



**MINISTÈRE  
DE LA TRANSITION  
ÉCOLOGIQUE**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

*Version ultime*

# **DÉVELOPPEMENT D'UNE FILIÈRE de TRANSPORT MARITIME à VOILE**

Rapport CGEDD n° 013343-01, IGAM n° 2020-066

**établi par  
Franck CAMMAS**

avec le concours de

**Denis MEHNERT (IGAM)  
Antoine PICHON (CGEDD)**

Octobre 2020



Les auteurs attestent qu'aucun des éléments de leurs activités passées ou présentes n'a affecté leur impartialité dans la rédaction de ce rapport

<b>Statut de communication</b>	
<input type="checkbox"/>	Préparatoire à une décision administrative
<input type="checkbox"/>	Non communicable
<input type="checkbox"/>	Communicable (données confidentielles occultées)
<input type="checkbox"/>	Communicable

## Sommaire

<b>Résumé.....</b>	<b>3</b>
<b>Liste des recommandations.....</b>	<b>4</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>6</b>
<b>1. La propulsion par le vent, une technologie d’avenir décarbonée qui se heurte à certains scepticismes .....</b>	<b>8</b>
1.1. État des lieux des différentes technologies.....	8
1.1.1. Les voiles souples.....	8
1.1.2. Les voiles rigides.....	12
1.1.3. Les ailes et cerf-volants.....	17
1.1.4. Les rotors et ailes à profils aspirés.....	18
1.1.5. Court parangonnage européen.....	20
1.2. La nécessité d’objectiver la propulsion vélique.....	22
1.2.1. Comparer les performances.....	22
1.2.2. S’assurer de la fiabilité des technologies .....	27
<b>2. Une filière émergente et prometteuse qui a besoin d’appuis forts.....</b>	<b>31</b>
2.1. Développer les financements « verts ».....	31
2.1.1. Adapter les outils existants à la transition écologique des navires.....	31
2.1.3. <i>Le certificat d’économie d’énergie (CEE), véritable opportunité pour la propulsion vélique.....</i>	<i>34</i>
2.2. Engager résolument les Pouvoirs publics.....	38
<i>À cet effet, plusieurs leviers sont identifiés : la commande publique, la promotion de la propulsion vélique dans certains espaces maritimes, une évolution de la réglementation internationale ainsi que la constitution d’une cellule dynamique d’appui au secteur.....</i>	<i>38</i>
2.2.1. <i>La nécessaire exemplarité des Pouvoirs publics en matière de commande publique</i>	<i>38</i>
<b>3. Conclusion.....</b>	<b>43</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>45</b>
<b>1. Lettre de mission.....</b>	<b>46</b>
<b>2. Liste des personnes rencontrées.....</b>	<b>48</b>

**3. Glossaire des sigles et acronymes..... 53**

## Résumé

Depuis plus de 5 000 ans, les navires marchands qui ont sillonné les océans pour transporter biens et denrées commerciales ont utilisé le vent et les voiles comme moyen de propulsion.

La décarbonation complète du transport maritime dont les orientations affirmées deviendront obligations réglementaires imposées par l'Organisation maritime internationale (OMI) à l'échéance de 20 et 30 ans, oblige les armateurs à repenser le mode de propulsion de leurs navires. Soumis au « diktat » de la vitesse et du juste à temps imposé par les chargeurs, ils privilégient pour ce faire l'emploi de carburants propres (mais dont le bilan carbone est intimement lié aux cycles de production et de stockage de ces carburants dans chaque pays) et l'utilisation de moteurs décarbonés (électrique, à hydrogène...) pour remplacer les moteurs thermiques fonctionnant aux carburants fossiles. Ils n'ont pas pour la plupart, l'idée d'utiliser à nouveau cette énergie gratuite, abondante, déjà présente dans l'environnement immédiat des navires et répartie sur la totalité de la planète qu'est le vent, imaginant, s'ils devaient s'y résoudre, « revenir » à un mode de propulsion dépassé comme serait le retour du cheval dans le transport terrestre. Or, ils ignorent les progrès considérables développés par la course à la voile de compétition ces dernières années et les systèmes véliques ou éoliens modernes issus de la coupe de l'America par exemple, telles les ailes rigides.

Une filière est pourtant en cours de création, privilégiant l'emploi de ces techniques modernes servies par de jeunes entreprises ainsi que quelques chantiers novateurs et s'appuyant sur des cabinets d'ingénierie impliqués dans la course au large (conception technique des systèmes, architecture, routage des navires). Situé majoritairement sur la côte Atlantique, ce cluster éolien de la marine marchande, sorte d'écosystème de services et acteurs complémentaires constitué d'une quinzaine d'entreprises a décidé de s'associer sous la dénomination « Wind-ship ». Servis pour une large part par des officiers de la marine marchande persuadés de la nécessité d'utiliser ce mode de propulsion disponible et entièrement décarboné qu'est le vent, remplaçant naturel du carburant fossile.

Cette filière en pleine émergence mais disposant de projets matures représente une opportunité à saisir pour la France d'occuper une position de *leader* européen en la matière. Cependant, le passage à un démonstrateur à l'échelle 1 d'une technologie vélique en vue de son expérimentation grandeur nature permettant de « dérisquer » un projet, nécessite de franchir un pas important pour une *start-up*. Il convient ainsi d'encourager cette solution de verdissement du transport maritime en accompagnant les armateurs français dans la concrétisation de leurs projets décarbonés. Plusieurs dispositifs d'appuis financiers directs ou fiscaux sont en effet nécessaires à côté des financements privés mobilisés, car le secteur industriel de la construction navale est très capitalistique et les retours sur investissements (ROI) n'ont pas le niveau d'autres domaines plus attirants.

Un suivi spécifique des projets au sein de l'administration centrale des affaires maritimes est préconisé dans ce rapport qui propose, après un état des lieux complet des technologies matures, d'autres recommandations telles la formation des équipages et des mesures financières pour accompagner les armements français, les aidant à concrétiser leurs projets décarbonés.

## Liste des recommandations

- Recommandation 1.** *Appuyer la création d'un laboratoire indépendant permettant d'objectiver les mesures théoriques et les résultats pratiques de tests en bassin de carène et milieu marin de manière à obtenir des performances objectives reconnues et d'éclairer les décideurs sur les meilleurs choix techniques.....*24
- Recommandation 2.** *Finaliser un référentiel adapté aux nouvelles technologies et l'harmoniser au niveau européen.....*26
- Recommandation 3.** *Imaginer un référentiel de formation adapté à la propulsion par le vent et envisager une adaptation de la convention STCW sur les normes de qualification des équipages à l'usage de la propulsion éolienne (voile, kite, rotor, aile-aspirée.....)*28
- Recommandation 4.** *Créer un fonds pluriannuel - en plus d'avances remboursables - dédié à l'innovation pour la transition écologique, et harmoniser l'action des financeurs publics.....*31
- Recommandation 5.** *Inciter les entreprises et les particuliers à investir dans la propulsion vélique en adaptant les produits d'épargne dédiés à la transition écologique.....*32
- Recommandation 6.** *Etendre le champ du certificat d'économie d'énergie et lancer un appel à programmes spécifique à la propulsion vélique.....*33
- Recommandation 7.** *Optimiser au plan national et européen, les dispositifs fiscaux tels ceux du sur-amortissement de l'art 39 Decies C et de la défiscalisation des investissements ultramarins en l'élargissant cette dernière aux travaux de retrofit des navires existants.....*34
- Recommandation 8.** *Confirmer et renforcer l'engagement européen pour la réalisation du « Green Deal », en identifiant les projets spécifiques à l'innovation en matière maritime.....*35
- Recommandation 9.** *Porter une réflexion à l'Organisation maritime internationale visant à mettre en place un mécanisme de marché des émissions de CO 2 pour le transport maritime.....*36
- Recommandation 10.** *Imposer aux différentes administrations centrales ou décentralisées armant des navires un programme de constitution d'une flotte de service public mixte, propulsée en partie par le vent .....*38

<b>Recommandation 11. <i>Inciter les gestionnaires d'aires marines protégées à encourager l'accès des navires à propulsion vélique dans les parcs marins et dans les réserves naturelles</i></b> .....	<b>39</b>
<b>Recommandation 12. <i>Porter une soumission à l'organisation maritime internationale pour adapter la convention SOLAS à la propulsion vélique des navires en recherchant un partenariat avec les Etats de l'UE</i></b> .....	<b>40</b>
<b>Recommandation 13. <i>Constituer, au sein du ministère de la Mer, une cellule d'appui aux opérateurs, dédiée à la propulsion par le vent dans le transport maritime</i></b> .....	<b>41</b>
<b>Recommandation 14. <i>Rédiger un Livre Blanc de la propulsion vélique</i></b> .....	<b>41</b>

## Introduction

La décarbonation du transport maritime et plus largement de la navigation de travail est un enjeu mondial déterminant de la prochaine décennie. Pour relever ce défi, l'une des principales technologies immédiatement disponibles de décarbonation s'appuie sur une énergie renouvelable, la propulsion par le vent, et mérite de prendre toute sa place dans ce débat sur l'avenir du transport maritime.

Historiquement en effet, depuis plus de 5 000 ans que les hommes sont allés visiter d'autres territoires et qu'à été inventée la navigation à voile, les déplacements maritimes l'ont été grâce au vent. Voici 150 ans, alors que la mondialisation était déjà bien installée dans le commerce mondial, tous les échanges entre nations s'effectuaient par mer et avec l'aide de la propulsion vélique. Nous avons tous en tête, l'image de ces clippers, trois-mâts barques chargés de fret et traversant les océans en naviguant grâce au vent. L'avènement du moteur thermique et de la propulsion autre que vélique dans le transport maritime est de technologie récente et peut être une parenthèse dans l'histoire de la navigation.

Les plus gros navires de la marine marchande dont la taille ne cesse d'augmenter se concentrent sur certaines routes à grande vitesse, et font escale uniquement dans les plus gros ports, les ports secondaires et leur dynamisme économique étant alors largement atténués. Ces navires en majeure partie sont encore propulsés par une énergie carbonée, le fioul lourd ou dans une moindre mesure, le gaz naturel liquéfié (GNL).

La réglementation de l'Organisation maritime internationale sur la teneur en soufre des carburants s'attache à maîtriser la pollution de l'air qui a un impact climatique important : le transport maritime émet 3 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, méthane) soit 812 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> ce qui est comparable au secteur de l'aviation.

Face à l'augmentation forte du trafic maritime, les émissions de gaz à effet de serre pourraient poursuivre leur croissance d'après l'OMI<sup>1</sup>, pour représenter potentiellement jusqu'à 17 % des émissions mondiales en 2050 sur une trajectoire « business as usual ».

Ces impacts deviennent inacceptables et le modèle maritime doit donc se renouveler.

C'est pourquoi les États mobilisés au sein de l'organisation maritime internationale (OMI), l'agence des Nations-Unies en charge de la sécurité et de la prévention de la pollution maritime, ont décidé en 1997 d'imposer une réglementation limitant les émissions d'oxydes de soufre à partir du 1er janvier 2020, et ont mis en place en avril 2018 une stratégie globale de réduction des émissions de gaz à effet de serre afin de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> de 40 % d'ici 2030 et poursuivre les efforts jusqu'à 70 % d'ici 2050 comparé à 2008. Les émissions de gaz à effet de serre doivent, quant à elles, être divisées par deux d'ici 2050, comparé à 2008.

En parallèle, l'Union européenne prend aussi des engagements et instaure des règlements concernant les activités maritimes sur son territoire, tel que le règlement 2015/757 du 29 avril 2015 concernant la surveillance, la déclaration et la vérification des émissions de dioxyde de carbone du secteur du transport maritime.

Or, les solutions de propulsion par le vent sont rentables, sûres bien que liées à une source d'énergie aléatoire sur certains parcours maritimes, sans retombées néfastes au plan de la pollution et ne nécessitent que peu de modifications de l'infrastructure portuaire. Ces solutions doivent pouvoir garantir aux armateurs une meilleure autonomie opérationnelle, atténuant ainsi les risques et les incertitudes liées à la volatilité des prix et à la disponibilité de carburants existants ou alternatifs.

---

<sup>1</sup> Rapport de présentation pour l'adoption de l'annexe VI de la convention Marpol de lutte contre les pollutions atmosphériques des navires.

Par conséquent, l'adoption de la propulsion par le vent devrait être encouragée, car elle permettra à la flotte mondiale de réduire ses émissions nettes de gaz à effet de serre à court terme. Cette solution devrait permettre d'envisager enfin concrètement l'atteinte des objectifs de réduction des GES fixés par l'Organisation Maritime Internationale : moins 50 % d'ici 2050.

Ces solutions doivent donc absolument être systématiquement incluses dans l'analyse des voies possibles de décarbonation du transport maritime en améliorant l'information disponible, et en évitant d'accorder une attention exclusive aux options de carburants alternatifs à plus long terme (tels l'hydrogène combinée à une pile à combustible ou les moteurs électriques). À la différence des carburants alternatifs dits propres, la propulsion vélique utilise directement l'énergie renouvelable présente dans son environnement, aucune consommation d'énergie annexe ou d'émission de GES ni d'empreinte quelconque sur l'environnement dans la captation de cette énergie, son transport ou son stockage ne sont nécessaires.

Compte tenu du contexte actuel et de la crise économique faisant suite à la crise sanitaire mondiale, l'économie de carburant ne semble plus être une priorité pour les acteurs du transport maritime ; elle le reste pourtant en termes de lutte contre le réchauffement climatique ; or, la propulsion par le vent est la seule, tout en étant disponible sur quasiment toutes les mers du globe, à être entièrement gratuite et non émettrice de CO<sub>2</sub>.

Si beaucoup d'évolutions techniques et réglementaires ont été initiées afin d'améliorer les performances des moteurs marins et limiter leur empreinte sur l'environnement, des alternatives destinées à changer de paradigme commencent à voir le jour. Dans ce contexte, des projets de navires de charge à propulsion vélique se développent sous différentes formes. De nouvelles technologies, s'appuyant notamment sur des voiles innovantes, rigides, les ailes de cerf-volant ou encore les profils cylindriques ventilés remettent à l'ordre du jour la propulsion vélique ou éolienne dans le contexte des objectifs de décarbonation du transport maritime. Or, le marché mondial de la décarbonation des navires et de la fabrication des technologies qui lui sont liées est important ; si 30 % seulement des 80 000 navires de la flotte mondiale marchande (hors navires de pêche) circulant sur les mers du globe sont susceptibles d'être équipés, **ce marché du « rétrofit » est considérable.**

Le soutien des technologies de propulsion par le vent offre en effet une solution à court terme techniquement et commercialement viable. Cette solution devrait permettre d'économiser 5 à 20 % du carburant consommé et des émissions associées lorsqu'elle est utilisée en tant qu'assistance à la propulsion sur la flotte existante (refit). Le potentiel est beaucoup plus élevé, pouvant aller jusqu'à 80 % de réduction d'émissions à mesure que la technologie se développe en tant que propulsion principale et est déployée sur des navires neufs conçus avec cet objectif.

