

Description

Titre : Robot pour la rénovation par décapage et/ou revêtement de peinture, et/ou l'inspection d'une paroi de grande surface et/ou de hauteur élevée, Procédé de fonctionnement associé et application au décapage et à la peinture de coques de navire.

5 Domaine technique

La présente invention concerne le domaine général d'inspection et/ou de rénovation par traitement de surface et la peinture d'ouvrages/objets de grandes dimensions.

Elle concerne plus particulièrement le domaine de la rénovation par décapage et le cas échéant revêtement de peinture d'une paroi de grande surface et/ou de hauteur élevée, en particulier des coques de navires.

Par « paroi de grande surface et/ou hauteur élevée », on entend n'importe quel objet dont l'inspection et/ou la rénovation ne peut être effectuée par un individu seul et nécessite usuellement au moins la mise en œuvre d'un échafaudage et/ou tout moyen de manutention pour déplacer un individu.

La présente invention vise plus particulièrement à proposer un robot autonome destiné à la rénovation et/ou inspection d'une telle paroi, afin de diminuer les temps d'intervention et les coûts afférents.

Bien que décrite en référence à une application avantageuse de rénovation d'une coque de navire l'invention s'applique à tout robot destiné à tout type d'inspections et/ou de travaux de réparation d'ouvrages de grandes dimensions.

Technique antérieure

Il est nécessaire d'entretenir régulièrement les coques de navires doivent subir après une durée de mise en service, généralement une opération de maintenance impliquant pluralité de travaux destinés à leur (re)donner l'aspect esthétique souhaité, tels que le ponçage, le grenaillage, le surfaçage et la peinture.

Cette opération de maintenance, de par son caractère obligatoire, impose la mise en cale sèche des navires.

En substance, il s'agit d'éliminer le revêtement extérieur existant ainsi que les éventuelles oxydations et à le remplacer par un nouveau.

En général, l'entretien ou rénovation consiste à réaliser une préparation de surface en adéquation avec l'application d'un nouveau revêtement de peinture. Cette préparation peut par exemple consister en un décapage avec une projection d'abrasif, aussi généralement appelé grenaillage, ou une projection d'eau sous ultra haute pression (UHP) qui permet de

créer une certaine rugosité de surface pour l'accroche et l'application d'un nouveau revêtement de peinture.

Chaque étape de process d'une rénovation d'un navire donné doit être réalisée alors que ce dernier est avec un soin extrême afin d'éviter la présence de défauts pouvant altérer
5 considérablement la qualité esthétique finale.

Bien que nombreux et variés dans leur contraintes et leurs mises en œuvre, tous les chantiers navals exécutant un process de rénovation d'une coque de navire sont confrontées aux mêmes défis: des coûts de réparation élevés, de grandes interruptions de service, l'impact majeur sur le navire, la sécurité du personnel, et l'efficacité de la réparation.

10 Jusqu'à présent, les différentes étapes de rénovation sont usuellement réalisées à la main par des opérateurs ou à l'aide de plusieurs outils appropriés pour décaper les revêtements et pulvériser la peinture sur la surface des coques souhaitée.

Ces étapes manuelles présentent un certain nombre d'inconvénients majeurs.

Tout d'abord, chacune d'entre elles requiert une durée d'exécution qui est élevée ce qui a un
15 impact sur le coût final du travail. Ainsi, chaque étape doit être relativement précise car les outils utilisés, par exemple pour le décapage les lances à eau sous ultra haute pression (UHP), à environ 3000 bars ou les lances de grenailage, ont une zone d'action relativement limitée et l'attention de l'opérateur doit être soutenue. Il en résulte que ces opérations peuvent prendre un temps considérable à la fois pour le travail et les vérifications d'autant plus que
20 les surfaces de coques de navire sont très grandes.

Ensuite, l'efficacité des étapes dépend fortement des compétences des opérateurs qui les réalisent.

Également, en ce qui concerne l'étape de peinture, celle-ci est mise en œuvre à l'aide d'un outil de pulvérisation de peinture qui génère une atomisation des particules de peinture dont
25 une partie des n'adhère pas à la surface à peindre, se dispersant de fait dans l'environnement. Étant donné que les peintures anti-corrosion utilisées pour ces applications contiennent généralement des substances toxiques ou polluantes, il est facile de comprendre en quoi leur dispersion peut être nocive pour l'environnement et les personnes travaillant à proximité des zones de peinture.

30 À ce sujet, les normes communautaires récentes prévoient des mesures de plus en plus restrictives en ce qui concerne l'émission de telles substances dans l'environnement.

La demanderesse a donc souhaité automatiser cet entretien ou rénovation de ces coques de navire et mettre en œuvre un robot qui puisse effectuer ces opérations de rénovation.

Toutefois, le cahier des charges imposé pour un tel robot est strict et conséquent, du fait notamment des contraintes fortes intrinsèques à la mise en cale sèche des navires.

Les inventeurs de la présente invention ont ainsi fait l'inventaire des solutions existantes.

Ils sont tout d'abord parvenus à la conclusion qu'aucun des systèmes robotisés ou mécanisés
5 existant n'était en mesure de satisfaire à toutes les exigences requises pour la rénovation des coques de navires.

Certains dispositifs pour peindre des coques de navires ou analogues sont connus des documents brevets.

WO01/34309 décrit un dispositif de pulvérisation de peinture sur une coque de navire en
10 cale sèche, comprenant une rangée de buses de pulvérisation logées dans une cloche montée en bout de bras télescopique lui-même monté pivotant sur un châssis qui peut se déplacer en translation sur un rail le long de la coque.

