

Une énergie économique et écologique: la force du vent

L'incitation réglementaire, les appels pressants de l'opinion publique en faveur d'une réduction des gaz à effet de serre (GES), la fluctuation du prix des carburants encouragent les armateurs à changer de type de propulsion et à investir dans les énergies innovantes décarbonnées telles que la propulsion éolienne (rotorflétner, turbo-voiles, voiles souple ou rigide, kites...). Mais qu'en est-il de l'état de l'art, aujourd'hui? Quelles sont les solutions technologiques et les politiques publiques mises en place pour les développer? Et à quel prix ?

Sortir de la dépendance du "tout pétrole"

Le moteur diesel a supplanté la grande majorité de l'ensemble des moyens de propulsion, le développement de la voile a perduré dans la course au large, la plaisance et l'exploitation des navires de patrimoine. La société TOWT – Transport à la voile, s'est spécialisée dans la voile traditionnelle, avec l'affrètement de vieux gréements pour le transport de denrées à haute valeur ajoutée (café, cacao, rhum...), un projet de cargo-voilier est à l'étude. La voile est ici le moyen de propulsion principal. Dans le secteur de la croisière la voile traditionnelle est encore utilisée, souvent comme moyen de propulsion auxiliaire. On peut citer le paquebot *Club Med 2* avec ses cinq mâts, ou bien encore le *Wind Surf* de la compagnie Windstar Cruises Lines. L'énergie primaire du vent est additionnée aux technologies du XXI^{ème} siècle. Cette combinaison, permet de rendre le transport maritime à la fois écoresponsable et efficient; gage d'économies de carburant, d'un bilan carbone moindre et d'une image de marque. Selon le type de navire et le mode d'exploitation le poste carburant représente 50 à 60% du coût d'exploitation d'un navire. Pour atténuer la dépendance à la volatilité du prix des carburants et anticiper sur les normes environnementales, la propulsion éolienne présente l'avantage d'être illimitée, gratuite, non polluante, économe en énergie et confère à l'armateur et au chargeur une image positive contribuant à leur notoriété. Le prix du transport est indexé sur le cours du baril de pétrole. Plus le prix du baril de pétrole grimpe, plus le transport à la voile, est compétitif. Définir un prix du baril seuil qui fait basculer le choix des armateurs vers une solution éolienne est une expédition périlleuse. Tout dépend de la technologie choisie, de son efficacité, du type de navire. Un mix énergétique mêlant propulsion éolienne et propulsion classique serait pour certains source de stabilité, en permettant de s'extraire en partie de la dépendance des variations du cours du pétrole.

Vers un durcissement réglementaire?

Le groupe Shipping Ambition 1.5 avait déduit que pour atteindre la cible de 1.5°C de la COP21, il faudrait que 100% des prochains navires construits soient neutres en émission carbone (en considérant 20-30 ans de durée de vie des navires actuels). D'où l'ambition de Maersk par exemple d'avoir des opérations neutres en CO₂ d'ici 2050, ce qui va plus loin que le planning de réglementation actuel. Cela induit donc une forte incertitude sur les réglementations à venir, s'ajoutant aux incertitudes sur les cours des carburants. Les défenseurs de la propulsion vélique estiment qu'il deviendrait alors plus difficile de financer des navires classiques et poursuivent que le vent apporte une dose de stabilité dans l'équation et pourrait à terme faciliter le financement de navires en "dérissant" l'investissement.

Face à une montée en puissance du transport maritime les émissions de GES augmentent corrélativement. Le transport maritime représente aujourd'hui 3% des émissions de GES mondiales, avec près de 90% des marchandises transportées par la mer, son empreinte environnementale devrait passer à 17% d'ici 2050 si rien n'est fait. On constate un nombre croissant de réglementations locales et internationales venant renforcer les exigences en matière de lutte contre les GES. L'Organisation Maritime Internationale (OMI) met en place un calendrier réglementaire de plus en plus strict visant à limiter ces émissions et à verdir le shipping.

