

# Qui sont les acteurs de la propulsion vé- lique et comment interagissent-ils dans leurs environnements administratif, commercial et bancaire?

van Stratum Samuel

Travail présenté pour l'obtention  
du titre de  
Master en Sciences Nautiques  
à la Antwerp Maritime Academy

Promoteur : Docteur Hubert Paridaens

Année académique 2023 – 2024

# Avant-propos

En tant qu'étudiant à l'Antwerp Maritime Academy, on est sensibilisés aux technologies, aux systèmes utilisés à bord des navires, mais aussi à l'organisation du transport maritime mondial et à ses implications. Lorsque le moment fut venu de choisir un sujet pour mon mémoire, j'ai choisi le domaine de la propulsion vélique, car il me tenait à cœur de travailler un sujet nouveau, qui a de l'avenir et qui a le potentiel de changer le paysage dans lequel je vais travailler. Ce mémoire s'adresse d'abord à mes professeurs puis aux professionnels du secteur auxquels j'espère apporter une plus-value significative.

Pour réaliser ce mémoire, j'ai mené des entretiens avec des professionnels actifs dans le domaine de la propulsion vélique. Leurs perspectives et leurs expériences ont enrichi mon travail et m'ont permis d'approfondir ma compréhension des dynamiques et des défis de ce secteur. Je remercie chaleureusement Fairtransport, Anemoi Marine, Velic Consulting, Lloyd's Register, Bound4blue, Jifmar Guyane, Beyond the Sea, Banque Populaire Grand Ouest et Saillink de m'avoir accordé leurs temps et leur confiance. Je remercie en particulier Jifmar Guyane qui m'a permis de visiter leur navire équipé de voiles rigides. Enfin je n'oublie pas le directeur de l'école nationale supérieure maritime, Monsieur de Beauregard pour avoir facilité les premiers contacts physiques avec l'industrie.

Je remercie tout particulièrement mon promoteur, Monsieur Hubert Paridaens pour le sérieux, le temps et la rapidité avec lequel il m'a aidé, en particulier l'aide persistante fournie dans l'élaboration de la structure de mon mémoire.

Je remercie également Monsieur Théophile Renault, Madame Violaine van Stratum,

Monsieur Olivier van Stratum ainsi que monsieur Justin Carlier pour leurs retours pertinents. Je pense également à Monsieur Marc Pouli pour son attention. Je remercie aussi mademoiselle Justine Horta pour son aide et son coup de pouce littéraire.

# Résumé

Ce mémoire explore l'absence de documentation scientifique sur les armateurs utilisant seulement la propulsion vélique, identifiant comme principaux acteurs les équipementiers et les néoarmateurs. Les néoarmateurs sont souvent négligés dans la littérature, tandis que les ressources se concentrent sur les constructeurs d'équipements, généralement mieux financés et plus avancés. Ces deux acteurs sont pourtant indissociables.

Les néoarmateurs, clients des chantiers navals, commandent de la R&D et sont plus exposés à des risques techniques et commerciaux. En revanche, les équipementiers collaborent avec les chantiers et bénéficient de réglementations plus favorables. Financièrement, les prêts bancaires sont cruciaux pour les deux, avec des formules comme le crédit-bail fiscal aidant à financer les projets.

Administrativement, les équipementiers naviguent dans un cadre réglementaire évolutif, nécessitant des efforts de lobbying et des collaborations avec les sociétés de classification. Les néoarmateurs, quant à eux, peinent à obtenir des subventions, qui demandent des ressources importantes.

Commercialement, les équipementiers recherchent des partenariats stratégiques et la standardisation des technologies alors que les néoarmateurs visent aussi et principalement à industrialiser leur activité. Le soutien politique et les partenariats à long terme semblent se former pour aligner les intérêts des différents acteurs du secteur.

# Abstract

This master thesis explores the lack of scientific documentation on shipowners using only wind propulsion, identifying equipment providers and neo-shipowners as the main players. Neo-shipowners are often overlooked in the literature, while resources focus on equipment manufacturers, who are generally better financed and more advanced. Yet these two players are contemporaries of each other.

As customers of the shipyards, neo-shipowners order R&D and are more exposed to technical and commercial risks. Equipment manufacturers, on the other hand, collaborate with shipyards and benefit from more favourable regulations. Financially, bank loans are crucial for both, with structures such as French tax lease helping to finance projects.

Administratively, equipment manufacturers navigate an evolving regulatory framework, requiring lobbying efforts and collaboration with classification societies. For their part, neo-shipowners struggle to obtain subsidies, which require substantial resources.

Commercially, equipment manufacturers are looking for strategic partnerships and technology standardisation, while neo-shipowners are also and primarily aiming to industrialise their business. Political support and long-term partnerships seem to be forming to align the interests of the various players in the sector.

# Table des matières

Liste des figures	viii
Liste des tableaux	ix
Glossaire	x
Introduction	1
<b>1 Revue de la littérature</b>	<b>5</b>
1.1 Antwerp Maritime Academy . . . . .	6
Analyse des Business modèles par S. Veyt . . . . .	8
Efficacité sur les routes de l’Atlantique par H. Beckers . . . . .	9
Synthèse des travaux des alumni de l’AMA . . . . .	10
1.2 Autres sources de données . . . . .	11
1.2.1 Karslen et al. . . . .	14
1.3 Remarques finales et lacunes de la littérature . . . . .	16
<b>2 Méthodologie et collecte de données</b>	<b>18</b>
2.1 Cadre de recherches conceptuel . . . . .	18
2.2 Sélection des entreprises et collecte des données . . . . .	20
<b>3 Présentation des technologies</b>	<b>27</b>
3.0.1 WASPs avec moteur . . . . .	28
Rotor Flettner . . . . .	28
Turbovoile . . . . .	29
3.0.2 WASPs sans moteur . . . . .	30

La voile souple . . . . .	31
La voile rigide . . . . .	31
Kite . . . . .	32
3.1 Technologic Readiness Level . . . . .	33
Définition . . . . .	33
Technologic valley of death ou VoD . . . . .	34
3.1.1 Niveau de maturité des WASPs . . . . .	34
3.1.2 Niveau de maturité de la branche du 100% vélique . . . . .	36
3.2 Des technologies prêtes pour leurs utilisations . . . . .	38
<b>4 Secteur de la propulsion vélique</b>	<b>39</b>
4.1 Équipementier . . . . .	39
4.1.1 Ventes et services . . . . .	40
4.1.2 Recherches et Développements . . . . .	42
4.2 Néoarmateur . . . . .	43
4.2.1 Les navires sans moteur et les nouveaux navires . . . . .	44
4.2.2 Utilisation des Voiles . . . . .	45
4.3 Relation des néoarmateurs avec l'équipementier . . . . .	46
4.4 Le 100% vélique, absent de la littérature . . . . .	47
<b>5 Relations des équipementiers avec leurs environnements</b>	<b>51</b>
5.1 Propre au secteur, les néoarmateurs . . . . .	51
5.2 Limitrophe au secteur . . . . .	52
5.2.1 Banques . . . . .	52
5.2.2 Assurance . . . . .	53
5.2.3 Investisseurs . . . . .	54
5.2.4 Administration de l'Union européenne, locale, régionale et étatique	55
EEXI, EEDI, CII . . . . .	55
Méthode de calcul approuvée par le Lloyd's Register et les	
autorités pavillonnaire . . . . .	56
Enjeu . . . . .	57
FuelEU . . . . .	58
European Emission Trading System . . . . .	61

Subventions . . . . .	62
Illustration de Beyond the Sea . . . . .	62
5.2.5 Synthèse, règlements européens et internationaux . . . . .	63
5.2.6 Sociétés de classifications . . . . .	64
Nonessential Deck Equipment . . . . .	66
5.2.7 Clients . . . . .	67
5.2.8 Armateurs . . . . .	68
Leasing, une option disponible . . . . .	69
Illustration newbuild . . . . .	69
Dépendance de l'armateur . . . . .	70
5.2.9 Chantiers navals . . . . .	71
5.3 Synthèse, l'équipementier et son environnement . . . . .	72
5.3.1 Défis des équipementiers . . . . .	73
<b>6 Relations des néoarmateurs avec leur environnement</b>	<b>75</b>
6.1 Banques . . . . .	75
6.1.1 Crédit-bail fiscal . . . . .	77
6.1.2 Suramortissement vert . . . . .	79
6.2 Investisseurs . . . . .	79
6.3 Administration de l'Union européenne, locale, régionale et étatique . . . . .	80
6.4 Sociétés de classifications . . . . .	82
6.5 Clients . . . . .	83
6.6 Chargeurs . . . . .	84
6.7 Chantiers navals . . . . .	86
6.8 En somme le néoarmateur et son environnement . . . . .	87
6.8.1 Défis des néoarmateurs . . . . .	89
<b>7 Discussion</b>	<b>91</b>
7.1 Charge et exposition aux risques techniques . . . . .	91
7.2 Limitations, implications et difficultés . . . . .	95
<b>Conclusion</b>	<b>97</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>103</b>