La France est un des pays *leader* et bénéficie d'un savoir-faire en matière de propulsion éolienne du fait notamment de l'écosystème d'entreprises qui s'est constitué autour de la course à la voile. Ces compétences peuvent être un atout dans la constitution d'une filière centrée sur des solutions techniques novatrices, pour peu que des transferts d'expérience et de technologie, entre le monde de la voile et celui de la marine marchande, soient mis en oeuvre. Notre pays accueille aujourd'hui une quinzaine d'entreprises pionnières dans ce domaine à Nantes/St Nazaire, concentration intéressante à l'échelle mondiale, qui doit permettre à la France de devenir *leader* sur ce marché d'avenir. Notre territoire concentre en effet un savoir-faire et un tissu productif déjà existants en matière de course au large, d'industrie navale et d'aéronautique qui permet de concevoir, produire et utiliser ces technologies propres et décarbonées au service du transport maritime.

Une véritable politique industrielle est nécessaire pour appuyer cette filière propre d'entreprises pionnières, armateurs, fournisseurs de technologie, concepteurs et routeurs de navires. La propulsion par le vent est une technologie d'avenir qui se heurte à certains scepticismes, nourris par des images anciennes et désuètes, alors qu'une filière émergente et prometteuse se développe en ayant besoin d'appuis forts.

# 1. La propulsion par le vent, une technologie d'avenir décarbonée qui se heurte à certains scepticismes

Depuis le « règne » des trois-mâts barques rapportant des marchandises de l'autre bout du monde et fonctionnant quasi exclusivement grâce au vent, les technologies ont poursuivi leurs évolutions et c'est le monde de la course à la voile qui a fait évoluer considérablement les solutions. Un état des lieux des différentes technologies conduit à la nécessité d'objectiver les résultats de celles-ci, même si des incertitudes demeurent liées à l'environnement économique.

## 1.1. État des lieux des différentes technologies

Différentes technologies existent pour la propulsion éolienne installée à bord des navires (1). Leur degré de maturation et les perspectives de développement varient selon les connaissances acquises grâce à la course au large. L'analyse de l'adaptabilité de la propulsion éolienne à la flotte existante (« refit »), ou au contraire, la nécessité de concevoir puis de construire des navires disposant, dès leur origine, de la propulsion vélique s'effectue selon la catégorie des navires. Le « mix » énergétique constituera l'avenir de la propulsion des navires, la propulsion vélique étant utilisée soit comme mode de propulsion principale, soit comme appoint d'un autre mode de propulsion. Les intérêts et les inconvénients de chacune des technologies proposées, au regard des contraintes existantes nécessitent d'objectiver les performances (2) :

- Les voiles souples
- Les voiles rigides
- Les ailes et cerfs-volants
- Les rotors
- Les ailes à profil aspiré

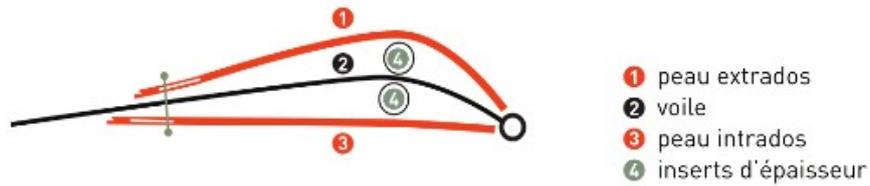
### 1.1.1. Les voiles souples

En s'équipant de voiles pour la propulsion éolienne, l'armateur peut réduire une part significative du budget opérationnel de ses navires pour leur durée de vie entière : le vent est l'énergie la plus universelle, verte et gratuite que l'on trouve sur les océans. Des études prouvent qu'on pourrait réduire les consommations de 40 % avec une propulsion éolienne auxiliaire et des projets à propulsion éolienne principale sont d'ores et déjà lancés. Les entrées récentes dans la sphère de la propulsion éolienne de Maersk, Airbus, Renault ou les Chantiers de l'Atlantique amènent la question de quand et comment l'industrie du transport maritime ira vers une propulsion éolienne.

Les voiles souples ont toujours été minces et faseyent dans le vent ce qui génère du stress mécanique et un vieillissement plus rapide mais aussi pour les hommes d'équipage : les lattes et les évolutions de tissus leur ont apporté de la stabilité de profil mais ces voiles restent compliquées à régler et compliquées à établir car induisant des contraintes.

- Innovation adaptée aux voiles souples : Le système **Add Modules** s'applique à la technologie de la propulsion éolienne principale ou auxiliaire des navires. Les caractéristiques du système Add Modules proviennent essentiellement de la combinaison :

- de plaques en polymère semi-rigides appliquées sur chacune des faces de la voile et,
- d'un ou plusieurs inserts (tubes gonflables) qui ont pour fonction d'écarter celles-ci de la voile.



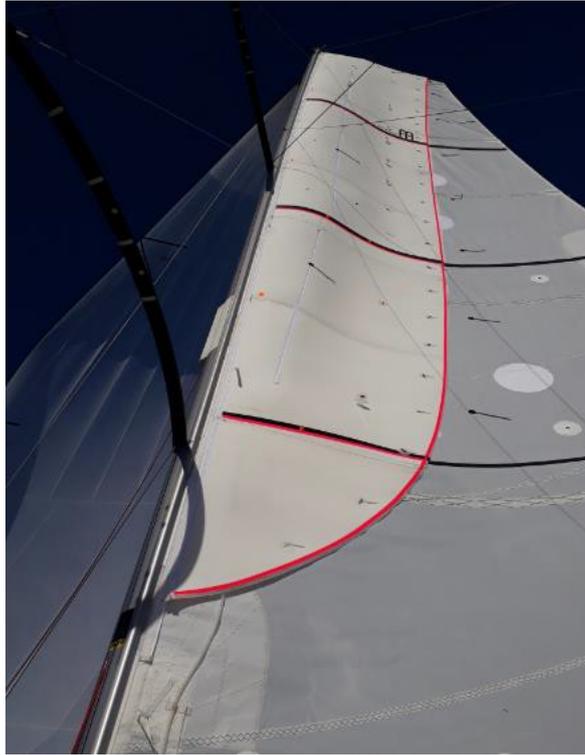
*Illustration 1*

Dans ces conditions le creux de la voile souple est le point pivot de l'asymétrie. C'est un système semi-rigide qui se met en place sans contraintes sur une voile classique : il est simple, léger et solide. Le produit navigue en compétition dans le nautisme : l'aile est dite à un seul élément, ne fage pas ce qui génère moins d'usure et facilite les manœuvres. Le profil est stable, améliore la stabilité de la plateforme et les conditions de travail des marins. Son asymétrie bord sur bord est extrêmement simple et automatique.



*photo 1: Crédits photo : ADD Modules*

Le système Add Modules est unique et repose sur la combinaison d'une voile souple et des éléments d'épaisseur apposés sur chacune de ses deux faces. Cette voile devient alors une aile épaisse asymétrique bord sur bord dite à un seul élément. La voile supporte le système ce qui le rend universel.



*photo 2 : Dispositif installé sur un bateau de la mini-transat 2019. (ADD-Modules)*

- le système s'adapte à tous les mâts et les gréements ;
- le système s'adapte à toutes les plateformes donc permet le rétrofit.

Le système utilise des technologies connues utilisées en voilerie et dans le maritime et est défini avec une logique d'industrialisation dès sa conception.

- Projets utilisant les voiles souples : Plusieurs compagnies maritimes, telles Seafret Caraïbes, Grain de sail ou la société TOWT ont choisi de développer le concept de cargos à voiles afin de proposer à des chargeurs un transport maritime décarboné qui pourrait être labellisé : « marchandise transportée à la voile ».

Si les deux premières sont encore à l'étude d'un projet de construction de navire, la compagnie **TOWT** utilise déjà des navires à voiles, caboteurs ou navires de plaisance et de pêche convertis. Elle développe son propre label avec un cahier des charges de certification de transport à la voile dénommé « ANEMOS » et un projet de navire de charge entièrement à la voile dont la construction du premier exemplaire devrait démarrer en 2022, trois autres étant programmés à suivre.



photo 3: Voilier-cargo de 67,50 m, naviguant à 12 noeuds et semi-automatisé. (Crédit : TOWT)

TOWT<sup>2</sup> mène en effet une étude de recherche et développement en vue de la construction du prototype d'une série de quatre voiliers-Cargo chargeant 1 000 t. Soutenu par l'ADEME, le projet bénéficie du Programme des Investissements d'Avenir (PIA). Il vise à concevoir une nouvelle génération de grands voiliers pour le transport de marchandises suivant les critères de coût, fiabilité, capacité et vitesse.

- Enfin, la compagnie NEOLINE<sup>3</sup>, fondée en 2015 par des officiers de la marine marchande compte confier à la société NEOPOLIA avec l'appui de l'armement maritimo-fluvial SOGESTRAN, la construction d'un navire à voiles souples dont les études concluent à la faisabilité d'un navire de charge de 136 m disposant de quatre gréements selon la vue ci-après :

---

<sup>2</sup> [https://www.towt.eu/wp-content/uploads/2020/03/Plaque\\_Voilier\\_Cargo\\_LGT\\_fr\\_20.pdf](https://www.towt.eu/wp-content/uploads/2020/03/Plaque_Voilier_Cargo_LGT_fr_20.pdf)

<sup>3</sup> <https://www.neoline.eu/>



photo 4: Crédits photo : Néoline

### **1.1.2. Les voiles rigides**

Ailes rigides épaisses à volet : directement issu de la course à la voile le concept **OceanWings** a été conçu par l'architecte naval Marc van Peteghem associé à Vincent Lauriot-Prévoist. La dernière coupe de l'America avait en effet prévu dans le règlement de course la possibilité d'ailes rigides épaisses conçues sur le même principe que celui des ailes d'avion. Il s'est avéré qu'une aile rigide épaisse utilisée à la coupe de l'America produit à taille égale, deux fois plus de force propulsive qu'une voile à simple peau souple classique. Son domaine d'utilisation recouvre aussi des angles de vent apparent faible (à partir de 20 degrés) permettant une efficacité réelle sur des bateaux rapides. De plus, une aile de ce type ne fassaye pas et possède ainsi une durée de vie bien plus longue.

C'est dans ce contexte de recherche d'une optimisation énergétique et de respect de l'environnement qu'est né le projet OceanWings® : une aile rigide affalable et arrisable permettant d'utiliser de manière optimale et autonome le vent comme force de propulsion. Ce propulseur éolien permet, installé sur « Energy Observer », d'assister la propulsion principale dans la majorité des conditions. Marc van Peteghem a créé une filiale dénommée AYRO qui porte la réalisation de ce brevet d'aile rigide.



photo 5: Crédit photo : Energy-Observer et Futura-Sciences

L'aile à volet avant et arrière reprend le principe de profil à éléments multiples mis en oeuvre sur les catamarans à ailes rigides des Class C, AC45, AC 50 et AC72 ; la structure est auto-portée mais la réalisation est assez complexe. Sa destination est la propulsion auxiliaire en appoint d'une propulsion principale. Le principal inconvénient est qu'un mat sans dispositif particulier ne peut pas se rabattre sous les ponts dans les ports, mais cela reste un inconvénient moindre que sur des voiles classiques, car la surface peut être moindre à puissance vélique égale (hauteur de mât moindre).



Illustration 3



Illustration 2

- Le principe de l'aile à volet doit lui permettre d'être installée sur des navires de dimensions importantes comme des navires de charge. C'est le projet d'un armateur récent, Zéphyr et Borée<sup>4</sup> qui s'appuyant sur un investisseur privé convaincu par le « moteur éolien » et en partenariat avec l'armateur établi de longue date dans l'offshore, Jifmar, a obtenu d'Ariane espace un contrat pour transporter les tronçons de la fusée Ariane depuis l'Europe jusqu'en Guyane.

<sup>4</sup>Fondée en 2015, **Zéphyr et Borée** prépare actuellement la mise en chantier d'un premier navire de commerce hybride voile/moteur de 121 mètres pour le compte d'**Ariane Group** avec le cabinet d'architecture navale VPLP design. Ce récent armement a d'autres projets : <https://zephyretboree.com/>



photo 6: Canopée : Navire de la joint-aventure Alizés. (Crédit : Zéphyr & Borée)

- Ailes rigides à panneaux: Une autre technique développée par les **Chantiers de l'Atlantique**<sup>5</sup> consiste en une voile toute plate qui se replie « comme un store vénitien ». L'objectif est d'éviter tout fasssement (qui contribue au vieillissement accéléré des voiles) et de réaliser des voiles de façon industrialisée, avec de très grandes surfaces, bien au-delà des voiles actuellement existantes sur le marché. Le poids et les systèmes de rail à billes sur le mat peuvent être des points à étudier et le système de réduction de voilure est en cours de mise au point. Un démonstrateur à l'échelle 1/5 a été installé et testé sur le port de Pornichet depuis l'automne 2019.

Cette voile non profilée est, pour l'instant, destinée aux paquebots qui sont soumis à des contraintes horaires et vient donc en appui de la propulsion principale. Ce système est adapté aux très grandes dimensions et pour une durée d'utilisation longue.

---

<sup>5</sup> <https://chantiers-atlantique.com/actualites/franck-cammas-fait-escale-a-pornichet-pour-solid-sail-et-aeoldrive/>



*photo 7: Crédit photos :  
Antoine Pichon/CGEDD*



*photo 8: Crédit photos : Antoine Pichon/CGEDD*

Les études de détail du gréement complet (mat + Balestron + voile 1200m<sup>2</sup>) sont en cours pour une réalisation à l'échelle 1 en 2021 (section de mât de 20 m sur 80 m). Si les essais sont concluants la mise sur le marché s'effectuerait fin 2021 (premier navire 2024).

Ce paquebot à voiles de 190 m de long, 23 000 t, portant 4350 m<sup>2</sup> de voilure et pouvant emporter 300 passagers pourrait être le prototype et le premier d'une série commandée par l'armateur italo-suisse MSC, auprès des Chantiers de l'Atlantique.