L'objectif, est d'atteindre une réduction de 50% des GES imputables au secteur d'ici 2050 par rapport à 2008¹. Dans ce cadre, l'OMI via l'Annexe VI de la convention MARPOL (Marine Pollution) imposera à partir du 1er janvier 2020 que la teneur maximale en soufre des combustibles marins ne devra pas dépasser les 0.5% m/m (masse par masse) et ce pour tous les navires marchands, et sur l'ensemble de l'espace maritime (hors zones ECA déjà limitées à 0.1%), ce taux est aujourd'hui de 3,5%. L'OMI a adopté en juillet 2011 des amendements à l'annexe VI de la convention MARPOL relatifs à la prévention de la pollution atmosphérique causée par les navires, instaurant un indice nominal de rendement énergétique (EEDI) pour les navires neufs et un plan de gestion du rendement énergétique du navire (SEEMP) pour l'ensemble des navires. Le but est de promouvoir des équipements et des moteurs plus économes en énergie. L'EEDI, est un

¹ Voir Note de synthèse n° 204 Les émissions du transport maritime: questions économiques et technologiques, novembre 2018, ISEMAR.

mécanisme non normatif, basé sur les performances, qui laisse le choix des technologies à utiliser dans une conception de navire spécifique à l'industrie. Le SEEMP, permet de prendre en compte plusieurs aspects comme, une meilleure préparation des voyages, un nettoyage plus fréquent des parties immergées du navire et de l'hélice, l'introduction de mesures techniques comme les systèmes de récupération de la chaleur résiduelle, ou même l'installation d'une nouvelle hélice... Ces mesures, sont censées stimuler l'innovation et le développement de techniques rendant les navires dès leur phase de conception plus économes. On peut regretter que ces modes d'évaluation soient dénués d'effets contraignants sur le fait d'imposer une réelle amélioration de ces performances énergétiques. Libre au concepteur d'utiliser les équipements les plus sobres. L'UE, au travers du Règlement (UE) 2015/757, met en place un système de surveillance, de déclaration et de vérification (système MRV) des émissions de CO₂, basé sur la consommation de combustible des navires. Le recensement de ces données devrait être accessible au public dès cette année. La transparence est souvent gage d'actions. L'étape suivante, serait la tarification de ces émissions en incluant le transport maritime dans le marché européen du carbone. La vente de ces quotas serait allouée à la R&D des énergies propres. Certains ports se mobilisent, grâce à des incitations économiques pour encourager le shipping vers une "industrie verte", avec des compensations financières, un système de malus/bonus adossé à la taxe portuaire. Comme c'est le cas en Californie ou à Singapour, avec le programme Green Port où les navires les plus "verts", bénéficient d'une réduction sur leurs droits de port allant de 15 à 25%.

Le marché de ces "nouveaux" modes de propulsion

Le mode de propulsion éolien est susceptible d'être adapté pour tous types de navires et d'opérations. Au-delà des navires de commerce, l'éolien peut aussi trouver un débouché pour la défense. Un patrouilleur de la Marine irlandaise a été équipé à titre d'essai d'un kite comme moyen de propulsion et de surveillance (présence de capteurs). La participation de grands armateurs comme Maersk, MOL ou Viking Lines et de grands chargeurs comme Airbus (Airseas), Renault/ Manitou/ Bénéteau (Néoline), Shell (*Maersk Pelican*) ou encore Cargill (Sky Sails dès 2011) sont moteurs dans ce type de projets. Ils permettent de faire gagner en notoriété et en crédibilité ces nouvelles propulsions, en marquant leurs engagements dans une démarche ambitieuse de responsabilité sociétale des entreprises (RSE) et voir même s'affichent en tant que porteurs de projet.

Cette prise de conscience écologique que jouent la *supply chain* et la logistique de transport, ouvre de nouveaux marchés en intégrant dès la phase de conception du navire cette sensibilité écologique. Les Chantiers de l'Atlantique développent une nouvelle gamme de navires

