



05/10/2020

## LE DEVENIR de la REGATE OFFSHORE

David Carr, vainqueur de l'équipe britannique INEOS (AC75), révèle pour Yachting World ce qu'est la vie de l'équipage de Ben Ainslie pour la Coupe de l'America.

Les six premières lignes de son interview sont presque surprenantes.

*« Quand vous quittez le quai, votre vie est entre les mains des ordinateurs - et du gars qui pilote le bateau hors de l'eau, bien sûr. Tous les systèmes du bateau, à part les winches qui tournent, dépendent des ordinateurs. »*

*« Vous êtes alors conscient que vous naviguez maintenant sur un bateau qui repose entièrement sur du code informatique. Mais je suppose que lorsque vous êtes assis dans un avion à 40 000 pieds, c'est exactement la même chose ».*

### **L'homme et le bateau**

Plongé dans l'analyse et le décodage des AC 75 depuis la première vidéo présentée par les Néo-Zélandais, comme dans celle des IMOCA et des navires à foils en général, je ne suis pas surpris de la réaction de David Carr. Notons toutefois que les AC 75 possèdent (presque) tous les équipements de sustentations nécessaires pour contrôler le vol. Ce qui n'est pas le cas d'autres monocoques comme par exemple les IMOCA.

Voler à une altitude la plus constante possible, sur une trajectoire choisie stable, suppose :

- Que la configuration physique du bateau permette de contrôler l'altitude, la trajectoire et les déséquilibres momentanés (perte de puissance, perte de portance, cavitation et ventilation des éléments sustentateurs ou de contrôle).
- Que le dialogue Homme / Système de sustentation soit possible. C'est-à-dire que l'homme puisse être capable de comprendre les évolutions de l'environnement de vol et de le traduire en informations de pilotage cohérentes avec une grande réactivité.

D'ailleurs beaucoup de skippers d'IMOCA reconnaissent que cette nouvelle évolution de bateaux équipés de Foils très puissants est devenue impossible à barrer.

Cela amène à réfléchir sur l'importance et l'influence de la technique dans la navigation (le pilotage) et à l'effet qu'elle tend insidieusement à se superposer, voire à prendre la place du skipper.

Déjà les logiciels de navigation ont très largement dépassé leur objectif de départ qui rappelons-le était de positionner à l'instant « t » la trace du bateau sur la carte.

En couplant sur un même module algorithmique, la position (et les paramètres qui y sont liés), les évolutions météo prévues, les courants et les potentiels de vitesse du bateau (polaires), on produit une assistance nouvelle au skipper.

Reste que ce module algorithmique est sans commune mesure avec l'appareil de localisation originel, le « GPS ».

### ***Quelles sont alors les limites de ces algorithmes dans les relations entre le Skipper, le Matériel, les Datas extérieurs ?***

En d'autres mots, en navigation à la voile, savoir précisément où on se trouve sur le plan d'eau ne donne pas la route pour arriver à destination car la ligne droite n'est pas obligatoirement la bonne solution.

Les régates offshores ou Inshores utilisent des systèmes de handicap afin de pouvoir classer les bateaux entre eux.

Toutes les jauges taxent plus ou moins directement<sup>1</sup> le matériau du mat, de la quille, de la coque, les surfaces etc, etc... mais aucune jauge ne limite ou ne taxe les aides à la navigation ou à la décision<sup>2</sup>.

On peut se poser la question de l'équité sportive dans ces conditions, surtout que les jauges taxent les winches électriques sous prétexte que la règle 52 des RCV impose que les manœuvres soient faites en utilisant seulement la force manuelle.

Finalement on taxe « les muscles électriques » mais on ne taxe pas les « muscles intellectuels électriques ». Équité où es-tu ?

### ***La spirale infernale de la technique***

Les techniciens par nature, souhaitent toujours progresser, innover. C'est leur formation de base.

Tant que les évolutions portent sur un winch, des poulies, ou même de matériaux de voiles, du mat, ce n'est pas un réel problème. Certes ces innovations améliorent les performances du bateau, mais en aucun cas elles ne transformeront un « mauvais skipper » en médaillé olympique et surtout elles restent contrôlables par l'autorité sportive.