# Liste des figures

Figure 1	Nombre de navires équipés d'un système de propulsion vélique ou en voie de l'être (*) . . . . .	2
Figure 2	Publications par an sur la propulsion vélique. . . . .	12
Figure 3	Cadre de recherches contextuel . . . . .	18
Figure 4	Illustration de l'importance des relations entre entreprises dans le cadre de leur catégorisation . . . . .	19
Figure 5	Vue d'ensemble des acteurs visés et interviewés . . . . .	25
Figure 6	Forces appliquées au rotor Flettner . . . . .	29
Figure 7	Écoulement des lignes d'air autour d'une turbovoile avec et sans aspiration . . . . .	30
Figure 8	Niveau de maturité des technologies véliques . . . . .	36
Figure 9	Tableau récapitulatif : CII, EEXI, EEDI . . . . .	56
Figure 10	Barrière à l'adoption de la propulsion éolienne . . . . .	76
Figure 11	Schéma simplifié crédit-bail fiscal . . . . .	78
Figure 12	Exposition aux risques techniques et charges techniques. . . . .	92

# Liste des tableaux

Tableau 1	Classement des interviews du secteur vélique par tailles et par types	25
Tableau 2	Nombre d'installations faites ou planifiées par technologie, Entreprises qui ont complété une installation et entreprise actives dans ces types de technologies. . . . .	35

# Glossaire

**Ademe** Organisme public français qui participe à la construction des politiques nationales et locales de transition écologique 63

**agents-based model** Un modèle informatique permettant de simuler les actions et les interactions d'agents autonomes (entités individuelles ou collectives telles que des organisations ou des groupes) afin de comprendre le comportement d'un système et ce qui régit ses résultats. Il combine des éléments de la théorie des jeux, des systèmes complexes, de l'émergence, de la sociologie informatique, et de la programmation évolutionnaire. 12, 13

**AMA** Antwerp Maritime Academy vi, 5, 6, 10, 16

**B2B** *Business to Business*, anglicisme qui décrit une entreprise spécialisée dans la vente de produits et services à d'autres entreprises. 72, 84, 85, 96

**B2C** *Business to Consumer*, anglicisme qui décrit une entreprise qui vend directement aux particuliers. 47, 84, 87, 89

**BPI** Banque Publique d'Investissement 54, 78

**Bureau Veritas** Société de classification française, membre de l'IACS 65

**CAPEX** Capital Expenditure : Capital requis à la construction d'un projet 69, 86, 87

**CII** *Carbon Intensity Indicator*. Indicateur de performance énergétique des navires en opérations de l'OMI pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. L'indicateur est recalculé chaque année par navire et devient plus exigeant avec le temps. Il est entré en vigueur le 1er novembre 2022. vii, x, 56–59, 64, 72–74

**commodities** Représente toutes les denrées alimentaires et ressources minières liquides sur les marchés financiers publics 21

**DWT** Dead Weight Tonnage 36–38

**École Nationale Supérieure Maritime** École supérieure de marine marchande de France  
20, 42

**EEDI** *Energy Efficiency Design Index*, règle adoptée par l'OMI pour réduire par design les émissions de gaz à effet de serre des navires, et pousser à l'utilisation de technologies moins polluantes vii, x, 56–60, 64, 65, 68, 72–74, 82, 90, 94

**EEXI** *Energy Efficiency Existing Ship Index*. Réglementation obligatoire pour les propriétaires de navire pour réduire les émissions de carbone en changeant des caractéristiques techniques du navire. Contrairement au CII, l'EEXI est contraignant. vii, x, 56–60, 64, 65, 72–74, 90, 94

**équipementier** Entité qui développe ou produit des équipements d'aide à la propulsion vélique. 52, 53, 71, 72

**European Emission Trading System** Système créé par l'Union européenne pour forcer les entreprises à payer pour le carbone émis, ce qui est appliqué via l'intermédiaire d'un marché public d'achat et de vente de crédits carbone 52, 59, 62, 65, 72, 73, 90, 94

**IACS** International Association of Classification Societies 23

**IWSA** International Windship Association 23, 68, 76, 88

**leasing** Location d'un bien avec une option de vente après une période donnée 41

**Lloyd's Register** Société de classification anglaise membre de l'IACS vii, 24, 25, 29, 57, 65–68, 83, 95

**multi levels perspectives** Type d'approches pour de la simulation économique de secteur 13

**NASA** National Aeronautics and Space Administration 33

**OMI** *Organisation Maritime Internationale*, souvent citée en anglais "*International Maritime Organisation*" ou "IMO". Branche maritime des Nations Unies. 1, 43, 56, 58, 60, 62, 64, 68, 94

**R&D** Recherches et Développements 25, 43, 44, 49, 50, 72, 73, 83, 87–89, 93, 95, 96

**Recognised Organisation** Recognised Organisation 23, 66

**rétrofit** Lorsque l'on modifie un navire dans le but de l'optimiser pour une nouvelle utilisation, typiquement changer le bulbe ou installer une nouvelle hélice 7, 12, 27, 28, 35, 72

**RoRo** *Roll on Roll off* : navire spécialisé dans le transport de véhicules. 8

**SC** Société de Classification 20, 23, 25, 26, 42, 53, 65–68, 73, 76, 83, 89

**Scopus** Base de données de citations et de critiques d'Elsevier Science Direct 11

**SOLAS** Safety Of Life at Sea, Le plus important traité international visant à définir diverses normes relatives à la sécurité, la sûreté et l'exploitation des navires. 23, 61, 66, 67, 83, 89, 94

**SPV** Special Purpose Vehicle 78, 79

**TRL** Technologic Readiness Level 33, 36, 52, 68

**turbovoile** Aile souvent rigide, parfois articulée, munie d'un ventilateur qui permet d'augmenter la puissance du "creux" du plan portant d'une voile (=aile). Elle augmente la dépression ou la différence de pression entre chaque côté de l'aile. x, 7, 8, 27, 29, 30, 34, 35, 52

**UE** Union Européenne 16, 23, 61–63

***Ventures capitalist*** Fonds capitaux à risques, fonds d'investissements spécialisés dans le financement d'entreprises pendant leurs premiers stades de développement 22

**VoD** Technologic Valley of Death vii, 11, 33, 34, 37

**WASP** Wind Assisted Ship Propulsion vi, vii, 1, 7, 16, 19, 20, 27, 28, 30, 34, 40, 42, 43, 47, 49–51, 53–55, 58, 59, 61, 62, 65–69, 71, 72, 74, 75, 87, 92, 95

**Well to Wake** Cette évaluation complète prend en compte tout le cycle de vie des carburants, de la production à l'utilisation finale. "*De la source à la cheminée*" 61, 64

# Introduction

Le transport maritime est un secteur essentiel pour le commerce mondial, représentant environ 80 % du volume total des échanges commerciaux. Cependant, il est également responsable d'une part significative des émissions de gaz à effet de serre. Pour répondre aux enjeux environnementaux et aux règlements de plus en plus strictes, notamment celles de l'Organisation Maritime Internationale (OMI), le secteur maritime cherche des solutions pour réduire son empreinte carbone. Parmi ces solutions, la propulsion vélique, qui utilise le vent comme source d'énergie, émerge comme une alternative prometteuse. Les Wind Assisted Ship Propulsion Systems (WASPs) sont des technologies innovantes qui s'intègrent aux navires pour diminuer leur consommation de carburant fossile et leurs émissions de CO<sub>2</sub>.

L'idée de propulser des navires modernes avec l'aide du vent n'est pas nouvelle. Les premières expérimentations ont eu lieu dans les années 80, poussées par l'envolée du prix du pétrole. Les incitations y étaient économiques, aujourd'hui elles sont également légales.

Différentes réglementations créent un environnement propice aux développements de technologies moins carbonées. Cette opportunité est bien intégrée, parmi la pléthore de solutions disponibles, la propulsion vélique pourrait avoir son rôle à jouer.

La figure 1 illustre l'adoption des WASPs (*Wind Assisted Ship Propulsion*) depuis 2010 qui semble s'accélérer. Notez la jeunesse de cette industrie puisqu'en 2010 seulement un navire était équipé d'un WASP. C'est à peu près à cette même époque que les premiers projets de transport de cargaisons 100% à la voile se sont montés.



FIGURE 1 – Nombre de navires équipés d’un système de propulsion vélique ou en voie de l’être (\*)

Source : European Maritime Safety Agency et al. (2023)

L’apparition d’un nouveau marché dans le shipping avec des besoins propres et des difficultés particulières implique de nouvelles relations pour les entreprises déjà établies. La présente recherche vise à explorer comment cette nouvelle branche de l’industrie du transport maritime interagit avec son environnement. L’objectif est de comprendre les dynamiques et les obstacles auxquels elle est confrontée, ainsi que les opportunités de synergies et de collaborations.

