Description

Titre : Robot pour la rénovation par décapage et/ou revêtement de peinture, et/ou l'inspection d'au moins une paroi de grande surface incurvée et/ou hauteur élevée, plus particulièrement une structure de section(s) transversale(s) circulaire(s). Application au décapage et à la peinture de coques ou de fonds de navires, de réservoirs, tels que des bacs pétroliers, ou de conduites.

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, plus particulièrement une surface incurvée, notamment d'une structure à une ou plusieurs section(s) transversale(s) circulaire(s). Il peut s'agir en particulier des coques, des fonds de navires, de réservoirs, tels que bacs pétroliers, ou des conduites.

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, les coûts afférents et les risques pour les opérateurs et l'environnement.

Bien que décrite en référence à une application avantageuse de rénovation d'un réservoir cylindrique, 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 la préparation de surfaces tel que le décapage (par eau ou abrasif) 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 ou retrouver 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 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.

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 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 grenaillage, 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 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 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.

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 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 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 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 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 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 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.

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.

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 au 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.

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).

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.

Pour pallier ces inconvénients, 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, les inventeurs de la présente invention ont proposé un robot selon la demande de brevet WO2021/074327. Ce 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.

Si ce robot donne entière satisfaction dans la plupart des configurations de surfaces à rénover, les inventeurs ont pu constater que certaines autres configurations de surface ne pouvaient être traitées, du moins avec un temps d'intervention convenable, du fait de l'impossibilité physique d'accès par le robot et/ou d'une surface complexe notamment avec une courbure importante et/ou avec un dévers à atteindre. Une telle configuration spécifique se rencontre par exemple pour les coques ou les fonds de navire.

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 parois de surface complexe, telles que les coques ou fonds de navires mis en cale sèche ou les assemblages mécaniques à dévers à atteindre.

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'au moins une paroi de structure à surface incurvée, notamment d'une structure de section(s) transversale(s) circulaire(s), comprenant :

- une nacelle à ciseaux comprenant comme composants :

  • une base mobile comprenant au moins un essieu directeur définissant un premier axe (Axe 1) et un moteur de déplacement en translation définissant un deuxième axe (Axe 2),

  • une plate-forme montée en translation verticale sur la base mobile selon un troisième axe (Axe 3),

- un robot cartésien comprenant :

  • une structure porteuse montée en translation horizontale sur la plate-forme selon un quatrième axe (Axe 4),

  • un ensemble porte-outil, adapté pour porter un outil de rénovation et/ou d'inspection, l'ensemble porte-outil étant monté en rotation sur la structure porteuse autour d'un cinquième axe (Axe 5) orthogonal au quatrième axe (Axe 4), en translation horizontale sur la structure porteuse selon un sixième axe (Axe 6) orthogonal au cinquième axe (Axe 5), en rotation sur la structure porteuse autour d'un septième axe (Axe 7) parallèle au sixième axe (Axe 6) et en translation sur la structure porteuse selon un huitième axe (Axe 8) orthogonal au septième axe (Axe 7) ;

- une pluralité de capteurs comprenant :

  • au moins un capteur de déplacement linéaire, adapté pour mesurer le déploiement vertical de la plate-forme par rapport à la base mobile selon le troisième axe (Axe 3),

  • au moins un capteur de mesure angulaire, adapté pour mesurer la position angulaire de l'ensemble porte-outil par rapport à la structure porteuse autour du cinquième axe (Axe 5),

• au moins deux capteurs de mesure de distance adaptés pour mesurer chacun une distance d'un point de l'ensemble porte-outil par rapport à la paroi à rénover et/ou à inspecter ;

• au moins deux capteurs de mesure de distance adaptés pour mesurer une inclinaison de l'ensemble porte-outil par rapport à la paroi à rénover et/ou à inspecter ;

- une unité de contrôle-commande reliée à la pluralité de capteurs et aux moyens de déplacement des composants de la nacelle et du robot cartésien selon les premiers à huitième axe, l'unité de contrôle-commande étant adaptée pour déplacer automatiquement les composants de la nacelle et du robot cartésien 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.

Selon un mode de réalisation avantageux, l'ensemble porte-outils comprend :

- un premier support monté en rotation sur la structure porteuse autour du cinquième axe (Axe 5),

- un deuxième support monté en translation sur le premier support selon le sixième axe (Axe 6),

- un troisième support monté en rotation sur le deuxième support autour du septième axe (Axe 7),

- un quatrième support monté en translation sur le troisième support selon le huitième axe (Axe 8) et sur lequel l'outil de rénovation et/ou d'inspection est destiné à être fixé.

Avec ces supports, l'ensemble porte-outils est à la fois robuste mécaniquement et très précis et fiable dans les déplacements de l'outil. En outre, ces supports peuvent être constitués avec des profilés assemblés entre eux, ce qui allège l'ensemble porte-outils.

Selon ce mode et une variante avantageuse, le robot comprend un moteur électrique, fixé sur la structure porteuse et dont l'arbre de sortie définissant le cinquième axe (Axe 5) est fixé au premier support pour l'entrainer en rotation.

Selon ce mode et une autre variante avantageuse, le robot comprend :

- un moteur électrique, fixé sur le premier support ;

- une vis à billes définissant le sixième axe (Axe 6), fixée sur le premier support de sorte à être mise en rotation par le moteur électrique du premier support ;

- un écrou formant avec la vis à billes un système-écrou pour entraîner en translation le deuxième support.

Selon ce mode et une autre variante avantageuse, le robot comprend :

- un moteur électrique, fixé sur le deuxième support ;

- un arbre définissant septième axe (Axe 7), fixé sur le troisième support de sorte à être mise en rotation par le moteur électrique du deuxième support pour entraîner en rotation le troisième support.

Selon ce mode et une autre variante avantageuse, le robot comprend un vérin, fixé sur le troisième support et dont la tige définissant le huitième axe (Axe 8) est fixé au quatrième support pour l'entrainer en translation.

Ainsi, on peut réaliser la cinématique des différents axes de l'ensemble porte-outils avec peu de composants électriques, robustes, précis et fiables.

Selon un autre mode de réalisation avantageux, le robot comprend :

- un moteur électrique, fixé sur la plate-forme de la nacelle ;

- une vis à billes définissant quatrième axe (Axe 4), fixée sur la structure porteuse de sorte à être mise en rotation par le moteur électrique de la plate-forme ;

- un écrou fixé sur la structure porteuse et formant avec la vis à billes un système-écrou pour entraîner en translation la structure porteuse. Ici aussi, on peut réaliser la cinématique de déplacement de la structure porteuse relativement à la nacelle avec un système vis-écrou couplé à un moteur électrique, qui est robuste, fiable et précis.