US5398632 propose un système d'échafaudage posé en fond de cale autour de la coque avec des nacelles qui peuvent de déplacer en altitude et en rapprochement/éloignement de la
15 coque et dans lesquelles des peintres peuvent s'installer.

US4890567 décrit un système de nettoyage avec une tête de nettoyage qui peut se déplacer et être fixé à la coque de navires par pistes électromagnétiques et qui intègre des moyens de nettoyage par application d'ultrasons.

EP2090506B1 divulgue une plateforme avec deux trains de roues et double-pont élévateur
20 de type à ciseaux supportant une table allongée munie d'un rail de déplacement sur lequel un robot six-axes portant un pistolet de peinture, peut venir coulisser pour peindre la surface d'une coque de navire.

CN105643587 divulgue un système de peinture de coques de navire avec un robot six-axes portant l'outil de peinture monté en bout de bras articulé d'une nacelle qui se déplace en
25 fond de cale.

CN2019158233 divulgue un système de robot de peinture de type à déplacement par câbles le long des coques de navires, dans lequel les châssis supportant les moteurs de déplacement et les câbles sont installés in-situ dans et autour de la cale sèche, le déplacement en altitude les buses de pulvérisation de peinture étant assuré par les câbles tandis que celui à
30 l'horizontal est assuré par un bras télescopique supportant lesdites buses.

CN108942897 divulgue un système de peinture de coques de navire comprenant une tête robotisée de peinture à déplacement par câble le long des coques de navires, les câbles étant fixés sur deux bogies, l'un se déplaçant au sol l'autre sur le dessus du navire.

CN108313237 divulgue un système de grenaillage de coques de navire comprenant un robot qui se déplace par un treuil embarqué sur le navire et qui se fixe à la surface de la coque par aspiration avec ventouses.

5 CN107253147 et CN107081771 décrivent chacun un système de décapage par sablage comprenant un robot de sablage qui se déplace en roulant sur la coque du navire et est maintenu par aimants permanents, avec un point d'ancrage sur la coque et un treuil par câble pour le déplacement.

KR101444392B1 concerne un système d'application de peinture avec un robot 6 axes montée en bout de bras de grue.

10 WO2012/080448 divulgue un système complet de maintenance (nettoyage UHP, peinture) avec une tour d'échafaudage à proximité de la coque sur lequel peut se déplacer à la verticale un système de bras télescopique qui supporte les outils de travail.

WO2010/057942 divulgue un système analogue à WO2012/080448, aux différences essentielles que la tour d'échafaudage porte plusieurs cabines de travail dont une pilotée directement par un individu à l'intérieur et qui porte un bras articulé supportant les outils de travail.

WO2018/209367 décrit un système de rails assemblés les uns aux autres pour déplacer le long d'une coque de navire des ensembles de maintenance (nettoyage, peinture) de la coque. EP2618942B1 divulgue la mise en œuvre d'un robot 6 axes qui porte un pistolet de peinture et qui est supporté par la nacelle d'une plate-forme élévatrice à des fins de peinture de coques de navire en cale sèche. La nacelle est équipée de capteurs de distance pour mesurer la distance de cette dernière par rapport à la surface de coque à peindre, le fonctionnement des capteurs étant asservi à l'unité de commande et de contrôle de déplacement de la plate-forme. En outre, le système proposé comprend nécessairement une aspiration d'air le long de la surface à peindre et le contrôle-commande défini permet d'ajuster la distance entre nacelle et surface à peindre afin d'optimiser le débit d'air aspiré.

25 Toutes les solutions proposées ne peuvent pas être à la fois rapides, peu chères et efficaces pour éliminer les défauts tenaces à la surface des coques, plus particulièrement ceux issus de leur corrosion ni pour l'application d'un revêtement homogène sur toute la même surface d'une coque de navire et ce quelle que soit son profil (plan, concave, convexe).

30 En outre, les solutions proposées ne permettent pas une localisation dans l'espace suffisamment précise pour garantir un traitement de rénovation homogène sur toute la surface d'une coque de navire à rénover.

Enfin, il est loin d'être certain que parmi toutes les solutions proposées, au moins une puisse être mise en œuvre de manière complètement autonome sur toute la surface d'une coque de navire, c'est-à-dire sans aucune intervention humaine.

- Il existe donc un besoin d'améliorer les robots destinés à la rénovation par décapage et/ou par revêtement de peinture de parois de grande surface et/ou de hauteur élevée, plus particulièrement les coques de navires mis en cale sèche, qui pallie les inconvénients précités notamment afin de réduire considérablement les durées d'intervention et les coûts afférents, diminuer la pénibilité des travaux, et d'augmenter l'efficacité et l'homogénéité des traitements de surface sur toute la surface des parois à rénover.
- Le but de l'invention est de répondre au moins en partie à ce besoin.

Exposé de l'invention

Pour ce faire, l'invention concerne, sous l'un de ses aspects, un robot pour la rénovation par décapage et/ou revêtement de peinture, et/ou l'inspection d'une paroi de grande surface et/ou de hauteur élevée, comprenant:

