergie électrique alimentant les moteurs du véhicule.

**État de la technique**

15           Force de trainée est une force s'opposant au déplacement d'un objet immergé dans un fluide. Cette force est appliquée sur l'objet en mouvement dans le fluide par frottement du fluide sur l'objet.

La réduction de la force de trainée hydrodynamique permet donc d'augmenter les performances d'un navire en limitant l'énergie consommée  
20   par celle-ci. Ainsi, un dispositif de réduction de la trainée hydrodynamique permet d'augmenter le rendement du véhicule.

Il est connu de l'état de la technique que l'utilisation d'une couche d'air statique ou d'un flux d'air au contact de la coque du navire permet de diminuer les forces de frottement exercées par l'eau sur la coque.

25           Il existe notamment dans l'état de l'art des navires qui comportent dans leur coque une cavité aménagée permettant la création d'un coussin d'air qui vient recouvrir une partie de la surface de la coque qui serait autrement au contact de l'eau. Un tel dispositif est notamment connu du document US 2003/159637 A1. Un tel dispositif permet une réduction effective de la trainée  
30   hydrodynamique du navire. Cependant, ce type de dispositif est inefficace lorsque la houle est trop forte, car les vagues viennent « casser » le coussin d'air formé sous le navire. De plus, il faut utiliser un compresseur capable de fournir la pression nécessaire à la formation et au maintien du coussin d'air sous le navire. Le fonctionnement du compresseur étant énergivore, le  
35   rendement énergétique d'un tel dispositif est insuffisant. De plus, la présence

d'un compresseur augmente la masse du navire, ce qui participe à réduire l'efficacité énergétique de celui-ci.

Il est connu également d'utiliser des injecteurs situés sous la coque afin d'injecter de l'air directement au contact de celle-ci. Un tel dispositif est connu du document KR 2020 0011300 A1, qui divulgue un dispositif de diminution de la trainée hydrodynamique comprenant un injecteur placé sous la coque du navire. L'injecteur injecte une quantité d'air directement en contact avec la coque et l'eau, quantité d'air qui vient lubrifier la coque et réduire la force de trainée. Bien qu'efficace, un tel dispositif présente le désavantage de devoir utiliser de l'énergie pour le fonctionnement d'un compresseur utilisé pour injecter l'air. Une telle utilisation d'énergie fait drastiquement baisser le rendement d'un tel système. De plus, la présence d'un compresseur augmente la masse du navire, ce qui participe à réduire l'efficacité énergétique de celui-ci.

Il est également connu de l'état de la technique des navires utilisant une pile à combustible afin d'alimenter électriquement les moteurs de celui-ci. On connaît notamment des navires utilisant de l'hydrogène pour alimenter les piles à combustible et fournir de l'énergie électrique au moteur. Typiquement, une pile à combustible utilise la réaction chimique entre du dihydrogène fourni par un réservoir et du dioxygène se trouvant dans l'air ambiant pour fournir une quantité d'énergie électrique. Une pile à combustible rejette au cours de ce processus une quantité d'air chaud et humide dans l'environnement ambiant. La pile rejette également une quantité d'eau lors de la production d'énergie électrique. De tels navires présentent l'intérêt de fournir une motorisation limitant les émissions de gaz à effet de serre.

L'invention vise donc à fournir un dispositif de réduction de trainée hydrodynamique permettant de surmonter les inconvénients des dispositifs existants.

### **Résumé de l'invention**

A cet effet, l'invention concerne un dispositif de réduction de trainée hydrodynamique d'un navire qui comporte :

- une coque comprenant au moins un premier moyen d'injection d'un fluide ;
- une pile à combustible ; et

- un moyen d'acheminement d'une première quantité d'air rejetée par la pile à combustible vers au moins le premier moyen d'injection, le premier moyen d'injection étant agencé pour injecter ladite première quantité d'air le long d'une surface de la coque destinée à être immergée.

5 Le dispositif de réduction de trainée hydrodynamique selon l'invention permet avantageusement de bénéficier de la limitation d'émission des gaz à effet de serre en proposant l'utilisation d'une pile à combustible. De même, grâce à l'utilisation des moyens d'injections, le dispositif injecte une  
10 quantité d'air sous la coque qui diminue la trainée hydrodynamique du navire.

Enfin, le dispositif selon l'invention permet de réutiliser l'air s'échappant de la pile à combustible afin de l'injecter sous la coque. Cette disposition est particulièrement avantageuse, car elle permet d'éviter l'utilisation d'un compresseur dédié à l'injection de l'air sous la coque. De ce  
15 fait, le dispositif selon l'invention permet d'augmenter fortement le rendement énergétique des systèmes de réduction de trainée existants, car l'on fait l'économie de l'énergie utilisée par le compresseur. Le fait de ne pas avoir de compresseur dédié permet également de diminuer la masse du navire. La réduction de la masse du navire permet également une réduction de la  
20 consommation énergétique de celui-ci et donc une augmentation du rendement énergétique de celui-ci.

Selon un mode de réalisation, le premier moyen d'injection comporte un élément d'étanchéité pour limiter ou empêcher la remontée d'une quantité d'eau vers le moyen d'acheminement. Cette disposition permet  
25 d'empêcher une remontée de l'eau dans le moyen d'acheminement et/ ou dans la pile à combustible.

Selon un mode de réalisation, la première quantité d'air est injectée par les moyens d'injection sous forme de bulles d'air, lesdites bulles d'air ayant de préférence un diamètre inférieur à 5 millimètres. Les bulles d'air représentent  
30 un moyen efficace pour réduire la trainée hydrodynamique. Le diamètre de 5 millimètres correspond à l'épaisseur de la couche limite aux abords de la coque, il représente donc une dimension pour laquelle la réduction de trainée est très efficace.

