

Y A-T-IL ENCORE UN MARIN À BORD ?

Toujours plus facile... Il est bien loin le temps où il fallait la force de plusieurs hommes pour envoyer un virement de bord. Grâce au progrès technologique, les bateaux s'automatisent, jusqu'à ne plus avoir besoin de personne à bord. C'est le défi fou des voiliers-robots, dont la flotte commence à émerger des laboratoires d'intelligence artificielle et annonce une véritable révolution.

DOSSIER RÉALISÉ PAR VÉRONIQUE CHENEAU, EMMANUEL DE TOMA ET OLIVIER LE CARRER

Vaimos, voilier-robot de l'Ifremer mis au point pour faire des relevés à la surface des océans.

Le défi fou des voiliers-robots

En février dernier, *Vaimos*, mis au point par l'Ifremer et l'ENSTA, parcourait 105 km seul sur l'océan ! Avant lui deux engins tentaient la traversée de l'Atlantique, mus seulement par le vent et leur intelligence embarquée. Un nouveau concept de la voile est en train d'émerger des labos en intelligence artificielle, qui va révolutionner notre façon de naviguer. **PAR VÉRONIQUE CHENEAU**

Faire traverser l'Atlantique à des bateaux non habités, en totale autonomie ; c'est le challenge fou auquel se préparent les chercheurs d'une quinzaine de labos d'intelligence artificielle, français, autrichiens, gallois, canadiens, américains, suisses, britanniques... Nom du défi : Micro Transat, lancé en 2005 par l'Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace de Toulouse, et Yves Brière, professeur de robotique. Deux de ces petits bateaux héroïques ont déjà fait une tentative. Le canot Gallois, et le voilier français, de l'ENSTA-Bretagne (Ecole nationale supérieure des techniques avancées), *Breizh Spirit*, qui a parcouru la plus grande distance, 99 km, sans aucune intervention humaine. On est loin des milliers de milles qui séparent les deux continents, mais l'exploit est de taille, surtout si l'on considère que ces robots sont dans tous les cas le résultat d'un travail d'étudiants – petite équipe, peu de temps, sans budget. Et qu'il y a seulement six ans, les engins les plus performants réussissaient à naviguer seuls durant une heure. Aujourd'hui, ils voguent en solo durant deux jours !



Chaque année se tient la rencontre internationale de voiliers-robots... Conférences, régates performances sportives et recherche en robotique sont au programme. Ici, l'étonnant voilier de la Team Overkill's Rampage.

COLIN SAUZE

Nous n'en sommes qu'aux balbutiements... Mais depuis que le challenge a été lancé, la communauté d'étudiants et de chercheurs qui se sont lancés dans l'aventure n'a cessé de croître... Les projets affluent, de plus en plus sophistiqués et experts, avec des applications qui dépassent la performance sportive seule. A l'exemple de la coproduction de l'Ifremer-Unité de Recherches et Développements Technologiques (RDT), du Laboratoire de Physique des Océans (LPO) – et de l'ENSTA. Sans aucun doute le voilier le plus « pro » des robots. Mis à l'eau en janvier dernier pour une première campagne expérimentale, réussie (105 km, en dix-huit heures), *Vaimos*, sorte de drone marin, n'a pas pour vocation de concourir au challenge Micro Transat ni de rester près des côtes, mais de contribuer à des expériences scientifiques pour effectuer des mesures au large dans les couches supérieures de l'océan (entre 0 et 1 m) : température, salinité, turbidité, oxygène dissous... L'enjeu pour l'Ifremer, et le



Vaimos repartira cet été en campagne en Méditerranée suivi par le bateau *Thalassa* de l'Ifremer.

IFREMER

LPO, est de multiplier des données, jusqu'alors difficiles et coûteuses à obtenir, car effectuées depuis des navires motorisés à fort déplacement (navires océanographiques, cargos, ferries). Le voilier *Vaimos* a su tirer profit du développement d'un bateau robot mu par un moteur électrique, réalisé par l'Ifremer-RDT dans le cadre du projet européen Mobesens (www.mobesens.eu). Le kayak *Mobesens* a été mis au point en 2008, et a déjà fait des mesures scientifiques et des prélèvements d'eau sur le lac Léman, l'étang de Thau et en rade de Brest... L'intérêt de la propulsion vélique en terme d'énergie est indéniable. Elle offre à *Vaimos* une capacité à naviguer au large en autonomie totale...

