

➤ La propulsion vélique un levier sérieux de décarbonation du fret maritime

Longtemps cantonnée à la plaisance, la propulsion des navires par le vent revient au goût du jour, portée par l'évolution des technologies. Renouvelable, zéro émission, zéro bruit : elle présente beaucoup d'avantages. L'arrivée à Kourou, en février 2024, du navire à propulsion vélique, Canopée, avec les premiers éléments de la fusée Ariane 6, démontre l'intérêt de cette technologie pour décarboner le fret maritime.

La propulsion vélique un levier sérieux de décarbonation du transport maritime

Face à l'urgence climatique, le secteur maritime, qui représente près de 3 % des émissions de gaz à effet de serre au niveau mondial, n'a d'autre choix que d'engager sa transition pour réduire son empreinte environnementale. Le secteur du fret maritime, souhaite atteindre la neutralité carbone d'ici à 2050, afin de respecter les engagements fixés au niveau international et européen.

La conjoncture actuelle, notamment le coût élevé de l'énergie, est de plus en plus favorable au secteur de la propulsion vélique pour le fret maritime. On relève un véritable foisonnement d'innovations et de solutions techniques :

- Le rotor de Flettner ; les voiles à rotor sont composées de grands cylindres qui ont pour rôle d'exploiter la puissance du vent lorsqu'ils effectuent des mouvements de rotation ;

- Les ailes à base de panneaux rigides en matériaux composites tels que ceux d'Oceanwings, pour le navire Canopee et le cargo Neoliner¹ ;

- La « kite »(figure 1) où l'aile est une voile aérodynamique lancée dans les airs à l'instar d'un cerf-volant, cette technologie est en cours de validation sur un navire affrété par Airbus.

Aujourd'hui les armateurs se tournent plutôt vers des panneaux rigides, en matériau composite, ou encore vers les profils épais qui ressemblent à une aile d'avion. Tous ces systèmes sont situés sur le pont du navire, et nécessitent donc d'y dédier de l'espace.

L'énorme atout de la propulsion vélique est sa disponibilité : c'est une solution idéale à court terme et complémentaire des carburants alternatifs à plus long terme (des groupes électrogènes fonctionnant au fioul sont utilisés à bord et pourraient utiliser à l'avenir des carburants alternatifs). Autre avantage de ces technologies, elles n'engendrent pas de bruits sous-marins.

Des performances qui restent à établir

Les économies d'énergie à attendre d'une propulsion vélique dépendent de nombreux paramètres, mais elles peuvent aller jusqu'à 20 % dans le cas d'unetrofit et jusqu'à 50 ou 80 % si le bateau est spécifiquement caréné pour recevoir des voiles, des ailes, des rotors ou un kite. Le tout pour un surcoût d'environ 30 % par rapport à un navire classique².

1 Cargo Neoliner : Flash info REE 2023-2

2 Philippe Conneau (Ademe) : Navires marchands à voile : utopie ou réalité (Institut Polytechnique de Paris-2022)



Figure 1 : Navire Airseas (source Airbus).

Il n'existe aucun standard pour mesurer les performances réelles des systèmes, seuls les fabricants fournissent une estimation du gain apporté par leur solution. Sur cette base, on estime ainsi que le gain d'énergie associé aux rotors *Flettner* est d'environ 8 %, jusqu'à 20 % pour le kite ou encore jusqu'à 30 % pour les profils épais comme les « Oceanwings ». Ce sont des mesures théoriques : nous manquons aujourd'hui de mesures en navigation ainsi que d'un standard.

Une conception nouvelle pour Canopée

Une actualité du numéro REE 2024-1, sur la préparation du lancement prochain d'Ariane 6, évoquait le transport en un seul voyage de la fusée Ariane sur le cargo industriel, Canopée, pour assurer l'acheminement à moindre coût de toutes les pièces de la fusée.

Le périple qui est passé par Brème (étage supérieur), Rotterdam (coiffe), Le Havre (étage principal) puis Bordeaux (booster), est arrivé à Kourou, en février 2024.

Le navire cargo, à propulsion hybride à voile et thermique, a été conçu pour répondre aux besoins spécifiques des transports de fusées et de satellites : il offre notamment des conditions vibratoires très faibles permettant de limiter l'impact des chocs et des vibrations que peuvent subir les composants pendant un transport longue distance.