### **Qui sont les acteurs de la propulsion vélique et comment interagissent-ils dans leurs environnements administratif, commercial et bancaire ?**

Dans un premier temps, nous établissons que les principaux acteurs de la propulsion vélique sont les néoarmateurs et les équipementiers. Ainsi nous répondons au « *Qui* » de la question de recherche. Cette question découle directement du constat qui est la sous-représentation des néoarmateurs (armateur 100% vélique) dans la littérature scientifique sur la propulsion vélique.

Dans un second temps, l’objectif de la question de recherche est de mettre en avant les principales interactions avec leur environnement et de développer les défis qui y sont liés. Les environnements administratif, bancaire et commercial sont déterminés comme

suffisamment larges pour permettre une analyse à 360 degrés tout en restant pertinent.

À l'issue de la lecture de ce travail, le lecteur comprendra les similitudes et établira la différence de traitement entre les équipementiers et les néoarmateurs. L'analyse qui suit lui permettra de mieux comprendre ce nouveau secteur, ces difficultés et ces enjeux.

Ensuite commence l'analyse sectorielle centrée sur ces deux acteurs. Une telle analyse n'a à ma connaissance pas encore été faite pour les néoarmateurs, car absents de la littérature. De plus, la plupart des analyses sectorielles sur les équipementiers sont centrées sur les armateurs et l'industrie maritime au sens élargie. Ce mémoire place à l'inverse les néoarmateurs et les équipementiers au centre de la recherche.

Après la revue de la littérature qui est concentrée sur les analyses économiques et sectorielles. Nous décrivons ensuite le cadre conceptuel, les méthodes de recherche utilisées ainsi que l'échantillonnage des données.

Le Chapitre 3 décrit les particularités de chaque technologie de propulsion éoliennes. Puis nous estimons leurs niveaux de maturités ainsi que celui de la branche du 100% vélique.

Le Chapitre 4 couvre le premier manque de la littérature et décrit les acteurs que sont les équipementiers et les néoarmateurs.

Le chapitre 5 entame l'analyse de l'environnement du secteur de la propulsion vélique avec la branche des équipementiers.

Le Chapitre 6 finit l'analyse de l'environnement du secteur en traitant les néoarmateurs.

La conclusion rappelle les constats de la revue de la littérature et couvre les 2 manques qui y sont associés.

# Chapitre 1

## Revue de la littérature

Le but de cette revue de littérature est de comprendre de quelles façons les chercheurs approchent le sujet de la propulsion vélique et de mettre l'accent sur les analyses sectorielles des points de vue légaux, économiques et administratifs spécifiques à la propulsion vélique. La revue minimise volontairement les articles techniques et de sciences exactes, car la question de recherches se veut sectorielle. Les approches techniques/scientifiques (designs, optimisations, routages météo, dynamique des fluides ...) ont déjà souvent été traitées et sont par conséquent omises.

Les supports des recherches sont les suivants.

- Google
- Google Scholar
- Duck Duck Go
- Elsevier Science Direct
- LinkedIn
- De ZeilPost (agrégateur d'articles spécialisé dans le secteur vélique)
- Presse spécialisée

Cette revue de la littérature explore d'abord les travaux issus de l'Antwerp Maritime Academy (AMA). Ensuite elle revoit les travaux issus d'autres bases de données, principalement celle de Elsevier et celle de Ebscohost.

## 1.1 Antwerp Maritime Academy

Dans cette section les travaux de l'AMA sont revus, en particulier H. Beckers (2019) et S. Veyt (2018) qui sont des travaux de sciences technoéconomiques pertinents dans le cadre de ce mémoire.

Un des premiers travaux pertinents qui a été trouvé, écrit par E. De Maeyer (1988) traite du routage des voiliers cargos. Il fait déjà mention des solutions de propulsion vélique comme les voiles rigides, les voiles de kite et les voiles classiques. Le mémoire date de 1988 et correspond aux premières expérimentations de « Usuki Pioneer » (Hamada, 1985). Le sujet sera de nouveau traité en 2012 et 2013 par respectivement A. Conan (2012) et K. Proost (2013).

A. Conan (2012) conclut dans son mémoire que la turbovoile est une alternative de propulsion qui a prouvé son efficacité. Il pense que les systèmes de propulsion hybride, combinant voile et moteur, pourraient devenir une tendance. Investir dans des navires durables, malgré des couts initiaux plus élevés, permettrait des économies et une conformité environnementale.

L'année suivante, K. Proost (2013) pose la question de la faisabilité d'une flotte marchande à la voile. Dans sa conclusion, il considère que cette faisabilité est subjective, mais mérite d'être discutée et que les avancées technologiques, les collaborations entre corps de métiers et concurrents peuvent favoriser son développement. Cependant, cette flotte prendra du temps à être construite et nécessitera des investissements. Les économies potentielles et les avantages environnementaux de ces nouvelles technologies peuvent convaincre les armateurs. Il considérerait la voile delta de « Delta wing sail | Seagate Sail » (2014)<sup>1</sup> et le concept « Ecoliner - Dykstra Naval Architects » (s. d.) comme des idées prometteuses. Cependant, 10 ans plus tard, aucun des deux concepts n'a encore été tenté de manière concrète. « Ecoliner - Dykstra Naval Architects » (s. d.) est encore à l'état de concept, mais est en développement avec Veer Shipping et « Delta wing sail | Seagate

---

1. Dernière archive disponible sur les archives d'internet, le site "waybackmachine"

Sail » (2014) ne semble plus en activité.

En 2018, P. Landoeuer mesure l'efficacité de la turbovoile comme rétrofit. Il conclut entre autres que la turbovoile est légèrement moins efficace que le *rotor flettner* (3.0.1), mais est moins couteuse en énergie et moins dangereuse pour l'équipage (car aucun élément ne tourne). La turbovoile utilise un ventilateur pour augmenter la puissance de son plan portant et un rotor doit tourner sur lui-même pour créer la portance. Il est plus couteux en énergie de faire tourner un cylindre de plusieurs mètres de haut que d'actionner un ventilateur.

En 2020, J. Meulemeester compare les technologies du rotor (3.0.1) et de la turbovoile. Entre autres, elle conclut qu'un des plus gros avantages des WASP est la réduction de consommation de carburant. Un rotor aurait un retour sur investissement d'environ 8 ans.

En 2021, G. Folschette, sur base d'interviews d'employés de Blue Schooner Company et de Grain de Sail, dresse le plan d'une entreprise hypothétique nommée *White Sail Company*. Il y répond à la question de recherche suivante :

« *Est-ce que c'est possible de transporter des marchandises à la voile en Méditerranée ? Et si oui, comment ?* » (G. Folschette, 2021)

Il conclut que le business modèle ainsi que la forme générale de l'entreprise sont très proches de ce qui se fait déjà : viser les marchés de niche (p. ex. des produits éthiques et bio), et embarquer des volontaires .

Sommairement, l'aide à la propulsion vélique et la perfection de celle-ci via le routage météo sont très vite identifiés (E. De Maeyer, 1988 ; Hamada, 1985). Dès 2012, les rétrofits sont analysés comme une solution de décarbonation par A. Conan (2012). Ensuite, K. Proost (2013) met en avant le temps long nécessaire à la transition, mais aussi l'importance de la collaboration entre les corps de métiers ainsi que les couts élevés de la construction d'une flotte vélique. K. Proost (2013) met en avant deux projets dont un est à l'arrêt et l'autre commence sa construction. Deux travaux se penchent sur les rotors et

les turbovoiles conjointement où le rotor est considéré plus énergivore et plus dangereux, mais un peu plus efficace. Il aurait un retour sur investissement de 8 ans (J. Meulemeester, 2020 ; P. Landoeuer, 2018). Enfin, G. Folschette (2021) imagine une entreprise avec un business modèle qui vise les marchés de niches que sont les produits de consommation à hautes valeurs ajoutées, elle est similaire au business modèle actuel.

Les deux mémoires suivants abordent l'aide à la propulsion éolienne sous deux angles différents : d'une part, à travers le prisme du modèle économique, et d'autre part, par le biais d'une étude de cas sur la traversée de l'Atlantique à la voile. Ces travaux se révèlent ainsi être des contributions pertinentes tant sur le plan économique que technicoéconomique.

### **Analyse des Business modèles par S. Veyt**

C'est aussi en 2018 que S. Veyt retravaille le business modèle des entreprises opérant sur le secteur du vélique. Il analyse l'application de différentes technologies (voile classique, rotor Flettner, kite et voiles rigides) à chaque segment de marché (vrac, conteneurs, tanker, RoRo *Roll on Roll off*, croisière et les secteurs de niche). Les rotors, les voiles rigides et les kites semblent les plus adaptés au transport maritime moderne. Il conclut que l'utilisation de voiles traditionnelles en 100% vélique dans le transport maritime ne semble pas répondre à toutes les exigences des différents secteurs. Ces techniques sont plus adaptées aux marchés de niche et à l'industrie des croisières, où l'authenticité et la satisfaction des clients sont des facteurs importants (S. Veyt, 2018).