Actuellement les RCV consacrent uniquement deux règles (Dopage et règle 52 ENERGIE MANUELLE) à la relation entre l'HOMME et le BATEAU, et cela sur 7 chapitres et 18 annexes qui constituent les RCV. Soit pour la règle 52 : « *Le gréement dormant... les appendices mobiles de coque doivent être réglés et manœuvrés uniquement par la force fournie par l'équipage* ».

On pourrait très bien se poser la question, est-ce que l'utilisation de logiciels d'aide à la décision ne constitue pas une forme de dopage, puisque ces algorithmes augmentent le potentiel intellectuel et décisionnel du skipper.

Mais cette réflexion n'est pas nouvelle, déjà à l'arrivée et la victoire de Geoffrey WILLIAMS dans l'OSTAR de 1968, la question avait été posée suite à des opérations de routages (une première en Course au Large) depuis la terre dont avait bénéficiés le vainqueur. Il faudra toutefois attendre quelques décennies pour que les bateaux deviennent autonomes en matière d'accès à des informations extérieures. Mais l'idée était là.

Pour en revenir aux RCV, dès les premières navigations en solitaire et notamment en course, le « pilote automatique (PA) » s'est avéré indispensable.

Dans les années 60 (début des régates en solitaire) l'énergie à bord des bateaux était rare, on utilisait alors des conservateurs d'allure (cap par rapport au vent). Ces équipements étaient des sortes de girouettes autonomes qui agissaient sur la barre<sup>3</sup> et corrigeaient les écarts de route.

---

<sup>1</sup> Soit par une taxe uniforme, soit en mesure la stabilité du bateau

<sup>2</sup> A l'exception des téléphones, et je ne suis pas certain que cette interdiction existe toujours.

<sup>3</sup> Éric Tabarly a été le premier à introduire un pilote développé par un ingénieur en aéronautique. Ce pilote agissait sur un fletner qui actionnait un safran complémentaire installé sur le tableau arrière du bateau.

Ces systèmes certes très écologiques, ont rapidement été supplantés par des technologies de plus en plus évoluées et complexes.

Pour les régates en solitaire et en double, la règle 52 des RCV est donc nécessairement amendée. La manœuvre du safran et son amplitude utilisent un autre type d'énergie que celle d'équipage. Le PA fait aussi appel à un système de commande autre que le cerveau du skipper et/ou celui de l'équipage. Cette méthodologie est toujours d'actualité.

Récemment le RORC a publié un rapport qui recommande vivement que l'utilisation de systèmes de pilotage automatique (PA) soit généralisée - sans pénalité - dans les courses au large en équipage, y compris pour les grands évènements.

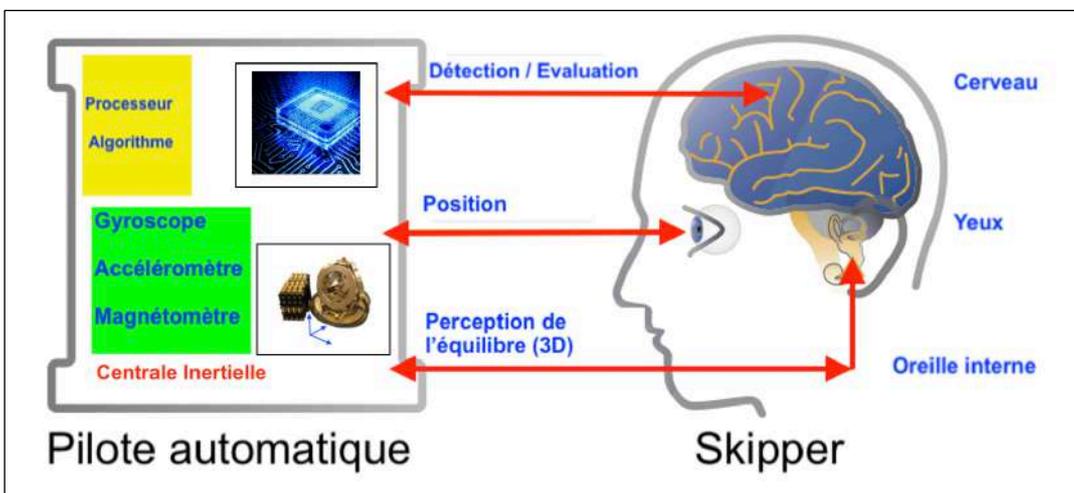
Bien qu'à ce stade cette proposition ne soit qu'une recommandation, et qu'elle émane du RACE OFFICE et non du SAILING COMMITTEE du RORC, l'idée est dans l'air (et sur le Net...).