de croisière spécialisée dans les expéditions à propulsion éolienne. Pour les opérateurs, l'important est d'avoir une solution clef en main, sûre, automatisée, nécessitant peu de maintenance et une formation allégée pour l'équipage. La combinaison avec des énergies renouvelables (solaire, vent, pile à combustible) ou à plus faible impact écologique (GNL) représente une opportunité d'économie d'énergie notamment pour les navires de croisière. L'objectif reste de convaincre les chargeurs et de trouver un modèle économique compétitif, qui peut-être de niche. C'est-à-dire avec un fret spécialisé (dans un premier temps), à haute valeur ajoutée, et être présent sur des lignes secondaires non desservies par les grands armateurs (bénéficiant d'effet d'échelle), c'est le business model de la société Neoline, par exemple. D'autres, misent sur des dispositifs qui sont susceptibles d'équiper massivement les cargos actuels (type kite). Il faut aussi palier à la réticence des opérateurs relative au respect des délais qui peuvent varier en fonction de la présence ou non de vent. Cependant, les systèmes de routage météo satellitaires actuels permettent désormais d'adopter la route la plus fiable possible et atténuent ainsi l'aléa climatique. Autre inconvénient de la propulsion éolienne; la nécessité d'un équipage formé à ces nouvelles techniques et technologies et parfois le besoin d'un équipage plus important (usage du vélique en propulsion principale) mais à relativiser en fonction du degré d'automatisation du navire. L'accès au financement pour développer des démonstrateurs à échelle commerciale est souvent une phase délicate du projet (voir plus loin). Le mix énergétique (propulsion conventionnelle et non conventionnelle) rassure les armateurs et les financeurs.

Les technologies envisagées

Des projets innovants relatifs au navire du futur écologique fleurissent un peu partout dans le monde, avec une dominante européenne. Sont présents également sur ces projets les Etats-Unis, le Japon, Singapour et l'Australie. Il existe une grande variété de technologies. Il n'y pas de solution universelle. La validité de la technologie sur un projet dépend du type de navire, de son profil opérationnel, des modes de financement. Cette diversité de contraintes et de solutions rend nécessaire d'adapter chaque technologie à chaque projet. Cependant, nous pouvons distinguer cinq types de technologies à propulsion éolienne: les voiles souples, les voiles rigides, les cerfs-volants de traction ou aile de kite, les rotors et turbines éoliennes (type Turbovoile).

Parmi ces cinq technologies, trois se distinguent: le rotor, a été inventé au XX^{ém} siècle par l'Allemand Anton Flettner. Cette technologie consiste à installer sur le navire des cylindres rotatifs qui sont actionnés par des moteurs de faible puissance utilisant un phénomène aérodynamique appelé l'effet Magnus (différence de pression d'air sur différents côtés d'un objet en rotation) pour générer une poussée. Construit en matériaux composites légers, il est

entièrement automatisé: son équipement de contrôle détecte l'effet du vent sur l'économie de carburant, le rotor démarre alors seul. Aujourd'hui, cinq navires en sont équipés: deux rouliers, un pétrolier, un vraquier et un ferry. Cette technologie s'adapte aussi bien à la construction neuve qu'au retrofit. Les économies de carburant réalisées pourraient atteindre 20%. La société Finlandaise Norsepower (*Rotor Sail Solution*) est pionnière en la matière. Citons comme réalisation le navire d'Enercon (*E-Ship 1*), le *Maersk Pelican*, ainsi que le ferry *Viking Grace*. Un second système, plus connu en France est la propulsion éolienne à profil aspiré, inspirée par la Turbovoile (marque commerciale), objet d'études du CRAIN (Centre de Recherche pour l'Architecture et l'Industrie Nautiques) basé sur l'aspiration de la couche limite d'un profil d'aile afin d'en augmenter la portance. Ce principe, bien connu des aérodynamiciens et étudié dans le domaine aéronautique depuis longtemps, a été porté dans le domaine naval sous l'impulsion du Commandant Cousteau qui en a doté son navire l'Alcyone dans les années 80. Les études des concepteurs estiment que le gain en carburant pourrait être de 30%. La société néerlandaise eConowind propose également ce type de solution, appelé "VentiFoil". Ces deux types de propulseurs éoliens ont la particularité d'être, contrairement aux voiles traditionnelles, des systèmes à apport d'énergie. Il faut un moteur pour faire tourner le rotor Flettner et un système d'aspiration dans le cas du profil aspirant.

