



Propulsion des navires par le vent Quelles avancées?

Le shipping est un secteur concentré qui présente un nombre restreint d'acteurs, dans une logique de libre marché à l'international, qui a pris son essor grâce au fioul lourd extrêmement peu cher, très polluant et libre de taxe. L'introduction de nouvelles exigences réglementaires par l'OMI oblige les armateurs à trouver de nouveaux carburants ou des modes de propulsion décarbonés. Or le manque de disponibilité et le prix (volatil) de ces nouveaux carburants sont des arguments pour vouloir s'en émanciper. Exploiter le vent pour propulser la flotte des navires marchands est une solution déjà disponible pour améliorer significativement l'empreinte écologique du secteur maritime. Une étude menée en 2016-17 pour le compte de la Commission européenne¹: estime que si les premières installations de propulsion par le vent ont lieu en 2020, il y aura 3 700 à 10 000 navires équipés d'ici 2030, permettant d'éviter l'émission de 3,5 à 7 Mt de CO₂ et générant 15 à 18 000 emplois. Cette étude avait pris en compte seulement quatre technologies. Des travaux² menés en 2019 estiment en complément que 40 à 45 % de la flotte mondiale pourraient être équipés en 2050.

La France possède une richesse en matière de développements technologiques et un écosystème favorable qui pourraient se transformer rapidement en une filière industrielle grâce à un soutien public et privé approprié. La course pour décarboner l'économie étant engagée mondialement, de nombreux acteurs en Asie et en Europe du Nord se positionnent sur la propulsion des navires par le vent. L'offre française doit donc se démarquer pour être créatrice d'emplois et contribuer significativement à un transport maritime plus propre. Quelles ont été les avancées de cette filière depuis ces trois dernières années?

Point d'actualité

Les développeurs et armateurs

La propulsion par le vent constitue, pour certains navires et certaines routes, une mesure primordiale pour se conformer aux niveaux requis en matière d'indices d'efficacité énergétique des navires : l'EEDI obligatoire pour les nouveaux navires depuis 2013, l'EEXI qui s'appliquera aux navires existants à partir de 2023 et l'indice d'efficacité opérationnelle le CII.

La propulsion par le vent permet, en combinaison avec d'autres mesures (efficacité énergétique, exploitation du

navire, utilisation de carburant alternatif), d'atteindre de forts niveaux de décarbonation.

Ainsi, la propulsion par le vent peut être utilisée comme une assistance à la propulsion et installée sur la flotte déjà existante. Elle réduit alors de 5 à 20 % le carburant consommé ainsi que les émissions de GES et de polluants associées. Le potentiel est beaucoup plus élevé (au-delà de 30%) lorsqu'elle est déployée sur des navires neufs, de taille et de déplacement moyens et conçus à cet effet. Il peut atteindre jusqu'à 80 % de réduction d'émissions en propulsion principale. Actuellement, une vingtaine de grands navires navigue déjà avec des technologies de propulsion par le vent. D'une longueur de 80 à 340 mètres et de 4 000 à 325 000 de jauge brute, ils ont été équipés grâce à des opérations de retrofit depuis 2018, excepté le navire E-Ship 1 d'Enercon, construit en 2010 avec 4 mâts rotors.

Le développement des équipements de propulsion par le vent (que l'on classe en cinq catégories : profil aspiré, profil mince, profil épais, kite et rotor...) est assuré en majorité par des start-ups. On recense une trentaine de développeurs de technologies dans le monde, dont une dizaine en France.

Deux usines de production sont déjà en construction. A Caen, l'usine AYRO produira les Oceanwings, des ailes articulées testées sur le navire *Energy Observer* depuis plus de deux ans. Quatre d'entre elles seront installées sur *Canopée* (Zéphyr & Borée et JIFMAR) actuellement en construction, un roulier hybride de 121 mètres de long qui transportera la fusée Ariane 6 pour le compte d'ArianeGroup. Le navire devrait être mis à l'eau début 2023. AYRO prévoit la création d'une centaine d'emplois à terme dans la région. Une autre usine est en cours de conception par Airseas qui s'est installée à Nantes et qui va produire et commercialiser des ailes de kite. Son objectif est de produire 1 000 unités de plusieurs tailles (500, 1 000, 2 000 m²) d'ici 2030, pour équiper des bateaux de 100 à 400 mètres de long.