*photo 9: Paquebot à voiles de 190 m de long, 23 000 t. (Crédit : Chantiers de l'Atlantique)*

- Ce concept de voile rigide est porté à son apogée avec le **projet CWS**<sup>6</sup>. Il répond à un cahier des charges complet quant à la logistique maritime et portuaire (les mâts sont « affalés ») ainsi que l'automatisation d'utilisation et à la performance. Il propose une aile asymétrique et inversible dont le procédé dépliable et pouvant être « rangé » sur le pont du navire est présenté ci-après :

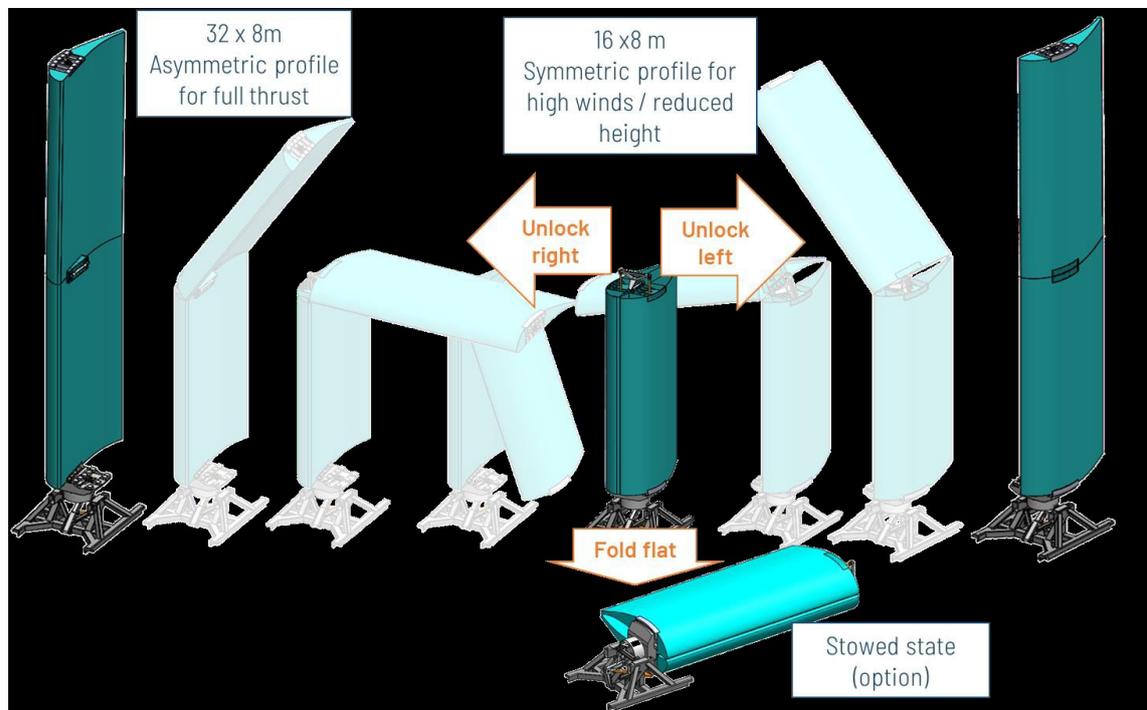


Illustration 4

Sur un navire de charge, cela pourrait donner ce type d'installation :



Illustration 5: Crédit image : CWS

Il s'agit de solutions qui correspondraient parfaitement à une installation sur navire existant/rétrofit.

<sup>6</sup> <https://computedwingsail.com/>

### 1.1.3. Les ailes et cerf-volants

Plusieurs sociétés se sont lancées dans le développement d'ailes de *kite* : **SkySails**, **Beyond the sea** et **Airseas**<sup>7</sup> se sont orientés vers la propulsion auxiliaire basée sur la traction par des ailes de *kite*. Ce système peut en effet, selon certaines routes suivies, être intéressant pour équiper les navires en rétrofit bien que des difficultés restent à surmonter pour être opérationnel : faire décoller l'aile, la piloter à distance via un câble qui doit remplir plusieurs fonctions est une technique délicate comme l'ont éprouvé ces entreprises. Ce concept ne requiert aucune infrastructure conséquente sur le pont des navires et est donc particulièrement adapté au rétrofit. Par contre, ce moyen de propulsion devient efficace à des vents apparents assez « ouverts » (45 ° et plus) ce qui contraint les navires à choisir des voies de navigation adaptées.



photo 10

- La **société Airseas** créée par des ingénieurs formés à l'aéronautique chez Airbus, bénéficie d'une culture du « dérisquage » précieuse pour garantir une certaine sûreté auprès des armateurs plutôt dubitatifs et en retrait sur tout ce qui n'a pas été éprouvé dans le milieu marin. Son partenariat avec K-Line est de nature à permettre une mise à l'épreuve de sa technologie dont l'automatisation de la mise en œuvre est l'une des clés de sa réussite.



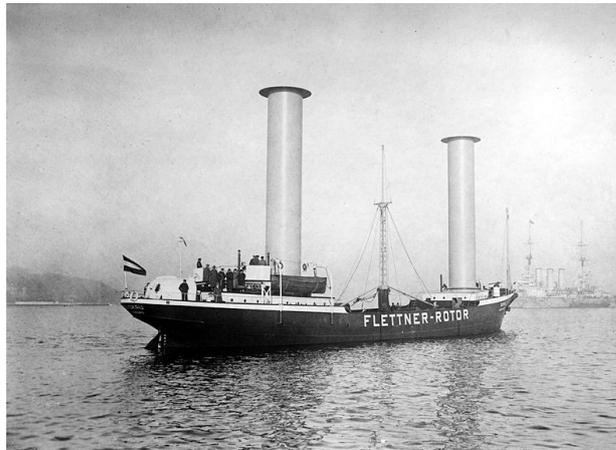
photo 11: Crédit : "Beyond the Sea"

<sup>7</sup> <https://www.airseas.com/>

- Yves Parlier, navigateur de renom a développé une aile volante sous la marque « **Beyond the sea** »<sup>8</sup> qui a bénéficié du programme d'investissement d'avenir et a été expérimentée avec l'école nationale des techniques avancées (ENSTA) Bretagne et les Mines Paristech. Les partenariats conduisent (avec Thalès notamment) à modéliser et automatiser un système qui devrait permettre d'économiser jusqu'à 20 % de carburant selon la modélisation projetée et le type de routage.

#### **1.1.4. Les rotors et ailes à profils aspirés**

- Inventés voici plus d'un siècle par l'ingénieur allemand Flettner, le rotor du même nom utilise l'effet magnus<sup>9</sup>, un principe physique qui explique la force tangentielle subie par un objet en rotation se déplaçant dans un fluide et pouvant être utilisé comme moyen de propulsion.



*photo 12: Le Buckau : navire qui traversera l'Atlantique en 1925. (Crédit : Wikipedia)*

Ce principe fut également utilisé par l'Alcyone, navire expérimental de Jacques-Yves Cousteau dont les deux cylindre-voiles fournissaient environ 25 % de l'énergie propulsive du bateau.

---

<sup>8</sup> <http://beyond-the-sea.com/>

<sup>9</sup> [https://fr.wikipedia.org/wiki/Effet\\_Magnus](https://fr.wikipedia.org/wiki/Effet_Magnus)



*photo 13: Crédit : Equipe Cousteau*

- De nos jours, un prototype expérimental de propulseur éolien à profil aspiré, basé sur un mât-voile épais doté d'un volet arrière, afin d'obtenir une cambrure importante, est développé à La Rochelle. L'aspiration de l'écoulement le long de la paroi du profil permet d'atteindre des coefficients de portance élevés avec une traînée limitée. Cette portance très élevée permet d'avoir des ailes propulsives de faible surface avec des volets réduits faciles d'utilisation et relativement simples à installer sur le pont des navires. Ces ailes s'apparentent à des cheminées ancrées sur le pont avec des hauteurs raisonnables. L'aspiration nécessite un apport d'énergie. Comme une voile, le système génère une force de poussée. Le modèle d'expérimentation ci-dessous, développé par un laboratoire indépendant, le **CRAIN**, a été installé sur le port de La Rochelle avec un développement commercial envisagé grâce à un partenariat avec un industriel de la chaudronnerie de ce même port.



*photo 14*

Ce type de système pourrait correspondre pour du retrofit de navire déjà en service tel des navires pétroliers ou vraquiers dont les ponts permettent des installations comme déployées ci-dessous :



photo 15: Concept d'installation de 4 ailes aspirées sur un pétrolier. (Crédit : CRAIN, La Rochelle)

### **1.1.5. Court parangonnage européen**

Plusieurs pays d'Europe disposant d'une flotte de commerce d'importance et de capacités industrielles navales ont vu naître également ce foisonnement d'idées et de concepts en faveur de projets de navires à propulsion décarbonée. Les efforts se portent plutôt sur le retrofit des navires existants. L'Union européenne favorise le passage à l'échelle 1 des prototypes grâce au programme « reel » qui facilite l'accès aux banques. CWS signale même la possibilité de prise de participation en « equity » jusqu'à 15 M€ sur un très bon dossier.

Grâce à l'existence de l'institut MARIN, bassin de carène associé à des essais en soufflerie situé à Delft (NL), des armateurs néerlandais comme le groupe « Spliethoff » se sont lancés dans l'installation de rotors « Flettner » sur le pont d'un de leur navire. L'effet « Magnus » qui crée une portance dans le cylindre est connu de longue date. Les résultats annoncés après cinq années d'utilisation de deux rotors en conditions de fonctionnement habituelle d'un navire sur une ligne de cabotage nord européen conduisent à une économie de consommation de carburant validée de 5 % en moyenne (sur un calcul théorique de 6,2 %) variant jusqu'à près du double (9 %) sur certains trajets, ou routes de navigation favorables (Trajet Hollande/Royaume-uni avec vent de travers). L'utilisation est simple et après quelques inconvénients comme des vibrations auxquelles il a été remédié avec l'entreprise Norsepower qui vend et installe ce type de superstructure, les résultats sont quasi en ligne avec les calculs d'économies potentiels effectués.



photo 17: Navire RO-RO Estraden, du groupe Spliethoff ayant effectué les essais.



photo 16: Navire RO-RO Estraden, du groupe Spliethoff ayant effectué des essais.

D'autres navires des compagnies à capitaux allemands ou danois comme Maersk, utilisent régulièrement cette technologie éprouvée, facile à construire en chaudronnerie industrielle, dont les contraintes de tirant d'air et d'occupation du pont sont mesurées et dont les résultats sont probants. Ainsi, Maersk a installé sur un tanker effectuant le voyage Asie-Europe deux grands rotors qui ont démontré de très bons résultats, avec 8 % d'économie de fuel sur la totalité du voyage.

À côté de l'installation de techniques éprouvées qui doivent permettre aux armateurs de faire confiance à ces moyens d'économiser du fioul, ont pu également se développer des projets de constructions neuves poussant au maximum l'utilisation du vent mais qui, pour l'instant, n'ont pas trouvé de réalisation à l'échelle 1. Ainsi, le récent « concept OCEANBIRD » porté par la société suédoise Wallenius mesurant 200 mètres de long serait un navire RO-RO de 32 000 tonnes, capable d'emporter 7 000 voitures. Il utiliserait la force du vent avec l'aide de quatre mâts ailes de 80 mètres de haut, dont les mâts-voiles seront rétractables et pour une vitesse envisagée de 10 nœuds. Des moteurs d'appoint sont prévus pour les évolutions portuaires. Wallenius estime qu'avec des routes de navigations favorables, l'Oceanbird pourrait réduire ses émissions de CO2 jusqu'à 90 %.

En définitive, comme pour les armateurs (et chargeurs) français, compte tenu de l'actuel niveau très bas du coût des carburants fossiles et d'une relative défiance vis-à-vis des innovations non-encore mises en œuvre, seules les technologies éprouvées seront développées pour réaliser la décarbonation recherchée par les règlements à venir de l'OMI.



photo 18: Le concept "Oceanbird" porté par Wallenius, groupe suédois de conception, construction et gestion de navires.

Même si les navires propulsés par le vent devraient émerger à l'échelle mondiale comme l'une des solutions permettant de mettre en œuvre les objectifs de décarbonation portés par l'OMI, ce type de concept restera dans les planches à dessin et sur les tables d'architectes tant que le prix du pétrole restera au niveau actuel et tant que la prise en compte du « moteur éolien » ne sera pas davantage reconnue par les opérateurs.

## **1.2. La nécessité d'objectiver la propulsion vélique**

La diversité des techniques et des propositions, outre qu'elles peuvent disperser les forces, méritent d'être objectivées ainsi que d'être fiabilisées pour permettre aux armateurs de les mettre en œuvre. La formation des équipages et la disposition d'un cadre réglementaire adapté sont aussi des éléments indispensables au développement optimisé de ces techniques décarbonées.

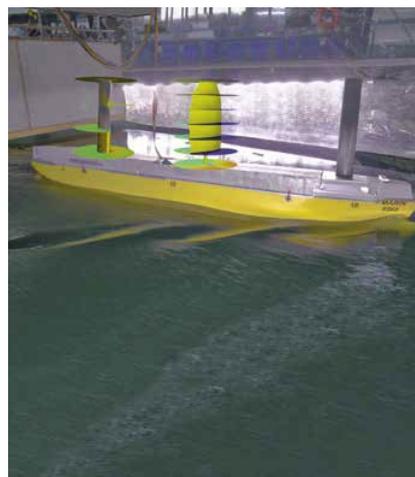
### **1.2.1. Comparer les performances**

La difficulté principale rencontrée par la mission a résidé dans l'impossibilité de s'assurer en toute objectivité des performances nominales de chaque technologie proposée. Sans vouloir à tout prix comparer et classer les techniques selon leurs résultats, il reste nécessaire, ne serait-ce que pour orienter les forces vers les meilleures technologies, de les évaluer et ne pas s'épuiser sur des projets inefficaces ou non rentables.

Il ne s'agit pas de choisir une technologie plutôt qu'une autre, mais bien de préciser les avantages ou les limites de chacune d'entre elles, afin de mutualiser les connaissances et d'éclairer sur les choix possibles. Les différents opérateurs rencontrés ont cherché, chacun plus ou moins selon leurs connaissances ou leurs moyens, en propre ou sous-traités, à donner les performances et résultats du projet technique qu'ils présentent afin d'en souligner l'intérêt et la démonstration. Les calculs théoriques et les modèles mathématiques ont aussi besoin à un moment de la démonstration d'en expérimenter la pertinence. C'est toute la difficulté de l'exercice sachant qu'il n'existe pas en France de laboratoire national d'essai -à la différence de l'aéronautique- pour valider des performances. Certains ont eu recours à un laboratoire néerlandais connu dans le monde maritime, Le « MARIN » basé à Delft (NL) :

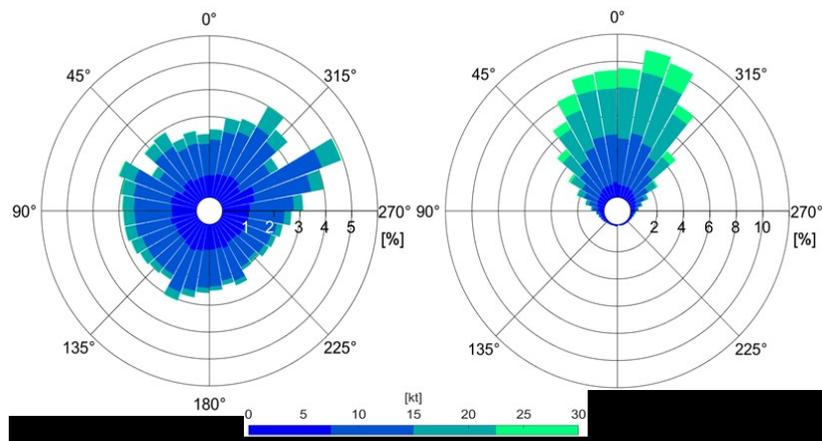


« Independent Wind Assisted Ship Propulsion (WASP) advice, predictions, verifications and fundamental research for projects and the wider industry »

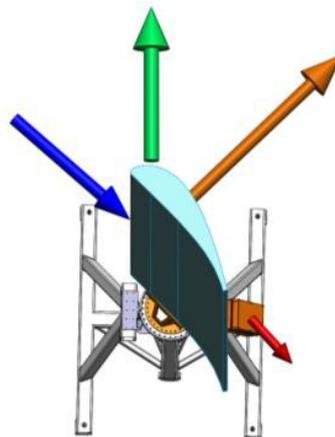


*photo 19*

Pour sa part, la voile rigide proposée par la société CWS (Computed wing sail) serait utilisable, d'après leurs essais auprès de l'organisme « Marin » de Delft, dans toutes les conditions de vent :



Graphique 1



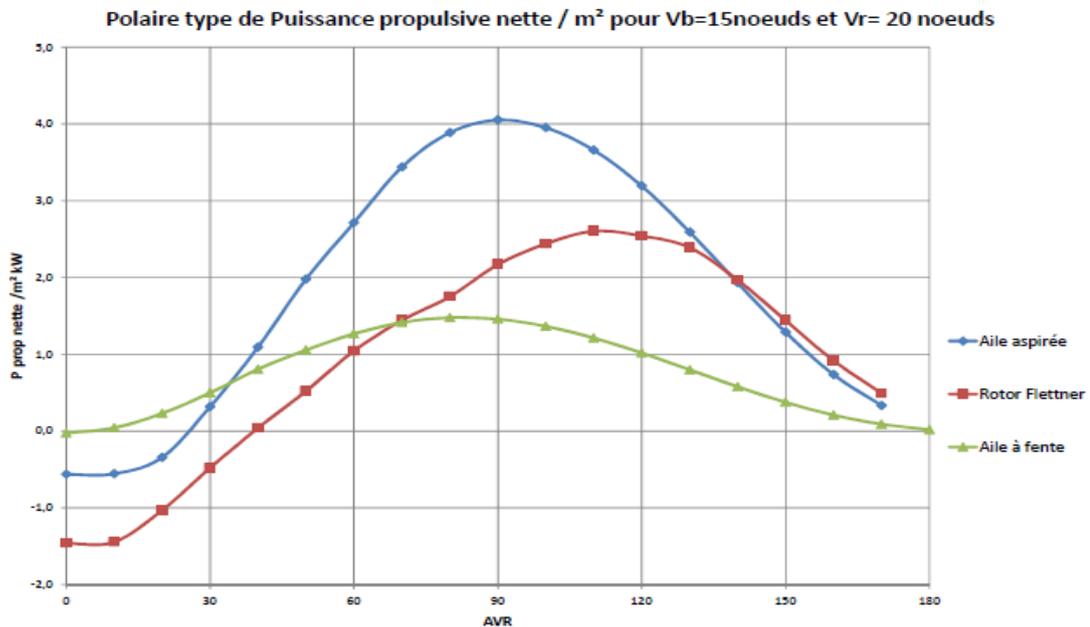
Graphique 2

Le graphique ci-dessus montre la direction du vent apparent sur le navire lorsque celui-ci avance à une certaine vitesse moyenne. Ainsi le vent apparent est situé entre 0 et 45 ° de l'axe du navire.