Canopée mesure 121 m de long et possède des voiles de 37 m de haut (figure 2). Il est équipé de quatre ailes pour lui permettre d'économiser entre 15 et 30 % de carburant par trajet. Une conception unique qui pourrait, à terme, équiper les anciens et nouveaux navires.

Tablant sur une réduction de la consommation de carburant de 15 à 35 %, les ailes, peuvent apporter une propulsion vélique que les voiles ne peuvent plus donner avec des vents de face ou de travers. Dépliables en trois minutes, les ailes reprennent l'aérodynamisme de celles des avions, mais sur un plan vertical, elles orientent leurs 363 m² de surface chacune de manière optimale en fonction du vent. L'entreprise Ayro³ qui a développé ces « Oceanwings » a mis au point un système de commande qui permet de contrôler les ailes depuis la cabine de pilotage. Le navire a une vitesse de croisière comprise entre 14 et 16 nœuds (25 et 29 km/h) avec sa propulsion hybride hélice et ailes. Mais il peut atteindre les neuf nœuds en utilisant seulement les ailes.

³ Ayro start-up présentée dans REE 2022-1



Figure 2 : Cargo Canopée (source ESA).

Comment déployer la propulsion vélique à grande échelle ?

Une étude⁴ estime que 40 à 45 % de la flotte mondiale (environ 40 000 navires) pourrait bénéficier de la propulsion vélique en 2050 en raison de son moindre coût et de sa disponibilité. Le vent restera une énergie auxiliaire diminuant le recours au moteur thermique.

De nouveaux navires sont à construire pour atteindre une propulsion presque entièrement vélique (ils embarqueront toujours un moteur pour sécuriser l'approche portuaire). Cette performance ne peut être atteinte que pour des navires conçus pour cet usage, et non en rétrofit : leur coque doit intégrer des systèmes antidérive liés à l'usage de voiles, et le positionnement des mâts doit respecter l'équilibre des masses et l'accès aux espaces à cargaisons par les services portuaires.

La propulsion vélique adresse de nouveaux segments, comme le transport longue distance de marchandises sur des navires de taille intermédiaire. Ils peuvent faire escale dans plus de ports, notamment secondaires : cela permet d'acheminer la marchandise au plus proche du consommateur et de réduire les pré- et post-acheminements, généralement effectués par transport routier.

Un changement significatif concerne le mode de navigation. La propulsion vélique a besoin de vent... il faudra parfois modifier les routes maritimes pour en tirer parti. Les équipages peuvent s'appuyer sur le routage maritime — prenant en compte les conditions météorologiques — indispensable aux solutions vé- ●●●

⁴ Bell M. et al., Reducing the maritime sector's contribution to climate change and air pollution, Economic opportunities from low and zero emission ship <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5d25f1b1e5274a585d617fd5/scenario-analysis-take-up-of-emissions-reduction-options-impacts-on-emissions-costs.pdf>

- liques. Toutes les routes maritimes, en revanche, ne s'y prêtent pas forcément. Bénéficiant de régimes de vent stables, les routes Atlantique et Pacifique sont les plus favorables.

Perspectives

Aujourd'hui, dans le monde, une vingtaine de gros navires marchands sont désormais équipés d'un système « vélique », en guise de propulsion majoritaire ou complémentaire, rétractable, automatisé et généralement piloté à distance. Le développement de ces technologies est assuré en majorité par des start-up. La plupart des acteurs se tourne vers des transports de niche avec du fret spécialisé ou à haute valeur ajoutée.

A l'échelle mondiale, on compterait quelque 200 armateurs, équipementiers et autres sociétés de conseil et d'étude spécialisées dans cette filière. Une goutte d'eau rapportée aux 100 000 navires actuellement en circulation sur les mers. ■ SD

➤ Vers la fin programmée de la Station Spatiale Internationale

Une durée de vie prolongée

La station spatiale internationale (ISS) est le plus grand objet artificiel placé en orbite terrestre. Elle s'étend sur 110 m de longueur, 74 m de largeur et 30 m de hauteur avec une masse d'environ 420 tonnes (figure 1).