- une nacelle élévatrice télescopique comprenant comme composants:
 - une base mobile,
 - une tourelle montée en rotation sur la base autour d'un premier axe,
 - une flèche télescopique montée en rotation sur la tourelle autour d'un deuxième axe, la flèche étant télescopique selon un troisième axe,
- une plate-forme montée en rotation sur l'extrémité mobile de la flèche télescopique autour d'un quatrième axe,
 - un porte-outil, adapté pour porter un outil de rénovation et/ou d'inspection, le porte-outil étant monté en translation sur la plate-forme selon trois axes orthogonaux entre eux, respectivement cinquième, sixième et septième axe, et en rotation sur la plate-forme autour d'un huitième axe ;
 - une pluralité de capteurs comprenant :
 - un premier capteur angulaire adapté pour mesurer la position angulaire de la tourelle par rapport à la base ;
 - un deuxième capteur angulaire adapté pour mesurer la position angulaire de la flèche par rapport à la tourelle ;
 - un capteur de déplacement linéaire adapté pour mesurer le déploiement télescopique de la flèche ;
 - au moins deux capteurs de mesure de distance adaptés pour mesurer chacun une distance d'un point du porte-outil par rapport à la paroi à rénover et/ou à inspecter ;

- un capteur d'inclinaison adapté pour mesurer l'inclinaison du porte-outil par rapport au moins à l'horizontale ;

- une unité de contrôle-commande reliée à la pluralité de capteurs et aux moyens de déplacement des composants de la nacelle et de déplacement du porte-outil selon les premier à huitième axes, l'unité de contrôle-commande étant adaptée pour déplacer automatiquement les composants de la nacelle et le porte-outil selon l'un et/ou l'autre des premier à huitième axes, en fonction des informations délivrées par la pluralité de capteurs et selon une séquence prédéfinie de rénovation et/ou d'inspection de zones de la paroi sans que la base mobile de la nacelle n'ait à être déplacée.

10 Ainsi, l'invention consiste essentiellement en un robot réalisé sur la base d'une nacelle élévatrice qui peut être standard instrumentée par une pluralité de capteurs qui viennent compenser de façon précise l'absence d'instrumentation par les constructeurs de nacelles, afin de pouvoir fournir à l'unité de contrôle-commande les informations utiles à la détermination de la localisation très précise dans l'espace, en temps réel, de la plate-forme de la nacelle et donc du porte-outil monté sur la plate-forme.

L'unité de contrôle-commande peut ainsi exécuter les ordres de déplacements des différents axes de la nacelle en fonction de la connaissance précise en temps réel de la position dans l'espace.

20 Comme détaillé ci-après, avantageusement, et en cas de besoin, le robot selon l'invention peut intégrer des dispositifs de rattrapage des jeux de fonctionnement de la nacelle afin de garantir une souplesse et une précision de déplacement du porte-outil et donc d'un outil d'inspection ou de travail (décapage, peinture) compatible avec la rénovation visée des coques de navire.

Lorsque les inventeurs se sont intéressés à la conception d'un système robotisé qui serait susceptible de réaliser le décapage et la peinture d'une coque de navire, ils ont fait l'inventaire des solutions existantes, notamment celles décrites dans les demandes de brevet/brevet susmentionnés.

Ils ont alors rapidement écarté pour des raisons de coût, de non-efficacité ou de complexité de mise en œuvre, les solutions qui soit nécessitent une infrastructure dédiée à chaque cale sèche (solution de rails intégrés et/ou échafaudages rapportés le long des coques), soit utilisent un engin complètement nouveau (plate-forme avec design spécifique), soit sont basées sur un équipement existant (robot 6 axes en bout de nacelle).

Les inventeurs ont ensuite pensé à réaliser une robotisation d'une nacelle standard, existante et ont donc fait l'inventaires des types de nacelles pour vérifier lequel était le plus approprié pour l'application.

Les nacelles à flèche articulée ne semblent pas appropriées notamment pour les raisons
5 suivantes :

- le nombre d'axes de liaison est très important au point qu'une trop grande souplesse est introduite en extrémité de nacelle ;

- des lois de commande pour un fonctionnement automatisé peuvent devenir très complexes.

Les nacelles de type ciseau n'ont qu'un axe de déplacement vertical, et donc ne peuvent en
10 aucun cas répondre aux exigences de la rénovation visée.

Les nacelles élévatrices télescopiques sont par nature les nacelles destinées à réaliser des travaux sur des ouvrages de grandes hauteurs. En outre, la flèche télescopique des nacelles élévatrices est extrêmement rigide et la simplicité de sa cinématique facilite l'automatisation des déplacements.

15 Aussi, les inventeurs ont retenu ce type de nacelle.

Puis, ils ont pensé judicieusement à instrumenter une nacelle élévatrice standard par une pluralité de capteurs qui viennent compenser de façon précise l'absence d'instrumentation par les constructeurs de nacelles.

Selon une variante avantageuse, le premier capteur angulaire est un codeur optique absolu
20 comprenant un lecteur optique de code-barres fixe par rapport à la tourelle, et une couronne fixe par rapport à la base mobile et dont la périphérie supporte une bande annulaire d'une pluralité de codes-barres distincts et adjacents les uns aux autres, agencée en regard du lecteur optique de sorte que lors d'une rotation de la tourelle par rapport à la base mobile le faisceaux lumineux du lecteur intercepte au moins une portion d'un des codes-barres afin de
25 déterminer la position angulaire de la tourelle.

De préférence, l'agencement de la bande annulaire par rapport au lecteur code-barres est tel que le faisceau lumineux intercepte au moins trois portions de codes-barres distincts.

Selon une autre variante avantageuse, le deuxième capteur angulaire est un codeur à câbles absolu comprenant un codeur fixé sur la tourelle mobile et à un mécanisme à câble
30 comprenant un tambour fixé sur la tourelle mobile et autour duquel est enroulé un câble dont l'extrémité libre est fixée sur l'un des éléments de la flèche télescopique.

Selon une autre variante avantageuse, le capteur de déplacement linéaire est un codeur à câbles absolu comprenant un codeur fixé sur l'extrémité de l'élément fixe de la flèche télescopique et à un mécanisme à câble comprenant un tambour fixé sur l'extrémité de

l'élément fixe de la flèche télescopique et autour duquel est enroulé un câble dont l'extrémité libre est fixée sur l'extrémité de l'élément mobile de plus grand déploiement de la flèche télescopique.