D'autres projets ont pu s'appuyer sur l'enseignement supérieur et les laboratoires d'essai existants avec des bassins d'essai de carène, tel le site de l'école centrale de Nantes dont un élève en fin de cycle effectue une thèse sur ce sujet qui devrait objectiver, à défaut de classer, quelques techniques.

Les architectes navals disposent aussi de moyens de modélisation qui permettent de valider des hypothèses. Le CRAIN a effectué des essais en soufflerie pour évaluer les polaires de vitesse de plusieurs systèmes de propulsion éolienne. Ainsi, la polaire d'une voile donne des informations sur la portance et la traînée de la force aérodynamique. Pour une direction de vent donnée, chaque ouverture de voile donne des valeurs de portance et de traînée différentes. Le meilleur rendement de la force aérodynamique mis en exergue par la polaire de la voile est une situation où la traînée est faible et la portance est importante. Pour une direction et une ouverture de la voile donnée avec un angle d'incidence optimal, le volume peut avoir des influences sur la force aérodynamique (portance

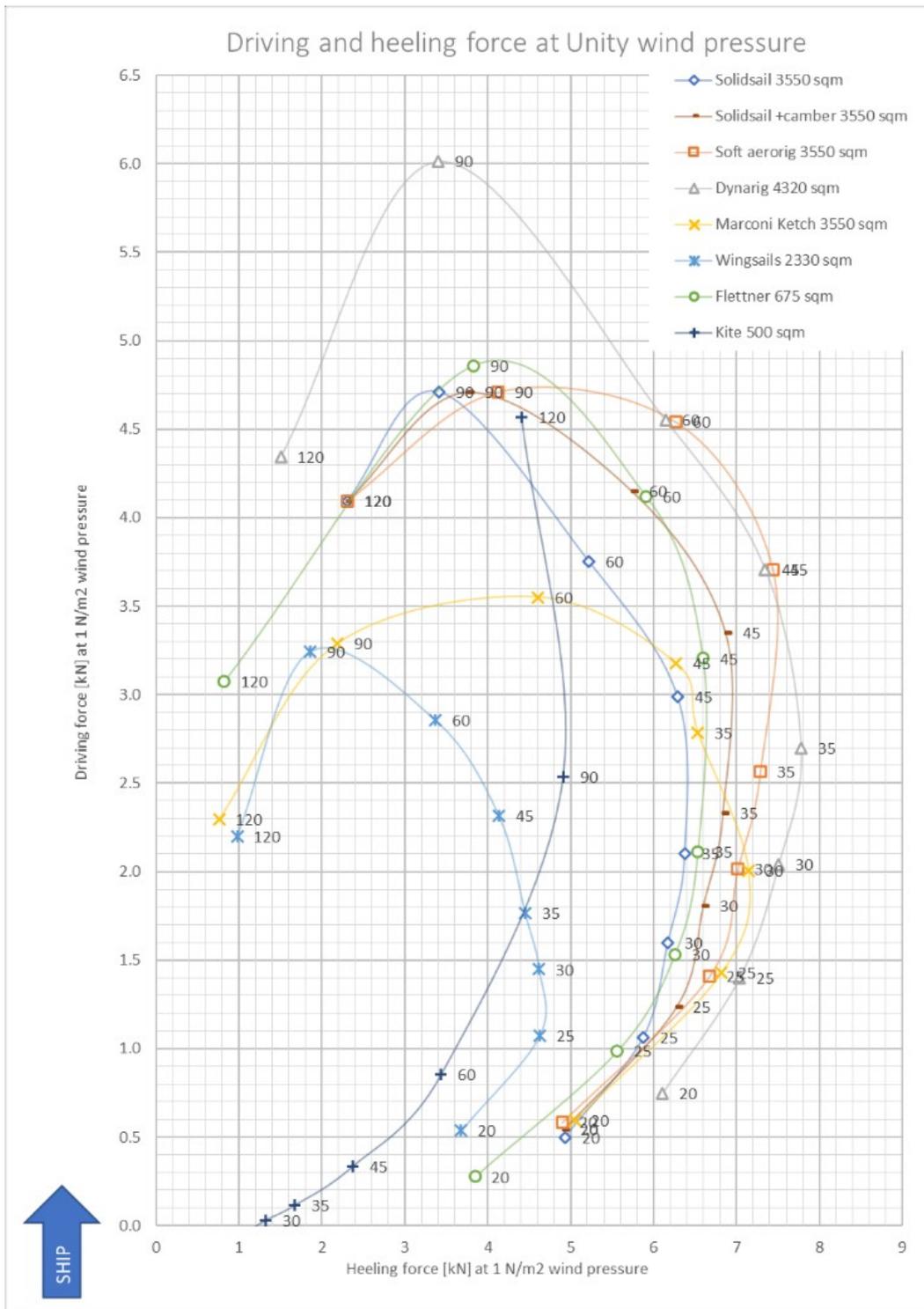
et la traînée). Il s'est agi de démontrer la vitesse d'un bateau dans un type de condition de vent, quelle que soit l'allure, avec plusieurs systèmes véliques (traduction en puissance ci-dessous).



Graphique 3: Graphique présenté par le CRAIN de La Rochelle. (Crédit : CRAIN)

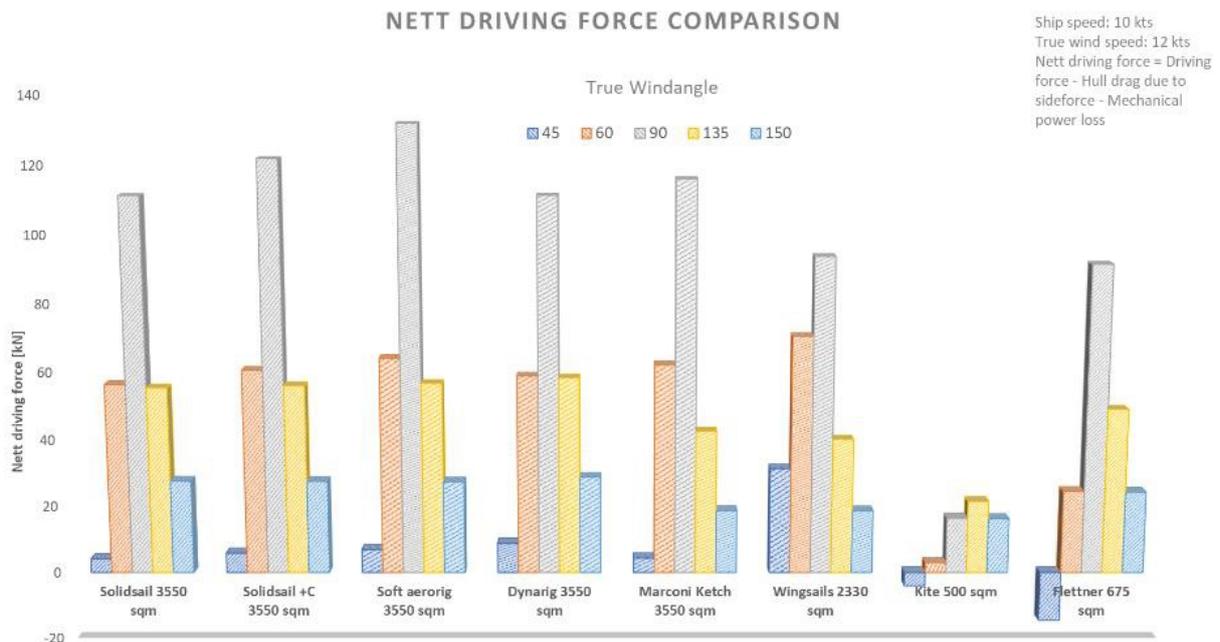
Pour leur part, les chantiers de l'Atlantique ont eu recours à un organisme britannique, le « Wolfson unit » de l'université de Southampton, avec l'architecte néerlandais Dykstra, pour leur permettre d'effectuer des comparaisons des différents systèmes de propulsion véliques.

Les tests affichés dans les graphiques des deux pages suivantes donnent de bons résultats pour la voile rigide qu'ils développent, mais qu'il convient de relativiser, les gréements testés n'ayant pas chacun la même surface.



Graphique 4

Sur ce graphique, à 45 et 60° TWA (angle de vent réel), l'aile rigide, pourtant plus réduite en surface, donne la meilleure force propulsive comparée aux voiles souples et même au concept « solid sail ».



Graphique 5

En fonction de l'angle du vent, la comparaison des systèmes est toujours favorable aux voiles rigides ou à balestron (soft aerorig) et moins favorable au gréement dynarig du « faucon maltais », un bateau de grande plaisance gréé en 3 mâts carré, à l'image des clipper du XIXème siècle et conçu par le cabinet d'architectes Dykstra.

La comparaison est également défavorable au rotor Flettner sauf à partir de 60° de l'angle de vent réel, ainsi qu'aux kites (voile tractantes), pour toutes les allures.

Il est ainsi manifeste que le **besoin d'un organisme évaluateur indépendant**, voire piloté par une structure nationale comme pourrait l'être un laboratoire d'essais lié au ministère de la recherche, existe. Le bassin des carènes de la DGA au Val de Reuil (Ministère des Armées) bien que disposant des outils techniques n'a pas la disponibilité nécessaire. Il est par ailleurs servi par des personnels qui n'ont probablement pas la même approche que le laboratoire néerlandais qui emmagasine les « data » de toutes les expérimentations et dispose ainsi d'une riche banque de données pour des comparaisons utiles et crédibles. À défaut de l'IFREMER qui semble s'être consacré à l'*offshore* profond et à la pêche, l'école nationale supérieure d'enseignement maritime (ENSM) serait en mesure avec l'école centrale de Nantes qui dispose déjà d'un bassin de carènes, de piloter une telle structure. Encore faudrait-il faire évoluer ses statuts pour lui permettre d'exercer cette nouvelle mission.

**Recommandation 1.** Appuyer la création d'un laboratoire indépendant permettant d'objectiver les mesures théoriques et les résultats pratiques de tests en bassin de carène et milieu marin de manière à obtenir des performances objectives reconnues et d'éclairer les décideurs sur les meilleurs choix techniques.

## **1.2.2. S'assurer de la fiabilité des technologies**

Les technologies évoquées dans cette première partie du rapport ne sont pas encore toutes matures. Elles nécessitent de pouvoir être testées et expertisées avant une éventuelle industrialisation. Or, au-delà des calculs et des études techniques réalisées de façon numérique, il s'avère très utile de pouvoir étudier en bassin l'inter-action des technologies avec les phénomènes de houle, de vent, de mouvement de la plate-forme que constitue le navire. Mais il n'existe pas aujourd'hui de bassin dédié au transport maritime commercial.

Le centre d'essai de Val de Reuil, propriété de la délégation générale de l'armement (DGA), est bien adapté aux besoins de la filière, qui l'utilise régulièrement. Cependant, sa vocation première consiste à faire tester des outils à destination militaire. De fait, l'accès au site, naturellement très sécurisé, ne permet pas d'avoir toute la souplesse requise, et impose de pouvoir présenter un préavis significatif avant de pouvoir l'utiliser. Or, le monde de l'entreprise a besoin de souplesse et de réactivité, pas toujours compatibles avec les pratiques du centre d'essai. Aussi, il paraît très pertinent de promouvoir l'idée de pouvoir disposer d'un bassin d'essai qui serait dédié au transport maritime commercial ou, de façon plus large, au secteur maritime civil, comme la recommandation n°1 le propose.

### **1.2.2.1. Élaborer un référentiel technique rénové**

Au cours des entretiens conduits, la mission a pu observer que les investisseurs demeurent prudents au regard de la propulsion vélique. La technologie ne leur semble pas toujours mature et ils demeurent attentistes quant à la durabilité des équipements proposés par les développeurs. De leur côté, les sociétés de classification, chargées de garantir que les niveaux de sécurité déterminés au lancement des navires demeurent d'actualité au cours de leur vie, s'appuient sur des référentiels rédigés et validés à un moment donné. Or, ces référentiels n'évoluent pas aussi rapidement que les technologies, et ne sont donc pas toujours adaptés aux progrès réalisés, ce qui fragilise la confiance des opérateurs et des sociétés d'assurance.

Tel est le cas en matière de propulsion par le vent. En effet, si le bureau Veritas dispose bien d'un référentiel (dénommé NR 206), la rédaction de celui-ci remonte au milieu des années 80, période au cours de laquelle les premiers paquebots à voile ont été lancés (Wind Star, Wind Song et Wind Spirit). Or, depuis cette époque, les technologies ont considérablement évolué (cf :1ère partie). En outre, le retour d'expérience de ces navires, et de ceux qui ont suivi (Club Med) permettent de faire évoluer significativement le référentiel réglementaire. Conscient de ces lacunes, le Bureau Veritas s'est attaché à refondre en profondeur le référentiel applicable aux navires à propulsion vélique. Le futur référentiel complétera les types de gréements et ajoutera notamment les mâts-ailes et les cerfs-volants. Il déterminera les conditions de mise en œuvre (conditions normales et mode « survie »), et ajoutera l'impact de la propulsion sur le navire : stabilité, résistance, équipements,...