Avantageusement, le capteur de déplacement linéaire pour mesurer le déploiement vertical de la plate-forme est un codeur à câbles absolu comprenant un codeur fixé sur plateforme et à un mécanisme à câble comprenant un tambour fixé sur la base mobile et autour duquel est enroulé un câble dont l'extrémité libre est fixée à la plate-forme.

Avantageusement encore, le capteur de mesure angulaire comprend deux premiers télémètres laser fixés à distance l'un de l'autre sur l'ensemble porte-outil.

Avantageusement encore, le au moins un capteur de déplacement linéaire pour mesurer le déplacement horizontal de l'ensemble porte-outil par rapport à la structure porteuse comprend une pluralité de capteurs inductifs fixés sur la structure porteuse.

Avantageusement encore, les au moins deux capteurs de mesure de distance entre le porte-outil et la paroi à rénover et/ou inspecter sont deux deuxièmes télémètres laser fixés à distance l'un de l'autre sur l'ensemble porte-outil.

Avantageusement encore, les au moins deux capteurs de mesure d'inclinaison de l'ensemble porte-outil par rapport à la paroi à rénover et/ou à inspecter sont deux deuxièmes télémètres laser fixés à distance l'un de l'autre sur l'ensemble porte-outil.

La base mobile comprend de préférence au moins un autre essieu directeur définissant un neuvième axe (Axe 9).

Selon un mode de réalisation avantageux, l'unité de contrôle-commande comprend un automate de contrôle-commande relié à chacun de la pluralité de capteurs, de préférence par bus CAN, un automate de la nacelle, relié à l'automate de contrôle-commande, de préférence par liaison Ethernet, l'automate de contrôle-commande étant adapté pour envoyer ses instructions de commande d'une part à l'automate nacelle qui commande le déplacement des composants de la nacelle selon l'un et/ou l'autre des premier à troisième axes, et le cas échéant selon le neuvième axe et d'autre part au robot cartésien pour le déplacement de la structure porteuse et/ou de l'ensemble porte-outils selon l'un et/ou l'autre des quatrième à huitième axes.

De préférence, l'unité de contrôle-commande est adaptée pour déplacer automatiquement la base mobile selon l'un et/ou l'autre des premier et deuxième axes et le cas échéant selon le neuvième axe, une fois la séquence prédéfinie, achevée.

Selon un mode d'agencement avantageux, le robot comprend une armoire logeant l'ensemble des composants électriques et l'unité de contrôle-commande, fixée sur la plate-forme nacelle, à l'extrémité longitudinale opposée à celle où est agencée le robot cartésien.

Avantageusement, l'ensemble porte-outil est adapté pour porter une buse de grenaillage munie d'une cloche d'aspiration pour recyclage de la grenaille ou une buse de projection d'eau à haute pression avec cloche de réaspiration de l'eau projetée ou une buse de projection de peinture avec dispositif de ré aspiration de la peinture non déposée sur la paroi de structure.

L'invention a également pour objet un procédé de fonctionnement d'un robot tel que décrit précédemment, le long d'une paroi de structure à surface incurvée, notamment d'une structure de section(s) transversale(s) circulaire(s), comprenant les étapes suivantes réalisées automatiquement par l'unité de contrôle-commande :

i/ positionnement de la nacelle, le cas échéant par télé-opération, et donc de l'ensemble porte-outil portant l'outil de rénovation en regard d'un point donné de paroi autour d'une première zone de travail;

ii/ mesure de distance par au moins les deux capteurs de mesure et calculs par l'unité de commande de sorte à positionner l'ensemble porte-outil parallèle à la paroi et centré autour de la première zone de travail ;

iii/ rénovation de la première zone de travail par déplacement de la structure porteuse relativement à la nacelle et/ou de l'ensemble porte-outil selon une première bande incurvée de hauteur limitée le long de la paroi;

iv/ une fois la rénovation te la première zone de travail terminée, coulissement automatique de la structure porteuse du robot vers la plate-forme de la nacelle et recul de la nacelle à distance de la paroi ;

v/ réitération des étapes i/ et iv/ selon une ou plusieurs zones de travail en sus de la première, jusqu'à ce que toute une première bande incurvée de la toute la hauteur paroi soit rénovée ;

vi/ déplacement du robot parallèlement à la paroi, selon un pas, pour réitérer les étapes i/ à v/ de sorte à rénover au moins une deuxième bande incurvée de la toute la hauteur paroi, dans la continuité de la première.

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 et incurvée de travail (nettoyage, décapage ou peinture dans le cas d'une coque ou fond de navire), sur une hauteur limitée puis sur toute la hauteur d'une bande et de réitérer cette opération le long de la paroi à rénover.

Du fait d'autoriser une télé-opération pour les déplacements de la base mobile de la nacelle, ces derniers peuvent être constamment sous le contrôle d'un opérateur, ce qui limite les contraintes de sécurité de l'utilisation du robot.

Une fois, la nacelle ciseaux positionnée, de préférence de sorte à être perpendiculaire à l'axe longitudinal de la paroi incurvée, et du robot cartésien positionné par rapport à la paroi à partir de la mesure des capteurs de distance supplémentaires et de calculs, l'unité de contrôle-commande peut exécuter les ordres de déplacements des différents axes de l'ensemble porte-outils en fonction de la connaissance précise en temps réel de la position dans l'espace.

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 ou d'un fond de navire ou d'un réservoir cylindrique, tel qu'un bac pétrolier, ou d'une conduite, notamment d'une conduite forcée.

Ainsi, l'invention consiste essentiellement en un robot autonome réalisé sur la base d'une nacelle ciseaux, qui peut être standard, sur laquelle est mis en place un robot cartésien dont une structure porteuse est coulissante sur la plate-forme de la nacelle et qui supporte un ensemble porte-outil à la fois robuste, précis et fiable.

Du fait de la possibilité de mise en œuvre à partir d'une nacelle ciseaux standard, le robot selon l'invention n'est pas spécifique à une application donnée. Une nacelle ciseaux standard peut ainsi typiquement d'élever du sol à des hauteurs jusqu'à 18m au-dessus du sol.

Le robot est parfaitement adapté pour la rénovation de paroi à surface incurvée, même de grande courbure notamment qui commence à une relativement faible hauteur du sol.

Typiquement, le robot selon l'invention est parfaitement adapté à la rénovation de coques de navires en cale sèche, qui peuvent présenter un rayon de courbure minimal important, typiquement de 3 à 4 m, et dont le point bas est à une hauteur 2m au-dessus du sol et le point haut jusqu'à une hauteur de 10m au-dessus du sol.