Nettoyer les nappes de pétrole

A l'autre bout de l'échelle des rêves de voiliers-robots au service de l'homme : le nettoyage de nappes de pétrole lors de marée noire ou des polluants tels que les sacs et bouteilles plastiques. C'est le projet qui a été présenté par un collectif d'étudiants lors du colloque du prestigieux Institut de recherche maritime des Pays-Bas (Marin) – abritant le plus grand centre hydrodynamique d'Europe –, qui s'est tenu en ce début d'année à Rotterdam. *Protei*, tel est le nom du robot, dont on a pu voir la sixième version, est doté d'une étonnante coque désarticulée, très légère, avec plusieurs safrans dont un à l'avant.



Essai de mise à l'eau de l'une des versions du bateau *Protei*...

PROTEI



Ce voilier, bientôt robotisé, a pour vocation d'emprisonner pétrole, sacs plastiques... grâce à sa longue queue ondulante.

PROTEI



Panneaux solaires pour actionner les différents appareils électroniques du bord.

QU'EST-CE QU'UN VOILIER-ROBOT ? UN BATEAU PROPULSÉ PAR LE VENT, NON CONTRÔLÉ DEPUIS LA TERRE ET AUTONOME EN ÉNERGIE...

L'intérêt d'une coque flexible, expliquent les auteurs, est qu'elle suit le mouvement des vagues plutôt que de le contrer (moins d'énergie dépensée) et que les deux voiles, ayant alors chacune un angle différent, reçoivent un maximum de vent... Le voilier tracte une longue traîne, immense boudin longitudinal, qui flotte et emprisonne les nappes de fioul lors de la remontée vers la source de pollution. Le voilier, qui a maintenant sa forme définitive la plus efficace pour sa tâche, devrait bientôt recevoir son intelligence embarquée. C'est la prochaine étape pour que *Protei* acquière pleinement son statut de voilier-robot... Un autre projet tient particulièrement à cœur de César Hadara, initiateur de *Protei* : mettre au point un voilier autonome pouvant approcher au plus près les zones contaminées de Fukushima afin de faire des mesures réelles de la radioactivité. De quoi produire aux autorités, explique César, dont le père est japonais, des données bien différentes des chiffres officiels. Indispensable quand viendra le temps d'indemniser les milliers de riverains atteints de cancer de la thyroïde...

Les robots, ces héros

Petites parenthèses à propos des robots utilisés afin de pénétrer des zones inaccessibles par l'homme. Une grande partie des « robots rescue », développés pour le sauvetage lors de tremblements de terre par exemple, courants au



Le voilier *Fuji*, l'un des plus petits du genre, pas plus de 80 cm !

COLIN SAUZE

L'équipe de *Breizh Spirit*, développée par l'ENSTA Bretagne. Le voilier devrait prochainement retenter la traversée de l'Atlantique.



ENSTA-BRETAGNE

RIEN DE TEL QU'UN DÉFI SPORTIF POUR STIMULER LA RECHERCHE... ALORS, À QUAND UNE COUPE DE L'AMERICA DISPUTÉE PAR DES MACHINES ?



Les voiliers-robots ne savent pas encore éviter les obstacles en mer... Un problème de taille !

YVES BRÉREISSE

●●● Japon, sont entraînés en coulisses de la coupe du monde de football... Non, ce n'est pas une blague. Lors de la Robocup, qui se joue en marge de l'épreuve internationale, les plus grands laboratoires d'intelligence artificielle (IA) au monde s'affrontent en des matches régis par les règles de la FIFA (fédération internationale de football)...