Selon une autre variante avantageuse, les au moins deux capteurs de mesure de distance sont
5 deux premiers télémètres laser fixés à distance l'un de l'autre sur le porte-outil pour mesurer deux distances entre le porte-outil et la paroi à rénover et/ou inspecter. On peut également envisager comme alternative un codeur absolu implanté dans la liaison entre plate-forme et flèche télescopique.

De préférence, il est prévu un autre télémètre laser, fixé au centre du porte-outil, tandis que
10 les deux premiers télémètres sont fixés aux extrémités inférieure et supérieure du porte-outil. Selon une autre variante avantageuse, le capteur d'inclinaison est un capteur bidimensionnel fixé sur la plate-forme et adapté pour mesurer l'inclinaison de cette dernière sur deux axes distincts.

Selon un mode de réalisation avantageux, le robot comprend un dispositif de rattrapage des
15 jeux mécaniques de la couronne dentée d'orientation de la tourelle mobile, le dispositif comprenant, en sus de la couronne dentée et du moteur d'entraînement en rotation de celle-ci, au moins un pignon en engrènement avec la couronne dentée et un moteur d'entraînement du pignon dans un sens de rotation opposé à celui de la couronne dentée.

Selon un autre mode de réalisation avantageux, le robot comprend un dispositif de rattrapage
20 des jeux mécaniques entre plate-forme et flèche télescopique, le dispositif comprenant un ensemble de liaison entre plate-forme et flèche télescopique, l'ensemble de liaison comprenant un premier élément de liaison solidaire du quatrième axe et un deuxième élément de liaison solidaire de la plate-forme, les premier et deuxième éléments de liaison étant articulés entre eux par une couronne d'orientation adaptée pour être mise en rotation
25 au moyen d'un vérin, de préférence de type électrique, dont une extrémité est fixée au premier élément de liaison et l'autre extrémité est fixée au deuxième élément de liaison.

Selon un autre mode de réalisation avantageux, l'unité de contrôle-commande comprend un automate de la nacelle relié à chacun de la pluralité de capteurs, de préférence par bus CAN, un premier calculateur dit calculateur nacelle, relié à l'automate nacelle et un deuxième
30 calculateur, dit calculateur robot, relié de préférence par liaison Ethernet à l'automate nacelle, le calculateur robot étant adapté pour envoyer ses instructions de commande à l'automate nacelle qui lui-même est adapté pour envoyer ses instructions de commande au calculateur nacelle qui commande le déplacement des composants de la nacelle et du porte-outil selon l'un et/ou l'autre des premier à huitième axes.

Selon un autre mode de réalisation avantageux, la base mobile comprend un moteur de déplacement en translation définissant un neuvième axe et au moins un essieu directeur définissant un dixième axe.

Avantageusement, l'unité de contrôle-commande est adaptée pour déplacer
5 automatiquement la base mobile selon l'un et/ou l'autre des neuvième et dixième axes, une fois la séquence prédéfinie, achevée.

Selon un autre mode de réalisation avantageux, la plate-forme est pivotante par rapport à l'extrémité mobile de la flèche télescopique autour d'un axe de pivotement définissant un onzième axe orthogonal au quatrième axe. Dans le cadre de l'invention, il va de soi que ce
10 onzième axe peut être implanté indépendamment des neuvième et dixième axes et vice-versa. Ainsi, par convention, dans la configuration où la base mobile ne définit le neuvième axe et le dixième axe, alors l'axe de pivotement de la plate-forme par rapport à l'extrémité mobile de la flèche devient le neuvième axe.

Selon une caractéristique avantageuse, le porte-outil est adapté pour porter une buse de
15 grenailage munie d'une cloche d'aspiration pour recyclage de la grenaille ou une buse de projection d'eau à haute pression avec cloche de ré-aspiration de l'eau projetée.

L'invention a également pour objet un procédé de fonctionnement d'un robot tel que décrit précédemment, le long d'une paroi de grande surface et/ou de hauteur élevée, comprenant les étapes suivantes réalisées automatiquement par l'unité de contrôle-commande:

- 20 i/ positionnement de la plate-forme et donc du porte-outil portant l'outil de rénovation à un point donné de paroi ;
- ii/ déplacement du porte-outil selon une première bande verticale le long de la paroi définissant une première passe de rénovation;
- iii/ une fois la première passe de rénovation terminée, descente automatique par relevage
25 et/ou télescopage de la plate-forme d'une hauteur correspondant à la première passe de travail moins une zone de recouvrement prédéfinie ;
- iv/ répétition des étapes ii/ et iii/ selon une ou plusieurs passes de travail en sus de la première, jusqu'à ce que la plate-forme atteigne sa position basse extrême ;
- v/ évaluation par l'unité de contrôle-commande si une deuxième bande parallèle à la
30 première peut être parcourue par le porte-outil sans avoir à déplacer la base mobile ;
- si l'évaluation selon v/ est positive, alors positionnement de la plate-forme et à un point donné de la deuxième bande puis répétition des étapes ii/ à iv/ dans la deuxième bande;
 - si l'évaluation selon v/ est négative, alors arrêt de la rénovation en attente du déplacement de la base mobile.

Autrement dit, selon le procédé de fonctionnement de l'invention est à séquences, à partir des informations délivrées par les capteurs mis en place avec leur étalonnage ou leur correction, afin de réaliser une bande verticale de travail (nettoyage, décapage ou peinture dans le cas d'une coque de navire) le long de la paroi à rénover.