L'encombrement compact du robot à nacelles ciseaux et robot cartésien convient parfaitement à l'accessibilité très réduite autour d'un navire en rénovation, notamment du fait de la présence d'échafaudages, d'outillages.... En outre, cet encombrement compact autorise de nombreuses activités, notamment de maintenance autour de la zone de travail sur laquelle le robot selon l'invention fonctionne.

Les avantages de l'invention sont nombreux parmi lesquels on peut citer :

- la possibilité d'une rénovation, notamment par décapage, nettoyage, peinture d'une paroi incurvée, notamment circulaire de grandes dimensions et/ou de grand incurvation, dont le point bas peut être très près du sol, comme une coque de navire en cale sèche d'un rayon de courbure minimal de 3,8 mètres, depuis une hauteur de 2m jusqu'à une hauteur de 10 m au-dessus du sol ;
- un robot qui peut être aisément réalisé à partir d'une nacelle ciseaux standard ;
- un robot à encombrement très réduit qui permet de réaliser des rénovations même dans des environnements à accessibilité restreinte et/ou qui nécessitent des opérations simultanées autour, comme un chantier naval ;

- la possibilité d'une télé-opération pour le déplacement de la nacelle ciseaux ce qui sécurise l'utilisation du robot ;
- un déplacement du robot cartésien qui peut être entièrement automatisé avec l'unité de contrôle-commande ce qui rend très précis et fiable les opérations de rénovation faites par les outils portés par l'ensemble porte-outil du robot cartésien.

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] la figure 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 incurvées, notamment circulaires et de hauteur élevée, notamment d'un réservoir cylindrique, la figure 1 montrant la nacelle ciseaux du robot dans sa position extrême repliée.

[Fig 2] la figure 2 est une vue en perspective de détail du robot selon la figure 1, la figure 2 montrant la structure porteuse du robot cartésien et ses moyens de déplacement relativement à la plate-forme de la nacelle.

[Fig 3] la figure 3 est une vue en perspective du robot cartésien selon l'invention.

[Fig 4] la figure 4 reprend en vue en perspective la figure 3 mais uniquement en montrant la structure porteuse.

[Fig 5] la figure 5 est une vue en perspective d'un premier support de l'ensemble porte-outils du robot, monté en rotation sur la structure porteuse et qui supporte des télémètres lasers ainsi que des moyens de déplacement en translation d'un deuxième support de l'ensemble porte-outils.

[Fig 6] la figure 6 est une vue en perspective montrant la structure porteuse et le moyen de déplacement en rotation sur premier support sur la structure porteuse.

[Fig 7] la figure 7 est une vue en perspective montrant le premier support monté en rotation sur la structure porteuse ainsi que le deuxième support monté en translation sur le premier support.

[Fig 8] la figure 8 est une vue en perspective montrant le deuxième support ainsi que le moyen de déplacement en rotation d'un troisième support de l'ensemble porte-outils.

[Fig 9] la figure 9 est une vue en perspective du troisième support ainsi que des télémètres lasers portés par ce troisième support.

[Fig 10] la figure 10 est une vue en perspective des deuxième, troisième et d'un quatrième support monté en translation sur le troisième support et sur lequel l'outil de rénovation et/ou d'inspection est destiné à être fixé.

[Fig 11] la figure 11 est une vue en perspective du quatrième support monté en translation sur le troisième support et sur lequel l'outil de rénovation et/ou d'inspection est destiné à être fixé.

[Fig 12] la figure 12 est une vue en perspective du quatrième support sur lequel l'outil de rénovation et/ou d'inspection est destiné à être fixé.

[Fig 13] la figure 13 est une vue schématique de côté d'un robot selon l'invention, montrant la nacelle ciseaux du robot dans sa position extrême déployée ainsi que l'armoire électrique qu'elle supporte et un codeur à câbles en tant que capteur de mesure de déplacement linéaire pour mesurer le déploiement vertical de la plate-forme par rapport à la base mobile.

[Fig 14] la figure 14 est une vue schématique montrant une zone de rénovation d'un réservoir cylindrique qui peuvent être atteinte par un robot selon l'invention, qui correspond à la position la plus défavorable à la stabilité du robot.

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

[Fig 16A], [Fig 16B], [Fig 16C] les figures 16A à 16C sont des vues schématiques montrant différentes zones de rénovation d'un réservoir cylindrique qui peuvent être atteintes par un robot selon l'invention.

[Fig 17] la figure 17 est un synoptique d'un procédé de fonctionnement du robot selon l'invention pour réaliser un cycle automatique de rénovation d'une paroi incurvée, notamment une structure de section transversale circulaire telle qu'un réservoir cylindrique.

[Fig 18A], [Fig 18B] les figures 18A et 18B sont des vues schématiques montrant les étapes de dégagement du robot selon l'invention de la paroi, avant réalisation du cycle automatique.

[Fig 19A], [Fig 19B], [Fig 19C] les figures 19A à 19C sont des vues schématiques montrant différentes étapes de positionnement du robot cartésien relativement à une zone de travail, i.e. à rénover d'une paroi, avant l'initiation du cycle automatique.

[Fig 20] la figure 20 illustre de manière schématique les différents enchainements de déplacement et de cycle automatique selon des bandes adjacentes 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 à ciseaux 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 par le déploiement maximal par rapport à la base mobile.

On précise également que sur l'ensemble des figures où elles sont représentées, les roues supportées par le quatrième support de l'ensemble porte-outils n'ont pas à être considérées comme un outil de rénovation. Ces roues utilisées pour des essais de suivi de courbure de paroi, telle qu'une paroi d'un réservoir cylindrique afin de permettre le travail au contact de la paroi sans l'endommager. Ces roues ne sont pas à prendre en considération pour le quatrième support sur lequel un outil d'inspection (caméra) ou de rénovation (décapage, nettoyage, peinture) est fixé directement. Elles ne sont donc pas commentées ci-après.

On a représenté à la figure 1, un robot selon l'invention 1 destiné à réaliser une inspection par caméra et/ou une rénovation avec décapage par grenaillage ou projection d'eau à haute pression suivie le cas échéant d'un revêtement de peinture d'une paroi C d'un réservoir cylindrique, ou d'une coque de navire dans le cadre de la maintenance.

Un réservoir ou une coque de navire peut présenter plusieurs sections transversales circulaires typiquement au minimum de 3,5 m et d'une hauteur de 2 mètres jusqu' une hauteur de 10 mètres au-dessus du sol.

Comme montré en figure 1, le robot 1 comprend tout d'abord une nacelle à ciseaux 2. Cette nacelle à ciseaux 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 définissant un premier axe « Axe 1 », et un moteur, non représenté, de déplacement en translation définissant un deuxième axe « Axe 2 », et une plate-forme 23 montée en translation verticale sur la base mobile selon un troisième axe « Axe 3 ».