En revanche, il n'est pas prévu d'harmonisation en amont des référentiels réglementaires des sociétés de classification européennes, chacune d'entre elles rédigeant « en chambre » son propre cadre. Ce point est fâcheux, car il peut aboutir à l'écriture de normes variables selon les sociétés de classification, et donc avoir un impact négatif sur la confiance que peuvent avoir les opérateurs dans ces technologies.

Il semble donc primordial d'aboutir rapidement dans l'édition d'un référentiel modernisé tenant compte des évolutions des technologies les plus récentes, et de l'harmoniser au niveau européen.

***Recommandation 2. Finaliser un référentiel adapté aux nouvelles technologies et l'harmoniser au niveau européen.***

### **1.2.2.2. Analyser l'accidentologie des navires à voile**

Les éléments statistiques dont dispose le Bureau enquête accident-Mer proviennent de la base de données communautaire « EMCIP » dans laquelle tous les pays de l'UE enregistrent leurs événements de mer.

Depuis juin 2011, 28 événements de mer concernant un navire à voile de plus de 40 mètres ont été répertoriés, Ce chiffre très faible s'explique sans doute par le très petit nombre de navires de fret disposant d'une propulsion à voile.

Il n'en demeure pas moins que les rares événements survenus ces vingt-cinq dernières années sur les navires à voile en exploitation (paquebots à voile quasi-exclusivement) ne font pas apparaître de cause liée au mode de propulsion. Aucun fait particulier n'est à signaler, ce qui, sur une période significative, est à souligner.

### **1.2.3. Lever les doutes quant à la compatibilité des navires à voile avec l'environnement portuaire**

Pour certains observateurs, les navires dotés d'une propulsion par le vent ne seraient pas adaptés aux contraintes liées à l'environnement des ports, du fait de leurs caractéristiques techniques (tirant d'eau ou tirant d'air), ou de la présence de superstructures situées sur le pont complexifiant les opérations commerciales.

S'agissant du tirant d'eau, il s'avère que les formes de carène programmées pour le transport maritime à propulsion vélique sont identiques ou quasi-identiques à celles des navires à propulsion mécanique, ce qui écarte l'argument.

La question du tirant d'air est plus prégnante : les plus grands navires à voile projetés disposeront d'un tirant d'air de plus de 70 mètres, supérieur à la hauteur du tablier des ponts faisant référence (Baltimore : 65 mètres).

Cependant, ces navires sont prévus comme pouvant être équipés de systèmes permettant de basculer le gréement de façon à autoriser les navires à passer sous les ponts de référence. Ce point a été parfaitement pris en considération par les architectes navals qui proposent des solutions adaptées à la technologie employée. En réalité, seul l'accès à certains ports secondaires pourrait se trouver impacté du fait des caractéristiques de ces navires.

Pour ce qui concerne les services rendus aux navires en escale, deux éléments sont à examiner : d'une part, le traitement du navire par la manutention et, d'autre part, les manœuvres portuaires.

S'agissant de la manutention, il convient de rappeler qu'à l'instar de tout nouvel arrivant dans un port, l'opérateur d'un navire à voile doit s'assurer qu'il respecte bien les règles portuaires. De ce point de vue, la question de la manutention est importante, et doit naturellement être intégrée aux réflexions en amont du projet. Cela étant, beaucoup de navires sont équipés de mâts de charge, qui s'apparentent d'assez près aux navires à voile, et qui sont opérés sans difficulté particulière du moment que ces spécificités ont été insérées dans un processus de transport intégré.

Enfin, pour les manœuvres portuaires, celles-ci ne posent pas de difficultés majeure car ces dernières sont réalisées au moyen de moteurs thermiques ou électriques dont sont nécessairement équipés les navires à propulsion vélique.

Au final, les navires à propulsion par le vent sont parfaitement compatibles avec l'environnement portuaire, pourvu que les escales futures soient préparées en amont avec les différents acteurs.

#### **1.2.4. Un défi culturel et de formation : rassurer les équipages**

La mission a pu constater au cours des nombreuses auditions réalisées, que la question de l'appropriation de la propulsion vélique par les équipages constituait souvent une préoccupation pour ces derniers et de fait, un frein au développement des projets pour les armateurs qui ont besoin de s'assurer que leurs équipages n'ont pas de préjugés.

Depuis près d'un siècle, le transport maritime s'effectue au moyen d'un navire propulsé par un moteur. La propulsion vélique est souvent perçue avec inquiétude, voire méfiance, car les équipages raisonnent sur la base de ce qu'ils ont vu ou lu sur ce mode de propulsion dans les livres d'histoire maritime. La propulsion vélique est souvent perçue comme complexe, peu sûre, fragile ou encore dangereuse. Face à la réticence des équipages ou, plutôt, à leur circonspection, les armateurs se montrent peu enclins à développer des projets de cette nature.

Pourtant les technologies actuelles ont peu de rapport avec ce qui existait « au temps de la marine à voile », et les systèmes d'aujourd'hui sont quasi-exclusivement pilotés automatiquement, et ne nécessitent en réalité que très peu d'interventions humaines. Cependant, il paraît important de familiariser les équipages à ces technologies au moyen d'une formation adaptée, non seulement nécessaire pour leur permettre de maîtriser les technologies employées, mais aussi pour leur apporter la confiance dont ils ont besoin.

Il s'agit donc d'imaginer un référentiel de formation à même de répondre à ces préoccupations et fonction du type de technologies développées.

Ainsi, en lien avec l'École nationale supérieure maritime (ENSM) on peut envisager des formations ciblant deux publics différents mais complémentaires: l'une à destination des officiers chef de quart « passerelle », qui seront chargés de mettre en œuvre les systèmes de propulsion par le vent, et l'autre à destination des officiers chef de quart « machine », plus particulièrement en charge de la maintenance opérationnelle des systèmes. Pour être adaptées, ces formations devront présenter le fonctionnement général des systèmes ainsi que les aspects opérationnels avec un focus particulier concernant la navigation et la sécurité : conditions météorologiques favorables, route suivie cohérente avec le mode de propulsion, environnement « surface » adapté, bon état des matériels, disponibilité de l'équipage, etc...

En complément, il paraît pertinent d'adapter le certificat ISM (« International safety management ») des navires, pour qu'il prenne en compte la technologie propre à chaque navire et la façon dont l'équipage maîtrise cette dernière. Ce point est essentiel, car il participe grandement à la confiance de l'équipage dans son ensemble quant au système déployé.

Enfin, il conviendra d'analyser la pertinence d'une modification de la convention STCW sur les normes internationales de qualification des équipages, en vue d'y intégrer la propulsion vélique, même si souvent, s'agissant de cette convention, la question du « comment former » prédomine au détriment du « pourquoi former », ce qui pourra constituer une difficulté dans la mise à jour de cette convention.

***Recommandation 3. Imaginer un référentiel de formation adapté à la propulsion par le vent et envisager une adaptation de la convention STCW sur les normes de qualification des équipages à l'usage de la propulsion éolienne (voile, kite, rotor, aile-aspirée...)***

## 2. Une filière émergente et prometteuse qui a besoin d'appuis forts

Encore émergente, voire balbutiante, portée pour l'essentiel par des acteurs de très petite dimension en dehors d'un chantier français d'importance, la filière industrielle de la propulsion par le vent rencontre un certain nombre d'obstacles pour éclore.

Ces obstacles sont d'ordre économique, financier, ou réglementaire.

Dans ce cadre, les pouvoirs publics ont un rôle majeur à jouer pour accompagner les acteurs même si ceux-ci disposent le plus souvent d'investisseurs privés qui assument le risque et « supportent »<sup>10</sup> leurs projets.

### 2.1. Développer les financements « verts »

#### 2.1.1. Adapter les outils existants à la transition écologique des navires

Le Conseil de la Recherche et de l'Innovation des industriels de la mer (CORIMER) est le lieu de rencontre entre l'initiative de recherche et d'innovation de la filière des industriels de la mer et l'offre consolidée des différents financements publics ou privés. Le CORIMER a pour objectif de structurer l'effort de recherche et d'innovation au regard des priorités définies par le Comité stratégique de la filière et de veiller à la cohérence et la complémentarité des actions de recherche et d'innovation financées par les guichets publics, avec celles des instituts de recherche et de l'industrie.

Le contrat stratégique de filière des industriels de la mer 2018-2022 prévoit des actions concrètes au profit de la recherche et de l'innovation, dont les porteurs de projets engagés dans la propulsion vélique ont pu bénéficier.

Par ailleurs, la Banque publique d'investissement (BPI France) et l'ADEME, structures d'analyse et de financement de projets innovants, proposent des financements et ont un rôle de guichet qui s'avère déterminant pour le lancement des projets. Ce sont des leviers pour le développement du financement privé des projets innovants, cinq fois supérieurs aux montants des financements publics.

La BPI a vocation à faciliter l'obtention de prêts et à apporter une garantie de l'État sur les projets, en s'appuyant notamment sur le dispositif de garantie des projets stratégiques (GPS) issue du décret 2018-1162 du 17 décembre 2018. L'on peut rappeler qu'une opération garantie à 80 % au titre de la GPS doit remplir au moins l'un des critères suivants :

- constituer une filière essentielle à la sécurité nationale et à l'apport en ressources énergétiques et de matières premières; l'absence de réalisation de l'opération représenterait un risque pour l'économie nationale, un secteur ou une filière économique ;
- générer un avantage compétitif pour le pays; le développement de l'activité des entreprises françaises; la pénétration d'un marché sectoriel ou géographique à fort potentiel de croissance ce dernier item correspond à la filière de la propulsion vélique des navires.

---

<sup>10</sup> Au sens anglais du terme : accompagnent financièrement les projets.

Toutefois, le montant minimal des projets est fixé à dix millions d'euros, ce qui excède largement aujourd'hui la plupart de ceux portés par des TPE-PME de la filière de la propulsion par le vent. Un abaissement significatif du seuil ou le fait pour la BPI de passer le relais en l'appuyant au niveau des banques régionales constituerait un atout pour la filière.

De son côté, l'ADEME, qui relève du ministère de la recherche d'une part et du ministère de la transition écologique d'autre part, propose des financements et met en œuvre notamment le dispositif d'aide aux investissements d'avenir (PIA). Depuis 2011, ce sont près de 180 millions d'euros (96 millions d'€ en avances remboursables, 84 millions d'€ de subventions) qui ont été accordés à 89 bénéficiaires de la filière navire. Il convient de noter que les aides allouées ont un effet levier important pour les bénéficiaires, puisque les 180 millions d'euros alloués ont généré un budget total de près de 800 millions d'euros. Le dernier appel à projets (AAP) lancé est intitulé "Accélération du Développement des Ecosystèmes d'Innovation Performants". Il est destiné à soutenir les projets d'entreprises ayant vocation à consolider leur activité ou à développer de nouveaux relais de croissance. Il entend ainsi participer à la relance de l'économie en accélérant la mise sur le marché d'innovations au service d'objectifs industriels prometteurs dans le domaine des transports et de la mobilité durable. La propulsion vélique est donc susceptible d'émarger à cet AAP.

Cependant, en amont de ces dispositifs qui ont démontré leur pertinence et leur efficacité, il paraît utile d'aider les TPME à finaliser leurs projets. De ce point de vue, la mise en place d'une « aide à l'amorçage des projets » notifiée à l'Union européenne dans le cadre des aides des minimis (et donc compatible avec le règlement général d'exemption par catégorie-RGEC) présenterait un intérêt réel pour ces toutes petites entreprises, en leur permettant de véritablement démarrer leurs projets. Cette aide pourrait être portée par les pôles de compétitivité, qui ont démontré leur efficacité.

La multiplicité des acteurs et des financeurs publics potentiels pourrait aussi gagner en lisibilité et en efficacité. Ainsi, le CORIMER dont le rôle central mérite d'être renforcé, doit avoir une vision plus large et doit associer systématiquement à ses réflexions les guichets (ADEME, BPI France), afin d'éviter que des projets labellisés par ces derniers ne se trouvent ensuite écartés par le CORIMER, ce qui s'est déjà produit. À titre d'exemple, sur les 19 dossiers ayant trait à la propulsion vélique présentés au CORIMER en 2019, quatre seulement ont été labellisés alors-même que certains dossiers écartés par le CORIMER avaient été retenus par les guichets de financement. La visibilité de l'action publique et sa cohérence disposent d'une vraie marge de progression.

Enfin, malgré les bienfaits des dispositifs d'accompagnement décrits, les acteurs économiques du secteur maritime craignent un affaiblissement des industriels, au regard en particulier du contexte Covid et post-Covid. Or, la prise en compte du secteur maritime dans les dispositifs d'innovation demeure plus que jamais nécessaire, et la filière émergente de la propulsion par le vent a besoin d'appui et de visibilité pour se construire dans la durée ; aussi, il est pertinent pour la mission de compléter l'existant par la création d'un fonds de soutien exceptionnel sur une durée significative (cinq ans) pour donner de la visibilité, dynamiser l'innovation, et éviter que les acteurs ne se tournent vers des États voisins. Aussi, la mission recommande la création d'un fonds de financement simplifié pour les investissements de transition écologique, auquel pourront naturellement émarger les projets de navires à propulsion par le vent. Les collectivités locales, et notamment les régions, pourraient abonder ce fonds et agir ainsi en co-financement des projets.

***Recommandation 4. Créer un fonds pluriannuel – en plus d'avances remboursables - dédié à l'innovation pour la transition écologique, et harmoniser l'action des financeurs publics***

## 2.1.2. Faciliter l'accès aux capitaux

Pour le rétrofit des navires, l'assistance vélique permet à l'armateur de trouver une économie d'énergie propre à assurer l'équilibre de son investissement sans aide externe. C'est le cas des armateurs nordiques ayant fortement investi sur leurs fonds propres pour économiser du carburant en installant des dispositifs de type rotor Flettner, ces dernières années.

Il en va différemment pour le cas des navires à propulsion vélique principale où, pendant un temps de maturation de la filière comme cela a été fait pour la tarification favorable de l'éolien, un accès facilité à des capitaux peut être recherché. Le transport maritime est en effet une activité très capitalistique, où les sommes en jeu sont considérables. L'élaboration d'un projet de navire, sa construction puis son exploitation imposent de pouvoir disposer de capitaux d'un montant élevé, sur une durée importante.

Les navires à propulsion par le vent ajoutent une donnée supplémentaire due au développement de technologies innovantes donc coûteuses, d'autant que - mis à part pour un « combinat Armateur/industrie » - les projets de ce type sont portés aujourd'hui par des *start-ups* ou des PME aux capacités financières très limitées, qui ont besoin de recourir massivement à l'emprunt pour développer leurs projets.

Or, ce type d'entreprise est considéré comme présentant des risques élevés par le secteur bancaire, et dont les besoins financiers ainsi que le retour sur investissement (ROI) sont de natures industriels, donc élevés. Ce scénario (risques d'une *start-up* mais rendement d'un industriel) est le pire pour pouvoir emprunter, ce qui pose la question de la garantie demandée par les banques, nonobstant le rôle essentiel de la Banque publique d'investissement rappelé *supra*. Tous les acteurs n'ont pas eu comme La jeune société Zéphyr & Borée, l'opportunité de croiser sur la route de leur projet un investisseur aussi convaincu que Jean-Michel Germa, créateur de la société « la Compagnie du vent » qui va permettre que leur projet trouve sa rentabilité de long terme avec Ariane Espace, un chargeur unique, engagé sur 15 ans et un retour sur investissement évalué entre 12 et 14 années de fonctionnement (donc, très long).