Une comparaison a été faite entre deux acteurs du marché, *Fairtransport* et *Sailcargo*, qui cherchent tous deux à changer les choses en mettant l'accent sur les aspects écologiques et socioéconomiques de leurs activités. Les organisations adoptées par ces entreprises, telles que les partenariats et l'implication de bénévoles, ont été identifiées comme des éléments clés. De plus, une analyse financière a montré que ces entreprises sont encore en phase de développement et nécessitent un temps considérable pour atteindre leur ma-

turité économique. Différentes méthodes d'investissement ont été envisagées, allant des techniques traditionnelles aux financements participatifs.

Les écotouristes constituent également un public cible intéressant, prêts à payer pour l'expérience et à contribuer à bord. Sur le plan organisationnel, les valeurs liées à la durabilité, à l'environnement et à l'éthique sont prépondérantes. Le choix des navires, qu'ils soient existants ou récemment construits, ainsi que le matériau utilisé (bois, acier, polyester) doit être soigneusement considéré. La taille limitée des voiliers traditionnels peut poser des défis, mais peut aussi être une opportunité sur ce marché de niche (authenticité du produit, charme du vieux gréement). La restauration de vieux navires en bois permet de préserver le patrimoine culturel et les techniques de construction. Les principaux facteurs limitant l'utilisation de navires existants sont liés aux besoins spécifiques du marché visé et à la taille des navires.

### **Efficacité sur les routes de l'Atlantique par H. Beckers**

En 2019, H. Beckers pose la question du transport vélique le plus efficace sur les routes de l'Atlantique avec un tanker à différents moments de l'année. Ici le kite, les rotors Fletner (3.0.1) et les wings sails (voile rigide à profil) sont comparés.

Le kite a été le système de propulsion le plus efficace lors de la traversée de l'Atlantique d'ouest en est, mais ses performances sont instables. Les résultats étaient peu satisfaisants lors de la route d'est en ouest en raison de vents moins favorables. Certaines routes sont hautement inefficaces. Le kite est considéré comme le moins polyvalent, tandis que le rotor et la wing sail peuvent fonctionner à des allures plus variées. Enfin, il est important de prendre en compte le routage météorologique pour optimiser l'utilisation des systèmes éoliens.

Les armateurs peuvent envisager d'investir dans des systèmes éoliens pour réduire la consommation de carburant et les émissions de gaz à effet de serre. Pour les navires existants, le rotor et le kite sont plus faciles à installer, tandis que pour les nouveaux na-

vires, plusieurs wings sails peuvent offrir une réduction significative de la consommation de carburant dans différentes conditions de vent. Les armateurs peuvent rechercher des financements auprès de banques engagées dans la réduction de l'impact environnemental. L'utilisation de systèmes écologiques peut améliorer l'image des armateurs et promouvoir leurs entreprises.

### **Synthèse des travaux des alumnis de l'AMA**

Selon les recherches menées à l'AMA, il est clair très tôt que l'aide à la propulsion vélique et son perfectionnement via le routage météo sont des éléments clés pour le transport maritime. Les travaux de différents étudiants ont mis en évidence l'importance de la transition vers des solutions de décarbonation comme les retrofits. Le long temps nécessaire, les couts et l'importance d'une collaboration interdisciplinaire sont mis à avant.

Les technologies de propulsion éolienne, telles que les rotors, les voiles rigides, les turbovoiles et les kites, sont considérées comme les plus adaptées au transport maritime moderne. Cependant, l'utilisation de voiles traditionnelles en 100% vélique sont utilisées pour l'instant dans les marchés de niche et dans l'industrie des croisières (G. Folschette, 2021).

Deux entreprises, Fairtransport et Sailcargo, ont été mises en avant par S. Veyt (2018) pour leur approche innovante, mettant l'accent sur les aspects écologiques et socioéconomiques de leurs activités. Cependant, une analyse financière a montré que ces entreprises sont encore en phase de développement et nécessitent un temps considérable pour atteindre leur maturité économique.

Enfin, H. Beckers (2019) souligne l'importance de l'analyse économique et technique dans ce domaine, car l'efficacité des différentes solutions dépend de routes et de saisons. Finalement, il rappelle les défis à relever pour sa mise en œuvre à grande échelle, l'utilité de ces technologies pour apporter une image verte et le potentiel acteur que représente

les banques vertes.

## 1.2 Autres sources de données

D'après des recherches basées sur Scopus (base de données de citations et de critiques de Elsevier), 107 articles sur la propulsion vélique au total ont été publiés entre 2010 et 2022, comme montre la figure (2). Les données montrent une anomalie en 2015 par rapport aux autres années qui pourrait être due à l'interaction entre le domaine de la recherche et l'industrie. Cette interaction pourrait être liée à la « Vallée Technologique de la Mort » (VoD, voir 3.1). En 2015, il semble avoir eu une baisse des publications. Selon Tadros et al. (2023), cet abaissement pourrait être causé par une friction entre le secteur de la recherche et l'industrie. Avant cela, l'énergie vélique était encore un concept et n'était pas largement disponible sur le marché. Entre 2010 et 2014, la recherche s'est beaucoup intéressée à ce domaine, mais l'industrie n'a pris aucune mesure, car c'était encore une phase exploratoire.

Cependant, avec l'apparition de nouvelles réglementations et la pression croissante des législateurs pour améliorer l'efficacité énergétique des navires, l'intérêt pour cette technique a commencé à augmenter à nouveau comme le mentionne Tadros et al. (2023).

Toujours sur la base de données de Elsevier, des articles socioéconomiques comme « *Green shipping networks as drivers of decarbonization in offshore shipping companies* » se penchent sur la décarbonisation de l'industrie maritime. La propulsion vélique y est souvent citée comme méthode possible. Ces articles traitent de sujets divers comme les différents business modèles, l'impact des réglementations et prescrits légaux, les avantages de certaines constructions culturelles pour pousser l'innovation. Tsvetkova et al. (2024) utilise une méthode d'analyse qualitative avec 30 facteurs pour comprendre la transition vers une propulsion propre dans le secteur du transport maritime.

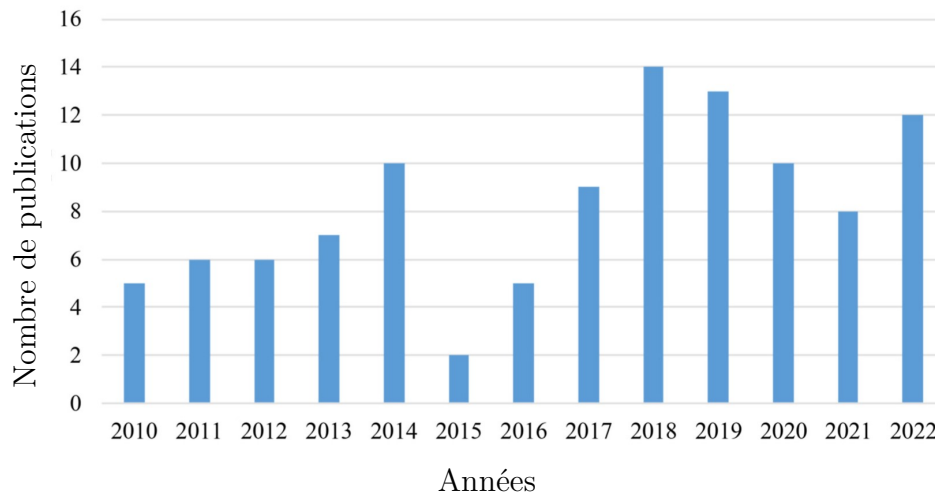


FIGURE 2 – Publications par an sur la propulsion vélique.  
Source : Tadros et al. (2023)

Hessevik (2022) et Tsvetkova et al. (2024) soulignent l’incertitude quant au choix des carburants de demain à cause du cout élevé des infrastructures nécessaires pour cette transition, ainsi que la différence de prix entre les carburants alternatifs et fossiles. Le shipping reste fort dépendant des décisions politiques et réglementaires pour sa transition. La législation favorise les carburants neutres en carbone entre « le réservoir et la cheminée » (*Tank to wake*) bien qu’elle ne discrimine aucune technologie explicitement.

Le « agents-based model » est un type de modèle mathématique/informatique, il simule le comportement d’agents indépendants pour comprendre le fonctionnement de systèmes complexes. On utilise ce genre de simulation complexe en économie. Mahmoudi et al. (2024) adapte un *agents-based model* spécifique pour le nombre de rétrofits potentiellement installés sur le long terme (dans le shipping globalement). Il estime l’impact des réglementations dont l’objectif est de faciliter la transition vers la propulsion verte. Cette publication est aussi un exemple de recherches sectorielles, mais elle n’essaye pas de décrire ni de comprendre en détail le fonctionnement de l’industrie vélique. Mahmoudi et al. (2024) décrit dans sa conclusion un grand nombre de scénarios, ce qui est symptomatique de l’incertitude du secteur du shipping face au défi de la décarbonisation.

Une autre modélisation « agents-based model » conclut également que le changement

de fuel est un grand facteur d'incertitude. De plus Köhler (2020) cite la propulsion vélique et le ralentissement de navire comme solution transitoire vers un shipping qui utiliserait une propulsion mixte à l'hydrogène et au vent.