Les fameux chiens Sony sont nés et ont grandi sur un terrain de foot, tout comme les drones qui sont allés fouiller les décombres à New York après le 11 septembre... Et oui, rien de tel donc qu'un défi sportif pour stimuler la recherche. Et celui annoncé le plus sérieusement du monde par les magnats de l'intelligence artificielle a de quoi faire frémir, il n'a pourtant rien de délirant au vu des progrès qui ont été accomplis en quelques années... En 2050, c'est une équipe d'androïdes qui gagnera la finale de la coupe du mode ! Alors, à quand une coupe de l'America disputée par des machines ? On en n'est peut-être pas si loin... et le défi semble moins ardu que la traversée de l'Atlantique. Si le plan d'eau est connu (régime de vent, météo, courant...), avec un bon programme dans le ventre, le voilier saura virer quand il le faut, régler les voiles au poil... et adopter la meilleure stratégie à l'égard du concurrent. Kostia Roncin, avant de mener aujourd'hui le projet *Breizh Spirit*, au sein de l'ENSTA, où il enseigne depuis trois ans, avait mis au point, à l'école centrale de Nantes, un simulateur de voilier en situation de match-racing: un outil pour pouvoir rejouer les matches et comprendre l'interaction aérodynamique entre les deux voiliers et modéliser toutes les situations, résoudre les équations. C'est un peu comme pour mettre au point un logiciel de jeu d'échecs: il faut comprendre toutes les règles, les modéliser, étudier tous les jeux possibles... Et hop ! échec, et mat.

Le rêve de la voile automatisée dite « presse-bouton »

Si les roboticiens, ingénieurs en IA se sont, au départ, intéressés au voilier comme support pour tester leur système intelligent, une chose est sûre, ce défi autant technique qu'intellectuel

"CES PETITS VOILIERS POSENT UN PROBLÈME PLUS INTELLECTUEL QUE SPORTIF." MARC VAN PETEGHEM, ARCHITECTE NAVAL



Que pensez-vous de ces petits bateaux qui n'ont plus besoin de marin à bord ?

C'est très intéressant, cela pose un défi intellectuel, plutôt que sportif... Cela ne m'étonne pas que l'on puisse faire de telles choses. On a déjà travaillé sur des jeux tels que Virtual Regatta

Inshore pour lesquels on a élaboré des algorithmes qui vont dans le sens de ce qui est développé en version simplifiée dans les voiliers-robots. De même pour l'analyse des performances de nos voiliers, on modélise l'ensemble des paramètres... Pour les voiliers-robots, on part de ces paramètres pour régler le bateau afin de concevoir un simulateur automatisé.

Qu'est-ce qui vous paraît le plus intéressant, et que vous pourriez reprendre sur vos prochains voiliers...

On s'est intéressé à la propulsion vélique des bateaux de travail, bateau de commerce, de pêche par intérêt économique (réduction du gasoil) et écologique. Il ne s'agit pas de reformer une marine à voile

comme autrefois, menée par un équipage de marins... Les voiles doivent être intelligentes, automatisées, se régler seules. Et cela, on sait faire, et d'autant mieux avec une aile rigide, dont on connaît les algorithmes de réglage bien mieux qu'avec une voile, laquelle se déforme, vieillit, est sujet à plus de variations... La partie navigation est déjà automatisée, il faut réussir à la coupler avec le réglage automatique des voiles.

Un jour, ce type d'exploit s'appliquera-t-il à la plaisance ? Naviguerons-nous alors sans avoir à manœuvrer ni la voile ni la barre ?

Oui, pourquoi pas, cela semble tout à fait possible... On sort du port, on choisit sa route, on

indique un cap et on ne s'occupe de rien... Plus qu'un bateau, cet engin automatisé semble être un véhicule à moteur, un moteur éolien... Mais il y a un bémol. Quelque chose est fondamental dans la navigation: l'anticipation, et je ne suis pas sûr que l'on sache modéliser ce qui permet d'anticiper, à savoir le sens marin... La machine peut-elle avoir le sens marin ? Il faudrait poser la question à des spécialistes en intelligence artificielle... En mer, les choses ne se passent jamais exactement comme prévu: il faut non seulement s'adapter mais aussi interpréter et anticiper. Il y a beaucoup de variations dans les prévisions. Et donc beaucoup de réponses possibles. Mais il est évident qu'il y a une demande de

simplification dans le gréement... la manœuvre de la voile, c'est ce qu'il y a de plus compliqué. **L'architecture navale peut-elle évoluer en fonction des contraintes d'automatisation ?** Oui bien sûr... l'architecture est un domaine de création très contraint; à partir du moment où l'on modifie quelque chose d'aussi fondamental que le gréement - car là est le véritable nœud de l'automatisation - on n'aura pas les contraintes d'un plan de voilure souple qui demande un plan de pont adapté. La position du mat ne sera peut-être plus à la même place. L'occupation de l'espace s'en trouvera modifiée et de nouvelles possibilités d'emmenagement se présenteront...