Selon un mode de réalisation la première quantité d'air est injectée  
35 par les moyens d'injection sous forme de bulles d'air, lesdites bulles d'air ayant

de préférence un diamètre compris entre 0,4 millimètre et 1,3 millimètre. Ces valeurs de diamètre permettent une réduction efficace de la trainée hydrodynamique.

Selon un mode de réalisation, la coque comporte une aile d'eau destinée à être immergée et en ce que ladite aile d'eau comporte au moins un second moyen d'injection agencé pour injecter au moins une portion de la première quantité d'air. Cette disposition permet de réduire la trainée hydrodynamique sur un navire comportant une aile d'eau.

Selon un mode de réalisation, le second moyen d'injection de l'aile d'eau est agencé pour injecter la portion de la première quantité d'air le long d'une surface verticale de l'aile d'eau. Selon cette disposition, l'injection d'air sur les surfaces verticales permet de ne pas diminuer la portance de l'aile d'eau lorsque l'injection est effective.

Selon un mode de réalisation, la coque comporte une portion additionnelle formant un décrochement en amont du premier moyen d'injection, relativement au sens de déplacement du navire. Cette disposition permet de créer une dépression en aval de la partie additionnelle. Cette dépression permet d'aspirer l'air à travers le moyen d'injection pour l'injecter et réduire la trainée. Cette disposition permet également de créer localement un écoulement turbulent, ce qui renforce l'efficacité de l'air injecté pour réduire la trainée hydrodynamique.

Selon un mode de réalisation, le dispositif comporte un dispositif de contrôle commande du débit d'air dans le moyen d'acheminement. Cette disposition permet de contrôler le débit d'air injecté pour optimiser la réduction de la trainée hydrodynamique.

Selon un mode de réalisation, le moyen d'acheminement comporte au moins un capteur de débit d'air. Cette disposition permet de connaître le débit d'air dans le moyen d'acheminement. Elle permet également d'ajuster ce débit en prenant en compte sa valeur mesurée. Dans le cas où le dispositif selon l'invention comporte un dispositif de contrôle commande, l'information de débit permet fournir au dispositif de contrôle commande l'information de débit lui permettant de contrôler plus efficacement ledit débit.

Selon un mode de réalisation, le dispositif comprend un moyen de récupération d'une seconde quantité d'air issue du vent apparent du véhicule, ledit moyen de récupération étant apte à acheminer la seconde quantité d'air

vers le moyen d'acheminement. Cette disposition permet de compléter le débit d'air acheminé jusqu'au moyens d'injection avec du vent apparent.

Selon un aspect, l'invention concerne également un procédé de réduction de la trainée hydrodynamique d'un navire qui comporte les étapes

5 de :

- acheminement d'une première quantité d'air rejetée par une pile à combustible par un moyen d'acheminement vers un moyen d'injection compris par une coque ;

- injection de la première quantité d'air par le moyen d'injection le  
10 long d'une surface de la coque destinée à être immergée.

Le procédé selon l'invention permet avantageusement de bénéficier de la limitation d'émission des gaz à effet de serre en proposant l'utilisation d'une pile à combustible. De même, grâce à l'utilisation des moyens d'injections, la quantité d'air injectée sous la coque diminue la trainée  
15 hydrodynamique du navire.

Enfin, le procédé selon l'invention permet de réutiliser l'air s'échappant de la pile à combustible afin de l'injecter sous la coque. Cette disposition est particulièrement avantageuse, car elle permet d'éviter l'utilisation d'un compresseur dédié à l'injection de l'air sous la coque. De ce  
20 fait, le procédé selon l'invention permet d'augmenter fortement le rendement énergétique des systèmes de réduction de trainée existants, car l'on fait l'économie de l'énergie utilisée par le compresseur. Le fait de ne pas avoir de compresseur dédié permet également de diminuer la masse du navire. La réduction de la masse du navire permet également une réduction de la  
25 consommation énergétique de celui-ci et donc une augmentation du rendement énergétique de celui-ci.

### Brève description des figures

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront à  
30 la lecture de la description détaillée qui suit, en référence aux figures annexées, qui illustrent :

Fig. 1 : une vue schématique de profil d'un navire comportant un dispositif de réduction de trainée selon un premier mode de réalisation de l'invention.

Fig. 2 : une vue schématique de profil d'un navire comportant un dispositif de  
35 réduction de trainée selon un second mode de réalisation de l'invention.

Fig. 3 : une vue schématique en coupe partielle d'une coque d'un navire comportant un dispositif de réduction de trainée selon un troisième mode de réalisation de l'invention.

Fig. 4 : une vue en coupe d'une coque de navire selon un quatrième mode de

5 réalisation de l'invention.

### Description de l'invention

La figure 1 représente un premier mode de réalisation de l'invention. Cette figure est une vue schématique en coupe d'un navire 10  
10 comprenant un dispositif de réduction de trainée hydrodynamique selon l'invention. Par navire 10, on entend dans cette demande tout type de véhicule flottant. L'invention concerne donc à la fois des véhicules marins tels que des bateaux et des barges par exemple. Tout type d'engin flottant entre dans le cadre de l'invention. Les engins flottant et/ou submersibles entrent aussi dans  
15 le cadre de l'invention. Plus loin dans cette description, les termes navire 10 et de bateau 10 seront utilisés indifféremment.

Toutes les caractéristiques du dispositif de réduction de trainée hydrodynamique selon l'invention pourront s'appliquer également au procédé de réduction de trainée hydrodynamique selon l'invention.

20 Le navire 10 comporte une coque 20. La coque 20 est l'enveloppe extérieure du navire 10 qui est en contact avec l'eau sur laquelle le navire 10 flotte et/ou est immergé.