La nacelle 2 utilisée peut être une nacelle standard déjà commercialisée, notamment être télé-opérée, c'est-à-dire pilotée à l'aide d'une télécommande filaire ou sans fil.

Typiquement, dans la position extrême déployée de sa plateforme 23, la nacelle 2 peut atteindre une hauteur de 12 mètres. L'élévation de la plate-forme 23 peut être réalisée au moyen de vérins hydrauliques, agencés dans la structure en ciseaux.

La base mobile 20 peut être équipée de stabilisateurs permettant de répartir sa masse uniformément sur le sol et de lui assurer une grande stabilité lorsqu'elle est complètement déployée.

Selon l'invention, le robot selon l'invention comprend un robot cartésien 3 monté sur la nacelle à ciseaux 2.

Plus précisément, le robot cartésien 3 comprend une structure porteuse 30 montée en translation horizontale sur la plate-forme selon un quatrième axe « Axe 4 » et un ensemble porte-outil 31, adapté pour porter un outil de rénovation et/ou d'inspection. L'outil, non représenté peut être une buse de grenaillage munie d'une cloche d'aspiration pour recyclage de la grenaille ou une buse de projection d'eau à haute pression avec cloche de réaspiration de l'eau projetée ou une buse de projection de peinture avec dispositif de réaspiration de la peinture non déposée sur la paroi de structure.

La translation selon l'Axe 4 permet d'approcher l'ensemble porte-outils 31 de la coque C à rénover. La course de translation peut être typiquement de l'ordre de 800 mm et bridée à une valeur inférieure 600mm par sécurité. Comme illustré, la structure porteuse 30 est avantageusement constituée de profilés à section carrée, notamment en acier, et soudés entre eux.

Comme montré plus en détail à la figure 2, cette translation selon l'Axe 4 peut être assurée par un moteur électrique 24 fixé sur la plate-forme et qui entraîne en rotation, notamment par une transmission déportée, par exemple avec une courroie, une vis 25 d'un système vis-écrou, l'écrou, non visible, étant fixé sur la structure porteuse 30. La plateforme 23 est en outre munie d'une paire de rails 230 sur laquelle au moins une paire de patins 300, par exemple au nombre de deux, fixée(s) à la structure porteuse 30 peut coulisser.

Comme montré plus en détail à la figure 3, l'ensemble porte-outil 31 est monté en rotation sur la structure porteuse 30 autour d'un cinquième axe « Axe 5 » orthogonal à l'Axe 4 qui est en translation horizontale sur la structure porteuse selon un sixième axe « Axe 6 » orthogonal à l'Axe 5, en rotation sur la structure porteuse autour d'un septième axe « Axe 7 », qui est parallèle à l'Axe 6 et en translation sur la structure porteuse selon un huitième axe « Axe 8 » orthogonal au septième axe à l'Axe 7.

A l'extrémité de l'ensemble porte-outil 3 est fixé un outil non représenté de rénovation et/ou d'inspection de la paroi à rénover. De préférence, pour les opérations de décapage, l'outil est une buse de grenaillage 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.

La rotation selon l'Axe 5 permet d'orienter l'ensemble porte-outils 31 parallèlement la coque avec un angle de course pouvant aller typiquement de -30 à +30°.

La translation selon l'Axe 6 va permettre de déplacer l'outil horizontalement pour réaliser une rénovation selon une bande avec un déplacement horizontal, typiquement maximal de 610 mm, qui peut être bridé à 500mm par sécurité.

La rotation selon l'Axe 7 va permettre d'orienter l'outil parallèlement à la coque avec un angle pouvant aller typiquement de -45 à +90°.

La translation selon l'Axe 8 va permettre de rentrer ou sortir l'outil relativement à la coque C sur une distance typiquement de 200 mm. Cette translation va ainsi permettre de venir plaquer l'outil sur la coque au moment d'une opération de rénovation.

Selon une variante avantageuse, comme illustré à la figure 1, la base mobile 20 peut comprendre au moins un autre essieu directeur 22 définissant un neuvième axe (Axe 9). Un axe directeur supplémentaire peut permette de manœuvrer plus facilement la nacelle ciseaux 2 notamment dans un environnement encombré, ce qui peut être le cas d'un chantier de rénovation, en particulier en cas d'autres opérations réalisées autour, notamment qui nécessitent des échafaudages.

Plusieurs modes de réalisation peuvent être envisagés pour la réalisation de l'ensemble porte-outil 31 sur la structure porteuse 30 du robot cartésien 3.

Selon un mode illustré en figures 3 à 12, l'ensemble porte-outils 31 est constitué de quatre supports 32, 33, 34, 35 montés en déplacement l'un par rapport à l'autre selon les différents Axe 5 à Axe 8.

Plus précisément, le premier support 32 est monté en rotation sur la structure porteuse autour de l'Axe 5.

Pour ce faire, comme montré en figures 4 à 6, un moteur électrique 320, fixé sur la structure porteuse et dont l'arbre de sortie 321 définit l'Axe 5 est fixé au premier support 32 pour l'entrainer en rotation. Cet arbre de sortie 321 peut être monté à travers une butée à douilles

322 et une reprise à axe 323, toutes deux montées dans des platines 324 distances l'une de l'autre et fixées directement à la structure porteuse 30. Comme illustré, le deuxième support 33 peut être constitué d'une tôle pliée, notamment en aluminium, avec des renforts en profilés, notamment en aluminium.

Le deuxième support 33 est monté en translation sur le premier support 32 selon l'Axe 6. Pour ce faire, comme montré en figures 7 à 9, un moteur électrique 330 est fixé sur le premier support 32 et une vis à billes 331 définissant l'Axe 6 est fixée sur le premier support 32 de sorte à être mise en rotation par le moteur électrique 330. Un écrou 332, tel qu'un palier à billes, forme avec la vis 331 un système-écrou pour entraîner en translation le deuxième support 33. Un accouplement élastique 333 peut être avantageusement prévu entre la sortie de l'arbre du moteur électrique 330 et la vis 331.

Pour la translation du deuxième support 33 sur le premier support 32, on peut prévoir de munir le premier support 32 d'une paire de rails 325 sur laquelle au moins une paire de patins 333, avantageusement de deux, du deuxième support 33 peut coulisser. Comme illustré, ce deuxième support peut être constitué de deux plaques métalliques, notamment en aluminium, avec des renforts, à distantes l'une de l'autre et reliée entre elle par une autre plaque métallique, notamment en aluminium.

Le troisième support 34 est monté en rotation sur le deuxième support 33 autour de l'Axe 7. Pour ce faire, comme montré aux figures 8 et 9, un moteur électrique 340 est fixé sur le deuxième support 33, qui peut entraîner en rotation un arbre 341 définissant l'Axe 7, fixé sur le troisième support 34. Cet arbre 341 peut être monté en rotation dans un roulement à billes 334 fixé dans le deuxième support 33.