Généralement situés à l'avant du navire pour faciliter la propulsion ou pour générer de l'électricité, les cerfs-volants (ou ailes de kite) volent en altitude où le vent est plus fort qu'à la surface de la mer. A chaque mode de fonctionnement son système dédié. On peut citer la société Airseas, pour l'installation en 2020 d'une aile de kite (500 m²) automatisée (*SeaWing*) sur le navire roulier de Louis Dreyfus Armateurs le *Ville de Bordeaux*, avec comme ambition de réaliser à terme une aile de 2000m². Un simple interrupteur devrait lancer et récupérer le cerf-volant qui se déploiera et se repliera de manière autonome, un véritable enjeu dans ces phases délicates, où le risque de destruction de l'aile est élevé. Le système, collecte et analyse des données météorologiques et océaniques en temps réel. *SeaWing* s'adapte à ces informations, afin d'optimiser ses performances tout en assurant son fonctionnement en toute sécurité. Dans la même veine, il existe également la société *Beyond the sea* d'Yves Parlier associé avec CMA CGM pour l'installation d'une voile de kite de 1600 m² à l'horizon 2020. Selon leurs concepteurs, le gain de consommation de carburant serait de 20% aux allures portantes.

Les ailes de voile rigides ou semi-rigides automatisées ont déjà été installées sur le navire de croisière Ponant en lieu et place de ses voiles d'origine (phase d'expérimentation). Ces voiles appelées *Solid sail* ont été développées par les

Chantiers de l'Atlantique (*Silenseas*) et offrent une solution aux limites actuelles du tissu.

Le Neoliner de la société Neoline



Dans le secteur de la marine marchande, la société nantaise Neoline propose un cargo-roulier pilote, à propulsion principale vélique et à propulsion auxiliaire diesel électrique. Ce navire opérera sur un service de ligne transatlantique ro-ro à la voile d'ici 2021 et devra relier les côtes est d'Amérique du Nord au port de Nantes Saint-Nazaire en passant par Saint-Pierre et Miquelon. Le groupe Renault, Sogebas, Bénéteau et Manitou se sont déjà positionnés comme partenaires. Autres acteurs français; Cnim et VPLP qui se sont associés pour l'industrialisation de leur voile *Oceanwings* (utilisée dans *America's Cup*). La start-up Zéphyr & Borée, mène également son projet en partenariat avec VPLP pour la construction d'un cargo à voile, d'une valeur de 25 à 35 M€. Le gain de carburant serait de 30% en moyenne.

Les critères prépondérants dans le choix de telle ou telle technologie sont la performance, les dépenses en capital, la complexité de l'installation, les coûts de maintenance et de sécurité, la formation éventuelle de l'équipage. Dans un souci de donner un aperçu de l'efficacité du potentiel de la propulsion éolienne en fonction des données AIS, la Commission européenne a demandé à un cabinet de consultants, CE Delft, de rédiger un rapport intitulé "*Study on the analysis of market potentials and market barriers for wind propulsion technologies for ships*"², paru en novembre 2016. Ce rapport nous donne des estimations de rendement énergétique des différentes technologies éoliennes en tant que propulsion auxiliaire. Le pourcentage d'économie est de 17% pour le rotor (23% dans le cas de la vitesse lente VL); 18% pour la voile rigide (24% VL); 5% pour le cerf-volant (9%VL); et 2% pour la turbine (4%VL). Les économies d'énergie toutes technologies et tous types de navires confondus sont encore plus prégnantes lorsque le navire fonctionne en

² Certains acteurs du vélique contestent les chiffres et la méthode employée par le cabinet CE Delft. D'autres études doivent être menées pour avoir des chiffres fiables.

slow steaming. La technologie du rotor simple et économique ainsi que celle des ailes rigides se distinguent nettement en termes de gain d'économie. Ces types de technologies sont plus adaptés pour de gros navires. Les rotors ayant besoin d'espace disponible sur le pont, ne sont pas adaptés pour les porte-conteneurs. A l'inverse, le cerf-volant s'adapte très bien aux porte-conteneurs et n'a besoin que d'un espace restreint sur le pont. Cependant, sa mise en place reste complexe. Le gain de carburant doit être significatif et la complexité maîtrisée pour que la propulsion éolienne soit rentable. Ces données chiffrées et venant d'un organisme indépendant sur l'efficacité de ces différentes technologies sont primordiales dans la validation d'un marché, l'élaboration d'un *business model* et de surcroît facilitent l'accès aux capitaux. Il est important pour les porteurs de projets d'avoir des données fiables. Cette filière de l'éolien doit se structurer, avec des modèles d'évaluation de performance élaborés par un organisme indépendant de type société de classification (DNV GL, BV, ClassNK, ABS...) qui délivrerait des certificats de conception d'homologation. Ces certificats valideraient que techniquement le navire est apte à affronter les périls de la mer. Cette standardisation de l'évaluation de la propulsion éolienne (selon les routes empruntées et le profil opérationnel du navire) permettrait de rassurer les opérateurs (armateurs, investisseurs et assureurs) et constituerait un gain en évitant de refaire une demande spéciale pour chaque projet.