Le navire de la figure 1 comporte une pile à combustible 30. La pile à combustible 30 utilise de l'hydrogène pour produire de l'énergie électrique.  
25 Cette énergie électrique est utilisée pour alimenter le navire en énergie. L'énergie produite par la pile à combustible peut être utilisée pour alimenter un moteur électrique 30. Le moteur électrique 30 sert à propulser le navire 10. De manière alternative ou additionnelle, la pile à combustible 30 alimente en énergie électrique des systèmes de bord tels que des systèmes d'éclairage,  
30 de chauffage ou autres systèmes. L'invention concerne également des piles à combustibles qui n'utilise pas d'hydrogène. On peut donc avoir une pile à combustible fonctionnant avec du méthanol réformé ou du méthanol direct. On peut également prévoir une pile à combustible fonctionnant à l'hydrure de bore direct, à l'acide formique, à l'acide phosphorique, au carbonate fondu ou à la

céramique protonante. Tous les types de chimie des piles à combustible peuvent être envisagées.

Par pile à combustible 30, on entend l'ensemble système pile à combustible. Ainsi, on parle à la fois du cœur de la pile à combustible, soit un  
5 dispositif électrochimique qui produit de l'électricité en convertissant l'énergie chimique en énergie électrique grâce à une réaction chimique d'oxydoréduction, dans laquelle la génération d'une tension électrique se fait grâce à l'oxydation d'un combustible réducteur couplée à la réduction sur  
10 l'autre électrode d'un oxydant, tel que l'oxygène de l'air, et à la fois des systèmes auxiliaires de ladite pile à combustible, à savoir entre autres l'électronique de gestion de la pile et un compresseur chargé d'alimenter le cœur de la pile à combustible en air pour lui apporter de l'oxygène.

La pile à combustible 30 utilise une réaction chimique entre du dihydrogène et du dioxygène pris dans l'air ambiant pour produire de l'énergie  
15 électrique. Le fonctionnement de la pile à combustible 30 produit un dégagement d'air qui est habituellement relâché dans le milieu ambiant pour les bateaux à propulsion hydrogène. Dans le cas d'une pile à combustible n'étant pas alimentée avec de l'hydrogène, telle que les piles à combustible décrites plus haut, la pile à combustible rejette également de l'air en  
20 fonctionnant. Les caractéristiques décrites avant et après s'appliquent donc aussi aux piles à combustible autres que les piles à combustible à hydrogène.

Dans le cadre de l'invention, le dispositif de réduction de traînée hydrodynamique 40 comporte un moyen d'acheminement d'air 42. Le moyen d'acheminement de l'air 42 est aménagé en sortie de la pile à combustible 30.  
25 Ce moyen d'acheminement 42 recueille les gaz s'échappant de la pile à combustible 30 lors de son fonctionnement normal. Le moyen d'acheminement 42 est directement connecté à une sortie d'échappement de la pile à combustible 30.

Le moyen d'acheminement de l'air 42 est connecté à un moyen  
30 d'injection 50. Le moyen d'injection 50 est intégré à la coque 20. Le moyen d'injection 50 est configuré pour injecter l'air acheminé par le moyen d'acheminement 42. Pour ce faire, il injecte une quantité d'air 52 à proximité de la coque 20, en regard d'une surface la coque 20 qui est destinée à être immergée lorsque le bateau 10 navigue. Le moyen d'injection 50 est donc situé  
35 sous une ligne de flottaison du navire 10. Plus précisément, le moyen

d'injection 50 injecte l'air 52 à proximité d'une surface 22 de la coque 20 destinée à être immergée.

Décrivons maintenant le fonctionnement du système de réduction de trainée hydrodynamique 40.

5 Lorsque le navire 10 est en fonctionnement, la pile à combustible 30 produit de l'énergie électrique pour celui-ci. Lorsque celle-ci produit de l'énergie électrique, elle dégage une première quantité d'air. Cette première quantité d'air est l'échappement de la pile à combustible 30. La première quantité d'air est recueillie par le moyen d'acheminement 42. Le moyen  
10 d'acheminement 42 achemine la première quantité d'air vers le moyen d'injection 50. Ce moyen d'injection est situé sous la coque 20 du navire 10. Le moyen d'injection 50 injecte la première quantité d'air 52 en regard de la surface 22 de la coque 20 qui est destinée à être immergée. On le rappelle, par surface 22 de la coque 20 destinée à être immergée, on entend une  
15 surface 22 de la coque 20 placée sous la ligne de flottaison du navire 10.

Le dispositif de réduction de trainée hydrodynamique comprend donc la pile à combustible 30, le moyen d'acheminement 42, la coque 20 et le moyen d'injection 50.

Le dispositif de réduction de la trainée hydrodynamique selon  
20 l'invention permet donc de réutiliser l'air émanant de la pile à combustible lorsque celle-ci est en train de produire de l'énergie électrique. Par air émanant de la pile à combustible, on entend l'air produit lors de la réaction chimique se déroulant en son sein.

La réutilisation de la première quantité d'air, qui est acheminée vers  
25 le moyen d'injection 50, permet d'injection ladite quantité d'air à proximité de la coque 20. Cet air injection permet une « lubrification » de la coque 20 qui diminue la force de trainée hydrodynamique que l'eau applique sur la coque 20. Le dispositif 40 selon l'invention permet donc une réduction de trainée hydrodynamique qui permet une réduction de la consommation énergétique  
30 du navire 10. De plus, l'air étant issu directement de la pile à combustible, le dispositif 40 est donc dépourvu d'un moyen externe de mise sous pression de l'air pour effectuer l'injection. Ainsi, le dispositif 20 selon l'invention permet d'augmenter grandement le rendement disponible avec les dispositifs de l'art antérieur, car il ne consomme pas d'énergie pour injecter l'air, celui-ci étant un  
35 sous-produit de la production d'énergie électrique de la pile à combustible 30.