Si on l'associe avec la situation mondiale<sup>4</sup> des régates Inshore ou offshore, il est possible que cette proposition soit adoptée et généralisée d'autant plus que l'application de la règle 52 des RCV (World Sailing) relève uniquement des Clubs ou des Organismes.

### **Quel effet la sophistication de la technique exerce sur la régata ?**

Un sport mécanique est d'abord régi par des règles propres au support (pour les bateaux : les règles de Jauge). En régata, il faut ajouter les règles de route, ce qui représente un ensemble relativement complexe, mais assimilable.

Les concepteurs de pilote automatique (PA), qui sont au fait des évolutions de la technique, des nouveaux types de bateaux, notamment des Foilers, ont vite compris que le barreur peut être remplacé par un module beaucoup plus fiable, attentif, réactif, performant et infatigable.



Ainsi au fil des années, des équipements de hautes performances permettant le développement d'algorithmes de plus en plus élaborés, sont introduits dans les PA.

Ce n'est pas le développement de ces algorithmes qui pose problème, mais la connaissance de la position en continue du bateau dans l'espace 2D ou 3D (Archimédien ou Vol). Ensuite viendra évidemment la question des systèmes d'acquisitions et de traitements des données qui environnent ou aboutissent sur le bateau et surtout celui de la position du bateau dans l'espace et cela en flux continu.

### **Quand les choses se compliquent**

Aujourd'hui les « PA Archimédiens » utilisés en solitaire ou en double sont équipés de capteurs dits « intelligents ».

<sup>4</sup> Situation sanitaire et difficulté à recruter des équipages nombreux.

Ces capteurs intelligents regroupent pour chaque axe, des gyromètres qui fournissent la vitesse angulaire, des accéléromètres et des magnétomètres qui renseignent sur la variation du champ magnétique.

Ces données en flux continu alimentent un algorithme dont le travail est de les fusionner pour produire au final l'orientation du bateau sur l'eau par rapport au « Nord ». Les technologies embarquées dans ces PA sont en rapport avec les performances des bateaux archimédiens relativement lents.

Il existe sur le marché des centaines de capteurs qui génèrent ces types d'informations. On les rassemble sous le nom de Capteurs Inertiels.

En navigation « normale », le compas, le safran, la quille, les lois archimédiennes suffisent pour contrôler les 4 degrés de liberté<sup>5</sup> que possède le bateau.

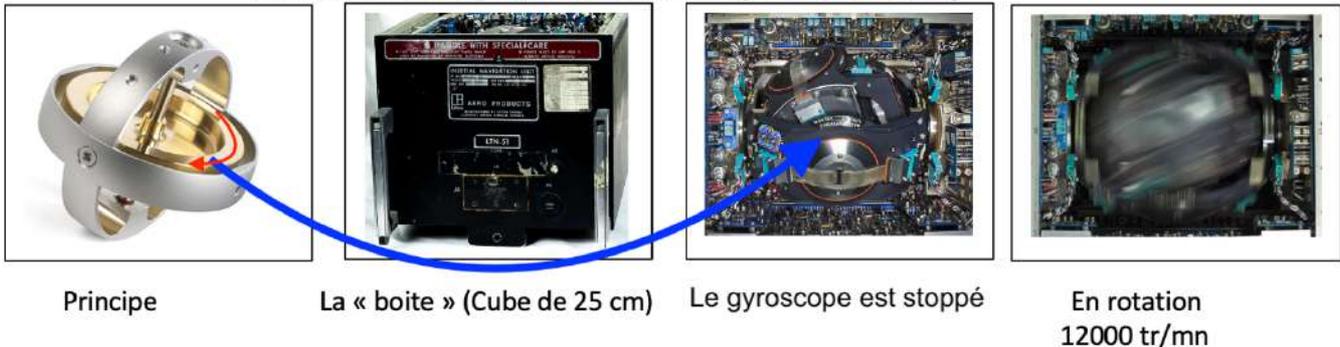
Lorsque le bateau se met à voler, il entre dans le domaine 3D et à ce moment évolue avec 6 degrés de liberté.