Au total, d'ici 2025, près de 200 emplois seront créés. Airseas a installé son prototype de 500m² sur le roulier *Ville de Bordeaux* de Louis Dreyfus Armateurs (LDA), qui réalise des transatlantiques entre Montoir-de-Bretagne et Mobile.

L'aile gonflable montée sur un mât télescopique rabattable de Wisamo (Michelin) est testée par le skipper Michel Desjoyaux. Un prototype automatisé, d'une surface de 100 m², sera installé sur le roulier porte-conteneurs *MN Pélican*

¹ Nelissen D. et al, *Study on the analysis of the market potentials and market barriers for wind propulsion technologies*, CE Delft, novembre 2016.

² *The Frontier Economics Report (July 2019)*, rapport pour le ministère des transports du Royaume-Uni.

de la Compagnie maritime nantaise (CMN) d'ici la fin de cette d'année. Wisamo a choisi Nantes comme ville d'ancrage.

Les Chantiers de l'Atlantique développent le projet de paquebot à voiles *Silenseas*, qui intègre des voiles composites *Solid Sail* sur le gréement à balestron Aeol Drive. Un mât de 40 mètres et une voile de 500 m² sont actuellement testés sur le site de Saint-Nazaire après un premier démonstrateur de 50 m² sur la jetée du port de Pornichet fin 2019. Il faudra attendre l'été 2022 pour observer la solution *Solid Sail Aeol Drive* en grandeur réelle. Avec un coût de 18 M€ pour ce futur démonstrateur, les Chantiers de l'Atlantique ont pu compter sur les aides publiques à hauteur de la moitié de la somme. Ces innovations technologiques entraînent dans leur sillage un ensemble de fournisseurs issus des Pays de la Loire et de Bretagne tels que Multiplast, Avel Robotics, Lancelin etc. D'autres équipements sont aussi en cours de développement tels que le profil épais d'ACCWING, le profil épais rigide de CWS Morel, le profil aspiré développé par le CRAIN et REEL, le kite développé par Beyond the Sea ou encore le profil épais développé par ADD Technologie.

Du côté des armateurs, Neoline travaille sur la construction d'un roulier de 136 mètres doté du gréement *Solid Sail* pour une voilure totale de 3 000 m². Ce navire desservira une ligne pilote entre Saint-Nazaire, Saint-Pierre et Miquelon, Baltimore (USA) et Halifax (Canada). L'entreprise poursuit sa recherche de financement et a le soutien d'une quinzaine de chargeurs dont Renault, Bénéteau, Manitou entre autres. L'objectif est une mise en service du premier *Neoliner* d'ici 2024-2025.

Zéphyr & Borée et l'importateur d'épices bio Arcadie lancent Windcoop, une nouvelle compagnie maritime organisée en coopérative. Celle-ci prévoit un premier voilier cargo de 85 mètres conçu par Dykstra et Groot Ship Design pour desservir dès 2025 la ligne France-Mayotte-Madagascar.

TOWT a signé un contrat avec le chantier Piriou pour la construction d'un premier *Classe Phénix* de 80 mètres et 2 500 m² de voiles en propulsion principale tandis que Grain de Sail attend la livraison de son second voilier-cargo, 52 mètres, en 2023, par le même chantier, qui construit par ailleurs le voilier-ravitailleur du Polar Pod, *Persévérance*, 43 mètres, pour une livraison la même année. Au moins sept navires français seront équipés d'une propulsion par le vent en 2023 ainsi que deux navires français avec des technologies étrangères, dont le *Marfret Niolon* (Marfret) un navire de LDA. Parallèlement à l'intérêt des armateurs, émerge une demande des chargeurs pour ce type de solutions mais l'offre n'est pas encore suffisante pour y répondre. Le transport des produits à haute valeur ajoutée constitue un marché moteur pour le secteur.

Les outils de simulation de performance et de routage météorologique développés par les entreprises spécialisées comme D-ICE Engineering, le CRAIN, SYROCO ou BVS M&O constituent une aide à la décision pour les armateurs. L'objectif est de prévoir le comportement du navire, en

modélisant chacun de ses éléments : voile, carène, système propulsif, en mesurant les réactions des uns par rapport aux autres (mesure de forces, analyse structurelle) et en considérant l'impact de l'environnement (vent, vagues, courant) sur le système global (vitesse, tenue à la mer, mouvements du navire). Le routage statistique que certains proposent vise à confronter le modèle de navire aux conditions réelles de navigation qui auraient été rencontrées dans le passé. A partir d'un grand nombre de calculs de routes optimales, il est alors possible d'avoir des statistiques fiables sur la consommation réelle du navire, les conditions rencontrées et les économies de carburant associées à un système de propulsion par le vent. Même sans voile, le routage permet de gagner plus de 5% de consommation.