- 5 L'unité de contrôle-commande du robot selon l'invention peut travailler soit par spot (zones spécifiques à traiter) soit par traitement continu d'une zone importante de la coque d'un navire. Pour ce faire, dans le procédé selon l'invention, l'unité de contrôle-commande traite une succession de bandes verticales qu'il enchaîne automatiquement.

- 10 L'évaluation du nombre de bandes verticales qu'un robot peut traiter est faite en tenant compte des caractéristiques techniques intrinsèques d'orientation de la tourelle, de télescopage de la flèche, de l'orientation de la plate-forme.

- Également, l'évaluation prend en considération la nécessité d'un recouvrement entre bandes. A chaque positionnement de la plate-forme et donc du porte-outil relativement à la paroi à rénover, l'horizontalité de la plate-forme ainsi que son orientation sont corrigées, afin
15 d'obtenir les mêmes distances sur les deux capteurs de mesure de distance.

- Si la surface de la paroi est verticale, alors ces corrections suffisent. Dans le cas où la coque n'est pas verticale (renflement ou courbe de carène par exemple dans le cas d'une coque de navire), lorsque les deux capteurs sont à égale distance de la paroi, leur valeur peut être supérieure ou inférieure par rapport à la passe précédente. Pour corriger cet écart l'angle de
20 rotation de la tourelle est corrigé.

La correction de cet angle va avoir pour incidence de modifier la distance horizontale entre axe de la tourelle et la paroi à rénover qui ne doit pas évoluer pour rester sur la verticale initiale. L'effet de cette modification d'angle doit donc être calculé par l'unité de contrôle-commande pour définir une nouvelle consigne de télescopage de flèche.

- 25 Le déplacement de la base mobile subséquent peut s'effectuer également de manière autonome selon les neuvième et dixième axes de la nacelle.

L'invention a enfin pour objet l'utilisation du robot tel que décrit précédemment, pour la rénovation avec décapage, de préférence par projection d'abrasif ou décapage à l'eau, et le cas échéant avec revêtement de peinture d'une coque de navire.

- 30 D'autres avantages et caractéristiques de l'invention ressortiront mieux à la lecture de la description détaillée d'exemples de mise en œuvre de l'invention faite à titre illustratif et non limitatif en référence aux figures suivantes.

Brève description des dessins

[Fig 1] est une vue schématique en perspective d'un robot selon l'invention destiné à l'inspection et à la rénovation d'une paroi de grandes surfaces et de hauteur élevée, la figure 1 montrant le robot en configuration de rénovation d'une coque de navire mis en cale sèche.

- 5 [Fig 2] est une autre vue en perspective du robot selon la figure 1, la figure 2 montrant l'ensemble des axes de déplacement des composants de la nacelle du robot ainsi que du porte-outil qui est porté par la plate-forme de la nacelle.

[Fig 3] est une autre vue schématique en perspective d'un robot selon l'invention, la figure 3 montrant un premier mode de mode de réalisation du porte-outil.

- 10 [Fig 3A] est une vue de détail de la figure 3.

[Fig 4] reprend en vue en perspective et de face la figure 3A et montre une de différentes positions prises par le porte-outil et d'un outil de décapage porté par le porte-outil.

[Fig 5] reprend en vue en perspective et de face la figure 3A et montre une de différentes positions prises par le porte-outil et d'un outil de décapage porté par le porte-outil.

- 15 [Fig 6] reprend en vue en perspective et de face la figure 3A et montre une de différentes positions prises par le porte-outil et d'un outil de décapage porté par le porte-outil.

[Fig 7] est une autre vue schématique en perspective d'une partie d'un robot selon l'invention, la figure 7 montrant un deuxième mode de mode de réalisation du porte-outil.

- 20 [Fig 8] est une reproduction photographique montrant l'agencement d'un codeur optique absolu pour la mesure de la position angulaire de la tourelle par rapport à la base mobile de la nacelle.

[Fig 8A] est une vue de détail de la figure 8.

[Fig 9] est une vue schématique illustrant le principe de fonctionnement du codeur optique absolu selon la figure 8.

- 25 [Fig 10] est une reproduction photographique montrant l'agencement d'un codeur à câbles absolu pour la mesure de la position angulaire de la flèche télescopique par rapport à la tourelle de la nacelle.

[Fig 11] est une autre reproduction photographique montrant l'agencement d'un codeur à câbles absolu pour la mesure de la position angulaire de la flèche télescopique par rapport à

- 30 la tourelle de la nacelle.

[Fig 12] est une reproduction photographique montrant l'agencement d'un codeur à câbles absolu pour la mesure du télescopage de la flèche.

[Fig 13] est une vue schématique de côté montrant la plate-forme et le porte-outil d'un robot selon l'invention dans une configuration de rénovation à proximité d'une coque de navire à

profil courbe, la figure 13 illustrant en outre la mesure de distance par chacun de deux télémètres entre un point du porte-outil et la coque à rénover.

[Fig 14] est une reproduction photographique montrant l'agencement sur la plate-forme d'un robot selon l'invention, d'un capteur d'inclinaison pour mesurer l'inclinaison du porte-outil par rapport au moins à l'horizontale.

[Fig 15] est une vue schématique d'un mode de réalisation de la partie basse d'une nacelle de robot selon l'invention, montrant par transparence l'agencement d'un dispositif de rattrapage des jeux mécaniques de la couronne d'orientation de la tourelle par rapport à la base mobile.

10 [Fig 15A] est une vue de détail de la figure 15.