Démarré autour des années 1960 - 1970, le projet est définitivement lancé en 1983 mais de nombreuses tractations retardent sa réalisation jusqu'en 1998. L'assemblage en orbite débute en 1998, mais l'accident de la navette spatiale Columbia, en 2003, retarde sensiblement son avancement. La navette en effet devait jouer un rôle majeur grâce à sa capacité de transport. Son retrait, intervenu en juillet 2011 pour des raisons d'obsolescence et de sécurité, crée des contraintes logistiques incomplètement résolues, en l'absence de vaisseaux capables de la remplacer complètement. La construction de la Station spatiale internationale ne s'achève donc qu'en 2011. Pour assurer le ravitaillement plusieurs vaisseaux spatiaux se relaient : les cargos Progress russes, les cargos HTV japonais, les ATV européens, les Cygnus et SpaceX Dragon américains. En mai 2020, un vaisseau Crew Dragon envoie deux astronautes vers la station, ouvrant ainsi la voie aux vols d'équipages en capsules privées et mettant fin à l'exclusivité que détenait le véhicule spatial russe Soyouz dans la relève des équipages.

Après avoir accueilli à son bord plusieurs centaines d'astronautes en provenance de dix-neuf pays depuis l'an 2000,



Figure 1 : Vue globale de la Station Spatiale Internationale – Crédits : NASA.

l'ISS devait fermer définitivement en 2020. Toutefois, en 2019, la Nasa et l'agence spatiale russe Roscosmos décidèrent de prolonger la durée de vie de l'ISS jusqu'en 2028.

Les plans initiaux prévoyaient que la station ait une durée de vie totale de 30 ans. Pour des raisons budgétaires, les différents éléments ont été généralement conçus pour une durée opérationnelle de 15 ans. Aujourd'hui le retrait de l'agence Roscosmos du projet rend encore plus critique la question de la fin de vie de l'ISS. Après plusieurs reports, les pays du consortium se sont chacun engagés jusqu'à 2030, sauf la Russie qui sortira en 2028.

Les débris termineront au fond de l'océan Pacifique, au «Point Nemo», le point de notre planète le plus éloigné de toute terre émergée et de toute civilisation. Cette terminologie est due au célèbre capitaine Nemo du sous-marin imaginé par Jules Verne dans «Vingt mille lieues sous les mers».

Une entreprise à haut risque

Il est prévu que la station spatiale soit poussée hors de son orbite, pour se consumer peu à peu en retombant sur la Terre. C'est de toute évidence une opération risquée. La station a la taille d'un terrain de football américain soit 109 mètres de long ; elle pèse 450 tonnes. Même à grande vitesse, elle ne se désagrègera pas totalement dans l'atmosphère. Il y aura des débris qui ne devront pas tomber sur une zone habitée

La zone de chute, le point Nemo, cimetière des débris spatiaux dans l'océan Pacifique, est situé à plus de 2700 kilomètres de toute terre. Les humains les plus proches de cet endroit sont les astronautes de la station quand ils passent

au-dessus, de temps en temps, à 400 kilomètres. Viser le point Nemo, en tenant compte de la dynamique de l'immense traînée de débris que la station devrait occasionner en tombant, est un vrai défi. Pour opérer une telle force, plusieurs cargos seront nécessaires, ainsi la coopération de toutes les nations du consortium est nécessaire.

Le premier plan de désorbitation impliquait beaucoup les Russes, puisqu'il s'agissait d'utiliser trois de leurs cargos Progress. Mais l'appel d'offre de la NASA aujourd'hui, montre une volonté de l'agence américaine de sécuriser l'opération. Si la guerre en Ukraine n'a pas stoppé la collaboration russe dans l'ISS, elle a tendu les relations. Dans un rapport remis au Congrès américain en janvier 2022, quelques mois après la décision de prolonger la fin de la durée de vie opérationnelle de l'ISS, l'agence indiquait que les Russes seraient mis à contribution pour effectuer ces opérations. Les responsables de la NASA ont calculé que trois vaisseaux russes Progress peuvent accomplir la désorbitation. Pour l'heure, officiellement en tout cas, le plan d'action élaboré par l'agence spatiale américaine et ses partenaires reste le même. Cependant, les Etats-Unis ont décidé qu'il valait mieux être autonome.

Il est prévu un démantèlement partiel de la station, particulièrement les panneaux solaires qui pourraient être utilisés sur une autre station en orbite. Mais cette question reste ouverte et rien n'est encore décidé. Le coût d'une telle opération est loin d'être négligeable.

Pour mener à bien cette opération complexe, en toute sécurité, la Nasa a lancé un appel d'offres pour se doter d'un remorqueur spatial, qui viendra ainsi compléter les capacités de désorbitation existantes des partenaires. En janvier 2031, après des manœuvres pour abaisser son altitude, l'engin aura pour mission de tracter ses quelque 400 tonnes, puis



Figure 2 : Le cargo russe Progress en cours d'amarrage – Crédits NASA.