IBoat, le pionnier des voiliers robots en France, né en 2005, est détenteur du record d'autonomie en mer (Iboat II, notre photo) établi en juin 2011.

YVES BRÉREISSE

préfigure une forme révolutionnaire de la navigation. Pour la plaisance, une voile entièrement automatisée, dite « presse-bouton », réduisant à zéro la manœuvre, pourrait bien séduire tous ceux qui vont vers le bateau moteur parce que plus facile. Dans un marché où 80 % des transactions se font en faveur des canots à moteur, on entrevoit aisément les retombées possibles d'un développement d'une telle technologie. L'architecte naval Jean-Marie Finot, s'est lui aussi mis sur les rangs. Avec l'école polytechnique, il a lancé il y a deux ans, la classe Nanosail. Des petits bateaux dont la voile devra complètement être automatisée, actionnée par plusieurs moteurs. Réglage et réduction en un clin d'œil. Son objectif: expérimenter sur des petits modèles ce qu'il rêve de faire depuis longtemps sur des grands: faciliter l'accès à la voile pour qu'en profitent plus grand nombre, en dégageant l'utilisateur de toute contrainte d'avoir à gérer le gréement. (lire l'encadré).

Des voiles intelligentes pour bateaux de travail

L'asservissement des voiles n'est pas la plus grande difficulté... Et cela existe déjà sur de grands voiliers tels que le *Falcon Maltesse*... Depuis un pupitre, on rentre l'effort sur chaque voilure, il suffit d'appuyer sur un bouton. Il s'agit là plutôt d'une interface homme-machine... ●●●

COMMENT UN BATEAU PEUT-IL NAVIGUER SANS PERSONNE À BORD ?

→ C'est simple, répondent les spécialistes de l'intelligence artificielle... il suffit de lui apprendre à naviguer. Quand la voile fasseye, il faut abattre... quand la voile fasseye beaucoup, il faut abattre beaucoup... Ces phrases, ici grossières, sont modélisées, et transcrites sous forme d'algorithmes implémentés dans l'ordinateur, qui est embarqué. Le voilier est équipé de capteurs (direction et force du vent, GPS, compas...); et d'actionneurs (des petits moteurs qui agissent

sur la barre, et sur la ou les voiles). Les données fournies par les capteurs sont analysées par l'ordinateur du bord, qui, selon tout ce qu'on lui a appris, commande alors la ou les actions (tirer la bord, border la voile)... Pour le programme de navigation: on rentre différents waypoints. En tenant compte des spécificités météo rencontrées lors d'une transt... Yves parlier a été sollicité par Kostia Roncin pour faire le routage de *Breizh Spirit*... En photo ci-dessous. Une collaboration très étroite entre pros de la robotique et de la voile est donc indispensable.

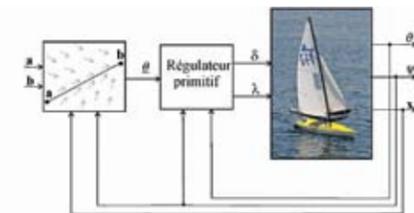
La simplicité de Breizh Spirit



ENSTA-BRETAGNE

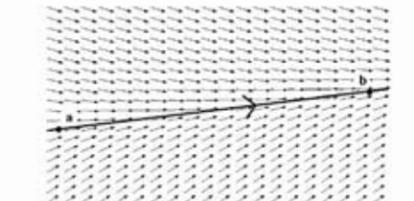
L'INTELLIGENCE D'UN VOILIER

→ L'intelligence de tous les voiliers robots repose sur une chaîne de boucles de commandes. Dans le schéma ci-contre, illustrant l'intelligence de *Vaimos*, celui-ci est un système dynamique dont les entrées (ou actionneurs) sont l'angle du gouvernail δ et la longueur de l'écoute λ . Les sorties (ou capteurs) correspondent au cap θ mesuré par la boussole, l'angle du vent ψ donné par la girouette et la position GPS x . Un premier régulateur, dit primitif, joue sur les actionneurs afin de respecter un cap consigne θ_c .



→ Un deuxième régulateur s'occupe de la navigation. Il est chargé de générer un cap consigne θ possible à suivre pour le robot. Pour cela, il conçoit un champ de vecteur (semblable à un champ de potentiel) compatible avec les vents qui se traduira par une ligne attractive pour le robot. Un tel champ est représenté sur la figure ci-dessous.