[Fig 16] est une vue schématique d'un mode de réalisation de la liaison entre flèche télescopique et la plateforme d'une nacelle de robot selon l'invention, montrant l'agencement d'un dispositif de rattrapage des jeux mécaniques entre plate-forme et flèche télescopique.

15 [Fig 17] est une vue synoptique des liaisons entre les capteurs de position et distance du robot selon l'invention avec les calculateurs et automate de l'unité de contrôle-commande ainsi qu'entre ces derniers.

[Fig 18] illustre de manière schématique en fonction des caractéristiques de déplacement d'une première catégorie de nacelles élévatrices commerciales, les bandes verticales de rénovation qu'il est envisagé de réaliser selon le procédé de fonctionnement du robot conformément à l'invention.

20 [Fig 19] illustre de manière schématique en fonction des caractéristiques de déplacement d'une deuxième catégorie de nacelles élévatrices commerciales, les bandes verticales de rénovation qu'il est envisagé de réaliser selon le procédé de fonctionnement du robot conformément à l'invention.

Description détaillée

On précise ici que dans l'ensemble de la présente demande, les termes « dessous », « dessus », « bas », « haut », « inférieur » et « supérieur » se réfèrent à une configuration de fonctionnement d'une nacelle élévatrice d'un robot selon l'invention. Ainsi, par exemple, la position extrême supérieure de la plate-forme de la nacelle est l'altitude la plus élevée qu'elle peut atteindre avec le relevage maximal de la flèche combiné au déploiement maximal de cette dernière.

On a représenté à la figure 1, un robot selon l'invention 1 en configuration d'inspection par caméra et/ou de rénovation avec décapage par grenaillage ou projection d'eau à haute

pression suivie le cas échéant d'un revêtement de peinture d'une coque C d'un navire mis en cale sèche au sein d'un chantier naval, dans le cadre de la maintenance du navire.

Comme montré en figure 2, le robot 1 comprend tout d'abord une nacelle élévatrice télescopique 2. Cette nacelle 2 comprend de manière connue en soi, respectivement une base mobile 20 avec deux essieux 21, 22 dont au moins un est un essieu pivotant formant un essieu de direction, une tourelle 23 montée en rotation sur la base autour d'un premier axe «Axe 1», une flèche télescopique 24 montée en rotation sur la tourelle 23 autour d'un deuxième axe «Axe 2», la flèche étant télescopique selon un troisième axe «Axe 3», une plate-forme 25 aussi connue sous le nom de panier, montée en rotation sur l'extrémité mobile de la flèche télescopique autour d'un quatrième axe «Axe 4».

Selon l'invention, un porte-outil 3 est monté en translation sur la plate-forme selon trois axes orthogonaux entre eux, respectivement cinquième «Axe 5», sixième «Axe 6» et septième «Axe 7» axe, et en rotation sur la plate-forme autour d'un huitième axe «Axe 8».

Sur ce porte-outil 3 est fixé un outil 4 rénovation et/ou d'inspection de la coque de navire à rénover. De préférence, pour les opérations de décapage, l'outil 4 est une buse de grenailage munie d'une cloche d'aspiration pour recyclage de la grenaille ou une buse de projection d'eau à haute pression avec cloche de ré-aspiration de l'eau projetée.

Plusieurs modes de réalisation peuvent être envisagés pour le montage du porte-outil 3 sur la plate-forme 25 de la nacelle 2.

Selon le premier mode illustré en figures 3 à 6, le porte-outil 3 est monté sur un robot cartésien 30 à deux axes et dont une extrémité du portique est montée pivotante sur la plate-forme 25.

Plus précisément, comme visible sur les figures 3 à 6, la translation du porte-outil 3 selon les deux axes du robot cartésien est assurée par deux moteurs indépendants 31, 32 fixés sur le portique, tandis que le pivotement du portique 30 par rapport à la plate-forme 25 est assurée par deux vérins 33, 34 de préférence de type électrique articulés entre le portique du robot cartésien 30 et la plate-forme 25.

Ainsi, les mouvements du robot cartésien 30 à deux axes génèrent les déplacements du porte-outil 3 selon Axe 5 et Axe 6 tandis que le pivotement de son portique génère le déplacement selon Axe 7 et Axe 8.

Un deuxième mode est illustré en figure 7. Deux moteurs indépendants 35, 36 entraînent chacun un système vis-écrou 37, 38 selon Axe 5 et Axe 6. L'outil 4 est porté par le système vis-écrou selon Axe 6 qui est lui-même monté sur un balancier 39 entraîné en rotation par

un autre moteur indépendant 390. La rotation de ce balancier génère le déplacement selon Axe 7 et Axe 8.

Le robot 1 selon l'invention est en outre instrumenté par une pluralité de capteurs qui viennent compenser de façon précise l'absence d'instrumentation par les constructeurs de nacelles et ce afin de positionner avec une très grande précision le porte-outil 3 et donc l'outil 4 dans l'espace.

Comme illustré en figures 8, 8A et 9, un codeur optique absolu 5 est ainsi implanté pour mesurer la position angulaire de la tourelle 23 par rapport à la base mobile 20.

Avant de choisir un tel capteur, les inventeurs ont fait l'inventaire des solutions possibles.

De fait, le point de rotation de la tourelle 23 n'était pas concrètement accessible car occupé par le joint tournant qui permet l'acheminement des commandes hydrauliques entre la tourelle 23 et la base mobile 20. De ce fait, il n'est pas possible d'implanter directement un codeur sur l'axe de la tourelle 23.