Figure 3 : La station spatiale chinoise - Crédits : Tiangong.

de larguer la station au-dessus du fameux «Point Nemo». Au cours de sa chute, le laboratoire spatial se disloquera en partie dans l'atmosphère et les calculs de désorbitage seront faits pour que les plus gros fragments, qui ne se désintègreraient pas totalement, terminent dans l'océan Pacifique, loin de toute zone habitée.

Quels successeurs à l'ISS?

La Chine déjà sur place

La station chinoise Tiangong "Palais céleste" est sur orbite depuis 2022 (figure 3). Pékin veut en doubler le volume habitable et proposer l'accès à des pays tiers, mais pas à l'ESA selon les déclarations de l'agence spatiale chinoise. Composée à terme de trois modules, elle aura les mêmes objectifs d'expériences scientifiques en microgravité et de préparation aux vols de longue durée que l'actuelle ISS. En octobre 2021, trois spationautes sont arrivés dans le premier et seul module alors en orbite, D'une masse de 60 tonnes, Tiangong aura une taille similaire à l'ancienne station soviétique Mir, et sa durée de vie sera d'au moins 10 ans.

La Russie se prépare...

Youri Borisov, le nouveau directeur de Roscosmos a annoncé la volonté de la Russie de placer sur orbite sa propre station spatiale en 2024. Cette date s'explique par le fait que Roscosmos compte placer sur orbite cette année-là, le premier élément de sa future station ROSS (*Russian Orbital Service Station*). Mais pour le moment rien de concret n'a été annoncé.

... et l'Inde aussi

Une station spatiale indienne, annoncée pour 2035 cet été après le succès de l'expédition robotique au pôle Sud de la Lune, est crédible. Des contacts sont déjà en cours d'élaboration avec de nombreux pays.

La NASA autour de la Lune

La NASA a clairement annoncé son projet d'abandonner l'idée d'une station orbitale terrestre pour se concentrer sur une station spatiale orbitale avec la petite station Lunar Gateway en collaboration avec l'ESA.

Selon le calendrier officiel, l'envoi des premiers modules est prévu pour décembre 2025. Mais un retard est prévisible. Le module I-Hab (habitation) sera prêt en 2028 et le module Esprit (télécommunications, ravitaillement en ergols et stockage) en 2029.

Ils doivent partir avec les missions Artemis 4 et Artemis 5, qui compteront logiquement dans leur équipage un Européen. Seront-ils les premiers représentants du Vieux Continent à approcher la Lune ? Cette mission devait initialement ramener l'humain sur la Lune en 2025. Les retards, tant sur les scafandres que sur l'alunisseur laissent supposer qu'Artemis 3 ne sera pas une mission d'alunissage.

Des entreprises privées sur les rangs

Si la rentabilité scientifique et technique de la station spatiale est incontestable, celle-ci n'est certainement pas rentable sur le plan économique. Selon l'Agence spatiale européenne, les Américains la financent à hauteur de 3,5 milliards d'euros annuels, contre 300 millions pour les Européens. Et tandis que les signes d'usure de la station sont de plus en plus nombreux, la facture risque de gonfler encore avant son arrêt.

Le projet d'Axiom Space, une entreprise fondée par un ancien responsable de la Nasa, est d'amarrer dans un premier temps ses premiers modules à l'ISS puis de les rendre autonomes avec des modules de service dans un deuxième temps, une fois l'ISS mise hors service. Les deux premiers modules d'habitation sont effectivement en construction, chez Thales Alenia Space à Turin. Le premier module, initialement prévu en 2024, pourrait être installé en 2026. La date de 2028 envisagée pour une station autonome a été repoussée à 2030 ce qui semble plus réaliste. En attendant, Axiom Space propose déjà des vols de dix à quinze jours à bord de l'ISS à des pilotes privés. Deux vols ont déjà eu lieu. Le troisième embarquera notamment un suédois, astronaute

de réserve de l'ESA. Le quatrième doit embarquer un Indien.

L'autre projet nommé « Starlab » est d'envoyer, en une seule fois, un gros module de 8 m de large, soit deux fois plus large que l'ISS, mais avec deux fois moins de volume utile. La date de 2028 annoncée semble optimiste.

Les stations Starlab comme Axiom prévoient d'ouvrir leurs portes aux entreprises privées, notamment de pharmacie, mais n'envisageraient pas actuellement le tourisme spatial.