Les équipements usuels de navigation 2D ne suffisent plus. En d'autres mots, pour voler, donc en 3D, il faut pouvoir naviguer sur un plan horizontal situé au-dessus<sup>6</sup> de la surface de la mer et cela sans repère d'horizontalité.

L'invention, en 1852, du gyroscope (qui deviendra au fil des années et des technologies une Centrale Inertielle) assurera de manière automatique cette fonction.

Pendant près de 150 ans, la base de fonctionnement du gyroscope (centrale Inertielle) sera constituée par une mécanique très sophistiquée, lourde, volumineuse et énergivore. En fait un gyroscope « se résume » à un disque assez lourd que l'on fait tourner à 10000, 15000 tr/mn, ce disque étant en équilibre sur les 3 axes X, Y, Z. L'électronique moderne, la fibre optique, les lasers conduiront à l'abandon des systèmes mécaniques dans la fabrication des Centrales Inertielles et à la naissance d'une variante technologique plus simple : le « Capteur Inertiel ».

#### CENTRALE INERTIELLE de « CONCORDE » (Premier vol 1969)



Les évolutions des différentes technologies permettront de miniaturiser les équipements, ce qui permettra d'intégrer des « gyroscopes<sup>7</sup> » dans les voitures, les Smartphones etc...

Mais cette miniaturisation se fera au détriment des performances<sup>8</sup>, à tel point qu'il existe une hiérarchisation des types de « gyroscopes », du Capteur Inertiel aux Centrales Inertielles

#### **Capteurs inertiels... Centrales inertielles...**

Dans le principe général, leurs objectifs sont identiques : se situer dans l'espace 3D par rapport à un repère de référence. Ce sont leurs équipements technologiques internes, essentiellement les gyromètres et les gyroscopes, qui différencient les Capteurs Inertiels et les Centrales Inertielles.

Le **gyromètre** fournit la **vitesse angulaire** par rapport au référentiel inertiel de l'instant « t ». Le gyromètre est donc un capteur de vitesse angulaire. Il équipe les capteurs inertiels.

<sup>5</sup> En 2D, un mobile possède 2 translations sur OX et OY et 2 rotations autour de OX et OY

<sup>6</sup> Sous la surface de la mer, pour un sous-marin.

<sup>7</sup> « Gyroscope » : il faut prendre cette désignation comme un éponyme d'un système complet.

<sup>8</sup> Il faut évidemment relativiser la notion de performances, ce qui est inacceptable pour un avion, l'est pour une voiture

Le **gyroscope** donne la **position angulaire (en 3D)** de son propre référentiel à l'instant « t » par rapport à son référentiel au moment du départ (t=0). Une centrale inertielle sera équipée d'un gyroscope.

Le premier (**gyromètre**) fournit une vitesse, le deuxième (**gyroscope**) une position<sup>9</sup>. C'est mathématiquement une opération différente, puisque la vitesse est la dérivée de la position (en fait la distance parcourue) et à l'inverse la position correspond à l'intégration de la vitesse.

Le problème est que ces opérations mathématiques internes, réalisées par l'algorithme de traitement, sont différentes suivant que l'on utilise la Vitesse angulaire ou de la Position angulaire. En fait l'opération mathématique d'intégration de la vitesse vers la position introduit un paramètre (on nomme cela une constante) inconnu qui oblige à utiliser la succession des positions estimées du mobile pour concevoir l'algorithme.