Aussi, il devient nécessaire de pouvoir accroître la crédibilité des *start-ups* et leur permettre ainsi d'accéder à des sources de financement au-delà des prêts bancaires. Plusieurs mécanismes sont susceptibles d'accompagner les entreprises concernées dont la participation au capital. À cet effet, une idée destinée à faciliter l'accès aux capitaux consiste à ouvrir les sources de financement. En plus des financements bancaires, il conviendrait d'offrir des possibilités d'épargne aux entreprises ou aux particuliers susceptibles d'investir dans la flotte décarbonée, ce qui permettrait, moyennant des dispositifs fiscaux à imaginer, d'accroître les sources de financements du secteur.

De ce point de vue, le rapport intitulé « Choisir une croissance verte au service de l'Accord de Paris » précise d'ailleurs que l'épargne des particuliers, dont on sait qu'elle représente un réservoir élevé de capacités financières (près de 5 500 milliards d'euros), pourrait utilement être mobilisée pour accompagner la transition écologique. Ainsi le livret de développement durable et solidaire (LDDS) pourrait utilement devenir un produit financier dédié à la transition écologique, et son utilisation gagnerait à être soumise à des conditions d'utilisation de l'épargne exclusivement dédiées à cet objectif, auquel la propulsion vélique des navires serait intégrée explicitement. En outre, et toujours dans l'idée d'aider à orienter l'épargne des particuliers, la mission recommande la création d'un label « Transition » comprenant un volet « navire décarboné/propulsion vélique », qui aurait pour avantage d'identifier les investissements « verts » et d'y adosser des mesures fiscales attractives.

Enfin, et ce point est essentiel, la mission souhaite qu'un repérage des *start-ups* spécialisées dans les nouvelles technologies du secteur de la transition écologique soit mis en place, afin de faciliter leur financement. Les entreprises ainsi identifiées et labellisées bénéficieraient d'un suivi et d'un accompagnement particuliers, notamment par la cellule d'accompagnement citée au 2.2.4 dont la création est vivement recommandée.

***Recommandation 5. Inciter les entreprises et les particuliers à investir dans la propulsion vélique en adaptant les produits d'épargne dédiés à la transition écologique***

### **2.1.3. Le certificat d'économie d'énergie (CEE), véritable opportunité pour la propulsion vélique**

Les certificats d'économie d'énergie (CEE) forment un dispositif intéressant pour les armateurs mais à l'accès très limité aujourd'hui en raison de leur territorialisation. En effet, le dispositif repose sur une obligation d'économies d'énergie imposée aux vendeurs d'énergie. Un objectif pluriannuel est défini, puis réparti entre les opérateurs en fonction de leurs volumes de ventes. Il est assorti d'une pénalité financière pour les vendeurs d'énergie ne remplissant pas leurs obligations dans le délai imparti. Pour se voir attribuer des CEE, les vendeurs d'énergie soumis à des obligations doivent prouver la réalité des actions mises en œuvre et le fait qu'ils ont contribué à leur réalisation.

Or, le cadre réglementaire actuel ouvre bien ce dispositif à la flotte de commerce, mais seulement pour les navires français qui sont opérés entre deux ports français, ce qui limite considérablement le nombre de bénéficiaires potentiels. Il serait très utile d'ouvrir le champ du CEE en retenant comme critère d'éligibilité l'immatriculation du navire sous pavillon français à la date d'engagement de l'opération, et s'affranchir ainsi de la condition de « touchée » dans un port français, car les navires sous pavillon français constituent déjà, en droit, une parcelle de territoire national.

À cet égard, l'opération intitulée « lubrifiant économiseur d'énergie pour la pêche professionnelle » peut servir d'exemple, car elle se borne à vérifier l'immatriculation du navire pour rendre éligible aux navires concernés le certificat d'économie d'énergie. Cette condition liée au pavillon national devrait être suffisante pour permettre d'accéder au CEE. La suppression de la contrainte de « touchée » d'un port français ouvrirait considérablement le champ du CEE aux navires, rendant très incitatif ce dispositif pour l'instant trop éloigné des réalités du transport maritime pour être véritablement efficace.

Par ailleurs, il serait nécessaire de lancer un appel à programmes dédié à la propulsion par le vent, qui pourrait par exemple être axé sur l'efficacité énergétique. Dans ce cadre, l'on peut imaginer que la mobilisation des porteurs potentiels (les grands groupes énergétiques) ne poserait pas de difficultés particulières, ces derniers demeurant à la recherche d'achats de CEE. Ce CEE optimisé constituerait un levier efficace d'accompagnement de la filière.

**Recommandation 6. Étendre le champ du certificat d'économie d'énergie et lancer un appel à programmes spécifique à la propulsion vélique**

### **2.1.4. Adapter le régime fiscal**

L'appui des Pouvoirs publics en général et de l'État en particulier doit être manifeste en faveur de cette filière industrielle d'innovation véliques en construction, et peut se traduire utilement par des mesures fiscales relatives aux navires à propulsion par le vent. Deux dispositifs existants peuvent ainsi évoluer favorablement :

- Le « sur-amortissement vert » ;
- la « défiscalisation des outre-mer ».

#### **2.1.4.1 Repenser le sur-amortissement « vert » : l'article 39 decies C**

L'article 39 decies C du code général des impôts issu de la loi de Finances de 2019 permet de « défiscaliser » ou plutôt de réduire la durée d'amortissement - ce qui d'une certaine manière compense les surcoûts correspondants et la prise de risque accru qu'ils présentent – pour une partie des investissements réalisés dans un objectif de réduction des rejets de CO<sub>2</sub>.

Toutefois, le dispositif prévoit que sont concernées les entreprises soumises à l'impôt sur les sociétés. Or, une grande partie des entreprises d'armements maritimes sont soumises à la taxe au tonnage, et n'entrent donc pas dans le champ de l'article cité. Il s'agit en particulier des armateurs qui exploitent leur navire au registre international français (RIF). Ces derniers représentent près de 47 % du nombre de navires de transport de plus de 100 tonnes sous pavillon français, et près de 83 % de la jauge de ces mêmes navires. Une extension de ce dispositif permettrait de défiscaliser une partie de l'acquisition des voiles, et aurait pour effet d'après le responsable du projet « Solid sail » aux Chantiers de l'Atlantique d'augmenter le ROI des propulseurs véliques, laissant ainsi le temps aux équipementiers de réaliser des économies d'échelle pour offrir un ROI autour de 5 à 7 ans (contre 12 à 14 ans aujourd'hui).

Une autre piste consiste à substituer le sur-amortissement issu de l'article 39 decies C par un crédit d'impôt, afin de faire bénéficier aux armateurs de la totalité de la défiscalisation. Or, aujourd'hui, une partie de la valeur (2/3) est récupérée par le crédit bailleur (généralement une banque), l'armateur récupérant de son côté un tiers, ce qui limite significativement l'intérêt du mécanisme pour ce dernier. Dans le cas d'un crédit d'impôt, la totalité de l'avantage fiscal bénéficierait à l'armateur, et constituerait donc un vrai levier d'incitation à l'utilisation de technologies décarbonées.

### **2.1.4.2. Élargir les dispositifs de défiscalisation des outre-mer**

Le dispositif spécifique aux outre-mer de « défiscalisation » constitue un outil très intéressant pour les projets de transport maritime à voile mais gagnerait à être amélioré pour s'adapter parfaitement aux projets en la matière et profiter ainsi pleinement aux opérateurs de ces territoires.

La loi de défiscalisation dite loi Girardin (article 217 et suivants du code général des impôts) permet aux opérateurs économiques qui réalisent un investissement dans un département d'outre-mer de bénéficier de mesures de défiscalisation pour certains types d'investissements. Le secteur du transport en général, et du transport maritime en particulier, est éligible à ce dispositif et est soumis à un « agrément fiscal » quel que soit le montant de l'investissement. Or, la propulsion vélique paraît particulièrement adaptée au transport maritime inter-îles, compte-tenu des caractéristiques météorologiques de certains bassins maritimes (Antilles notamment avec un alizé constant), et de la densité des trafics. Cependant, l'agrément fiscal ne peut être délivré que pour des investissements de matériels neufs, en excluant donc le « refit » (modernisation et adaptation de navires existants).

Il serait très intéressant d'ouvrir le dispositif à la rénovation de navires existants, pour adapter les coûts à des opérateurs de dimension modeste qui ne peuvent pas toujours accéder à la construction neuve, et ce dans le but de décarboner le transport maritime et de promouvoir son « verdissement ».

De plus, l'agrément fiscal impose que l'entretien et la maintenance soient réalisés sur place : Or, en matière de propulsion vélique, certains territoires ultra-marins (aux Antilles et en océan Indien notamment) disposent d'une véritable filière capable de réaliser de tels travaux sur des grands navires à voile. Ainsi, l'agrément fiscal permettrait d'appuyer des filières très concurrentées par des entreprises localisées dans des États voisins hors UE dont les coûts sont moindres.

***Recommandation 7. Optimiser au plan national et européen, les dispositifs fiscaux tels ceux du sur-amortissement de l'art 39 Decies C et de la défiscalisation des investissements ultramarins en élargissant cette dernière aux travaux de rétrofit des navires existants.***

### **2.1.5. Le nécessaire appui de l'Union européenne**

L'émergence d'une filière novatrice doit reposer sur une volonté qui dépasse le cadre national. Le niveau communautaire apparaît pertinent pour développer des politiques sectorielles ambitieuses. Ainsi, l'Union européenne s'est engagée, dans le cadre du « Green deal », à valoriser les énergies décarbonées, qui peuvent bénéficier du programme dénommé « Horizon 2020 », dédié à la recherche et à l'innovation pour la période 2014-2020. Avec ce programme, l'Union européenne peut financer des projets interdisciplinaires, susceptibles de répondre aux grands défis économiques et sociaux de notre époque.

Outre le développement et la démonstration de technologies, le programme « Horizon 2020 », très vaste, prévoit de soutenir l'expérimentation et l'innovation sociale pour élaborer de nouvelles façons d'impliquer la société civile et de permettre aux producteurs et aux consommateurs de faire des choix plus durables. L'appel à projet propose une approche "axée sur l'impact" soutenant le développement d'idées dans des applications pilotes et des projets de démonstration, des produits innovants, des expériences et des approches capables de montrer leur valeur dans la pratique et d'être prêts pour une extension ultérieure.

Au sein du programme Horizon 2020, un thème intitulé « Vers le navire éco-énergétique et sans émission » concerne plus particulièrement le verdissement de la flotte et donc par extension la propulsion par le vent. Cependant, pour être véritablement efficace et pouvoir soutenir les entreprises engagées dans le choix de la propulsion vélique, il conviendrait que le programme Horizon 2020 (ou plutôt son successeur « Horizon Europe ») offre des programmes ciblant spécifiquement les projets de démonstrations pour la navigation maritime, pour permettre à ces projets de ne pas entrer en concurrence avec des projets d'autres natures.

Par ailleurs, la mission recommande que les programmes ciblant les projets de démonstration pour la navigation maritime ne limitent pas d'avance les technologies éligibles : en effet, au stade actuel des projets de propulsion par le vent, il n'est pas raisonnable d'écarter d'emblée certaines technologies, ce qui est parfois le cas aujourd'hui. Enfin, comme la plupart des aides européennes, celles-ci interviennent en remboursement, c'est-à-dire à la fin de la réalisation du projet, ce qui impose au bénéficiaire de faire les avances de trésorerie. Ce mécanisme est peu adapté aux PME qui rencontrent beaucoup de difficultés à constituer le capital de départ (cf supra). Il serait très utile qu'un mécanisme d'avances remboursables soit mis en place pour pallier cette difficulté majeure d'accès aux aides européennes pour les PME.

***Recommandation 8. Confirmer et renforcer l'engagement européen pour la réalisation du « Green Deal », en identifiant les projets spécifiques à l'innovation en matière maritime***

### **2.1.6. Vers la mise en place d'une taxation des carburants ou d'un mécanisme de marché des émissions de CO<sub>2</sub> des navires ?**

Depuis plusieurs années, les travaux scientifiques, notamment ceux du GIEC, montrent un lien entre les activités humaines qui se traduisent par des émissions de CO<sub>2</sub>, et l'augmentation des températures sur la planète. Aussi, en application du protocole de Kyoto, l'Union européenne a pris plusieurs décisions pour réduire ces émissions et a mis en œuvre le « système communautaire d'échange de quotas d'émission de dioxyde de carbone » (SCEQE). Le SCEQE est un marché permettant d'échanger des quotas de CO<sub>2</sub> émis par les opérateurs économiques. Ces quotas sont attribués gratuitement ou aux enchères par chaque État, et les entreprises ont ensuite la possibilité de vendre ou d'acheter des quotas, créant un marché du carbone. Or, l'on observe que le cours du carbone est passé de 8 € la tonne de carbone en 2015 à près de 18 € en 2018, et qu'il pourrait se situer à 25 € en 2030 selon l'évolution de l'économie mondiale, ce qui est cependant particulièrement difficile à évaluer aujourd'hui dans le contexte Covid.

Le système de taxation des carburants pourrait lui aussi être repensé pour permettre le développement des propulsions décarbonées dans le transport maritime. Pour améliorer le retour sur investissement (ROI) des navires propres, il serait utile de taxer davantage ceux qui polluent par une redevance de type TICPE. Ainsi une visibilité améliorée à long terme sur le prix du carburant serait de nature à favoriser le ROI des navires à propulsion éolienne ou décarbonée.

Même si, à ce jour, le secteur maritime n'est pas concerné par ces dispositions, la commission « environnement » du Parlement européen a voté récemment en faveur de l'inclusion des navires dans le système d'échange de quotas d'émissions de l'Union européenne (ETS). Ce vote constitue une étape importante des discussions qui devrait déboucher sur un projet de directive. Les négociations qui devraient débiter seront l'occasion de définir les modalités de mise en œuvre (assiette, périmètre...) et de travailler sur les possibles inconvénients du système (coordination avec les négociations CO2 à l'OMI, distorsions de concurrence avec les autres modes de transport, effets de frontière...).

Il ne s'agit pas en effet de pénaliser le transport maritime européen, au bénéfice des opérateurs d'autres États qui ne connaîtraient pas de surcoûts induits par une future taxe carbone. Aussi, s'il paraît nécessaire d'élargir le champ du SCEQE au transport maritime au plan européen, il est indispensable de procéder en parallèle au niveau international, en proposant une soumission en ce sens auprès de l'Organisation maritime internationale (OMI). Sur ce plan, il convient de rappeler que la France a été parmi les premiers États à défendre à l'OMI la nécessité de mettre en place un mécanisme de marché pour accompagner la transition énergétique. Il convient à présent de continuer à porter cette démarche en demeurant pro-actif dans les instances internationales et en recherchant des appuis auprès de nos partenaires, notamment européens.

***Recommandation 9. Porter une réflexion à l'Organisation maritime internationale visant à mettre en place un mécanisme de marché des émissions de CO2 pour le transport maritime***

## **2.2. Engager résolument les Pouvoirs publics**

Au-delà des appuis en matière économique et financière, indispensables pour aider les porteurs de projets et les crédibiliser, il revient aux Pouvoirs publics de soutenir par une politique volontariste la décarbonation du transport maritime et spécifiquement la propulsion par le vent.