De plus, le dispositif de réduction de trainée selon l'invention permet de réduire la masse du navire 10 car un compresseur est un dispositif lourd. La réduction de masse permet aussi d'augmenter l'efficacité énergétique du navire 10. De manière alternative, le dispositif de réduction de trainée 40 peut comporter un compresseur additionnel. Le compresseur additionnel complète le débit d'air dans le moyen d'acheminement 42. De cette manière, si le débit et/ ou la pression d'air fournis par la pile à combustible 30 sont insuffisant, alors le compresseur additionnel fournit le débit et/ou la pression nécessaire. Malgré la présence du compresseur additionnel, le dispositif de réduction de trainée 40 permet tout de même d'améliorer le rendement énergétique par rapport à un dispositif de réduction de trainée classique car le compresseur additionnel nécessaire comporte une puissance et une masse plus faibles que celles du compresseur utilisé dans les dispositifs de l'art antérieur.

Le navire 10 peut comporter un réservoir à hydrogène 32. Dans l'exemple représenté en figure 1, le navire 10 comporte trois réservoirs d'hydrogène 32. Ces réservoirs 32 sont placés sur le toit du bateau 10. Les réservoirs à hydrogène 32 sont un moyen efficace pour stocker le dihydrogène, sous forme gazeuse et/ ou liquide, qui sera utilisé par la pile à combustible 30 pour son fonctionnement. Dans le cadre d'une pile à combustible fonctionnant autrement qu'avec de l'hydrogène, le réservoir 32 peut être utilisé pour stocker un autre gaz que du dihydrogène.

Le navire 10 peut avantageusement être un catamaran. Par catamaran on entend un navire comportant deux coques ou flotteurs. C'est notamment le cas pour les navires 10 présentés dans les figures de cette demande, où la partie de la coque 20 représentée est un des deux flotteurs que comporte ladite coque 20. Toutefois, l'invention concerne également les navires monocoques, ou les multi-coques. Ainsi, toutes les caractéristiques du dispositif de réduction de trainée 40 selon l'invention présentées dans cette demande s'appliquent indifféremment à des navires monocoques, des catamarans, des multicoques ou tout autre type de navire.

Le navire 10 peut comporter une cheminée d'échappement 37. La cheminée d'échappement permet d'évacuer une surpression de gaz qui se serait formée dans la pile à combustible 30. Cette cheminée 37 est liée à la pile à combustible et est utilisée en cas de surpression de la pile à combustible 30. La cheminée d'échappement 37 est également utilisée en cas de

surpression dans les systèmes de auxiliaires de la pile à combustible 30, tels que les systèmes de distribution ou les réservoirs par exemple.

Selon un aspect, la pile à combustible 30 alimente électriquement un moteur électrique 35. Ce moteur électrique 35 permet la propulsion du  
5 navire 10.

Selon un aspect, la pile à combustible 30 alimente électriquement une ou plusieurs batteries électriques qu'elle charge. Selon cet aspect, ce sont les batteries électriques qui alimentent électriquement le moteur électrique 35.

Selon un aspect, le navire 10 est un navire de transport de  
10 passagers. Selon cette caractéristique, les passagers sont transportés dans une cabine 12 du navire 10. De manière alternative ou additionnelle, le navire 10 est un navire dédié à un autre usage, par exemple le transport de charges, la pêche, la plaisance, les applications militaires. Cette liste des usages pour le bateau 10 n'est pas exhaustive.

15

#### **Acheminement de la première quantité d'air**

Selon un aspect, le moyen d'acheminement de l'air rejeté par la pile à combustible 30 est un conduit. Par conduit, on entend tout type de moyen tel qu'un tuyau ou un ensemble de tuyaux liés entre eux. De manière  
20 alternative ou additionnelle, le moyen d'acheminement 42 est un tube, de préférence un tube flexible. Le moyen d'acheminement 42 peut aussi être un ensemble de tubes reliés entre eux. On peut par exemple prévoir un moyen d'acheminement comportant un tube rigide et un tube flexible placés en série.

Selon un aspect, le moyen d'acheminement 42 comporte sur son  
25 passage un échangeur thermique 44. L'échangeur thermique 44 récupère de la chaleur de la première quantité d'air rejetée par la pile à combustible 30. On peut noter que l'air rejeté par la pile à combustible 30 est chaud. Avantageusement, la chaleur récupérée par l'échangeur thermique 30 est utilisée pour chauffer la cabine 12 du navire 10.

Selon un aspect, le dispositif de réduction de trainée hydrodynamique comporte un dispositif de contrôle commande du débit de l'air  
30 acheminé par le moyen d'acheminement 42. Selon cet aspect, le dispositif de contrôle commande permet de contrôler le débit passant par le moyen d'acheminement 42. Cette disposition permet de contrôler un débit d'air  
35 sortant de la pile à combustible 30. Cette disposition permet également de

contrôler le débit d'air injecté par le moyen d'injection 50. Ainsi, on peut contrôler le débit d'air injecté pour optimiser la lubrification de la coque 20 par l'air. Selon un aspect, le moyen d'acheminement 42 comporte un échappement (non représenté sur les figures) qui permet de relâcher un surplus de débit d'air. De cette manière, si le débit d'air sortant de la pile à combustible 30 est plus important que celui souhaité pour la lubrification, il est possible de relâcher une partie de ce débit dans l'air environnant ou dans l'eau environnante pour adapter le débit relâché par le moyen d'injection 50.

Selon un aspect, le dispositif contrôle commande contrôle également le fonctionnement de la pile à combustible 30. Il peut par exemple contrôler la puissance produite par la pile à combustible 30, ainsi que son alimentation en réactifs tels que l'hydrogène. Le dispositif de contrôle commande peut également être utilisé pour contrôler d'autres éléments du navire 10 en plus du dispositif de réduction de trainée 10.

Selon un aspect, le dispositif de réduction de trainée hydrodynamique 10 comporte au moins un capteur de débit 46. Le capteur de débit 46 mesure un débit d'air. Le capteur de débit 46 peut être placé en sortie de la pile à combustible 30. Le capteur de débit peut par exemple être compris par le moyen d'acheminement de l'air 42. Il peut par exemple être placé pour mesurer le débit d'air dans le moyen d'acheminement 42 en sortie de la pile à combustible 30. On peut également prévoir un capteur de débit 46 en sortie du moyen d'acheminement 42, avant le moyen d'injection 50. Selon un aspect, le dispositif 10 comporte plusieurs capteurs de débits 46. Ces capteurs peuvent par exemple être placés en entrée et en sortie du moyen d'acheminement 42.