Toutefois les résultats sont supérieurs lorsque l'on travaille à partir des positions fournies par le gyroscope d'une Centrale Inertielle.

Le capteur inertielle, bien qu'utilisable, restera limité à la navigation archimédienne.

L'évolution ne se situe donc pas que dans le nom éponyme, mais dans la qualité technique des informations produites.

Les contraintes de pilotage en Vol, imposent aujourd'hui que le PA utilise une Centrale Inertielle afin d'obtenir une trajectoire bien lissée à quelques dizaines de cm de l'eau et à des vitesses pouvant atteindre 15m/s.

Reste que les écarts de coûts entre ces deux équipements sont de l'ordre de 60 à 100 k€.

### ***De la théorie à la pratique***

Implicitement et historiquement on considère qu'un pilote automatique n'agit que sur l'angle de barre, c'est-à-dire sur la trajectoire du bateau.

C'est la réécriture de la règle 52 qui décide des limites d'action du PA.

L'IMOCA précise dans ses règles de classe, que le PA ne peut agir que sur l'angle de barre. Pourquoi l'IMOCA est si restrictive ?

Simplement parce que le PA des IMOCA devant piloter le bateau en 3 dimensions, les tentations sont grandes de concevoir un PA qui agirait sur d'autres appendices, ou même sur les écoutes, les tensions de gréement dormant ou courant etc...

Mais même en 2 dimensions (voiliers archimédiens), concevoir un PA qui agirait globalement sur le bateau (safran, etc.), n'apparaît pas comme une idée aberrante au sens de l'optimisation des performances des bateaux.

### ***Et c'est là que se trouve le problème.***

Ces évolutions technologiques s'appuient essentiellement sur des Centrales Inertielles dont le coût est très élevé par rapport aux équipements internes des PA actuels.

Sur un IMOCA c'est une dépense nécessaire pour piloter en vol et en rapport avec le prix du bateau et son mode de fonctionnement (Foiler).

Sur un monocoque de 10 à 12m, 15m, cela représente un ratio (Prix du PA) / (Prix du bateau) excessif et donne au bateau, qui en est équipé, un avantage technique extraordinaire...

Même en se limitant à l'action unique sur la barre, ce type de PA, équipé d'une centrale inertielle<sup>10</sup> (à ne pas confondre avec les capteurs inertiels) assurera des modifications et un contrôle de la route à suivre beaucoup plus lissés, ce qui se traduira par des angles de barre très faibles et une diminution importante de la traînée.

---

<sup>9</sup> La vitesse est l'expression d'une distance parcourue par une unité de temps. La position c'est 3 coordonnées (x, y, z) qui permettent de calculer la distance parcourue depuis le dernier point réalisé. Entre ces deux points la vitesse peut être variable.

<sup>10</sup> Coût de l'ordre de 50 à 80 k€, uniquement pour la Centrale Inertielle

Certes on peut penser que la diffusion de ces équipements sophistiqués se traduira par une baisse des coûts de production.

Mais, bien que le matériel occupe une place importante dans cette « galaxie » que représente le PA, il faut prendre en compte que les exploitations connexes conduiront obligatoirement à des algorithmes de plus en plus complexes, qui, non contents d'être d'un coût exponentiel, augmenteront par leurs sophistication l'emprise de la « machine » sur le bateau et implicitement sur l'Homme.

Car il est évident que les informations récupérées de la Centrale Inertielle, associées à celle des différents autres capteurs, seront utilisées pour gérer globalement la marche du bateau. En d'autres mots le PA ne se limitera plus à modifier l'angle de barre.

Au bout d'un moment, on peut raisonnablement se poser la question « QUI BARRE le BATEAU ? »

### **Quelles limites ?**

Les règles telles qu'elles existent, apparaissent comme de moins en moins adaptées au jeu de la régates. D'un côté au niveau international, il y a « des règles de jauge » (handicap ou box rule) ET d'un autre côté, des règles qui gèrent le comportement des acteurs de la régates (Les RCV).