Le quatrième support 35 est monté en translation sur le troisième support 34 selon l'Axe 8. Pour ce faire, comme montré aux figures 9 à 12, un vérin 350 fixé sur le troisième support et dont la tige 351 définit l'Axe 8 est fixé au quatrième support 35 pour l'entrainer en translation. Pour un guidage robuste en translation du quatrième support 35, ce dernier peut comporter des tiges de guidage 352 fixées à une platine 353 du quatrième support 35 et montées coulissantes, parallèlement à la tige 351 du vérin 350, dans des douilles à billes 342 fixées dans le troisième support 34. Comme illustré, le troisième support 34 peut être sous la forme d'une cage de protection du vérin 350, qui peut être constituée de deux plaques métalliques, notamment en aluminium et de quatre barres de profilé métalliques, notamment en aluminium, afin d'assurer la rigidité de la cage tout en allégeant l'ensemble porte-outils 31.

Pour optimiser la compliance du quatrième support 35 et donc au final de l'outil qu'il va supporter, par rapport à la courbure de la paroi à rénover, on prévoit avantageusement de réaliser ce support 35 sous la forme de deux platines 353, 354, articulées entre elles au moyen d'au moins un dispositif à cardans 355. On peut prévoir également, des moyens de rappel 356 dans une position de repos où les deux platines 353, 354 sont parallèles entre elles. Ces moyens de rappel 356 peuvent consister en des ressorts de compression, par exemple au nombre de trois répartis à 120° l'un de l'autre. Ainsi, avec ce système articulé à cardan 355 et rappel 356, le quatrième support 35 et donc l'outil qu'il va supporter pour une opération de rénovation vont épouser au mieux la courbure de la paroi à rénover C. Autrement dit, les moyens de rappel 356 permettent d'amortir les efforts encaissés par l'outil, d'absorber les irrégularités de surface de la paroi, et avec le cardan 355 permettent de garantir une certaine compliance à l'outil. Comme illustré, les platines 353, 354 peuvent être des plaques métalliques, notamment en aluminium.

Les inventeurs ont réalisé des calculs pour vérifier que le robot 1 selon l'invention était stable dans n'importe quelle position de travail, c'est-à-dire de rénovation autour d'une paroi à section incurvée C.

Cette vérification a ainsi été faite dans le cas d'utilisation le plus défavorable qui est celui dans lequel le robot 1 est positionné avec le robot cartésien 3 dans une position de de travail à -90° avec la structure porteuse 30 complètement déployée, comme illustré à la figure 14.

Les données d'entrée considérées ont été les suivantes :

- la masse m de l'ensemble du robot cartésien 3, à savoir celui de la structure porteuse et de l'ensemble porte-outils 31 et tous les composants qu'il supporte (moteurs, composants mécaniques, capteurs), a été dimensionnée à 170 kg ;
- la distance d1 du centre de gravité de l'ensemble par rapport au centre de la roue avant 21 de la nacelle a été dimensionnée à 1840 mm ;
- la force F d'application du vérin 350 a été dimensionnée à 483 N ;
- la distance d2 du centre d'application du vérin 350 a été dimensionnée à 2455 mm.

Ainsi, le couple C1 généré par le poids du robot cartésien 3 appliqué au centre de la roue 21 est égal à m x d1, soit 3100 Nm.

Le couple C2 généré par le vérin 350 sur la coque est égal à Fxd2, soit 1186 Nm.

Ainsi, le robot cartésien 3 génère sur la nacelle 2 un couple total Ct égal à 4286 Nm.

A partir des données d'un constructeur de nacelles à ciseaux, qui indiquent une masse de nacelle égale à 2940 kg, et une distance entre le centre de gravité de la nacelle et le centre de la roue avant 21 égale à 1015 mm, le couple Cnac généré par le poids de la nacelle 2 est égal à 29274 NM, soit une valeur égale à environ 6,8 le couple Ct, soit un coefficient de sécurité d'autant.

On précise, que pour le calcul, les inventeurs ont pris comme hypothèse que le centre de gravité de la nacelle se trouve au centre physique de la nacelle 2.

Ainsi, le moment généré par le poids de la nacelle à ciseaux est suffisamment important pour qu'elle puisse supporter à elle seule le poids du robot cartésien 3 lorsque sa structure porteuse 30 est complétement déployée. Il n'est donc pas nécessaire d'ajouter un contrepoids à la nacelle.

Le robot 1 selon l'invention est en outre instrumenté par une pluralité de capteurs 5 qui viennent d'une part compenser de façon précise l'absence d'instrumentation par les constructeurs de nacelles à ciseaux et d'autre part mesurer l'ensemble des déplacements du robot cartésien afin de positionner avec une très grande position les différents composants du robot cartésien 3 et donc l'outil dans l'espace.

Ainsi, au moins un capteur de déplacement linéaire 50 permet de mesurer le déploiement vertical de la plate-forme 23 par rapport à la base mobile 20 selon l'Axe 3. Comme illustré en figure 13, ce capteur 50 est de préférence sous la forme d'un codeur à câbles absolu permet de mesurer en temps réel la hauteur de la plate-forme 23 par rapport à la base mobile 20. Ce type de capteur évolue en continu par rapport au relevage des ciseaux et permet d'effectuer un étalonnage de cette mesure par rapport à la réalité du déploiement de la plate-forme 23. En outre, un codeur à câbles permet d'obtenir une mesure précise tout en étant mécaniquement robuste.

Le codeur à câbles absolu 50 comprend un codeur 500 fixé sur la plate-forme et à un mécanisme à câble comprenant un tambour 501 fixé sur la base mobile 20 et autour duquel est enroulé un câble 502 dont l'extrémité libre est fixée à la plate-forme 23.

Au moins un capteur de mesure angulaire 51 permet de mesurer la position angulaire de l'ensemble porte-outil par rapport à la structure porteuse autour de l'Axe 5. Comme illustré aux figures 4 et 6, il peut s'agir avantageusement d'une pluralité de capteurs inductifs 51, fixés sur une platine 322 de la structure porteuse. Ces capteurs inductifs 51 agencés à

distance les uns des autres permettent d'initialiser et suivre la course de la rotation de l'axe 5 avec une grande précision.

Au moins deux capteurs 52, 53 permettent de mesurer la distance entre l'ensemble porte-outils 31 et la paroi C à rénover et/ou inspecter. Comme illustré aux figures 5 et 7, il peut s'agir avantageusement de deux deuxièmes télémètres 52, 53 fixés à distance l'un de l'autre sur le premier deuxième support 33 de l'ensemble porte-outil, c'est-à-dire selon l'Axe 6.