Mander (2017) utilise une analyse « multi levels perspectives » pour comprendre les barrières et les incitants que rencontrent les innovations dans le cadre du « slow steaming » et de la propulsion à la voile. Le *slow steaming* est établi et l'industrie vélique n'est qu'au début de son développement.

La technologie de la propulsion éolienne en est encore à ses débuts et se heurte à des difficultés telles que le manque de financement. Les entreprises s'emploient activement à nouer des liens à la fois sur ce marché de niche et dans le secteur plus large du transport maritime afin d'obtenir un soutien et de faire progresser la propulsion vélique. L'hybridation, offre des synergies potentielles pour réduire la consommation de carburant. Le routage météorologique et l'optimisation à l'aide de l'informatique sont cruciaux. Une planification stratégique, comme l'utilisation de feuilles de route, ce qui est rare dans le shipping pourrait faciliter les progrès (Mander, 2017).

La transition sociotechnique au sein de l'industrie du transport maritime exige que les acteurs de niche tirent parti des pressions externes, telles que les prix élevés du pétrole et l'état global de leur environnement, pour promouvoir l'adoption de la propulsion éolienne. Toutefois, un soutien politique à long terme est également nécessaire pour faciliter efficacement cette transition (Mander, 2017).

Rehmatulla et al. (2017) examine les obstacles de la mise en œuvre des technologies véliques dans le secteur du transport maritime. Les préoccupations principales des armateurs concernent les risques techniques, les couts cachés et les technologies non éprouvées. Des informations sur l'efficacité énergétique des navires manquent, cela contribue à la méfiance à l'égard des affirmations des fournisseurs de technologie. L'hétérogénéité du secteur du transport maritime et les incitations divergentes exacerbent les difficultés de

mise en œuvre. Le document propose des solutions de financement par des partis tiers pour pallier le manque de ressources par les banques et les armateurs eux-mêmes (Rehmatulla et al., 2017).

Pour surmonter les obstacles d'informations asymétriques, Rehmatulla et al. (2017) proposent le financement direct par des sources publiques des essais de technologies véliques sur des navires commerciaux. Cela fournirait des données solides sur les performances. La modélisation et la validation informatiques pourraient compléter les essais en grandeur réelle pour faciliter les décisions d'investissement. Le manque de données et leur accessibilité asymétrique diminuent la croissance du secteur et participe aux incitations fractionnées. Ces dernières sont citées par Karslen et al. (2019), Köhler (2020) et Rehmatulla et al. (2017) comme une barrière importante au développement de la filière.

### 1.2.1 Karslen et al.

Une étude similaire à Mahmoudi et al. (2024) (1.2) examine l'impact de différentes politiques sur la transition de l'industrie maritime vers des solutions à faible émission de carbone. La publication se concentre sur la diffusion de la technologie du rotor Flettner dans le cadre du transport maritime en vrac sec (« *time charter dry bulk* ») (Karslen et al., 2019).

Les résultats montrent que la combinaison d'un prix du carbone de 50 \$/mtCO<sub>2</sub> avec de projets pilotes est nettement plus efficace pour réduire les émissions que la mise en œuvre de politiques séparées individuelles. Cette combinaison est aussi plus performante qu'un crédit carbone plus élevé à 200 \$/mtCO<sub>2</sub>. Le prix du carbone ainsi que le prix du fuel seul ne sont pas les uniques incitations qui changeront drastiquement les émissions de gaz à effets de serre. En effet, certains scénarios simulés montrent un crédit carbone haut ou un prix du fuel élevé sans avoir le résultat le plus optimal (Karslen et al., 2019).

Les résultats indiquent que des politiques supplémentaires sont nécessaires pour surmonter des obstacles tels que l'imperfection de l'information et le fractionnement des incitations (« *split incentives* »). Elles sont de nature à entraver l'adoption généralisée de la technologie du rotor dans le secteur du vrac sec. Par exemple, dans un contrat « *time charter* », l'opérateur du navire paye pour le carburant et le propriétaire du navire est responsable de la technique et est donc aussi décisionnaire de l'éventuelle pose d'un rotor. Mais l'armateur n'a pas la perspective d'augmenter le prix de la location du navire. Les résultats de Karslen et al. (2019) sont plus conservateurs que les modèles de ses pairs qui ne prennent pas en compte ces incitations fractionnées.

L'étude modélise un set de 1 navire par armateur et 100 armateurs sur une route favorable à l'utilisation des Rotors Flettners. Ainsi, l'économie d'échelle liée à la commande de plusieurs rotors n'est pas prise en compte. En conséquence, un prix élevé du carbone associé à de multiples projets démonstratifs est essentiel pour promouvoir l'adoption du rotor sur les routes où les conditions de vent sont défavorables. Une option suggérée pour améliorer les taux d'apprentissage et de diffusion de la technologie du rotor consiste à se concentrer sur les routes où les conditions de vent sont favorables dans un premier temps, ce qui profitera aux armateurs opérant sur des routes moins favorables à plus long terme. Dans ce modèle, un projet ne peut pas échouer et avoir un impact négatif sur la perception de la technologie par l'industrie. Cela représente une simplification importante, car les technologies de niches sont sensibles à leurs premiers échecs (Karslen et al., 2019).

Cependant les données montrent que l'abondance de projets démonstratifs diminue leurs impacts sur le développement des rotors, ce qui suggère qu'ils devraient être en petits nombres, de grandes qualités, distincts et en collaboration avec l'industrie pour maximiser leurs pertinences, la diffusion de l'information et les prévisions de l'industrie (Karslen et al., 2019).

### 1.3 Remarques finales et lacunes de la littérature

En conclusion la littérature fournit beaucoup d'études technoéconomiques ainsi que des études de l'impact des lois environnementales sur l'industrie du transport maritime, cependant elles s'adressent souvent au secteur du shipping en entier ou comme Mahmoudi et al. (2024) seulement sur le secteur de la propulsion des navires et l'utilisation de carburants alternatifs. Dans ce cadre, le vent est rarement cité comme un carburant, ce qui explique son intégration jugée limitée par Allwright (2024) dans le règlement « *fuel UE* ».

Rehmatulla et al. (2017) est un exemple de travail basé sur des « workshops » et des interviews avec les acteurs du secteur pour en déduire les obstacles au développement, mais n'analyse pas le secteur avec au centre, les acteurs de la propulsion éolienne. Dans cette étude, le centre de l'attention est d'abord sur les barrières au développement du point de vue de l'industrie globale ensuite sur l'implémentation des WASPs du point de vue des armateurs. Les chercheurs ont peu étudié la propulsion vélique avec les acteurs de cette nouvelle industrie comme centre d'attention. Des étudiants de l'AMA ont traité leurs business modèles à plusieurs reprises, mais pas les relations avec leurs environnements.

D'autres études comme celle de Karslen et al. (2019) analyse la propulsion vélique, mais seulement pour la technologie des rotors. La littérature ne cite presque pas la branche des armateurs 100 % vélique. Bien qu'elle ait entièrement sa place dans le secteur de la propulsion éolienne, et de surcroît verte. Ce qui est paradoxal, car les journaux grand public en parlent régulièrement (Chaillou, 2023 ; Pottier, 2021).

La revue de la littérature nous fait constater la sous-représentation des néoarmateurs (armateur 100% vélique) dans la littérature scientifique.

Une analyse sectorielle centrée sur ces deux acteurs principaux de la propulsion vélique : les équipemebtliers et les néoarmateurs est nécessaire. Une telle analyse, n'a encore à ma connaissance pas été faite pour les néoarmateur car absent de la littérature. De

plus la plupart des analyses sectorielles sur les équipementiers sont centrées sur les armateurs et l'industrie maritime au sens élargie. Une réflexion qui prend le chemin inverse en plaçant les néoarmateurs et les équipementiers au centre de la recherche permettra un nouveau point de vue sur le sujet.

La littérature manque d'abord une analyse où les néoarmateurs sont considérés, et ensuite où les perspectives des équipementiers et des armateurs 100% véliques vis-à-vis de l'industrie plus large sont approfondies.

# Chapitre 2

## Méthodologie et collecte de données

L'objectif de ce chapitre est de synthétiser les axes de recherche avec la figure 3 et d'expliquer le « comment » de l'échantillonnage des témoignages.

Cadre de recherches conceptuel

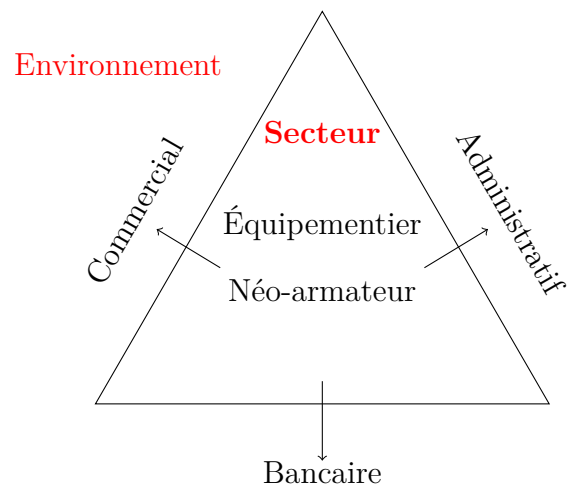


FIGURE 3 – Cadre de recherches contextuel  
Source : propre travail

### 2.1 Cadre de recherches conceptuel

Le secteur de la propulsion vélique comporte deux principaux acteurs, les néoarmateurs et les équipementiers. Le premier utilise la propulsion vélique, le second la conçoit

et le triangle les englobe. Les flèches représentent les relations du secteur avec leur environnement et les 3 termes « Commercial, Administratif et Bancaire » représentent les 3 groupes considérés comme directement adjacents et les plus importants à la survie et à la croissance de la propulsion vélique.