À cet effet, plusieurs leviers sont identifiés : la commande publique, la promotion de la propulsion vélique dans certains espaces maritimes, une évolution de la réglementation internationale ainsi que la constitution d'une cellule dynamique d'appui au secteur.

### **2.2.1. La nécessaire exemplarité des Pouvoirs publics en matière de commande publique**

Afin d'appuyer la filière française de propulsion par le vent, la mission recommande qu'un appui fort de l'État soit mis en place. Cet appui pourrait en particulier se traduire par la commande publique, qui se doit d'être exemplaire en matière de transition écologique et énergétique, et devrait avoir l'obligation (hors bâtiments de combat du ministère de la Défense) d'incorporer une part significative de propulsion vélique dans tout projet de rénovation ou de construction neuve.

Par ailleurs, intégrer systématiquement une dimension d'innovation dans les commandes et projets de l'État permettrait d'apporter un financement à l'innovation, de soutenir des pilotes industriels et de positionner les constructeurs français sur le créneau d'avenir que constitue la propulsion par le vent. Ainsi, c'est toute une flottille de navires appartenant ou mis en œuvre par des administrations publiques qui peut être identifiée comme susceptible de bénéficier de la propulsion par le vent.

S'agissant de la Marine nationale, on peut citer les bâtiments de soutien, ceux de ravitaillement ou encore les navires hydrographiques dont un mixte énergétique utilisant la propulsion éolienne pourraient être étudié. Un navire-école à propulsion vélique, à même de présenter aux futurs cadres de la Marine les différentes technologies et porteur d'image de préservation des océans constituerait un atout indéniable fort. Il existe dans d'autres marines dans le monde. La plupart des Marines étrangères utilisent d'ailleurs comme support de formation de leurs élèves-officiers un grand voilier, datant généralement du siècle dernier. La France se démarquerait positivement en lançant un navire, au contraire, ultra-moderne, doté de la propulsion par le vent au moyen des dernières techniques éprouvées. L'association du grand voilier-école<sup>11</sup> pourrait utilement être approchée sur ce sujet.

Quel meilleur appui pour une filière que l'on veut promouvoir, et quel symbole !

Les navires opérés par les collectivités dans le cadre de délégation de service public devraient également être concernés par cette démarche, et la rédaction des cahiers des charges pour obtenir une délégation de service public (DSP) pourrait utilement comporter une clause sur la décarbonation et l'innovation en matière énergétique, incluant la propulsion par le vent.

De même, le renouvellement de la flotte du ministère de la mer (près de sept baliseurs et un ou deux patrouilleurs), peut respecter des standards HQE et l'objectif de décarbonation, et comporter notamment un volet propulsion vélique selon les missions dédiées aux navires : surveillance des activités maritimes en général, et des pêches en particulier. Certains navires peuvent d'ailleurs constituer des démonstrateurs technologiques, et appuyer ainsi les développeurs de technologies.

S'agissant de la flotte océanographique, l'IFREMER envisage la possibilité d'une modernisation « verte » qui concernerait plusieurs projets majeurs : la construction d'un navire océanographique semi-hauturier pour l'Atlantique et la Manche, la jouvence du navire océanographique hauturier « Pourquoi pas ? » (refonte à mi-vie) et la construction d'un navire océanographique semi-hauturier pour le Pacifique, basé à Nouméa en remplacement d'un navire ancien. Il serait très porteur pour cet organisme français, fleuron de la recherche océanique dans le monde d'utiliser la force motrice du vent dans le mixte propulsif qu'il envisage.

De la même manière, la flotte dédiée à l'action de l'État en mer armée par les différentes administrations (Marine nationale, Douanes, Gendarmerie nationale et Gendarmerie maritime) pourrait de façon modeste et adaptée, s'orienter, selon les missions dévolues spécifiquement à chacune d'entre elles, vers la propulsion vélique en mode alternatif.

La démonstration de technologies françaises sur ces navires serait facilitée par :

- une étude du potentiel de réduction de l'impact environnemental pour les navires visés, et une étude des contraintes afin de prioriser le déploiement des démonstrateurs ;
- un suivi des performances environnementales et économiques de ces démonstrateurs, avec publication des résultats obtenus ;
- une comparaison avec les déploiements effectifs sur certains navires de pêche moderne qui incluent dans leur programme de propulsion une voile donnant des résultats tangibles sur les essais déjà réalisés.

---

<sup>11</sup> <http://www.asso-gve.fr/-Grand-Voilier-Ecole-.html>.

Ainsi, l'ensemble de la filière bénéficierait des retours d'expérience obtenus.

***Recommandation 10. Imposer aux différentes administrations centrales ou décentralisées armant des navires un programme de constitution d'une flotte de service public mixte, propulsée en partie par le vent .***

### **2.2.2. Promouvoir l'utilisation des navires à propulsion vélique**

La stratégie nationale pour la mer et le littoral s'est donnée pour objectif de classer 20 % des eaux sous juridiction française en aires marines protégées. À ce titre, les parcs marins constituent un outil majeur de protection, car ils contribuent :

- à la restauration du bon état écologique des eaux marines, des milieux et des espèces ;
- au maintien des fonctionnalités écologiques des milieux ;
- à une exploitation durable des ressources naturelles, c'est-à-dire sans surexploitation du capital naturel ;
- à une gouvernance partagée entre les acteurs d'un secteur donné;
- au maintien et à la valorisation du patrimoine culturel maritime.

De fait, la France s'est dotée d'un réseau de parcs naturels marins étoffé, en métropole et dans les outre-mer : Parc marin d'Iroise, parc marin de Mayotte, parc marin du golfe du Lion, parc marin des Glorieuses, parc marin des estuaires picards et de la mer d'Opale, parc du bassin d'Arcachon, parc de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis, parc du cap Corse et de l'Agriate, parc de la Martinique. En outre, plusieurs réserves naturelles disposent d'une partie maritime et s'ajoutent à ces parcs marins : réserve naturelle des terres australes françaises, réserve naturelle marine de Cerbère-Banyuls, réserve naturelle marine de La Réunion, réserve naturelle marine de Scandola, notamment.

Ces aires marines protégées suscitent beaucoup d'intérêt de la part d'opérateurs économiques qui souhaitent proposer ces destinations aux touristes en recherche de nature et d'environnement préservé. De plus, ces espaces font l'objet de recherches scientifiques fréquentes, qui utilisent des navires qui ne sont pas toujours « éco-responsables ». Les gestionnaires de ces aires marines peuvent délivrer des droits d'accès, mais se heurtent souvent à un équilibre difficile à trouver entre activité économique d'une part et préservation de l'environnement, d'autre part. Aussi, il est pertinent d'imaginer que l'accès aux eaux des aires marines soit facilité aux navires à propulsion décarbonée et spécifiquement vélique pour limiter toute perturbation à l'environnement.

Dans ce cadre, il revient aux gestionnaires des aires marines de prendre les dispositions appropriées à même de concilier objectifs de protection de l'environnement et activité économique.

***Recommandation 11. Inciter les gestionnaires d'aires marines protégées à encourager l'accès des navires à propulsion vélique dans les parcs marins et dans les réserves naturelles***

### **2.2.3. Adapter la convention SOLAS**

L'un des obstacles à l'installation de gréements permettant de propulser un navire grâce au vent est posé par la convention internationale SOLAS relative à la sauvegarde de la vie humaine en mer, qui fixe des obligations strictes en matière de visibilité notamment depuis la passerelle des navires.

Ces obligations portent d'une part sur le champ de vision minimal et, d'autre part, sur les zones aveugles.

Concernant le champ de vision minimal, la circulaire MSC 982 d'application de la convention SOLAS dispose que depuis le poste de navigation et de manœuvre, la vue de la surface de la mer à l'avant de l'étrave ne devrait pas être obstruée sur plus de deux longueurs de navire ou sur plus de 500 mètres, si cette distance est inférieure, sur 10 ° d'un bord et de l'autre, quels que soient le tirant d'eau, l'assiette et la cargaison en pontée du navire.

S'agissant des zones aveugles, la circulaire prévoit que la sécurité de la veille visuelle depuis le poste de navigation et de manœuvre ne devrait pas être compromise par la présence de ces zones. La circulaire précise qu'aucune zone aveugle causée par la cargaison, les appareils de levage et autres obstacles situés à l'extérieur de la timonerie sur l'avant du travers, qui obstruent la vue que l'on a de la surface de la mer depuis le poste de navigation et de manœuvre, ne devrait dépasser 10 °.

Elle fixe en outre les arcs des zones aveugles.

Or, les gréements, quels qu'ils soient (voiles souples, voiles rigides, ailes, cerf-volant, rotors ou turbines) créent un masque vers l'avant du navire gênant de façon plus ou moins prononcée la visibilité vers l'avant du navire. Ces contraintes fortes sont prises en compte par les architectes navals dès la conception des navires neufs, qui disposent alors le plus souvent d'un « château » et d'une passerelle situés sur l'avant du navire.

Pour ce qui concerne les navires existants faisant l'objet d'un rétrofit, la situation est beaucoup plus complexe, car la quasi-totalité des navires, hormis les navires à passagers, disposent d'un château situé sur l'arrière. L'installation d'un système de propulsion vélique, quel qu'il soit, constitue donc un obstacle à la visibilité vers l'avant, ce qui entre en contradiction avec la circulaire citée. L'octroi de dérogations à la convention SOLAS demeure possible par l'État du pavillon du navire, qui doit alors notifier ces dernières à l'OMI. Cette pratique est adaptée aux cas de non-conformité mineures, mais pas à un sujet aussi sensible et majeur que celui de la visibilité vers l'avant. En effet, que se passerait-il en cas de collision ayant entraîné des victimes ? Qui serait alors responsable ? Le capitaine et son chef de quart ou l'état du pavillon qui aurait accordé une telle dérogation ?

Si l'installation de caméras vers l'avant retransmettant leurs images en passerelle de navigation est techniquement possible, elle nécessite une exemption à la convention SOLAS. Mais aucun État ne souhaite porter une telle demande de dérogation, compte-tenu des risques évoqués. Aussi, il est plus pertinent de faire porter par plusieurs États (sous coordination de l'UE, par exemple) une soumission à l'OMI en s'appuyant sur une étude bien documentée. Le contexte actuel pour ce faire est très opportun, car les réflexions sur le navire autonome sans équipage progressent et recourent des problématiques communes avec celles des navires à propulsion éolienne (même partiellement).

l'OMI va donc être amenée à se pencher rapidement sur ces questions pour lesquelles elle a longtemps été très prudente. Il convient par ailleurs de noter que d'autres questions liées à la sécurité des navires à propulsion vélique (stabilité, incendie qui surviendrait dans le gréement, visibilité des feux de navigation selon l'allure du navire notamment) méritent un examen attentif mais paraissent plus aisées à résoudre, au cas par cas, dans la pratique dérogatoire.

Enfin, la question de la qualification de l'équipage et, de façon plus générale, de la familiarisation voire de l'appropriation du système de propulsion vélique est déterminant, et a fait l'objet du paragraphe 1.2.4.

***Recommandation 12. Porter une soumission à l'organisation maritime internationale pour adapter la convention SOLAS à la propulsion vélique des navires en recherchant un partenariat avec les États de l'UE***

#### **2.2.4. Accompagner la filière dans la durée**

L'émergence d'une filière de transport maritime à propulsion par le vent se heurte à de vraies difficultés pour être reconnue et crédibilisée, même si elle dispose d'atouts indéniables. Elle a notamment su constituer une association (Wind-Ship) très opérante et pro-active, rattachée à l'association internationale (International wind ship association IWSA). L'association française réalise un travail remarquable d'accompagnement des acteurs grâce à une ingénieure AgroParisTech, chargée de mission efficace et qui vient d'intégrer sous-contrat le conseil régional des Pays-de-Loire, mais elle ne peut s'appuyer que sur les moyens très limités de sa quinzaine de membres, pour bon nombre des start-ups aux moyens financiers et humains très contraints.

Cette association participe néanmoins aux réflexions animées par Armateurs de France et le Cluster maritime, et produit en outre régulièrement de la documentation. La présente mission a pu s'appuyer sur l'association, qui a représenté un atout indéniable en mobilisant très rapidement les acteurs au sortir du confinement lié au Covid 19. Cependant, nonobstant ses efforts, l'association n'est pas intégrée dans « l'écosystème » comme le sont par exemple les armateurs conventionnels ou les entreprises portées par le Gican. De fait, l'État ne saurait se contenter de s'appuyer sur une association, aussi impliquée soit-elle, pour porter et développer des projets ambitieux et potentiellement sources de richesses et d'emplois. Il doit s'organiser pour porter au bon niveau cette filière émergente et très prometteuse, et doit se positionner en relai des acteurs économiques. Aussi, la mission recommande la création d'une cellule dédiée à la propulsion vélique, positionnée au ministère de la mer, et qui travaillerait en inter-ministériel pour accompagner les porteurs de projets dans l'accomplissement d'une manière générale des démarches auprès des structures concernées, et, de façon plus spécifique, pour obtenir les financements nécessaires aux projets concernés : ADEME, Collectivités, État, Europe.

Cette cellule serait également chargée de piloter une réflexion stratégique sur le sujet de la propulsion des navires par le vent, à l'instar de ce qui a été réalisé il y a quelques années pour le « plan hydrogène », et dont on peut mesurer aujourd'hui tout l'intérêt. Une telle cellule constituerait un signal fort de l'État, très attendu par toute la filière ; une extension de son périmètre d'action à l'ensemble des acteurs de la décarbonation du transport maritime serait un premier pas utile.

***Recommandation 13. Constituer, au sein du ministère de la Mer, une cellule d'appui aux opérateurs, dédiée à la propulsion par le vent dans le transport maritime***

### 3. Conclusion

La présente mission chargée d'analyser l'opportunité de développer une filière de transport maritime à voile s'est efforcée de faire le point sur les différentes technologies d'une part, et sur les mécanismes financiers à même de favoriser l'émergence de la filière, d'autre part. Elle a pu rencontrer les acteurs des différentes branches et faire une synthèse des problématiques rencontrées par ces derniers. Or, si le premier point relève du champ de compétence du ministère de la transition écologique et du ministère de la mer, force est de reconnaître que le second volet relève davantage des compétences dévolues au ministère de l'économie, des finances et de la relance.

Par ailleurs, la mission a pu observer que si chacun des acteurs paraissait très déterminé, il devenait important qu'un tour de table complet des avantages, inconvénients, obstacles et perspectives soit partagé entre tous. Aussi, la mission recommande qu'un véritable « Livre blanc » de la propulsion vélique associant l'ensemble des acteurs de cette filière émergente soit réalisé. La filière de la propulsion par le vent dans le transport maritime est porteuse d'espoirs et d'emplois potentiels. Elle mérite un investissement fort des Pouvoirs publics sur le moyen-long terme. Le secteur maritime en France n'a pas bénéficié d'un plan d'envergure à l'image de ceux de deux autres secteurs que sont l'aéronautique ou la construction automobile. Si le ministère des Finances n'a pas retenu de plan d'ensemble, peut-être serait-il envisageable de cibler quelques domaines spécifiques du maritime pouvant y prétendre, dont celui de cette filière.