Au moins deux capteurs de mesure de distance 54, 55 permettent de mesurer l'inclinaison de l'ensemble porte-outil 31 par rapport à la paroi à rénover et/ou à inspecter. Comme illustré aux figures 9 et 10, il peut s'agir de deux deuxièmes télémètres 54,55 fixés à distance l'un de l'autre sur le troisième support 34 de l'ensemble porte-outil, c'est-à-dire en rotation selon l'Axe 7.

Tous les capteurs 50 à 55 qui viennent d'être décrits et qui sont implantés dans la nacelle à ciseaux 2 et le robot cartésien 3 permettent de pouvoir fournir à l'automate dédié de l'unité de contrôle-commande du robot selon l'invention les informations utiles à la détermination de la localisation de l'outil dans l'espace.

Le robot 1 selon l'invention comprend enfin une unité de contrôle-commande 10 reliée à la pluralité de capteurs 50 à 53 et aux moyens de déplacement des composants de la nacelle et de déplacement du robot cartésien porte-outil selon les premiers à huitième axe, l'unité de contrôle-commande étant adaptée pour déplacer automatiquement les composants de la nacelle et du robot cartésien 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 d'architecture de l'unité de contrôle-commande 12 est illustré en figure 15 : elle comprend un automate 10 principal relié à chacun de la pluralité de capteurs 5. Ces liaisons sont, de préférence par bus CAN.

L'automate principale 10 est en outre relié à l'automate nacelle 11 déjà intégré dans la nacelle 2, à la pluralité des moyens de déplacement du robot cartésien ainsi qu'à l'outil de rénovation qui est mis en place.

Dans le fonctionnement du robot, l'automate principal 10 communique avec l'automate 11 de la nacelle 2 de sorte à piloter le déploiement ou le repliement vertical de la plate-forme

23 par rapport à la base mobile 20 en fonction de la zone de travail de rénovation sélectionnée au préalable sur la paroi C.

L'automate principal 10 pilote en outre les cinq axes du robot cartésien 3, c'est-à-dire Axe 4 à 8, en fonction des retours d'informations des différents capteurs 50 à 55 et de la zone de travail sélectionnée.

Enfin, l'automate principal 10 pilote chaque outil O de rénovation ainsi que les stations associées en fonction des trajectoires et des spécificités outillages (décapage par grenaillage, à l'eau, peinture..).

Le réseau électrique du robot 1 peut être regroupé dans une seule armoire électrique 24 contenant tous les composants électriques. Cette armoire 24 est fixée avantageusement sur la plate-forme 23 de la nacelle 2, de préférence à l'opposé du robot cartésien 3 pour des raisons à la fois de répartition des masses et d'encombrement, comme illustré à la figure 3. Cette armoire 24 peut loger notamment l'automate principal 10 et les cartes d'entrées et de sorties associées, utilisés pour le pilotage du robot, les variateurs et le démarreur moteur utilisés pour le pilotage des différents moteurs notamment les moteurs électriques 320, 330, 340 et le vérin 320, l'alimentation et un transformateur permettant d'obtenir les différentes tensions nécessaires pour l'alimentation des composants. En outre l'armoire 24 peut loger une radiocommande connectée à l'automate qui peut prendre le contrôle du robot, en cas de besoin. Enfin, différents composants utilisés pour la protection des équipements tels que des disjoncteurs et fusibles ou encore des relais et relais de sécurité peuvent être implantés dans l'armoire 24.

Le fonctionnement d'un robot 1 qui vient d'être décrit, permet de suivre le profil de la paroi C en se déplaçant du haut vers le bas de celle-ci, dans toutes les configurations possibles, comme les positions suivantes :

- le robot 1 est dans une position de travail, haute avec l'outil orienté à -45° (figure 16A) ;

- le robot 1 est dans une position de travail, à la verticale avec l'outil orienté à 0° (figure 16B);

- le robot 1 est dans une position basse avec l'outil orienté à +90° (figure 16C).

La zone de travail Z balayée par le robot cartésien 3 correspond à une bande verticale de largeur l définie par l'Axe 6 (déplacement horizontal) et de hauteur H qui est fonction de la sortie de l'Axe 4 (translation de la structure porteuse 30) et de la course de l'Axe 3 (déploiement de la plate-forme 23). Le travail s'effectue du haut vers le bas par passes

horizontales. A titre indicatif, la largeur l peut être égale à 200 mm et la hauteur H de l'ordre de 610 mm.

Le fonctionnement du robot 1 peut être réalisé automatiquement par l'unité de contrôle-commande 10 pour suivre le profil d'une paroi C, en partant de sa partie haute et en allant jusqu'au plus bas de la paroi.

Un opérateur peut réaliser une télé-opération uniquement pour rapprocher ou éloigner la nacelle 2 de la coque entre deux cycles limités par le déploiement de la structure porteuse 30 selon l'Axe 4.

Un pilotage manuel est également prévu pour permettre l'utilisateur de déplacer la nacelle 2 et le robot cartésien 3 comme il le souhaite. Deux modes de pilotage manuel peuvent être choisis par exemple à l'aide d'un sélecteur deux positions, implémenté sur une télécommande :

- un pilotage dit local qui est effectué avec la télécommande d'origine de la nacelle 2 et qui reprend toutes les commandes de base de la nacelle ;
- un pilotage dit distant qui est effectué depuis une radiocommande connectée à l'automate principal 10.

Ce mode de pilotage distant permet de faire fonctionner le robot cartésien 3 et peut également permettre de piloter directement la nacelle 2.

Le cycle de fonctionnement entièrement automatique du robot cartésien 3 permet au robot 1 d'effectuer un cycle complet de rénovation (décapage, nettoyage, peinture) de manière autonome, dont le synoptique est illustré à la figure 17.

Ce cycle se déroule selon l'enchaînement des étapes suivantes :

(0) Etape d'initialisation : l'automate 10 attend que l'opérateur lance le mode automatique.

(1) Etape du choix de la zone de travail Z: l'opérateur indique la zone de travail Z où il souhaite se placer afin de permettre une bonne initialisation du positionnement des axes pour couvrir la plus grande surface possible. Deux cas de figure peuvent se rencontrer :

- si la zone de travail est située sur la partie haute de la coque C, l'axe 5 sera complètement sorti et devra rentrer au fur et mesure de la descente de la plate-forme 23 de la nacelle ;

- si la zone de travail est située sur la partie basse de la coque C, la structure porteuse 30 (Axe 4) est complètement repliée et doit être déployée au fur et mesure de la descente la plate-forme 23 de la nacelle.

(2) Etape (optionnelle) de guidage par l'opérateur : l'opérateur peut positionner correctement la nacelle 2 et le robot cartésien 3 avant le début du travail de rénovation.