Le secteur a besoin de beaucoup de compétences transversales, par conséquent certaines entreprises ont beaucoup de contacts avec le secteur de la propulsion vélique. Parfois ces liens sont très importants, mais ils ne sont pas bilatéraux. À titre illustratif, le chantier naval est un partenaire presque incontournable pour les participants de la propulsion vélique. Cependant il n'est dépendant ni de l'équipementier ni du néoarmateur, car ce n'est pas son cœur de métier et les carnets de commandes sont remplis par d'autres clients. Cette dépendance est importante pour déterminer quel acteur revient dans quel environnement ou secteur.

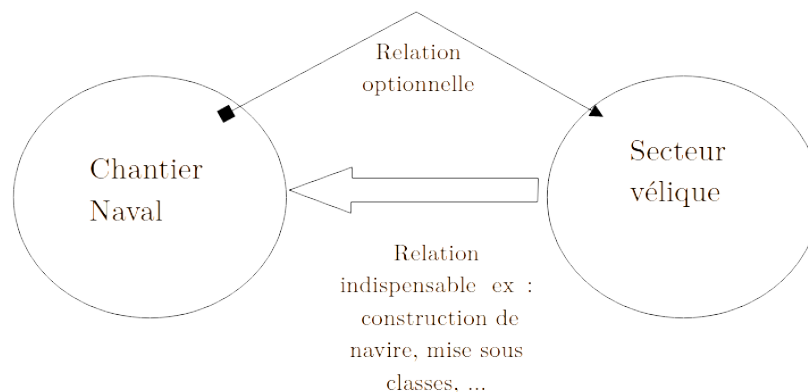


FIGURE 4 – Illustration de l'importance des relations entre entreprises dans le cadre de leur catégorisation

Source : propre Travail

Par ailleurs, le vent est le point commun entre le constructeur de WASPs et l'armateur 100% vélique. Notons qu'au fur et à mesure que le secteur grandit, un écosystème d'entreprises se construit. Par exemple, certaines microentreprises se spécialisent dans l'import-export de cargaisons transportées à la voile et au moins une société se spécialise dans le conseil relatif à cette nouvelle forme de propulsion verte. ces entreprises sont exposées à la croissance du secteur et y participent par procuration. Leurs tailles sont limitées par celles des néoarmateurs et des équipementiers. Pour cette raison, ils ne sont

pas inclus dans le triangle.

Les recherches ont été faites en anglais, français et néerlandais. De ce fait, la plus grande inconnue vient de l'Asie, où internet et la langue sont des barrières beaucoup plus significatives. Il existe des entreprises asiatiques comme *Dealfeng*. L'armateur japonais *K Line* a récemment fait l'acquisition d'un constructeur de kite (Teillard, 2024). Notons aussi que certains équipementiers et au moins un armateur vélique moderne construisent ou posent leurs unités dans des chantiers navals asiatiques (TOWT & LITA.co, 2024). L'Asie, menant la danse dans la construction de navires, joue finalement un rôle important dans la production de nouveaux navires et équipements.

## 2.2 Sélection des entreprises et collecte des données

Les choix des interviews ont été grandement influencés par les contacts établis. Ont cependant été privilégiées des entités dont il était probable et parfois certain qu'elles avaient eu des relations rapprochées avec l'industrie du transport maritime à la voile. Les acteurs visés étaient les banques, l'industrie financière en général, les armateurs, les entreprises du secteur vélique et des acteurs administratifs (institutions de subventions et sociétés de classification). Une liste exhaustive des personnes contactées n'a pas été tenue, mais une cinquantaine a été répertoriées. Parmi elles, 4 armateurs, une vingtaine de startups dans la propulsion éolienne, 11 financiers et 6 personnes liées au secteur (SC, institut de recherches et lobby). Ajoutons qu'une même entité a pu être contactée via de multiples personnes pour augmenter les chances de réussite.

Une recherche qualitative a permis en peu de temps d'obtenir une vue d'ensemble sur les sujets traités. Un début de recherche quantitative avait été effectué puis abandonné. Un manque de temps et de pertinence par rapport aux objectifs de ce mémoire explique le focus exclusif sur les interviews. Le nombre d'interviews compense le risque d'informations erronées, les informations étant aussi recoupées par les recherches personnelles. De plus, des interviews sont plus pertinentes pour une analyse d'un petit secteur, les professionnels étant plus susceptibles de connaître l'ensemble de leur industrie.

Notons qu'une partie de la recherche s'est faite en présence lors de 3 évènements, un colloque sur le transport maritime à la voile organiser par l'École Nationale Supérieure Maritime à l'occasion du départ de la transatlantique Jacques Vabres au Havre, la première réunion des sociétaires de la coopérative Windcoop et la visite de Canopée<sup>2</sup> à Bremen. Ces rencontres ont permis de faire connaître ma recherche et de glaner beaucoup d'informations et de détails.

Après quelques essais, il est apparu qu'il est plus aisé de contacter des personnes via LinkedIn ou lorsqu'un téléphone est renseigné que via email. Les premiers contacts décisifs qui débloquent l'accès aux bonnes personnes se font lorsque les rencontres sont en présence. Enfin, chaque mail ou message doit être fait sur mesure en s'adaptant à la personne, langue et entreprise ciblées. Les messages sont concis, polis et montrent rapidement le lien entre le mémoire et la position de l'interlocuteur tout en exhibant une connaissance du secteur. Il est important de noter qu'obtenir des interviews prend du temps et est fortement corrélé au nombre d'entretiens déjà réalisés. Les entreprises avec qui le contact était le plus ardu dans l'ordre croissant de difficultés étaient les armateurs 100% véliques, les équipementiers, les banques, les fonds d'investissement et les armateurs. C'est également dans cet ordre que les recherches se sont articulées.

Les deux premiers étaient relativement faciles à contacter, car le sujet de mon mémoire les concernait directement. C'étaient souvent des startups en levée de fonds ou en recherche de ressources supplémentaires et/ou avec peu d'employés ce qui facilitait l'accès aux personnes responsables avec un large rayon d'expertises (avoir peu de collaborateurs demande plus de compétences transversales) et aux gérants directement.

Les personnes dans les banques et fonds d'investissements répondaient moins et redirigeaient vers leurs collègues. Beaucoup de ces acteurs ont des sections « écologiques » et « durables », mais il était difficile de contacter/identifier une personne spécifiquement

---

2. Premier navire moderne construit pour équiper des WASPs

responsable du transport maritime et qui est impliquée dans le durable et l'innovation.

Enfin, moins l'entreprise a de liens avec le secteur plus il est difficile d'établir un contact, car son cœur d'activité n'est pas la propulsion vélique ce qui réduit l'intérêt d'une interview. Citons par exemple *CarGill* qui a monté des voiles rigides sur un grand navire (Cargill media team, 2023). Leur cœur de métier est l'importation et l'exportation de *commodities* alimentaires, ils sont donc plus susceptibles d'accepter une interview sur ce sujet plutôt que sur la force vélique.

Il est naturellement impossible de connaître les raisons d'absences de réponses et le risque de biais de confirmation existe, car les interviews ont tendance à être données à des personnes hautement impliquées dans le sujet.

Dans l'ensemble, l'objectif était de réaliser des interviews d'entreprises véliques et d'acteurs importants directement liés à l'industrie maritime classique pour comprendre comment ces nouvelles entreprises se placent et interagissent avec l'industrie déjà existante du shipping (c.f. Introduction).

La recherche de correspondants a deux objectifs.

1. Réunir un panel représentatif de l'industrie vélique
2. Avoir l'avis d'acteurs clés, identifiés comme tels car directement liés au fonctionnement de la filière vélique

La priorité étant donnée aux acteurs éoliens eux-mêmes, il a été possible de rencontrer plusieurs participants de tailles différentes et sur des segments différents de technologies et de business modèles. Des entreprises de l'environnement immédiat du vélique ont ensuite été recherchées. La sélection du type de sociétés est complexe, car ils sont très nombreux.