Le futur cargo voilier *Canopée*



Source : Zéphyr et Borée

Les activités de soutien

Le financement

L'accès au financement constitue sans doute le principal frein de la filière de la propulsion des navires par le vent. Notamment lorsqu'il s'agit de franchir le cap de la R&D au prototypage. Le passage de la courbe d'apprentissage, des effets d'échelle et des premières séries est encore difficile. Actuellement, les taux de fret sont proches des taux des années 2000 tandis que les prix des soutes sont deux fois plus élevés, de sorte que les opérateurs sont confrontés à des marges plus faibles. En parallèle, les 40 premières banques mondiales ont réduit leurs capacités de financement alors que la flotte mondiale ne cesse d'augmenter. Ces éléments entraînent un important déficit de financement. Les banques européennes sont particulièrement touchées par cette situation et l'augmentation des ressources des banques asiatiques ne parvient pas à combler ce déficit.

Or, la décarbonation du transport maritime nécessite des capitaux pour la construction de nouveaux navires, plus coûteux, ou pour le retrofit de navires existants. A cet égard, le prix du carbone aura également une incidence sur l'exploitation et le résultat financier.

La commission environnement du Parlement européen, a examiné le mois dernier quelques textes clés de la future politique climatique de l'UE et a voté à une large majorité en faveur de deux des principales mesures défendues par les

armateurs européens. À savoir le partage de responsabilités entre le propriétaire et l'exploitant (l'affrètement) et la restitution à hauteur de 75 % des revenus générés par les ventes de quotas pour financer les technologies de rupture nécessaires à la décarbonation.

Ce qui donnera un coup de pouce aux technologies de transition. L'entrée du transport maritime dans le marché carbone européen, actuellement en négociation au Parlement européen, devrait valoriser toute économie réalisée en matière d'émissions de CO₂.

Néanmoins, les acteurs pionniers de la propulsion par le vent sont majoritairement des nouveaux entrants dans le secteur, et les navires équipés de voiles n'existent plus depuis 100 ans dans la marine marchande. Les projets ne disposant pas de "track record" peinent à déclencher des emprunts auprès des banques tandis que la multiplicité des technologies disponibles freine les investisseurs qui souhaitent trouver "la" technologie la plus profitable. Cela retient l'arrivée de capitaux importants pourtant nécessaires pour monter de véritables outils de production industrielle. D'où le recours de certains armateurs aux plateformes d'investissement participatif (LITA, WISEED...).

Pourtant, une chose est sûre : le vent est gratuit et le restera. Or le coût en carburant représente 20 à 35 % des dépenses d'exploitation du navire. C'est pourquoi un navire propulsé par le vent permet de réduire la dépendance à la disponibilité et à la volatilité des coûts des futurs carburants alternatifs et de réduire le risque financier. Pour le sujet des assurances, se référer au livre blanc publié par l'association Wind Ship (<https://www.wind-ship.fr/livre-blanc>).

La réglementation

L'adaptation de la réglementation internationale (SOLAS, COLREG, MARPOL) à ces nouveaux modes de propulsion fait parfois défaut d'où une implication forte des sociétés de classification et de l'Etat du pavillon pour aider les projets. En France, c'est la DG AMPA (Direction Générale des Affaires Maritimes, de la Pêche et de l'Aquaculture) ainsi que ses services déconcentrés dont les DIRM (direction interrégionale de la Mer) et les CSN (Centre de sécurité des navires) qui sont chargés d'étudier la conformité des navires non délégués aux sociétés de classification (navires à passagers quelle que soit la longueur et tout navire de longueur inférieure à 24 m) et de délivrer les titres de sécurité et de prévention de la pollution (conformité du navire).