Une autre solution aurait été de placer un codeur sur le côté de la couronne d'orientation de la tourelle 23, qui aurait été entraîné par un pignon lui-même entraîné par la denture externe de la couronne d'orientation. L'implantation s'est avérée pas simple et l'usure de la denture de la couronne d'orientation de la tourelle n'était pas favorable à une mesure de précision. Ainsi, les inventeurs ont finalement fait le choix de décorrélérer la mesure de rotation proprement dite de la mécanique de la couronne d'orientation de la tourelle.

Le codeur optique absolu 5 finalement retenu comprend un lecteur optique 50 fixé sur la tourelle 23 en dessous de celle-ci et d'une couronne 51 fixe par rapport à la base mobile 20. La périphérie de la couronne 51 supporte une bande annulaire 52 d'une pluralité de codes-barres 53 distincts et adjacents les uns aux autres, agencée en regard du lecteur optique 50 de sorte que lors d'une rotation de la tourelle par rapport à la base mobile le faisceau lumineux du lecteur 50 intercepte au moins au moins trois portions de codes-barres distincts, comme montré en figure 9. Ce codeur optique 5 permet ainsi d'obtenir une information absolue, indépendante des jeux de la mécanique d'orientation de la tourelle 23 relativement à la base 20.

La bande annulaire 52 peut être sous la forme d'un ruban adhésif, ce qui a pour avantage d'être très économique et donc de pouvoir être remplacé aussi souvent que nécessaire. On peut envisager également en tant qu'alternative, de graver des codes-barres 53 directement sur la couronne 51.

Comme montré en figures 10 et 11, un codeur à câbles absolu 6 permet de mesurer la position angulaire de la flèche 24 par rapport à la tourelle 23.

Le choix de ce type de capteur a été guidé par le fait qu'il n'est physiquement pas possible d'installer un codeur sur l'axe de relevage de la flèche, et qu'en outre la cinématique est variable d'une nacelle à l'autre et parfois complexe avec un point de pivot du relevage, qui monte et se déplace vers l'arrière par rapport à la base mobile. La seule solution est donc
5 d'avoir un capteur qui évolue en continu par rapport au relevage et d'effectuer un étalonnage de cette mesure par rapport à la réalité de l'angle de relevage. En outre, un codeur à câbles permet d'obtenir une mesure précise tout en étant mécaniquement robuste.

Le codeur à câbles absolu 6 comprend un codeur 60 fixé sur la tourelle mobile et à un mécanisme à câble 61 comprenant un tambour fixé sur la tourelle mobile et autour duquel
10 est enroulé un câble 62 dont l'extrémité libre est fixée sur l'un des éléments de la flèche télescopique.

Comme montré en figure 12, un autre codeur à câbles 7 est mis en œuvre : il constitue un capteur de déplacement linéaire pour mesurer le déploiement télescopique de la flèche 24.

Le codeur 7 comprenant un codeur, non représenté, fixé sur l'extrémité de l'élément fixe de
15 la flèche télescopique et à un mécanisme à câble comprenant un tambour, non représenté, fixé sur l'extrémité de l'élément fixe de la flèche télescopique et autour duquel est enroulé un câble 70 dont l'extrémité libre 71 est fixée sur l'extrémité de l'élément mobile 240 de plus grand déploiement de la flèche télescopique 24.

En pratique, les inventeurs ont constaté que le déploiement des éléments mobiles de la flèche
20 télescopique forme une courbe légèrement concave (vers le bas). Donc pour une mesure donnée par le codeur 7, la distance réelle entre la plateforme 25 et l'axe de rotation de la flèche 24 est inférieure à celle mesurée par le codeur 7. Les inventeurs ont alors évalué le maximum d'erreur, qui correspond à une flèche complètement télescopée. Sachant que l'évolution de cette erreur est continue sur le télescopage et répétable, les inventeurs ont pu
25 au final corrigé la mesure du codeur 7 par calcul.

Comme montré en figure 13, deux télémètres laser 80, 81 fixés aux extrémités du porte-outil
3 permettent de mesurer chacun une distance T1, T2 d'un point du cadre du porte-outil 3 par rapport à la coque de navire à rénover et/ou à inspecter. Lors du fonctionnement du robot selon l'invention, en cas de différence entre T1 et T2 alors le moteur 390 de basculement du
30 porte-outil 3 est mis en marche dans un sens ou dans l'autre, en fonction de la valeur supérieure, jusqu'à ce que $T1=T2$.

Avantageusement, un troisième télémètre laser 82 peut être fixé au centre du cadre de porte-outil 3 afin de déterminer la distance de l'outil 4 à la coque C, minimale en cas de courbe convexe et maximale en cas de courbe concave.

Dans une rénovation de coque de navire, le référentiel du navire est lié au fond de cale, donc une surface à priori horizontale. Il s'avère donc primordial de conserver la base de la plate-forme 25 et donc le support du porte outil 3 à l'horizontale.

Pour ce faire, comme illustré en figure 14, un capteur bidimensionnel 9 est fixé sur la plate-
5 forme 25, afin de mesurer l'inclinaison de cette dernière sur deux axes distincts.

Tous les capteurs 5 à 9 qui viennent d'être décrits et qui sont implantés dans la nacelle télescopique 2 et le porte-outil 3 permettent de pouvoir fournir au calculateur dédié de l'unité de contrôle-commande du robot selon l'invention les informations utiles à la détermination de la localisation de l'outil 4 dans l'espace.

10 Afin de garantir une souplesse et une précision de déplacement du porte-outil 3 et donc de l'outil 4 compatibles avec la rénovation visée des coques de navire, le robot 1 selon l'invention peut intégrer avantageusement des dispositifs de rattrapage des jeux de fonctionnement de la nacelle 2.