Le deuxième type de firme recherchée pour un interview après les acteurs éoliens était les financeurs, car un des premiers défis que Mander (2017) et Rehmatulla et al. (2017)

rapportent sur l'industrie vélique était ses difficultés à se financer. H. Beckers (2019) et S. Veyt (2018) avait en outre cité le financement du secteur comme un aspect important. Ce fut confirmé lors des interviews de « Fair transport - Cargo Under Sail » (s. d.), « SailLink » (s. d.) et Velic consulting (s. d.). Seule une banque a pu être interviewée. Aucun *Ventures capitalist*, fonds structurel ou gestionnaires de fonds n'a répondu présent. Ajoutons que les *Business angels* auraient aussi pu également être une cible, car considérés comme des investisseurs importants lors des interviews de Banque Populaire Grand Ouest, Fairtransport et SailLink (communications personnelles, 1er décembre 2023, 29 novembre 2023 et 21 février 2024).

Le troisième type de firmes recherchées étaient des organismes de recherches, des consultants des SC, des lobbys et des organismes de recherches (comme le « MARIN », Velic consulting et une des membres de l'administration européenne en charge de l'allocation de subventions).

Tous les acteurs du marché ont besoin d'obtenir une approbation de classe pour armer leur navire, pour valider leurs designs ou l'installation de leurs équipements. Les sociétés de classification sont centrales dans ce processus. Ce sont parfois des « Recognised Organisation » (IACS) et elles peuvent se substituer à l'état pavillonnaire pour des certifications SOLAS. De plus une certification de classe est un argument marketing pour les startups (« Wisamo by Michelin - maritime transport », 2023). Les SCs sont très pertinentes dans le cadre de la recherche.

L'IWSA est le seul lobby spécifique à la propulsion vélique, aucun entretien n'a pu être obtenu. Un responsable de l'allocation de subventions au sein de l'UE aurait aussi pu aboutir sur quelque chose d'intéressant, car plusieurs subventions ont été attribuées à des startups, un aspect très important (car fait partie du financement), mais pas crucial au démarrage d'une entreprise (Aleixendri, 2023; « Funding & tenders, airseas », s. d.). Le financement public est néanmoins cité comme solution par Nelissen et al. (2016) et Rehmatulla et al. (2017) pour surmonter les barrières aux développements rencontrées par l'industrie. Des projets comme « Beyond the sea » font partie d'un programme pilote

directement financé par une région (ici Aquitaine). La France et la Belgique, mais pas que, ont des structures publiques destinées au financement de la transition écologique comme « Koninklijk besluit tot vaststelling van de gebruiksvoorwaarden van het Energietransitiefonds » (2017) et « Section 1 : Agence de l’environnement et de la maîtrise de l’énergie (Articles L131-3 à L131-7) - Légifrance » (2004) (« ADEME », s. d. ; « Energietransitiefonds », 2023). L’obtention de subvention est donc un aspect important des interviews, surtout compte tenu de leurs complexités. C’est un point soulevé par presque tous les intervenants.

Pour finir, l’interview d’un consultant permet d’avoir un point de vue plus transversal et assez complet sur la branche vélique et de ses défis. L’interview d’un organisme de recherche et d’un bureau d’étude avait aussi l’objectif d’amener une approche plus technique, mais n’a pas pu se faire.

La figure 5 montre les variétés d’entités visées ainsi que les interviews obtenues. Notez l’entreprise de conseils « Velic Consulting » au sein du secteur, spécialisée, comme son nom l’indique uniquement sur le secteur de la propulsion à la voile. Le Lloyd’s Register conseil aussi beaucoup à côté de son activité historique de classification.

Rajoutons qu’il a été important de s’adresser à des entreprises de tailles différentes (voir 1) pour que la branche vélique soit bien représentée. Les entreprises ont des tailles diverses et ont grandi dans des contextes différents. En termes d’importances, presque toutes les technologies et tous les segments du marché de la propulsion éolien ont été interviewés. Il manque uniquement un équipementier de voile souple et de voile rigide, respectivement dernier et troisième en termes du nombre d’installations (European Maritime Safety Agency et al., 2023). Cela n’enlève pas la pertinence de l’échantillon de données.

**Banque Populaire Grand Ouest, Jifmar et Lloyd’s Register** sont des entreprises dont le cœur d’activité n’est pas la propulsion à la voile. Elles ont des interactions plus ou moins importantes ou/et incontournables relatives à leurs tailles avec le secteur vé-

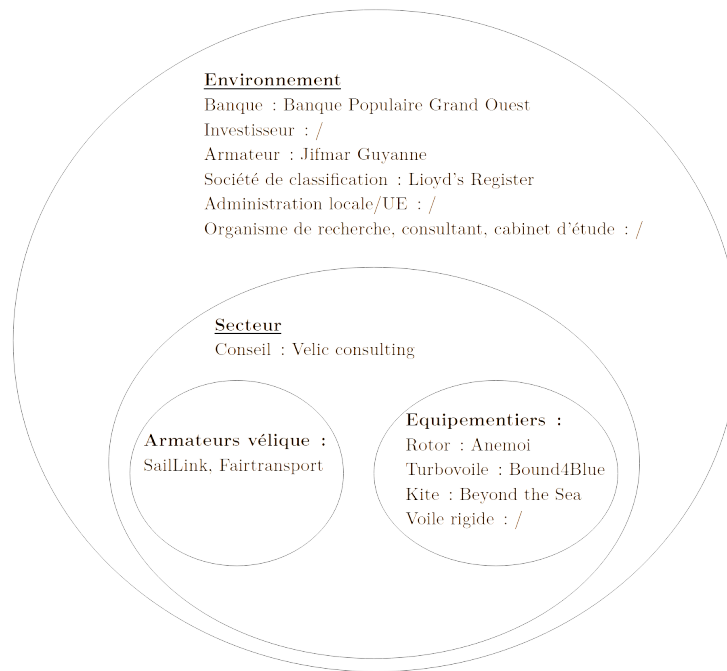


FIGURE 5 – Vue d'ensemble des acteurs visés et interviewés  
 Source : propre travail

lique. Ce sont des entreprises dans l'environnement direct de la propulsion vélique comme mentionné dans la figure 3

En conclusion, la recherche d'interviews a d'abord visé les participants de la branche éolienne en prenant soin de sélectionner des entreprises de tous les secteurs, de tailles différentes et qui utilisent toutes les technologies disponibles ou en développement aujourd'hui. Ce qui a été presque entièrement fait, n'endommageant pas de manière conséquente l'échantillon de données.

Taille	Équipementiers	Armateur	Autre
Non financée	•	SailLink	•
Financée en phase de R&D	Beyond the sea	•	•
Entreprise de petite taille	•	Fairtransport	Velic consulting
Société de taille moyenne & grande	Anemoi & BoundforBlue	•	•

TABLEAU 1 – Classement des interviews du secteur vélique par tailles et par types  
 Source : *Propre travail*

Ensuite, la recherche de financeurs a été faite, car le financement a été déterminé comme complexes par plusieurs académiciens et cela a été confirmé par les interviews. Ici un acteur important et incontournable fut interviewé.

Enfin des entretiens avec une SC, un armateur et un consultant ont été réalisés. Ce qui vient compléter l'échantillon et donne la transversalité nécessaire pour l'analyse sectorielle. Les armateurs et les SCs sont incontournables dans le shipping.

Le dataset est pas parfaitement complet, mais suffisant pour éclairer la question de recherche (voir Introduction).

# Chapitre 3

## Présentation des technologies

La propulsion vélique est l'un des axes de la transition écologique dans l'industrie du transport maritime. Il existe différentes technologies qui peuvent exploiter le vent. Les principales sont le rotor Flettner, la voile rigide ou souple, la turbovoile et le cerf-volant (*kite*). Seule la voile souple semble séduire les entreprises qui se lancent dans le 100% vélique pour l'instant. Le reste est destiné à réduire la consommation de carburant et se vend plutôt comme des rétrofit mais au fur et à mesure que la confiance des armateurs s'installe, des nouveaux navires vont voir le jour, en témoigne le nombre d'installations croissantes illustré par la figure 1. Les WASPs dominent aujourd'hui quasiment tout le secteur de la propulsion vélique (propres recherches confirmées par European Maritime Safety Agency et al. (2023) et Velic consulting (s. d.)).

En plus de l'avantage principal de la diminution de la consommation de carburant et donc des rejets de gaz à effets de serre, les voiles peuvent apporter d'autres avantages, tels que la diminution du roulis, la diminution de l'espace réservé au réservoir de carburant et la possibilité de manœuvrer en cas de panne de machine.

### 3.0.1 WASPs avec moteur

Pour commencer, des descriptions brèves des équipements avec moteur sont présentées. Ici, nous définissons un « équipement avec moteur » comme une technologie qui lorsque déployée a besoin d'un moteur pour fonctionner (ex. : rotor). Les autres technologies ont aussi besoin d'énergie mécanique pour se régler ou se hisser, mais leur fonctionnement de base s'en passe (ex. : aile rigide réglée automatiquement).

#### Rotor Flettner

Le rotor Flettner porte le nom de son inventeur, Anton Flettner, un ingénieur allemand qui l'installa pour la première fois à bord d'un navire au début des années 1920.