Ces deux entités possèdent un périmètre de compétences finalement assez flou, dans le sens où, à l'exception de quelques règles intangibles (une petite douzaine) contenues dans les RCV, les « règles de jauges » peuvent modifier allègrement ces mêmes règles RCV et cela sans aucun contrôle.

Le pire étant que les acteurs de terrain, c'est-à-dire les Clubs et les Organisateurs peuvent, non pas modifier les règles de jauge (encore que ce soit possible, à la marge par exemple sur le nombre d'équipiers), mais les règles RCV édictées par l'instance internationale World Sailing.

Aujourd'hui rien n'interdit à un organisateur<sup>11</sup> d'autoriser l'utilisation d'asservissements très sophistiqués pour la conduite des bateaux et pourquoi pas autoriser que le PA agisse sur le safran, mais aussi sur la quille pendulaire et demain sur le Plan Horizontal Régulateur (PHR) des Foilers... ce qui devrait se produire à terme sur les IMOCA. Mais sans aller aussi loin, sur l'écoute de grand-voile (Harken pour pas le citer, produit des « winches captifs » permettant de border ou de choquer l'écoute de GV), la tension du gréement...etc.

Le génie inventif n'étant pas limité, par la combinaison de capteurs, d'informations issues de la Centrale Inertielle, d'algorithmes de traitement et d'actuateurs divers, le PA prendra la main sur le bateau.

En 2020, la Classe 40 a pris conscience de ce problème, elle tente un encadrement de ces équipements : « L'équipement électronique est libre sauf pour les centrales inertielles. Seules les centrales inertielles disponibles sur catalogue et affichées à un prix public inférieur à 7000 € HT sont autorisées.

*\*Attention, un projet de limitation de l'ensemble des principaux composants intervenant sur le pilote (centrale inertielle, centrale électronique, calculateur et les licences attenantes, ou capteurs périphériques vent et speedo) est en cours de rédaction pour soumission au vote d'une prochaine AGE et une application envisagée en 2021. »*

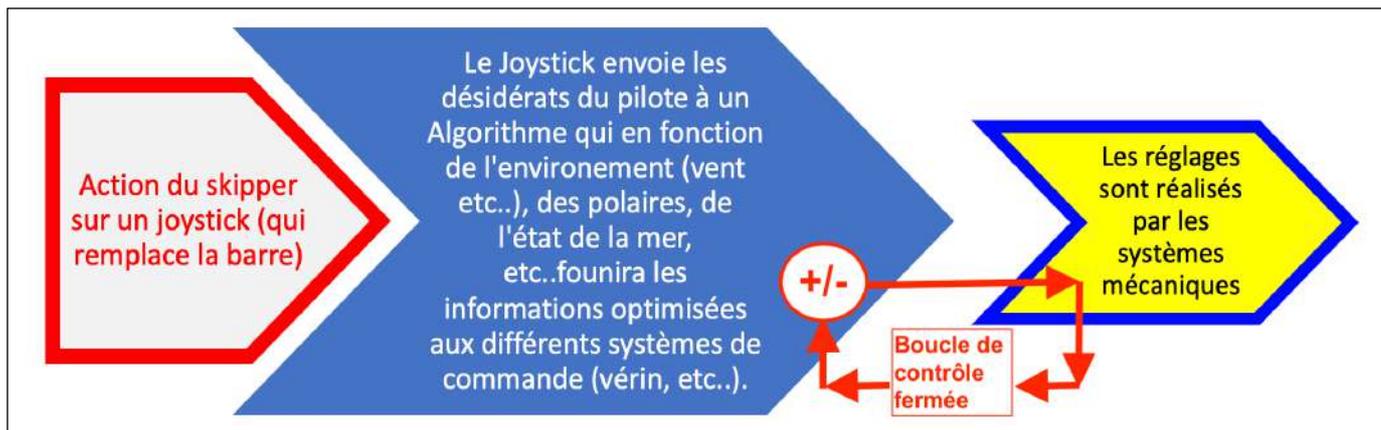
C'est un début, mais qui toutefois n'aborde pas le domaine d'action du PA, qui est intrinsèquement lié aux technologies embarquées.