Selon un aspect, le dispositif de réduction de trainée hydrodynamique 10 comporte au moins un capteur de pression 48. Le capteur de pression 48 mesure la pression de l'air. Le capteur de pression 48 peut être placé en sortie de la pile à combustible 30. Le capteur de pression 48 peut par exemple être compris par le moyen d'acheminement de l'air 42. Il peut par exemple être placé pour mesurer la pression d'air dans le moyen d'acheminement 42 en sortie de la pile à combustible 30. On peut également prévoir un capteur de pression 48 en sortie du moyen d'acheminement 42, avant le moyen d'injection 50. Selon un aspect, le dispositif 10 comporte

plusieurs capteurs de pression 48. Ces capteurs de pression 48 peuvent par exemple être placés en entrée et en sortie du moyen d'acheminement 42.

Selon un aspect, le moyen d'acheminement 42 comporte au moins un capteur de pression 48 et au moins un capteur de débit 46. Selon le mode  
5 de réalisation représenté en figure 1, le moyen d'acheminement 42 comporte un capteur de débit 46 et un capteur de pression 48 en sortie de la pile à combustible 30. Selon ce mode de réalisation, le moyen d'acheminement 42 comporte également un capteur de débit 46 et un capteur de pression 48 en sortie du moyen d'acheminement 42, en amont du moyen d'injection 50.

10 Selon un aspect de l'invention, le dispositif de réduction de la trainée hydrodynamique 40 comporte un système de contrôle commande du débit d'air. Selon cet aspect, le dispositif 40 comporte au moins un capteur de pression 48 et un capteur de débit 46. Selon cet aspect, le dispositif 40 comporte également au moins un échappement tel que décrit plus haut. Selon  
15 cet aspect, le dispositif de contrôle commande peut ouvrir l'échappement en fonction des informations de pression et/ou de débit transmises par les capteurs 46, 48. Cette disposition permet une ouverture automatique du circuit en cas de surpression par exemple.

Selon un aspect, le dispositif de réduction de trainée 40 comporte  
20 un calculateur. Le calculateur est configuré pour commander l'ouverture de l'échappement en fonction des données de pression du ou des capteurs de pression 48. Le calculateur peut également commander l'ouverture de l'échappement en fonction des données de débit des capteurs de débit 46.

### 25 **Captation du vent apparent**

Selon un mode de réalisation présenté à la figure 3, le dispositif de réduction de trainée 40 comporte un moyen de récupération 43 d'air issu du vent apparent du navire 10. Par vent apparent, on entend le vent ressenti à  
30 bord du navire 10 lorsque celui-ci se déplace. Le vent apparent est la composition du vent réel et du vent relatif créée par le déplacement du navire 10.

Le moyen de récupération du vent apparent 43 est situé sur le navire 10 à un niveau qui est au-dessus de la ligne de flottaison dudit navire 10. Ainsi, le moyen de récupération 43 récupère le vent apparent et non de  
35 l'eau.

Le moyen de récupération 43 achemine une seconde quantité d'air vers le moyen d'acheminement 42. De cette manière, la seconde quantité d'air s'ajoute à la première quantité d'air issue de la pile à combustible 30. Ainsi, on peut augmenter le débit d'air acheminé vers le ou les moyens d'injection 50.

- 5 De même, si la pile à combustible 30 ne fournit pas assez d'air pour assurer une réduction de trainée suffisante, on peut ajouter la seconde quantité d'air pour injecter suffisamment d'air.

- Selon un aspect, le moyen de récupération 43 comporte une ouverture 45 par laquelle le vent apparent est recueilli. Cette ouverture 45 peut  
10 être une ouïe donnant sur l'air extérieur.

Selon un aspect, le moyen de récupération 43 comprend un tube ou un tuyau. Ce tube ou ce tuyau peut être rigide ou flexible. Il relie l'ouverture 45 ou l'ouïe du moyen de récupération 43 au moyen d'acheminement 42.

- Selon un aspect, le moyen de récupération 43 est lié au moyen  
15 d'acheminement 42 au niveau d'une jonction 47.

- Selon un aspect, le moyen de récupération 43 comprend une réduction de section 49. Selon cette disposition le tube ou le tuyau du moyen de récupération 43 comprend une section normale. La section normale est sensiblement constante le long du tube ou du tuyau. Au niveau de la réduction  
20 de section 49, celle-ci se rétrécit. Cette disposition permet, par effet venturi, d'accélérer l'écoulement de l'air dans le moyen de récupération 43.

- Selon un aspect, la jonction 47 entre le moyen d'acheminement 42 et le moyen de récupération 43 est située au niveau de la réduction de section 49 du moyen de récupération 43. Cette disposition est visible en figure 3. Cette  
25 disposition permet une accélération de l'écoulement de la première quantité d'air issue du moyen d'acheminement 42, par effet venturi.

- Selon un aspect, la jonction 47 est située au niveau de la réduction de section 41 du moyen d'acheminement. Cette disposition permet une accélération de l'écoulement de la seconde quantité d'air issue du moyen de  
30 récupération 43, par effet venturi.

Selon un mode de réalisation, le moyen de récupération 43 comprend au moins un capteur de pression (non représenté). Le capteur de pression permet de mesurer la pression de l'air dans le moyen de récupération 43.

Selon un mode de réalisation, le moyen de récupération 43 comprend au moins un capteur de débit (non représenté). Le capteur de débit permet de mesurer le débit d'air dans le moyen de récupération 43.