(3) Calculs de position du robot cartésien 3 : les calculs permettent de renvoyer des consignes de positionnement et ainsi au robot cartésien de se positionner correctement par rapport la coque C et la zone de travail Z sélectionnée.

(4) Vérification des consignes de position atteignable : les consignes de position renvoyées par les calculs sont vérifiées pour qu'elles soient physiquement atteignables par le robot cartésien 3. Si ce n'est pas le cas, le cycle s'arrête et la nacelle 2 doit être repositionnée pour permettre au robot 3 de rénover la zone souhaitée.

(5) Positionnement du robot : le robot 3 est positionné correctement face à la zone de travail Z sélectionnée.

(6) Lancement du cycle de fonctionnement du robot 3 : le robot cartésien 3 effectue le travail de rénovation, en sortant l'outil O et en le déplaçant à une vitesse constante le long de la translation horizontale X, parallèlement à l'axe central de la coque C, afin de couvrir une bande Z de largeur l.

(7a) Repliement (optionnel) de la structure porteuse 30 : lorsque le robot 1 est dans une position comme illustrée à la figure 16A, l'outil O doit être ramené avant de descendre la plate-forme 23 vers la prochaine zone de travail. Cette étape est ignorée s'il n'est pas nécessaire de rentrer la structure porteuse 30 afin de gagner du temps de cycle.

(7b) Eloigner la nacelle 2 de la coque C: s'il est nécessaire de rentrer la structure porteuse 30 et que celle-ci arrive en bout de course, alors le cycle s'arrête et l'opérateur doit piloter manuellement la nacelle 2 pour l'éloigner de la coque C.

(8a) Descendre la nacelle 2 : tant que la nacelle n'est pas complètement descendue ou n'est pas arrivée au point d'arrêt, le robot 3 descend jusqu'à atteindre la prochaine zone de travail Z.

(8b) Fin du cycle : cette fin est activée lorsque la plate-forme 23 de la nacelle 2 est complètement descendue. L'opérateur doit réinitialiser le programme pour poursuivre son utilisation du robot et l'étape d'initialisation (0) est activée dans l'attente du prochain lancement de cycle automatique

Comme indiqué ci-avant, l'opérateur doit choisir une zone de travail Z au moment du lancement du cycle afin d'initialiser correctement les axes du robot 1. Cette étape permet

d'indiquer à l'automate qu'il faut rentrer (figure 18A) ou sortir (figure 18B) la structure porteuse 30 (Axe 4), au début du cycle.

L'étape optionnelle de guidage de l'opérateur pour lui permettre de positionner correctement le robot 1 pour que le cycle puisse démarrer dans les bonnes conditions. Ainsi, l'opérateur doit pouvoir piloter le robot 1 axe par axe en lui indiquant notamment les caractéristiques et distances de positionnement souhaitées : le robot doit être placé en face de la zone de travail Z et l'opérateur doit orienter l'outil O afin qu'il soit parallèle à la paroi C. Le guidage opérateur peut être effectué depuis une IHM indépendante, comme un écran ou depuis un écran de la radiocommande.

L'étape de calculs de positionnement du robot permet de positionner correctement ce dernier par rapport à sa zone de travail pour que la bande l x H soit traitée uniformément sur toute la longueur de travail demandée.

Les figures 19A, 19B et 19C représentent les étapes intermédiaires de repositionnement du robot face la zone de travail demandée.

Le diamètre de courbure d'une paroi C étant de l'ordre de plusieurs mètres, cette paroi C peut donc être assimilée à une surface plane à l'échelle d'une zone de travail qui est de l'ordre du décimètre, comme illustré.

Les calculs de positionnement se font uniquement partir de l'information renvoyée par les télémètres 54, 55, respectivement en haut et en bas et de l'orientation de l'Axe 7 qui est connue dans le cycle. Ces données permettent de déterminer la pente de la coque C et donc la consigne d'orientation de l'Axe 7.

Ensuite, les décalages vertical et horizontal sont déterminés l'aide d'équations trigonométriques. Les résultats de positionnement renvoyés par ces calculs sont satisfaisants puisque la précision du positionnement face à la zone de travail est de l'ordre du centimètre.

Une fois le robot positionné correctement face la zone de travail, le cycle du robot cartésien 3 qui consiste à traiter une bande horizontale l x H, peut commencer.

Les calculs nécessaires aux déplacements du robot vers la prochaine zone de travail suivent ensuite la même logique que ceux effectués pour le positionnement du robot face la zone de travail Z.

Le cycle automatique se termine une fois que toutes les zones souhaitées ont été traitées ou une fois que la plate-forme 23 de la nacelle est descendue jusqu'à sa hauteur minimale.

L'opérateur pilote alors la nacelle 2 pour la déplacer longitudinalement le long de la coque C, de façon à positionner l'outil de rénovation au bord de l'espace déjà rénové. Un pointeur laser peut par exemple être utilisé pour une validation visuelle du pas de déplacement.

Puis l'outil est déplacé sans changer l'orientation de la base mobile 20 de la nacelle 2.

L'opérateur lance ensuite le cycle automatique comme précité.

La figure 20 montre l'enchainement des étapes de traitement (rénovation) et de déplacement du robot 1 le long de la coque C.

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 nacelle à ciseaux et du robot cartésien.

Revendications

1. Robot (1) pour la rénovation par décapage et/ou revêtement de peinture, et/ou l'inspection d'au moins une paroi de structure à surface incurvée, notamment d'une structure de section(s) transversale(s) circulaire(s), comprenant :

- une nacelle à ciseaux (2) comprenant comme composants:

• une base mobile (20) comprenant au moins un essieu directeur définissant un premier axe (Axe 1) et un moteur de déplacement en translation définissant un deuxième axe (Axe 2),

• une plate-forme (23) montée en translation verticale sur la base mobile selon un troisième axe (Axe 3),

- un robot cartésien (3) comprenant :

• une structure porteuse (30) montée en translation horizontale sur la plate-forme selon un quatrième axe (Axe 4),

• un ensemble porte-outil (31), adapté pour porter un outil (O) de rénovation et/ou d'inspection, l'ensemble porte-outil étant monté en rotation sur la structure porteuse autour d'un cinquième axe (Axe 5) orthogonal au quatrième axe (Axe 4), en translation horizontale sur la structure porteuse selon un sixième axe (Axe 6) orthogonal au cinquième axe (Axe 5), en rotation sur la structure porteuse autour d'un septième axe (Axe 7) parallèle au sixième axe (Axe 6) et en translation sur la structure porteuse selon un huitième axe (Axe 8) orthogonal au septième axe (Axe 7) ;

- une pluralité de capteurs (5) comprenant :