→ Enfin, un superviseur séquence la succession des lignes afin que le robot puisse réaliser l'ensemble de sa mission. Les différents régulateurs sont alors implémentés sur l'ordinateur embarqué de *Vaimos*. Avant de lancer le robot, le bon déroulement de l'ensemble est vérifié mathématiquement à l'aide de techniques académiques de calcul ensembliste et de programmation par contraintes.



SOURCES: LUC JAILLIVENISTA BRETAGNE

UN SUIVI À LA TRACE

→ *Vaimos*, parti de Brest le 17 janvier à 8 h, devait rejoindre Douarnenez, y effectuer une série de mesures puis revenir à son point de départ. Vue du ciel, sa trajectoire effectuée (en rouge) se superpose à la trajectoire programmée (en vert). De plus près, *Vaimos* louvoie, se recalibre, résiste aux vagues, sa trajectoire est moins précise. D'autant que *Vaimos* a dû éviter un sous-marin (point 6), éviter un cargo après le point 8. Sa mission s'est arrêtée peu avant le point 11 suite à une avarie empêchant le réglage de la voile.



LE MOT DE JEAN-MARIE FINOT

Avec l'Ecole polytechnique vous travaillez depuis deux ans à la conception d'un voilier-robot, le NanoSail (photo ci-dessous) qui, vous le dites, n'a pas vocation de tenter la Microtransat... Quel est alors votre challenge?



La compétition n'est pas un but en soi... Ce qui m'intéresse, c'est de tester, sur un petit bateau, l'automatisation des voiles pour faciliter la manœuvre afin que le plus grand nombre puisse naviguer. Parce que gérer un voilier – régler les voiles, barrer pour utiliser au mieux le vent, gérer ses sautes en force, en direction et en gradient d'altitude, la poussée des vagues et leur négociation – demande un long apprentissage et des compétences complémentaires. Mon but est de faire un bateau à propulsion vélique, aussi simple d'usage - et plus fiable - qu'un moteur hors-bord. Quand le vent s'y prête, on déroule la voile, sinon on met le moteur, électrique, bien sûr, que l'on recharge lorsque l'on est au mouillage à l'aide de panneaux solaires... On avance beaucoup plus facilement à la voile. L'énergie du vent et du soleil sont complémentaires sur un bateau mais l'énergie éolienne est beaucoup plus importante que l'on peut tirer du soleil sur un bateau, ce sont deux énergies complémentaires sur un bateau.

Seules les voiles seront automatisées?

La robotique, c'est un problème philosophique... Je suis pour des robots développés pour remplacer l'homme dans les tâches répétitives, fatigantes. Mais pas pour le remplacer là où il est le meilleur... Le réglage des voiles est répétitif, il peut donc être programmé, et on sait le faire. L'orientation des voiles, la réduction en fonction de la gîte, de l'incidence... Suivre un cap peut également être programmé. Par contre, éviter les obstacles mobiles sur un plan d'eau, observer l'évolution du temps, élaborer une stratégie, prendre des décisions, ce n'est pas modélisable. Ce n'est pas demain que l'on saura implémenter dans la machine l'expérience, le tempérament, le sens marin...



Le premier de la série des Nanosail de Jean-Marie Finot



On compte une quinzaine de projets de voiliers-robots dans le monde, s'essayant à la navigation sans marin à bord!

... Mais ce ne sont pas pour autant des voiles intelligentes... L'un des tout premiers, dont on a connaissance en tout cas en France, à avoir rêvé d'un tel gréement, est Pierre-Yves Glorennec. L'idée, portée par le projet Grand Lague, avec Avel Vor technologie, est d'équiper des bateaux de pêche de voiles pour économiser le gasoil lorsqu'ils font route sur le site. Tester sur un

L'OBJECTIF DES ARCHITECTES : CONCEVOIR UN BATEAU AVEC UN MOTEUR ÉOLIEN PLUTÔT QUE THERMIQUE...

chalutier, l'économie est de l'ordre de 20 %. Mais pas question pour autant que le pêcheur soit obligé de manœuvrer la voile, d'autant plus que les équipages professionnels sont de plus en plus réduits. Le pêcheur n'est pas navigateur – excepté les Escoffier, qui, à Saint-Malo, envisagent de rééquiper leurs bateaux de voiles, tout comme l'avait fait Franck-Yves... Les voiles doivent donc impérativement se comporter

seules et en bonne intelligence. Marc van Peteghem s'intéresse lui aussi de près à des voiles qui pourraient équiper toute sorte de bateau de travail, jusqu'au cargo... (lire l'interview).