Selon un aspect, le capteur de débit du moyen de récupération 43 et/ou le capteur de pression du moyen de récupération 43 sont connectés au système de contrôle commande. Ce système peut contrôler l'ouverture ou la fermeture du moyen de récupération 43 pour contrôler le débit d'air arrivant de celui-ci dans le moyen d'acheminement 42.

Toutes les dispositions décrites ici concernant le moyen de récupération du vent apparent 43 sont compatibles avec les caractéristiques décrites dans les autres modes de réalisation.

### **Injection de l'air**

Comme dit précédemment, le dispositif de réduction de trainée 40 comporte au moins un moyen d'injection 50 de l'air.

Par moyen d'injection 50, on entend par exemple un injecteur 50. Le moyen d'injection peut également être une ouverture du moyen d'acheminement 42 au niveau de la coque 20 du navire 10.

Selon une disposition, la coque 20 comporte une pluralité de moyens d'injection 50, en plus du moyen d'injection 50 représenté sur la figure 1. Par exemple, la coque 50 peut comporter deux moyens d'injection 50, l'un situé légèrement à bâbord, relativement à un axe longitudinal de la coque du navire 10, et un autre à tribord. De cette manière, les parties immergées de la coque 50 sont lubrifiées par l'air injecté sur toute la largeur de la coque 50. On peut également prévoir plusieurs moyens d'injection 50 sur un axe allant de la proue à la poupe du navire 10. Selon un aspect, la pluralité de moyens d'injection 50 recouvre une grande partie de la surface 22 destinée à être immergée de la coque 20. Lorsque le système de réduction de trainée 40 comporte plusieurs moyens d'injection 50, le moyen d'acheminement 42 comporte plusieurs ramifications pour alimenter en air tous les moyens d'injection 50.

On peut également prévoir une pluralité de moyens d'injection 50 placés le long de la surface 22 de la coque 20 destinée à être immergée. Par exemple, on peut avoir une pluralité de moyens d'injection 50 alignés suivant deux lignes formant à elles deux un « V » sous la coque 20. La pointe du « V »

peut pointer soit vers la proue du navire 10, soit vers la poupe de celui-ci. On peut également prévoir plusieurs moyens d'injection 50 agencés selon une ligne de la coque 20 perpendiculaire à l'axe longitudinal du navire 10. On peut également prévoir plusieurs lignes de moyens d'injection 50 le long de la

5 coque 20. On peut par exemple prévoir deux lignes parallèles comportant chacune une pluralité de moyens d'injection 50, les deux lignes étant perpendiculaires à l'axe longitudinal du navire 10. Le nombre de moyens d'injection 50 le long de chaque ligne peut varier d'une ligne à l'autre. On peut par exemple avoir dix moyens d'injection 50 par ligne. On peut également avoir

10 une ligne avec dix moyens d'injection 50, et une autre ligne avec 5 moyens d'injection 50.

Le nombre et la répartition des moyens d'injection 50 reste à la discrétion de l'homme du métier, afin de maximiser l'efficacité de la réduction de la trainée hydrodynamique.

15 Selon un mode de réalisation, la surface destinée à être immergée 22 de la coque 20 comporte un fond sensiblement plat. Selon cette disposition, le fond plat permet de garder le flux d'air injecté sous la coque. De cette manière, l'air ne remonte pas à la surface de l'eau par les côtés de la coque 20. Ainsi, le flux d'air injecté recouvre une surface plus grande au lieu de

20 s'échapper sur les bords. De cette manière, une plus grande partie de la surface destinée à être immergée 22 est recouverte par le flux d'air. La lubrification de la coque 20 est donc plus efficace.

Selon un aspect, le moyen d'injection 50 comporte un moyen anti-retour. Le moyen anti-retour est un dispositif empêchant la remontée de l'eau

25 depuis l'extérieur du navire 10 par le moyen d'acheminement 42. Cette disposition permet d'empêcher une remontée de l'eau vers l'intérieur du navire, et en particulier vers la pile à combustible 30.

Selon un aspect, le moyen anti-retour est un clapet anti-retour. De manière alternative, le moyen anti-retour est une vanne, de préférence une

30 électrovanne commandée par le système de contrôle commande.

Selon un aspect, le moyen d'injection 50 ne comporte pas de moyen anti-retour. Selon cette variante, l'eau extérieure peut pénétrer dans le moyen d'acheminement 42. Lorsque l'air n'est pas injecté, l'eau remonte donc dans le moyen d'acheminement 42 jusqu'à la ligne de flottaison du navire 10.

Lorsque le dispositif de réduction de trainée 40 est mis en marche, l'air injecté chasse l'eau du moyen d'acheminement 42.

Selon un aspect, l'air injecté par le ou les moyens d'injection 50 est injecté sous forme de bulles d'air. Les bulles d'air sont un moyen très efficace  
5 de lubrification par air de la coque 20.

Selon un aspect, les bulles d'air injectées ont un diamètre compris entre 0,1 millimètre et 100 millimètres. Selon un aspect, les bulles d'air injectées ont un diamètre compris entre 0,2 millimètres et 20 millimètres.

Selon un aspect, les bulles d'air ont un diamètre inférieur à 5  
10 millimètres. Selon cette disposition, les bulles d'air ont donc un diamètre qui est inférieur à 5 millimètres, distance correspondant à l'épaisseur de la couche limite d'écoulement du fluide aux abords de la coque 20.

Selon un aspect, les bulles d'air injectées ont un diamètre moyen compris entre 0,4 millimètre et 1,3 millimètre. Des bulles dans cette gamme de  
15 diamètres ont une grande efficacité pour diminuer la trainée hydrodynamique.

Selon un mode de réalisation, les bulles injectées forment une nappe d'air sous la coque du navire. Selon un mode de réalisation, les bulles d'air sont injectées à un débit suffisant pour que celles-ci fusionnent après leur sortie du moyen d'injection. Une telle disposition permet de former une nappe  
20 d'air sous la coque, nappe qui permet de très fortement diminuer les frottements sur ladite coque. De ce fait, la trainée hydrodynamique est très fortement diminuée.