Pour les navires délégués, l'étude de conformité est réalisée par la société de classification, seules les exemptions ou conceptions alternatives sont étudiées et analysées par les services de l'administration précédemment cités. Pour tous les navires, l'immatriculation et la délivrance des permis d'armement (équipage) sont délivrés soit par les DDTM (Direction Départementale des Territoires et de la Mer) soit par le RIF (Registre International Français) basé à Marseille. La convention SOLAS, demande d'accorder une attention particulière à la fiabilité des éléments de propulsion

essentiels qui ne sont pas montés en double et peut exiger que le navire dispose d'une source séparée de puissance de propulsion lui permettant d'assurer une vitesse suffisante pour naviguer, surtout s'il s'agit d'installations non conventionnelles. La réglementation nationale fixe même cette vitesse minimale à 7 nœuds. Tout navire propulsé par le vent doit disposer d'un moteur pour réaliser les manœuvres de port voire pour maintenir une vitesse minimale lui permettant de respecter les délais.

Les équipements de propulsion vélique positionnés sur le pont extérieur peuvent parfois occulter la visibilité depuis la timonerie et la visibilité des feux de navigation. Sur les navires neufs, cette contrainte est intégrée par les architectes navals qui dans la majorité des cas positionnent la timonerie sur l'avant du navire et anticipe la problématique. Sur les navires existants, des solutions d'équivalence à la règle sont recherchées par les architectes navals ou les bureaux d'études en association avec les équipementiers (caméras déportées ...).

L'Etat du pavillon est alors sollicité pour analyser la capacité de la solution à répondre à l'objectif de la règle en vue d'y délivrer un certificat d'exemption ou déclarer une équivalence à la réglementation. Que ce soit la convention SOLAS, les réglementations nationales ou européennes il n'y a pas de critères de stabilité spécifiquement adaptés aux navires sous voiles. Il leur est donc appliqué les critères de stabilité conventionnels d'un navire à propulsion mécanique dans le cas où l'équipement de propulsion par le vent n'est pas déployé. En complément, il leur est appliqué des cas de stabilité supplémentaires avec les équipements de propulsion par le vent déployés. La stabilité est ainsi évaluée dans les conditions les plus défavorables. Il n'y a donc pas de difficultés insurmontables car l'administration, avec l'appui de la société de classification, examine au cas par cas chaque navire et configuration afin de trouver une conception qui réponde aux objectifs de la réglementation. En 1987, le Bureau Veritas a publié une Note réglementaire NR 206 "Classification des installations de propulsion éolienne à bord des navires". Cette directive technique a été mise à jour en 2020 et intègre les derniers développements technologiques en matière de propulseurs (kite, mâ-t-ailé ...), de taille de gréements de plus en plus imposante, de nouveaux matériaux (composite, cordage synthétique), d'analyse de risques, d'évolutions des méthodes de calculs (EF), d'automatisation et de monitoring, ou encore d'évolutions de la réglementation, des calculs de stabilité, et de prise en compte des considérations d'efficacité énergétique (impact sur le calcul de l'EEDI).

La formation

Enfin, l'enjeu de la gestion à bord de ces nouveaux équipements et de la mise en sécurité du navire en cas d'urgence est important et les assurances demandent des preuves de la formation des marins en la matière. C'est pourquoi l'association Wind Ship, l'École Nationale Supérieure Maritime et la société D-ICE Engineering,

travaillent au développement d'un référentiel de formation pour la conduite optimisée des navires propulsés par le vent. Ainsi, dès 2023, un module de formation continue théorique et pratique pourra être proposé aux opérateurs et à leurs marins. Météorologie, rappel des principes physiques de l'hydro et de l'aérodynamique, et sécurité feront partie des sujets abordés pour une navigation optimisée et en sécurité. Ces sujets seront également abordés par l'Etat du pavillon dans le cas de la certification du navire et de la compagnie au code ISM (gestion de la sécurité).

L'accompagnement institutionnel

L'accompagnement institutionnel peut se faire à plusieurs échelons : européen, national et territorial. Des aides de l'UE existent au travers d'appels à projet lancés par la Commission européenne (DG MARE). Comme celui lancé en 2021 intitulé *Blue Economy Window call 2020*. Financé par le Fonds européen pour les affaires maritimes et la pêche (*FEAMP ou EMFF*), cet appel était destiné à soutenir les PME innovantes du secteur maritime. Dans ce cadre, AYRO avait obtenu de l'UE un engagement de 2,36M€ afin de conforter la pré-industrialisation, les tests, la validation, les suivis de performance de ses Oceanwings. Deux appels à projet "Horizon Europe" ont visé les sujets de propulsion par le vent en 2022.