Un robot est-il intelligent?

Non, mais oui, peut-être, enfin, ça dépend. D'abord qu'est-ce qu'un voilier robot? Les organisateurs du Micro Transat Challenge admettent comme tel toute embarcation qui a le vent comme seule source d'énergie, n'est pas contrôlée depuis la terre (il n'est donc pas téléguidé et est complètement autonome en énergie... A part ça, tout est permis... Taille, gréement, source d'énergie, matériau. Il n'y a qu'à jeter un coup d'œil aux engins qui se sont mesurés l'été dernier à Lubeck, en Allemagne, lors de la conférence internationale sur les voiliers robots qui se tient chaque année. Des coques de Mini J, des réductions de VOR, des carènes de 80 cm, de 4 m, gréements à balestrons, standards... Une flotte pour le moins hétéroclite qui partage ce même objectif : traverser l'Atlantique. ■

REMERCIEMENTS :

- **Vaimos**: Olivier Ménage, Thierry Terre (LPO), Patrick Rousseaux, Sébastien Prigent, (Ifremer/RDT) Luc Jaulin, Fabrice Le Bars (Ensta Bretagne),
- **Breizh-Spirit 3**: Kostai Roncin et son équipe
- **Iboat**: Yves Brière, et son équipe
- **NanoSail**: Jean-Marie-Finot et l'école Polytechnique



Le Wally Esense de 43 m peut être manœuvré par un homme seul.

La marche du progrès

Le temps étant révolu où monsieur barrait son yacht tandis qu'une volée de marins actionnait palans et drisses, on a dès les années vingt multiplié les inventions technologiques pour simplifier la manœuvre et la vie à bord. Bilan d'un siècle de progrès vers la voile facile. PAR EMMANUEL DE TOMA

Nous ne remonterons pas jusqu'à la nuit des temps pour y dénicher un quelconque inventeur de la poulie et du palan, géniales inventions que l'on attribue volontiers à Archimède. Parce qu'il faut bien à toute chose un inventeur. Toujours est-il que le palan, comme le levier, a permis, de soulever des montagnes sur terre et de hisser des kilomètres carrés de toile en mer. Toujours fort utilisé sur nos navires (hale-bas, barber, etc.) il présente deux inconvénients : il engouffre de grandes longueurs de cordage et se révèle particulièrement lent. Le cabestan ou le treuil utilisés très tôt sur les grands voiliers de guerre ou de commerce étant pour leur part encombrants, on leur préfère à bord de nos petits voiliers de plaisance le winch. Ce fameux *ouinche*, comme on a tenté de l'appeler au moment de son apparition en France, marque assurément le premier pas vers une radicale simplification de la manœuvre. Il aurait été initialement développé dans sa version moderne au début du XX^e siècle par le génial architecte

naval américain Nathanaël Herreshoff. On le trouve notamment à bord du voilier Reliance, vainqueur de la douzième America's Cup en 1903. D'abord en bronze, puis en bakélite et en inox, il est aujourd'hui le plus banal des appareils de nos bords, sans lequel nous ne saurions toutefois border un génois par bonne brise. Et comme le progrès s'empare volontiers de toute chose, il n'a cessé de se perfectionner pour devenir self-tailing, à plusieurs vitesses, puis électrique, et enfin hydraulique. En attendant mieux...

L'ère du sans-efforts

Car le but avoué des progrès qui se sont emparés de nos voiliers de plaisance vise principalement à nous épargner les déplacements souvent acrobatiques et les efforts physiques de plus en plus considérés comme iniques. Une fois le winch affecté aux drisses et écoutes, on en est venu à trouver épuisant le transport et le changement des voiles d'avant. Ainsi se généralisa dès les années 1970 l'étai enrrouleur. A ne pas confondre avec l'étai emmagasineur qui, lui, date de ...



La manœuvre en pied de mât considérée comme acrobatique est généralement évitée par un renvoi de toutes les drisses et bosses au cockpit. Revers de la médaille : cela nécessite parfois plus de force.