Selon un mode de réalisation, les bulles d'air forment une couche mixte sous la coque. Par couche mixte on entend une couche comprenant des  
25 parties dans laquelle elle est sous forme de nappe et des parties dans lesquelles elle est sous forme de bulles. Cette disposition permet de réduire les frottements sur la coque du navire tout en nécessitant un débit d'air injecté moins important que dans le cas d'une nappe.

Selon un aspect, le moyen d'injection 50 comporte une buse  
30 adaptable. Selon cet aspect, la buse a une forme qui est adaptable pour adapter l'injection de l'air. Selon un aspect, le diamètre de la buse est adaptable. Selon cet aspect, le diamètre de la buse s'adapte pour contrôler la taille des bulles d'air injectées. Selon un aspect, l'adaptation de la buse est contrôlée par le dispositif de contrôle commande. De cette manière, le  
35 dispositif de contrôle commande peut contrôler l'injection de l'air. De manière

préférée, le dispositif de contrôle commande contrôle le diamètre de la buse. Ainsi, le diamètre des bulles d'air est contrôlé directement par le dispositif de contrôle commande.

## 5                   **Ailes d'eau**

Selon un mode de réalisation, la coque 20 comporte au moins une aile d'eau 60. La coque peut comporter additionnellement une, deux, trois, quatre ou plus ailes d'eau 60 additionnelles. Une aile d'eau 60 est une pièce de la coque 20 comportant un profil hydrodynamique permettant de surélever  
10 le navire 10 lorsque celui-ci est en mouvement. Ce type de dispositif est également souvent appelé « hydrofoil » ou « foil ».

La surélévation du navire 10 lors de son déplacement permet de diminuer la surface et le volume du navire qui est dans l'eau. Ainsi, ce type de dispositif permet de diminuer les forces s'opposant au mouvement du navire  
15 10 par l'eau environnante.

La figure 2 illustre le cas d'une coque 20 comportant deux ailes d'eau 60. La figure 2 représente également une ligne de flottaison 70 du navire. Cette ligne de flottaison 70 se situe plus bas sur la coque 30 que la ligne de flottaison du navire 10 à l'arrêt, sous l'effet de l'aile d'eau 60. Ainsi,  
20 lorsque le bateau 10 est en mouvement et à sa ligne de flottaison au niveau de la ligne de flottaison en mode archimédien 70, les forces de l'eau s'opposant à son mouvement sont plus faibles que sans aile d'eau 60.

Selon un aspect, l'aile d'eau 60 comporte au moins un moyen d'injection 50 de l'air acheminé par le moyen d'acheminement 42. Le moyen  
25 d'injection 50 de l'aile d'eau 60 permet de lubrifier la surface de l'aile d'eau 60. Cette disposition permet d'augmenter l'efficacité du dispositif de réduction de trainée 40 en réduisant la trainée hydrodynamique subie par l'aile d'eau 60. Lorsque la coque 20 comporte plusieurs ailes d'eau 60, chacune d'entre elles peut comporter au moins un moyen d'injection 50.

Selon un aspect, le ou les moyens d'injection 50 de la ou les ailes d'eau 60 sont situés uniquement sur des parties verticales de l'aile d'eau. Selon cette disposition, l'air injecté au voisinage de l'aile d'eau 60 ne concerne pas le voisinage de partie horizontale de celle-ci. Les parties horizontales de l'aile d'eau sont responsables de la portance de ladite aile d'eau 60. En  
35 d'autres termes, ce sont les parties horizontales de l'aile d'eau 60 qui

permettent de surélever le navire 10 lorsque celui-ci est en mouvement. Ne pas lubrifier ces parties avec de l'air injecter permet de ne pas diminuer la portance impliquée par lesdites ailes d'eau 60. Ainsi, on ne limite l'effet de surélévation des ailes d'eau 60.

5            Selon un aspect, le système de contrôle commande permet d'arrêter l'injection d'air au niveau d'un ou plusieurs moyens d'injection 50.

            Selon un aspect, le système de contrôle commande peut contrôler la fermeture de vannes du moyen d'acheminement 42. Ainsi, le système de contrôle commande peut arrêter l'injection d'air dans les moyens d'injection 50  
10    désirés.

### **Aménagement de la coque**

            Selon un aspect de l'invention, la coque 20 comporte un décrochement 24. Ce décrochement 24 est visible sur la figure 3. Le  
15    décrochement 24 est une marche dans la coque 24 comportant une surface qui est verticale lorsque le navire 10 est sur l'eau. La surface verticale du décrochement 24 est orientée sur un côté libre en direction de l'arrière du navire 10.

            Selon un aspect, le ou les moyens d'injection 50 sont placés sur la  
20    surface verticale du décrochement 24. De cette manière, les moyens d'injection 50 injectent l'air dans l'eau suivant une direction allant de l'avant vers l'arrière du bateau 10. Le décrochement 24 permet avantageusement, lorsque le bateau 10 est en mouvement, de créer une dépression d'eau derrière ledit décrochement 24. Cette dépression aspire l'air du moyen  
25    d'acheminement 42 par le moyen d'injection 50. Cette disposition permet donc de faciliter l'injection de l'air. De plus, le décrochement 24 permet de rendre l'écoulement de l'eau à proximité du décrochement 24 turbulent. Créer un écoulement turbulent à proximité et derrière le décrochement 24 permet de faire osciller les bulles d'air injectées long de la coque 30. L'oscillation des  
30    bulles d'air injectées permet d'augmenter l'efficacité de la lubrification et donc l'efficacité du dispositif de réduction de trainée 40.