• au moins un capteur de déplacement linéaire (50) adapté pour mesurer le déploiement vertical de la plate-forme par rapport à la base mobile selon le troisième axe (Axe 3),

• au moins un capteur de mesure angulaire (51), adapté pour mesurer la position angulaire de l'ensemble porte-outil par rapport à la structure porteuse autour du cinquième axe (Axe 5),

• au moins deux capteurs de mesure de distance (52, 53) adaptés pour mesurer chacun une distance d'un point de l'ensemble porte-outil par rapport à la paroi à rénover et/ou à inspecter;

• au moins deux capteurs de mesure de distance (54, 55) adaptés pour mesurer une inclinaison de l'ensemble porte-outil par rapport à la paroi à rénover et/ou à inspecter ;

- une unité de contrôle-commande (10) reliée à la pluralité de capteurs et aux moyens de déplacement des composants de la nacelle et du robot cartésien selon les premiers à huitième axe, l'unité de contrôle-commande étant adaptée pour déplacer automatiquement les composants de la nacelle et du robot cartésien 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.

2. Robot (1) selon la revendication 1, l'ensemble porte-outils comprenant :

- un premier support monté en rotation sur la structure porteuse autour du cinquième axe (Axe 5),

- un deuxième support (33) monté en translation sur le premier support selon le sixième axe (Axe 6),

- un troisième support monté en rotation sur le deuxième support autour du septième axe (Axe 7),

- un quatrième support monté en translation sur le troisième support selon le huitième axe (Axe 8) et sur lequel l'outil de rénovation et/ou d'inspection est destiné à être fixé.

3. Robot (1) selon la revendication 2, comprenant un moteur électrique, fixé sur la structure porteuse et dont l'arbre de sortie définissant le cinquième axe (Axe 5) est fixé au premier support pour l'entrainer en rotation.

4. Robot (1) selon la revendication 2 ou 3, comprenant :

- un moteur électrique, fixé sur le premier support ;

- une vis à billes définissant le sixième axe (Axe 6), fixée sur le premier support de sorte à être mise en rotation par le moteur électrique du premier support ;

- un écrou formant avec la vis à billes un système-écrou pour entraîner en translation le deuxième support.

5. Robot (1) selon l'une des revendications 2 à 4, comprenant :

- un moteur électrique, fixé sur le deuxième support ;

- un arbre définissant septième axe (Axe 7), fixé sur le troisième support de sorte à être mise en rotation par le moteur électrique du deuxième support pour entraîner en rotation le troisième support.

6. Robot (1) selon l'une des revendications 2 à 5, comprenant un vérin, fixé sur le troisième support et dont la tige définissant le huitième axe (Axe 8) est fixé au quatrième support pour l'entrainer en translation.

7. Robot (1) selon l'une des revendications précédentes, comprenant :

- un moteur électrique, fixé sur la plate-forme de la nacelle;

- une vis à billes définissant quatrième axe (Axe 4), fixée sur la structure porteuse de sorte à être mise en rotation par le moteur électrique de la plate-forme;

- un écrou fixé sur la structure porteuse et formant avec la vis à billes un système-écrou pour entraîner en translation la structure porteuse.

8. Robot (1) selon l'une des revendications précédentes, le capteur de déplacement linéaire pour mesurer le déploiement vertical de la plate-forme étant un codeur à câbles absolu comprenant un codeur fixé sur plateforme et à un mécanisme à câble comprenant un tambour fixé sur la base mobile et autour duquel est enroulé un câble dont l'extrémité libre est fixée à la plate-forme.

9. Robot (1) selon l'une des revendications précédentes, le capteur de mesure angulaire comprenant deux premiers télémètres laser fixés à distance l'un de l'autre sur l'ensemble porte-outil.

10. Robot (1) selon l'une des revendications précédentes, le au moins un capteur de déplacement linéaire pour mesurer le déplacement horizontal de l'ensemble porte-outil par rapport à la structure porteuse comprenant une pluralité de capteurs inductifs fixés sur la structure porteuse.

11. Robot (1) selon l'une des revendications précédentes, les au moins deux capteurs de mesure de distance pour mesurer deux distances entre le porte-outil et la paroi à rénover et/ou inspecter étant deux deuxièmes télémètres laser (52) fixés à distance l'un de l'autre sur l'ensemble porte-outil.

12. Robot (1) selon l'une des revendications précédentes, Les au moins deux capteurs de mesure de distance (53) pour mesurer une inclinaison de l'ensemble porte-outil par rapport

à la paroi à rénover et/ou à inspecter étant deux deuxièmes télémètres laser (53) fixés à distance l'un de l'autre sur l'ensemble porte-outil.

13. Robot (1) selon l'une des revendications précédentes, la base mobile (20) comprenant au moins un autre essieu directeur définissant un neuvième axe (Axe 9).

14. Robot (1) selon l'une des revendications précédentes, l'unité de contrôle-commande comprenant un automate de contrôle-commande (10) relié à chacun de la pluralité de capteurs, de préférence par bus CAN, un automate de la nacelle (11), relié à l'automate de contrôle-commande, de préférence par liaison Ethernet, l'automate de contrôle-commande étant adapté pour envoyer ses instructions de commande d'une part à l'automate nacelle qui commande le déplacement des composants de la nacelle selon l'un et/ou l'autre des premier à troisième axes, et le cas échéant selon le neuvième axe et d'autre part au robot cartésien pour le déplacement de la structure porteuse et/ou de l'ensemble porte-outils selon l'un et/ou l'autre des quatrième à huitième axes.

15. Robot (1) selon l'une des revendications précédentes, l'unité de contrôle-commande étant adaptée pour déplacer automatiquement la base mobile selon l'un et/ou l'autre des premier et deuxième axes et le cas échéant selon le neuvième axe, une fois la séquence prédéfinie, achevée.

16. Robot (1) selon l'une des revendications précédentes, comprenant une armoire logeant l'ensemble des composants électriques et l'unité de contrôle-commande (10), fixée sur la plate-forme nacelle, à l'extrémité longitudinale opposée à celle où est agencée le robot cartésien.

17. Robot (1) selon l'une des revendications précédentes, l'ensemble porte-outil étant adapté pour porter une buse de grenaillage munie d'une cloche d'aspiration pour recyclage de la grenaille ou une buse de projection d'eau à haute pression avec cloche de réaspiration de l'eau projetée ou une buse de projection de peinture avec dispositif de réaspiration de la peinture non déposée sur la paroi de structure.

18. Utilisation du robot selon l'une quelconque des revendications précédentes 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 ou d'un fond de navire ou d'un réservoir cylindrique, tel qu'un bac pétrolier, ou d'une conduite, notamment d'une conduite forcée.