Sur le plan national, en France, la loi de finance 2022 a été accueillie très favorablement par le secteur. Elle facilite le recours aux énergies propres avec un dispositif de suramortissement enfin applicable. Sont éligibles les navires de commerce battant pavillon d'un Etat membres de l'UE ou de l'EEE. Elle permet aux entreprises soumises à l'impôt sur les sociétés ou à l'impôt sur le revenu selon un régime réel d'imposition de déduire de leur résultat imposable des sommes dont le montant varie en fonction des équipements "verts" acquis (Art. 39 decies C Code général des impôts).

La propulsion principale décarbonée³ fait l'objet d'un suramortissement de 125% selon le Code général des impôts. Il est précisé que le vélique comprend : "les équipements véliques : mâts, ailes, rotors, kite et son système de commande, voiles, cordages, accastillage, gréement, quilles et lests ou ballasts (qui sont installés en supplément des lests ou ballasts utilisés lorsque le navire n'est pas chargé)." Jusqu'à cette dernière loi de finance, les équipements auxiliaires de propulsion par le vent ne bénéficiaient que d'un taux de suramortissement de 20% sur la valeur d'origine du bien. Ce taux a pu être révisé pour atteindre 85%, rendant enfin le dispositif plus incitatif pour les armateurs. Aujourd'hui, il reste encore à définir la notion de propulsion principale et auxiliaire notamment pour les équipements de propulsion par le vent autres que les voiles conventionnelles, car la définition actuelle repose sur une

norme qui a été déterminée pour ces voiles conventionnelles.

A noter que cette aide d'Etat est unique dans l'UE et qu'elle est strictement encadrée par le droit européen. Les industriels développeurs de solutions peuvent candidater aux différents appels à projets lancés par Bpifrance comme le dispositif "Première Usine" qui vise à accélérer l'émergence de premières réussites d'industrialisation par des start-ups industrielles ou PME ETI innovantes. Il s'inscrit dans le cadre du plan d'investissement "France 2030".

A l'échelon régional, le soutien de la filière peut se manifester de différentes manières: enveloppes dédiées sous forme de subventions, prêts, garanties d'emprunts, fonds d'investissements. Elles peuvent cofinancer des structures d'accompagnement des entreprises comme les pôles de compétitivité ainsi qu'organiser des événements autour de la propulsion par le vent.

Les régions Pays de la Loire et Bretagne capitalisent respectivement sur des années d'expérience de la course au large pour la Bretagne, de la construction de navires de croisière pour la région Nantes Saint-Nazaire. De plus, ces deux régions bénéficient de la présence d'un tissu d'entreprises dense travaillant dans l'industrie navale et le nautisme. La propulsion par le vent regroupe des fabricants et fournisseurs d'éléments ou de sous-ensembles, des services d'ingénierie ou de modélisation, de la maintenance, de la construction navale, des armateurs, des chargeurs...

Ce biotope est source d'attractivité et de montée en compétences et est pourvoyeur de nouveaux emplois comme en témoigne la récente étude de l'agence Bretagne Développement Innovation (BDI) qui dénombre 156 entreprises intéressées par le secteur, pour un chiffre d'affaires de la filière estimé à 28 M€. Les projets développés en Bretagne portent aussi bien sur différentes briques technologiques que sur des lignes de transport régulières ou des projets de cabotage à l'échelle locale.

En Pays de la Loire, la Région soutient différents projets, comme l'implantation d'Airseas, le projet de Neoline, le projet de formation des marins piloté par Wind Ship ou encore le développement d'un nouvel outil porté par BVSolutions M&O pour estimer les performances des technologies. Nantes Saint-Nazaire Développement et Wind Ship ont déjà fixé la deuxième édition de *Wind For Goods* qui aura lieu les 1^{er} et 2 juin 2023 à Saint-Nazaire. Cette rencontre internationale des acteurs de la propulsion par le vent témoigne bel et bien d'une filière en pleine ascension.

Lise DETRIMONT Déléguée générale Wind Ship
Camille VALERO ISEMAR

³ Par "propulsion décarbonée" il faut comprendre l'hydrogène, l'électricité, le GNL, le GPL, le GNC, l'ammoniac, le méthanol, l'éthanol, le diméthyl éther ainsi que la propulsion vélique.