Il est certain que les acteurs de la Course au Large doivent être ceux qui encadrent ces orientations. Aujourd'hui ce ne sont plus les améliorations apportées par le génie architectural (dessin, matériaux, etc) qu'il faut encadrer, mais bien la substitution de l'HOMME (comme pilote au sens général du bateau) par des SYTEMES d'aides ou de contrôles des décisions.

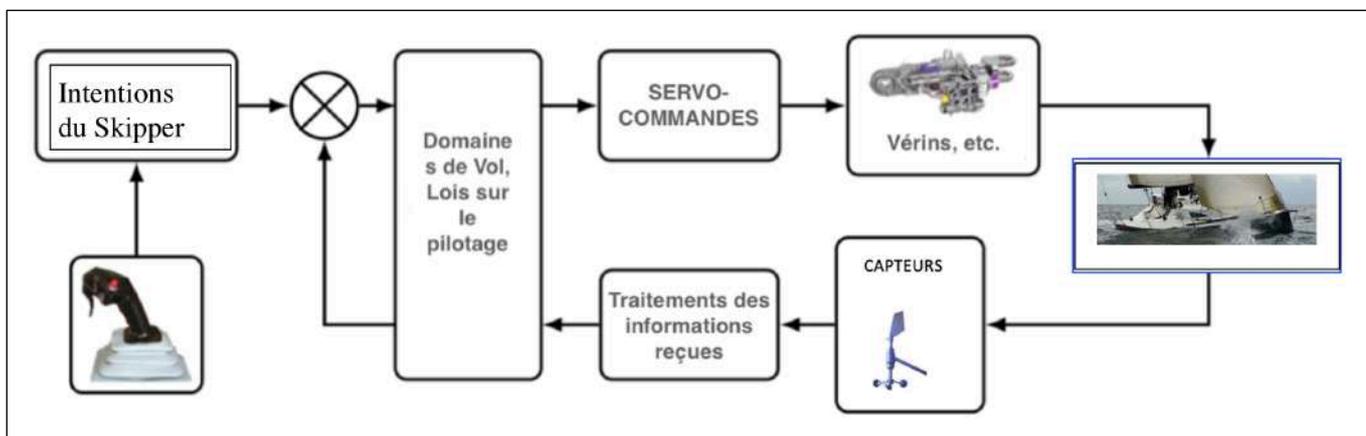
---

<sup>11</sup> Sans revenir à des années en arrière, certaines régates offshores autorisent le routage depuis la terre, d'autre l'interdisent.

Ce qui pourrait aussi se traduire par un pilotage manuel entièrement asservi.



De manière plus explicite :



Ce synopsis nous montre que l'algorithme décide des actions à mener afin d'arriver au final à l'intention du pilote.

Cela signifie que le pilote n'exprime qu'une intention puis fait confiance à l'algorithme pour la réaliser. L'algorithme contenant les équations de domaine de navigation pour un archimdien ou de vol pour un Foiler.

Mais en navigation l'action du skipper est permanente, ce qui se traduit par des interventions en continue du skipper sur le joystick, donc sur l'algorithme et par connections sur les vérins, moteur électriques et autres équipements qui permettent de naviguer avec des réglages optimums.

En fait, cette technologie établit un lien algorithmique entre l'Homme de barre, l'équipage qui suit en manœuvrant et la centrale de navigation qui analyse et prévoit.

On peut alors se poser raisonnablement la question suivante, non plus « QUI EST le REEL SKIPPER du BATEAU », mais « QUI GERE LA TRAJECTOIRE : Le SKIPPER ou la MACHINE » ?

On revient au constat exprimé par David CARR lorsqu'il navigue sur l'AC75 : *vous naviguez en régate « sur un bateau qui repose entièrement sur du code informatique ».*

J. SANS (5/10/2020).