Une comparaison peut être faite avec la filière des énergies marines renouvelables (éoliennes en mer). Dans ce domaine il y a une quinzaine d'années, un frémissement était observé mais les obstacles à franchir demeuraient complexes : investissements financiers massifs, technologies en cours de développement, cadre réglementaire mal adapté, absence de délimitation d'espaces maritimes dédiés, etc.... La propulsion vélique est aujourd'hui confrontée à ces problématiques, or elle dispose d'atouts qui, *mutatis-mutandis*, sont comparables à la filière des EMR. Avec l'appui des Pouvoirs publics, les opérateurs économiques se sont mobilisés et la filière EMR représente désormais près de 5 000 emplois en France.

La propulsion vélique, dès lors qu'elle bénéficiera de vents portants, sera en mesure de dépasser le marché de niches dans lequel elle se situe actuellement. Si « il n'est pas de vent favorable à celui qui ne sait où il va », selon le mot de Sénèque, il est manifeste que « l'écosystème » que constitue la filière industrielle et d'ingénierie du transport maritime à la voile sait où elle veut aller et tâche de s'en donner les moyens. Il conviendrait donc d'appuyer son développement qui recèle un réel potentiel de nature à faire de ce secteur maritime émergent en France, bien que pas le seul dans la décarbonation du transport maritime, une filière d'excellence propre à répondre aux défis de la transition énergétique.

**Recommandation 14. Rédiger un Livre Blanc de la propulsion vélique.**

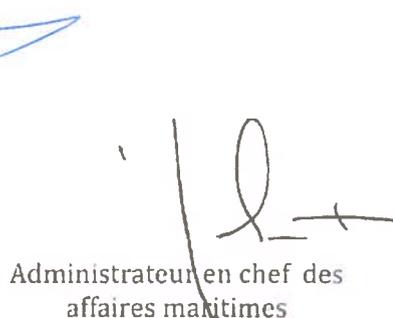
**Franck CAMMAS**

**Denis MEHNERT**

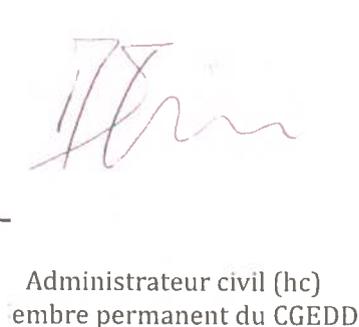
**Antoine PICHON**



Navigateur,  
Skipper de Gitana XVII



Administrateur en chef des  
affaires maritimes



Administrateur civil (hc)  
embre permanent du CGEDD

# Annexes

# 1. Lettre de mission



**MINISTÈRE  
DE LA TRANSITION  
ÉCOLOGIQUE  
ET SOLIDAIRE**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

La ministre  
Le secrétaire d'Etat chargé des Transports

Paris, le **2 JUIN 2020**

Réf : 20006290

Monsieur Franck CAMMAS  
1, allée du Ponant  
56520 GUIDEL

Monsieur,

Le développement du commerce mondial, et le nombre de navires propulsés en très grande majorité par du fioul lourd, posent aujourd'hui la question de l'impact environnemental de ce mode de transport, tant du point de vue de la pollution atmosphérique que de celui des émissions de CO<sub>2</sub>. L'Organisation Maritime Internationale (OMI) a ainsi fixé, pour le transport maritime, une stratégie très ambitieuse de décarbonation : réduction de 40 % des émissions de CO<sub>2</sub>, d'ici à 2030 (en masse de CO<sub>2</sub> par unité de transport et distance parcourue) et de 50 % en valeur absolue d'ici à 2050.

Si beaucoup d'évolutions techniques et réglementaires ont été initiées afin d'améliorer les performances des moteurs marins et limiter leur empreinte sur l'environnement, des alternatives destinées à changer de paradigme commencent à voir le jour. Dans ce contexte, des projets de navires de charge à voiles voient le jour sous différentes formes. De nouvelles technologies, s'appuyant notamment sur des voiles innovantes, rigides, les ailes de cerf-volant ou encore les profils cylindriques ventilés (flettner) remettent à l'ordre du jour la propulsion vélique ou éolienne dans le contexte des objectifs de décarbonation du transport.

La France bénéficie d'un savoir-faire en matière de propulsion éolienne du fait de l'écosystème d'entreprises qui s'est constitué autour de la course au large. Ces compétences peuvent être un atout dans la constitution d'une filière centrée sur des solutions techniques novatrices, pour peu que des transferts d'expérience et de technologie, entre le monde de la voile et celui de la marine marchande, soient possibles.

Dans cet esprit, l'article 185 de la loi d'orientation des mobilités prévoit que le Gouvernement remette au Parlement un rapport sur l'opportunité de développer une filière de fret maritime à voile. Ce rapport devra également préciser les ressources financières nécessaires en matière d'innovation et de recherche dans l'objectif de réduire d'au moins 50 % l'empreinte carbone du transport maritime à l'horizon 2050.

.../...

Nous avons souhaité que ce rapport puisse être réalisé sous la coordination d'un grand professionnel de la voile française. Au vu de votre parcours et de votre renommée dans le domaine de la voile professionnelle, nous apprécierions pouvoir vous confier cette mission.

Le rapport devrait notamment s'attacher à traiter les éléments suivants :

- Champ de viabilité commerciale et financière à court, moyen et long termes, de ce mode de transport ;
- Gains environnementaux escomptés, particulièrement au regard des objectifs de décarbonation ;
- Analyse des enjeux d'exploitation, notamment sociaux et de sécurité ;
- État des lieux de la filière existante, tant maritime qu'industrielle, et les éventuels moyens nécessaires à son développement ;
- Opportunité de développer cette filière industrielle de transport de fret maritime à voile ;
- Ressources financières privées et publiques nécessaires, le cas échéant, en matière d'innovation et de recherche.

Il sera également pertinent de prendre l'attache de la filière des industriels de la mer, des fédérations professionnelles d'armateurs et des premiers porteurs de projets véliques.

La coordination globale de ces travaux sera réalisée en lien avec les services de la Direction des affaires maritimes (DAM), qui est à votre disposition pour répondre à toutes vos questions.

La rédaction de ce rapport sera formellement réalisée par une équipe du Conseil général de l'environnement et du développement durable (CGEDD) et de l'Inspection générale des affaires maritimes (IGAM). Au regard des délais imposés par la loi, le rapport est à remettre pour l'automne 2020.

Nous vous remercions pour l'accueil que vous voudrez bien accorder à ce projet.

Dans l'attente de votre réponse nous vous prions de croire, Monsieur, à l'expression de nos salutations les plus sincères.



Elisabeth BORNE

Bien à vous,  
Jean-Baptiste DJEBBARI



## 2. Liste des personnes rencontrées

Nom	Prénom	Organisme	Fonction	Date de rencontre
FAIST	Benoit	Ministère de la mer/direction des affaires maritimes	Sous-directeur	05/05/2020
DEBLED	Antoine	ADD Technologies	Directeur	04/06/2020
BERNATETS	Vincent	Airseas	Directeur général	04/06/2020
LESAGE	Stéphanie	Airseas	Relations institutionnelles	04/06/2020
DUCARNE	Julien	Computed wing sail (CWS-Morel)	Président	04/06/2020
MOREL	Julien	Computed wing sail (CWS-Morel)	Directeur technique	04/06/2020
TOUBIANA	Bruno	Computed wing sail (CWS-Morel)	Directeur commercial	04/06/2020
VEDRENNE	Jérôme	CRAIN Technologies	Ingénieur recherche-développement	04/06/2020
PALLU de la BARRIERE	Philippe	CRAIN Technologies	Directeur	04/06/2020
ERUSSARD	Victorien	Energy Observer	Fondateur et capitaine	04/06/2020
SDEZ	Nicolas	AYRO	Directeur technique	05/06/2020
PARLIER	Yves	Beyond the Sea	Directeur	05/06/2020
ABIVEN	Nicolas	Chantiers de l'Atlantique	Senior Ingénieur	05/06/2020
ROUXEL-DUVAL	Laurent	Chantiers de l'Atlantique	Responsable Recherche et Développement	05/06/2020
ETESSE	Thomas	Chantiers de l'Atlantique	Chef de projet Recherche et Développement	05/06/2020
VAUTIER	Vianney	Chantiers de l'Atlantique	Architecte naval	05/06/2020
DUTHOIT	Vivien	Communauté d'agglomération de la	Directeur-général adjoint	05/06/2020

Nom	Prénom	Organisme	Fonction	Date de rencontre
		région nazairienne		
PELLETEUR	Jean-Claude	Commune de Pornichet /Communauté d'agglomération CARENE	Maire/vice président	05/06/2020
VAN PETEGHEM	Marc	VPLP design	Directeur	05/06/2020
DETRIMONT	Lise	association Wind Ship	Coordonnatrice	05/06/2020
VIOLAIN	Florent	association Wind Ship	Président	05/06/2020
QUITOT	Philippe	DAM	Chef de la mission flotte de commerce	19/06/2020
FEDOROVSKI	Boris	GICAN	Expert technologies	19/06/2020
LAMBERT	François	GICAN	Délégué général	19/06/2020
NOWAK	Jérôme	Ministère de l'économie, des finances et de la relance	Chargé de mission	19/06/2020
GUERIN	Xavier	Ministère de la mer/direction des affaires maritimes	Mission flotte de commerce	19/06/2020
MONCANY de SAINT AIGNAN	Frédéric	Cluster maritime	Président	22/06/2020
PETON	Emmanuel-Marie	Cluster maritime français	Responsable Innovation et transformation	22/06/2020
JACQUIN	Erwan	CMA-CGM	Senior manager Recherche et innovation	23/06/2020
DUPUY	Maxime	D-ICE engineering	Ingénieur Route optimization & metocean studies	23/06/2020
FAGUET	Sylvain	D-ICE engineering	Responsable commercial	23/06/2020
ALLWRIGHT	Galvin	International Windship association	Délégué général	23/06/2020
POUPON	Patrick	Pôle Mer Bretagne	Directeur	23/06/2020

Nom	Prénom	Organisme	Fonction	Date de rencontre
		Atlantique		
GERMA	Jean-Michel	SOPER, SUNTI et MGH	Président	23/06/2020
BOLVIN	Amaury	Zéphyr et Borée	Directeur commercial	23/06/2020
JOYEUX	Nils	Zéphyr et Borée	Directeur général	23/06/2020
GRASSIN	Nelly	Armateurs de France	Responsable Affaires techniques, Sécurité, Sûreté et Environnement	26/06/2020
SAUVEE	Jean-Emmanuel	Armateurs de France	Président	26/06/2020
ABALLEA	Loic	Bureau Veritas	Affaires internationales	09/07/2020
LEBLANC	Aude	Bureau Veritas	Ingénieur énergie marine renouvelable	09/07/2020
MADOZ	Pierre	Bureau Veritas	Responsable du département design assessment	09/07/2020
CHAUVIERE	Christophe	Bureau Veritas Marine & Offshore	Directeur technique	09/07/2020
THIBERGE	Etienne	Bureau Veritas Marine & Offshore	Directeur - coordinateur des bureaux d'approbation	09/07/2020
NAVARRO	Jérôme	Compagnie Maritime Nantaise, groupe Sogestran	Directeur général	09/07/2020
BARREAU	Jacques	Grain de Sail	Directeur général	09/07/2020
CHEVALLIER	Damien	Ministère de l'Europe et des Affaires étrangères	Représentant permanent adjoint de la France auprès de l'Organisation Maritime Internationale (OMI)	09/07/2020
MERAND	Béatrice	Nantes Métropole	Directrice générale adjointe	09/07/2020
LE GOFF	Florence	Nantes Métropole	Chargée de mission innovation	09/07/2020
BOUFLIM	Hassen	Nantes métropole	Directeur général	09/07/2020

Nom	Prénom	Organisme	Fonction	Date de rencontre
		aménagement		
PEAN	Guilhem	Néoline	Directeur technique	09/07/2020
SIMONET	Adrien	Néoline	Directeur adjoint	09/07/2020
ZANUTTINI	Jean	Néoline	Directeur général	09/07/2020
POUSSET	Stéphane	Pilotes de la Loire	Président de station	24/07/2020
QUIMBERT	Mikaël	Ministère des outre-mer/DGOM	Adjoint au sous-directeur des politiques publiques	03/09/2020
NARDIN	Guillaume	Ministère des outre-mer/DGOM	Adjoint au chef de bureau des politiques agricoles, rurales et maritimes	03/09/2020
TCHIN	Ludovic	Ministère des outre-mer/DGOM	Chargé de mission défiscalisation outre-mer	03/09/2020
CHALUS	Jean-Pierre	Union des ports de France	Délégué général	07/09/2020
POLLET	Mathilde	Union des ports de France	Responsable des affaires économiques et européennes	07/09/2020
CAUNEAU	Philippe	ADEME	Ingénieur/service transports et mobilité	10/09/2020
LEGER	Marc	Ministère de la mer/direction des affaires maritimes	Adjoint au sous-directeur	10/09/2020
SYMONEAUX	Alan	Ministère de la mer/Bureau enquête accidents mer	Directeur adjoint	25/09/2020
BABARIT	Aurélien	Ecole Centrale de Nantes	Responsable Equipe Energies Marines et Ocean	01/10/2020
LE BOURHIS	François	Ministère de la mer/IGEM	Inspecteur général de l'enseignement maritime	01/10/2020
BOURLON	Carole	Bretagne développement innovation	Responsable des filières voile de compétition et composites	02/10/2020
JOURDAIN	Roland	Conseil Régional de	Conseiller régional	02/10/2020

Nom	Prénom	Organisme	Fonction	Date de rencontre
		Bretagne		
LECUIT-PROUST	Marie	Conseil Régional de Bretagne	Directrice générale adjointe, Mer, Tourisme et mobilités	02/10/2020
PENNANGUER	Stéphane	Conseil Régional de Bretagne, direction de la Mer	Chef de service des politiques maritimes	02/10/2020
THERY	Grégoire	TOWT	Responsable aff.publiques et développement	15/10/20
GERARD	Ludovic	AYRO	Directeur général (CEO)	15/10/20

### 3. Glossaire des sigles et acronymes

Acronyme	Signification
AAP	Appel à projets
ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
BPI	Banque publique d'investissement
CEE	Certificat d'économie d'énergie
CORIMER	Conseil de la recherche et de l'innovation des industriels de la mer
CRAIN	Centre de recherche pour l'architecture et l'industrie nautiques
DGA	Délégation générale à l'armement
EMCIP	Base de données communautaire des événements de mer
EMR	Energie marine renouvelable
ENSM	Ecole nationale supérieure maritime
ENSTA	Ecole nationale des techniques avancées
GPS	Garantie des projets stratégiques
IFREMER	Institut français de recherche et d'exploitation de la mer
ISM	Normes internationales de sécurité des navires (international safety code)
IWSA	International wind ship association
OMI	Organisation maritime internationale
PIA	Programme d'investissement d'avenir
RGEC	Règlement général d'exemption par catégorie
RIF	Registre international français
ROI	Retour sur investissement
SCEQE	Système communautaire d'échange de quotas d'émission de dioxyde de carbone
SOLAS	Convention internationale sur la sauvegarde de la vie humaine en mer (Safety of life at sea)
STCW	Convention internationale sur les normes de formation des gens de mer, de délivrance des brevets et de veille

Acronyme	Signification
TPE-PME	Très petite entreprise-petite et moyenne entreprise
UE	Union européenne

[Site internet du CGEDD : « Les derniers rapports »](#)