Rendez-vous en 2030. ■ AD

Lancement des activités commerciales du « Cloud » sécurisé Bleu

Un cloud de confiance local en France ou en Europe est nécessaire pour répondre aux enjeux de sécurité dans la gestion des données, de cybersécurité et d'indépendance aux tutelles extraterritoriales. Il permet d'assurer une alternative de confiance face au monopole des services cloud américains.

Partenariat stratégique entre Microsoft et Bleu

Bleu, société créée conjointement par Capgemini et Orange et présidée par Jean Coumaros, a commencé ses activités commerciales en travaillant avec des entreprises et des organismes publics français. Bleu vise pour 2025 l'obtention de la qualification 'SecNumCloud 3.2' (cloud de confiance) définie par l'Agence nationale de la sécurité des systèmes d'information (ANSSI) conformément à la doctrine de l'Etat français sur le cloud (figure 1). Il s'agit de disposer d'un cloud local, libéré des tutelles extraterritoriales. Bleu s'appuie sur la technologie Microsoft dans le cadre d'un partenariat stratégique avec ce dernier.

Il s'agit d'utiliser les services Microsoft 365 et Microsoft Azure dans une déclinaison souveraine, telle que définie par l'ANSSI, en répondant aux besoins de transformation numérique de l'Etat, des collectivités territoriales, des hôpitaux et établissements de santé, et des entités publiques ou privées reconnues comme Opérateurs d'importance vitale (OIV) ou Opérateurs de services essentiels (OSE).

Bleu a reçu la validation de la Commission européenne en 2023. Bleu travaille pour préparer la migration vers la plateforme à partir de fin 2024, pour procéder à des



Figure 1 : Les principes de sécurité et de confiance pour un cloud souverain (Source : www.bleucloud.fr).

tests et des pilotes avec les clients, leur permettant une transition réussie sur la plateforme. La plateforme cloud de Bleu sera lancée sur un ensemble de centres de données distribués géographiquement en France et répondant aux très hautes exigences nécessaires en matière de résilience et de disponibilité.

La genèse du cloud souverain en Europe

Face aux réglementations américaines sur le traitement des données via le cloud, l'Union européenne a dessiné les contours d'offres de cloud souverain dès les années 2010 : un modèle d'hébergement qui se soumet aux lois du pays auquel il est rattaché. Si le cloud est opéré depuis la France, alors il doit être conforme aux normes juridiques françaises et plus globalement de l'Union européenne, et donc respecter le Règlement général sur la protection des données (RGPD).

Le concept de « Cloud de confiance » a été proposé en 2021 par le ministre de l'Économie Bruno Lemaire. Cela impose aux hyperscalers américains de s'adapter à la souveraineté. En effet, les entreprises américaines sont soumises aux lois américaines (Cloud Act et Patriot Act) qui permettent d'accéder aux données de leurs serveurs, même s'ils se trouvent sur le territoire Français.

Le cloud de confiance est un label qui garantit la sécurité et la transparence dans l'utilisation des données. Le cloud de confiance relève d'une politique industrielle qui

pousse les entrepreneurs à créer des technologies cloud dans l'UE.

La certification SecNumCloud3.2

A l'instar d'Azure (Microsoft), GCP (Google) s'est associé à Thales pour décliner son cloud public GCP en une version franco-française baptisée S3NS. Oracle propose, au travers de son nouveau programme Alloy, de revendre à toute entreprise intéressée une version en marque blanche de l'infrastructure de son cloud OCI.

La France avec sa réglementation souveraine SecNumCloud 3.2 semble être une exception en Europe. Presque partout ailleurs en Europe, les hyperscalers américains se plient à des réglementations protectionnistes moins sévères et commercialisent des services cloud basés sur leurs technologies via des filiales de droit européen, occupées par des salariés uniquement européens. A noter, que Deutsche Telekom par sa filiale T-Systems construit un cloud souverain similaire à Bleu, mais avec la technologie GCP de Google.

Certains acteurs français du cloud comme OVHcloud ont obtenu les premières qualifications SecNumCloud pour des offres de cloud privé, avec des infrastructures mises au point en interne. 3DS Outscale a aussi obtenu la certification SecNumCloud pour l'ensemble de ses services d'infrastructure de cloud public. 3DS Outscale fait partie du consortium NumSpot, cocréé avec Docaposte, Bouygues Telecom et la Banque des Territoires. ■ RK