Les mécanismes de financement

Le passage d'un prototype échelle 1 à la phase commerciale est périlleux et est commun à toute émergence de nouvelles technologies (énergies marines renouvelables, drones...). Cette frilosité, est liée notamment à un manque de visibilité du retour sur investissement. Le succès de certaines autres technologies comme l'usage de batteries électriques (lithium-ion) comme moyen de propulsion secondaire pour certains navires (ferry), a été rendu possible par un développement en amont et en commun avec le secteur de l'automobile. Cette fertilisation croisée accélère le développement de ces technologies, en réduit les coûts et en facilite leur acceptation auprès des investisseurs.

L'accès aux capitaux pour le développement des énergies décarbonnées, apparaît comme un obstacle majeur au développement et à l'utilisation des technologies de propulsion éolienne, en particulier pour la construction et le test de modèles à grande échelle et de projets de démonstration. Un accompagnement public via les banques publiques d'investissement et des subventions européennes peuvent être des solutions. Mais ces projets doivent répondre à certaines exigences; les navires doivent battre pavillon de l'UE, les projets doivent avoir une valeur ajoutée européenne élevée, etc. Faire appel à ces fonds européens (programme Horizon 2020, programme européen de financement LIFE, fonds

FEDER) relève parfois du parcours du combattant, tant la démarche administrative est fastidieuse et longue pour de petites entreprises de R&D. En France, l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) contribue au financement de projets de recherche et développement dans le domaine de l'industrie navale et débouchant sur des réalisations industrialisables (projets *Silenseas* et *Seawing*). L'Etat, pourrait mettre en place un système de fiscalité attrayant pour les investisseurs ou proposer de prêter une part importante d'un prêt consorsial pour engager d'autres prêteurs. Un prêt consorsial est un prêt important fourni à un grand emprunteur (1 million \$ ou plus) par plusieurs prêteurs regroupés. Chaque prêteur du groupe de prêt (syndicat) fournit une partie du montant et partage le risque de crédit. Habituellement, un prêteur agit comme «agent». Il prête un montant plus important que les autres et administre le prêt au nom du syndicat.

Le projet de loi de finances (PLF) pour 2019 en France, prévoit un mécanisme de suramortissement fiscal pour les investissements réalisés par les armateurs, afin d'inciter les compagnies maritimes à s'engager résolument dans la transition énergétique de leurs navires, en fixant à 30% le taux de suramortissement pour les propulsions décarbonnées (hydrogène, électrique, éolienne).

Par ailleurs, on observe actuellement le début d'un mouvement des investisseurs privés vers les énergies vertes, favorisé par la mise en place des crédits carbone dans certains secteurs, et l'évolution des réglementations. Les experts, estiment que la propulsion éolienne prendra tout son essor à partir de 2030-2040, lorsque davantage de nouvelles constructions seront entrées dans la flotte (les rénovations sont plus onéreuses que leur installation) et que les coûts d'investissement auront diminué, en raison d'effets d'apprentissage et d'économies d'échelle. Reste à réaliser la synchronisation avec d'autres modes de propulsion, d'optimiser l'information sur l'ensemble de la chaîne logistique et de faciliter leur financement.

La filière de la propulsion éolienne est pleine d'avenir, mais a besoin de se structurer et de se renforcer sous forme de pôle d'excellence en lien avec des centres de formation du secteur pour développer un haut niveau de qualification professionnelle européen et favoriser les synergies. C'est tout le travail que mène l'association IWSA (*International WindShip Association*) siégeant à Londres, qui fédère en France et à l'international nombre d'acteurs autour de l'éolien. Sont présents des concepteurs de technologies, des architectes navals, des porteurs de projets, des académiques et des institutionnels. Au-delà d'une filière éco-responsable, préoccupation de plus en plus prégnante de notre société, c'est aussi un gisement d'emplois et de savoir-faire qui est en jeu, reste aux acteurs privés comme publics de s'en saisir.

Camille VALERO