            Selon un aspect, la coque 20 comporte un renforcement 26. Le renforcement 26 est une partie de la coque 20 qui est enfoncée vers l'intérieur de la coque 26. Avantageusement, le renforcement 26 comprend le  
35    décrochement 24. Il est également formé d'au moins deux autres

décrochements latéraux. Le renforcement 26 forme une cavité dans la surface 22 de la coque 20 qui retient l'air injecté au contact de la coque 20, l'empêchant de remonter sur les côtés de la coque 20. De cette manière, l'air injecté suit la coque sur tout son long. Ainsi, l'arrière de la coque 20 est bien  
5 lubrifié par l'air injecté. Le renforcement 26 forme donc un canal pour l'air injecté.

Selon une disposition, la coque 20 comporte au moins une réglette disposée sur sa surface 22. Par réglette, on entend une forme de boudin faisant saillie de la coque 20. La saillie est de préférence d'une faible hauteur,  
10 permettant ainsi de rendre l'écoulement de l'eau en aval de la réglette turbulent. En d'autres termes, la réglette a une forme de boudin ou de demi-boudin agencé sur la coque 20. On peut aussi prévoir une ou plusieurs réglettes ayant une forme de demi-cylindre. La réglette a de préférence une forme carénée. Par forme carénée, on entend une forme qui n'oppose que peu  
15 de résistance à l'écoulement d'un fluide avoisinant la forme. De préférence, cette réglette est située directement en amont d'un ou des moyens d'injection 50. Cette réglette peut également être située directement en aval du ou des moyens d'injection 50. La réglette permet avantageusement de rendre  
20 rend donc plus efficace la lubrification par l'air injecté. De manière additionnelle, la coque 20 peut comporter une pluralité de réglettes qui sont situées en amont et en aval de chaque moyen d'injection 50. On peut également prévoir des réglettes en aval de moyens d'injection 50, mais situées plus loin de ceux-ci. Ces réglettes peuvent empêcher l'écoulement au contact  
25 de la coque de devenir laminaire, dans le but de conserver un écoulement turbulent au contact de la coque tout le long du passage de l'air injecté.

Nomenclature :

- 10 : Navire
- 12 : Cabine
- 5 20 : Coque
- 22 : Surface de la coque destinée à être immergée
- 24 : Décrochement de la coque
- 26 : Renforcement de la coque
- 30 : Pile à combustible
- 10 32 : Réservoir d'hydrogène
- 35 : Moteur
- 37 : Cheminée d'échappement
- 40 : Dispositif de réduction de trainée hydrodynamique
- 42 : Moyen d'acheminement de l'air rejeté par la pile
- 15 43 : Moyen de récupération du vent apparent
- 44 : Echangeur thermique
- 45 : Ouverture du moyen de récupération du vent apparent
- 46 : Capteur de débit d'air
- 47 : Jonction
- 20 48 : Capteur de pression
- 49 : Réduction de section du moyen de récupération du vent apparent
- 50 : Moyen d'injection de la première quantité d'air
- 52 : Air injecté par le moyen d'injection
- 60 : Aile d'eau
- 25 70 : Ligne de flottaison

## REVENDICATIONS

1. Dispositif de réduction de trainée hydrodynamique (40) d'un navire (10) caractérisé en ce qu'il comporte :
  - 5       ▪ une coque (20) comprenant au moins un premier moyen d'injection (50) d'un fluide ;
  - une pile à combustible (30) ; et
  - un moyen d'acheminement (42) d'une première quantité d'air rejetée par la pile à combustible (30) vers au moins le premier
  - 10       moyen d'injection (50), le premier moyen d'injection (50) étant agencé pour injecter ladite première quantité d'air le long d'une surface (22) de la coque (20) destinée à être immergée.
2. Dispositif (40) selon la revendication précédente caractérisé en ce que le premier moyen d'injection (50) comporte un élément d'étanchéité  
15       pour limiter ou empêcher la remontée d'une quantité d'eau vers le moyen d'acheminement (42).
3. Dispositif (40) selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que la première quantité d'air est injectée par les moyens d'injection (50) sous forme de bulles d'air, lesdites bulles d'air  
20       ayant de préférence un diamètre inférieur à 5 millimètres.
4. Dispositif (40) selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que la coque (20) comporte une aile d'eau (60) destinée à être immergée et en ce que ladite aile d'eau (60) comporte au moins un second moyen d'injection (50) agencé pour injecter au  
25       moins une portion de la première quantité d'air.
5. Dispositif (40) selon la revendication précédente caractérisé en ce que le second moyen d'injection (50) de l'aile d'eau (60) est agencé pour injecter la portion de la première quantité d'air le long d'une surface verticale de l'aile d'eau (60).
- 30   6. Dispositif (40) selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que la coque (20) comporte une portion additionnelle

formant un décrochement en amont du premier moyen d'injection (50),  
relativement au sens de déplacement du navire (10).

- 5 7. Dispositif (40) selon l'une quelconque des revendications précédentes  
caractérisé en ce qu'il comporte un dispositif de contrôle commande du  
débit d'air dans le moyen d'acheminement (42).
8. Dispositif (40) selon l'une quelconque des revendications précédentes  
caractérisé en ce que le moyen d'acheminement (42) comporte au  
moins un capteur de débit d'air (46).
- 10 9. Dispositif (40) selon l'une quelconque des revendications précédentes  
caractérisé en ce qu'il comprend un moyen de récupération (43) d'une  
seconde quantité d'air issue du vent apparent du navire (10), ledit  
moyen de récupération (43) étant apte à acheminer la seconde quantité  
d'air vers le moyen d'acheminement (42).
- 15 10. Procédé de réduction de la trainée hydrodynamique d'un navire (10)  
caractérisé en ce qu'il comporte les étapes de :
  - Acheminement d'une première quantité d'air rejetée par une pile  
à combustible (30) par un moyen d'acheminement (42) vers un  
moyen d'injection (50) compris par une coque (20) ;
  - 20 ▪ Injection de la première quantité d'air par le moyen d'injection  
(50) le long d'une surface (22) de la coque (20) destinée à être  
immergée.