Un premier dispositif 10 de rattrapage des jeux mécaniques est illustré en figures 15 et 15A:
15 il permet de compenser les jeux de la couronne dentée d'orientation 230 de la tourelle 23.

Comme visible sur ces figures 15 et 15A, la rotation de la tourelle 23 est assurée par un moteur d'entraînement 231 qui entraîne un pignon 232 en engrènement direct avec la couronne dentée 230.

Le dispositif de rattrapage des jeux 10 comprend un moteur 101 d'entraînement d'au moins
20 un pignon 102 en engrènement avec la couronne dentée 230 mais dans un sens de rotation opposé au pignon 232 d'entraînement de la couronne dentée 230.

Un deuxième dispositif de rattrapage 11 des jeux mécaniques est illustré en figure 16 : il permet de compenser les jeux entre plate-forme 25 et flèche télescopique 24.

Ce dispositif 11 est constitué par un ensemble de liaison, ajouté entre la plate-forme 25 et
25 la flèche télescopique 24. Cet ensemble de liaison 11 comprend une première pièce 110 de liaison solidaire de l'axe 240 formant l'Axe 4 et une deuxième pièce de liaison 111 solidaire de la plate-forme 25. Ces deux pièces de liaison 111, 112 sont articulées entre elles par une couronne d'orientation 113 adaptée pour être mise en rotation au moyen d'un vérin 114, de préférence de type électrique, dont une extrémité est fixée à la première pièce de liaison 111
30 et l'autre extrémité est fixée à la deuxième pièce de liaison 112.

Sur cette figure 16, on peut voir également que la plate-forme 25 est montée pivotante par rapport à l'extrémité de la flèche 24 autour d'un axe de pivotement 241 qui définit donc un onzième axe (Axe 11). Cet « Axe 11 » est orthogonal à l'Axe 4.

Le robot 1 selon l'invention comprend enfin une unité de contrôle-commande 12 reliée à la pluralité de capteurs 5 à 9 et aux moyens de déplacement des composants de la nacelle et de déplacement du porte-outil selon les premiers à huitième axe, l'unité de contrôle-commande étant adaptée pour déplacer automatiquement les composants de la nacelle et le porte-outil
5 selon l'un et/ou l'autre des premier à huitième axes, en fonction des informations délivrées par la pluralité de capteurs et selon une séquence prédéfinie de rénovation et/ou d'inspection de zones de la paroi sans que la base mobile 20 de la nacelle n'ait à être déplacée.

Un mode de réalisation avantageux de l'unité de contrôle-commande 12 est illustré en figure 17 : elle comprend un automate 120 existant de la nacelle relié à chacun de la pluralité de
10 capteurs 5, 6, 7, 80, 81, 9. Ces liaisons sont, de préférence par bus CAN.

Le calculateur nacelle 121 existant est relié à l'automate nacelle 120.

Un deuxième calculateur, dit calculateur robot 122, est relié de préférence par liaison Ethernet à l'automate nacelle 120.

Dans le fonctionnement du robot, le calculateur robot 122 envoie ses instructions de
15 commande à l'automate nacelle 120 qui lui-même envoie ses instructions de commande au calculateur nacelle 121 qui commande le déplacement des composants de la nacelle et du porte-outil selon l'un et/ou l'autre des premier à huitième axes.

Le fonctionnement d'un robot 1 qui vient d'être décrit comprend les étapes suivantes réalisées automatiquement par l'unité de contrôle-commande 12:

- 20 i/ positionnement de la plate-forme 25 et donc du porte-outil 3 portant l'outil de rénovation à un point donné de la coque du navire ;
ii/ déplacement du porte-outil selon une première bande verticale le long de la paroi définissant une première passe de rénovation;
iii/ une fois la première passe de rénovation terminée, descente automatique par relevage
25 et/ou télescopage de la plate-forme d'une hauteur correspondant à la première passe de travail moins une zone de recouvrement prédéfinie ;
iv/ répétition des étapes ii/ et iii/ selon une ou plusieurs passes de travail en sus de la première, jusqu'à ce que la plate-forme atteigne sa position basse extrême ;
v/ évaluation par l'unité de contrôle-commande si une deuxième bande parallèle à la
30 première peut être parcourue par le porte-outil sans avoir à déplacer la base mobile.
- si l'évaluation selon v/ est positive, alors positionnement de la plate-forme et à un point donné de la deuxième bande puis répétition des étapes ii/ à iv/ dans la deuxième bande;
- si l'évaluation selon v/ est négative, alors arrêt de la rénovation en attente du déplacement de la base mobile.

Ainsi, l'unité de contrôle-commande traite une succession de bandes verticales qu'elle enchaîne automatiquement.

Initialement, il est nécessaire d'évaluer le nombre de bandes qui peuvent être traitées sans avoir à déplacer la base mobile 20 de la nacelle, c'est-à-dire la surface qui peut être traitée
5 en automatique sans intervention d'un opérateur. Dans l'évaluation du nombre de bandes pouvant être traitées, il faut considérer la nécessité d'un recouvrement entre bandes.

Les figures 18 et 19 montrent schématiquement l'évaluation qui a été faite pour deux modèles différents de nacelles télescopiques actuellement commercialisés.

La base mobile 20 peut être déplacer de manière autonome par l'unité de contrôle-commande
10 selon les Axe 9 et 10 tels qu'illustrés en figure 2.

D'autres variantes et modifications peuvent être envisagées au robot selon l'invention sans pour autant sortir du cadre de l'invention.

Par exemple, d'autres types de capteurs que ceux décrits peuvent être mis en œuvre pour l'instrumentation de mesure des différents axes de déplacements des composants d'une
15 nacelle télescopique et du porte-outil.