Un rotor Flettner se compose d'un cylindre vertical qui tourne et génère une portance par effet Magnus lorsque le vent souffle dessus. L'effet Magnus est un phénomène dans lequel un cylindre en rotation se déplaçant dans un fluide subit une force perpendiculaire à la direction de l'écoulement du fluide. Cette force crée une portance. Dans le cas du rotor de Flettner, cette portance permet la poussée en avant. Pour créer cette force, le rotor doit tourner sur lui-même. Il est donc entraîné mécaniquement, ce qui fait augmenter la consommation de carburant. Le rotor est plutôt léger et la plupart de son poids est situé à la base de celui-ci où se trouvent les renforcements et les moteurs. Il est assez bien adapté au rétrofit car sa force motrice augmente avec la vitesse du navire.

Un *trade-off* se fait entre la force motrice du rotor et la consommation de carburant du moteur principal (directement liée à sa force motrice). Augmenter la vitesse du navire augmente la force motrice de l'appendice et réduit la consommation absolue. Cependant, la résistance à l'avancement est proportionnelle au carré de la vitesse du navire (LATAIRE, 2023). Donc même, si l'économie de carburant absolue est plus élevée à haute vitesse, ce n'est pas le cas de l'économie de carburant relative à la vitesse. La force motrice du rotor augmente moins vite (en fonction de la vitesse du navire) que la force totale nécessaire pour augmenter la vitesse du navire. Le rotor est moins efficace dans le cas d'une propulsion vélique totale qui est plus lente (European Maritime Safety Agency et al., 2023 ;

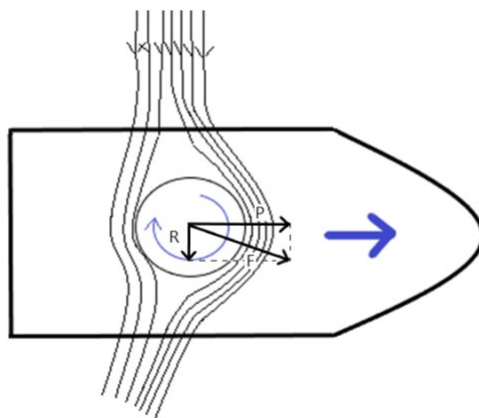


FIGURE 6 – Forces appliquées au rotor Flettner  
Source : P. Landoeuer (2018)

Gadkari et al., 2017).

Cependant, les rotors Flettner ont certaines limites, leurs efficacités dépendent des routes commerciales, des conditions météorologiques et de la direction du vent. Les cylindres rotatifs produisant la poussée génèrent principalement des forces dans le plan horizontal, la stabilité du navire peut être compromise, mais peuvent être stoppés facilement. Les rotors ne sont montés que sur des navires dont la surface de pont libre est suffisante et des questions de safety se posent quant aux mesures à prendre en plus pour des navires comme les tankers (Nuttall & Kaitu'u, 2016). Même s'il est considéré « *non-essential deck equipment* » par le Lloyd's Register la conséquence de sa destruction par une vague ne doit pas endommager les installations du pont (Lloyd's Register, communication personnelle, 2 mai 2024 ; Anemoi Marine, communication personnelle, 7 mars 2024 ; European Maritime Safety Agency et al. (2023)).

## Turbovoile

La turbovoile ou *suction wing* se base sur le fonctionnement d'une voile normale, mais accentue la différence de pression entre chaque côté de l'aile pour augmenter la force résultante motrice. Un ventilateur aspire l'air sous le vent et augmente la dépression. Comme les rotors, la technologie n'est pas neuve. Inventée dans les années 80 (« Turbosail », 2024),

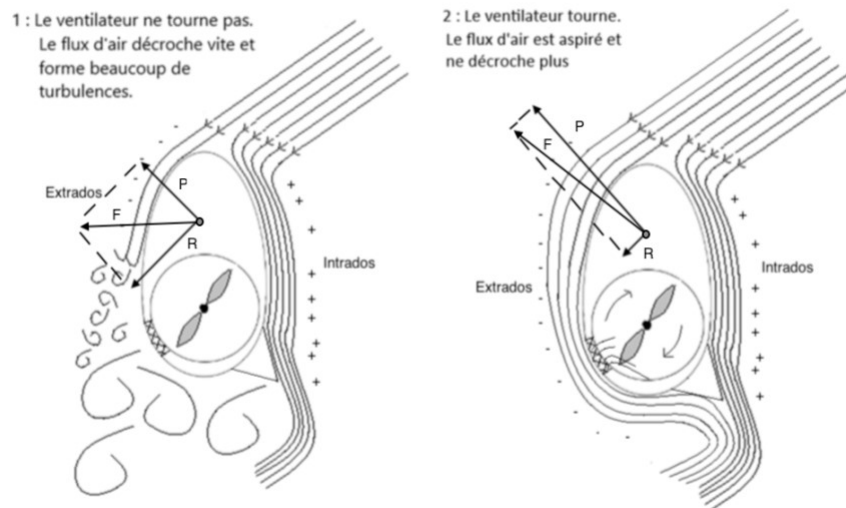


FIGURE 7 – Écoulement des lignes d'air autour d'une turbovoile avec et sans aspiration  
Source : P. Landoeuer (2018)

elle est la deuxième technologie la plus utilisée après le rotor Flettner (European Maritime Safety Agency et al., 2023). Contrairement aux rotors, la turbovoile agit comme une voile profilée si elle est utilisée sans ventilateur, bien qu'elle a un design moins encombrant (surface au vent plus faible comparée à une aile rigide). Un design plus compact est moins encombrant pour la visibilité de la parcelle.

### 3.0.2 WASPs sans moteur

Usuki Pioneer était l'un des premiers à avoir tenté l'aide à la propulsion par le vent et utilisait une voile rigide. Il existe 3 types d'équipements sans moteur : la voile souple, la voile rigide et le kite. Les deux derniers sont rarement utilisés sur les voiliers de plaisance.

Les designs varient beaucoup, ce qui rend la catégorisation plus complexe. De récents projets comme Michelin groupe (s. d.) propose une voile gonflable et télescopique, tranchant avec la conception classique de la voile souple. Ayro (s. d.) vend une voile rigide à profil, dont la surface est une toile tendue de manière similaire à une jonque chinoise. Notez que les voiles peuvent être à profil ou sans profil (plate ou comme une aile d'avion).

## La voile souple

La voile souple est le système de propulsion classique des voiliers. Elle a été utilisée pendant plusieurs milliers d'années, jusqu'aux années 1920/1930, où elle a progressivement disparu au profit des moteurs à vapeur. Cependant, le développement des voiles et des matériaux a continué pour la voile de plaisance et de course. À titre d'exemple « OneSails » (s. d.) a conçu un foc de 448 m<sup>2</sup> qui pèse 197 kg. C'est un record et une voile de compétition. Nous pouvons aujourd'hui appliquer ces connaissances aux navires marchands. La voile souple est par définition rétractable. La voile souple peut être incorporée dans un gréement classique ou un gréement spécialement pensé pour.

## La voile rigide

Les premiers navires marchands équipés de voiles rigides le *Hin Aitoku Maru* et le *Usuki Pioneer* ont été construits par la *Japan Marine Machinery Development Association* (Hamada, 1985). Ce système permettait une diminution de la consommation de carburant, avec des économies rapportées en moyenne de 10% à 30% avec des conditions météo favorables (Bergeson & Greenwald, 1985).

Quelques années plus tard, entre 1986 et 1988, le vraquier *Ashington* a été équipé d'une voile rigide posée au-dessus de la parcelle développée par l'ingénieur aéronautique *John Walker*. Ce système a permis d'économiser en moyenne 8% de carburant et jusqu'à 20% avec des conditions météo favorables (Bonney & Walker, 1986).

Certains voiliers de compétition comme la série des F50 (« *Sail GP* », s. d.) ou des AC (Americas Cup class) en sont munis. Ce sont les voiliers les plus performants du monde et sont aussi un support pour travailler l'aérodynamisme et la portance des voiles. Ils ont une fonction similaire aux formules 1 et cela a déjà pu se vérifier à travers les projets « *Bar technologies* » (s. d.) et *Ayro* (s. d.) qui ont des fondateurs/équipes issus directement de l'*America Cup* (« *Sail GP* », s. d. ; *Wheatley*, s. d.).

Les voiles rigides peuvent être profilées comme une aile, on peut les appeler *wingsail*.

## Kite

Les kites peuvent être attachés à la proue d'un navire pour générer de la portance. Ils nécessitent un lancement et une rétractation en fonction des conditions de vent, et des systèmes automatisés sont développés pour cela. Contrairement aux autres technologies, les kites peuvent exploiter les vitesses de vents plus élevées et plus stables présentent à des altitudes plus grandes. Cependant, il y a un compromis entre l'altitude et la force de traction du kite à cause de l'augmentation de l'angle en fonction de la hauteur dans l'air du kite (Dadd et al., 2010). Selon Beyond the Sea (communication personnelle, 13 mars 2024) c'est dans la technologie du kite qu'il y a le plus de potentiel, à cause du vent plus fort et de son âge très jeune, popularisé dans les années 90 (« Kiteboarding », 2024).

Il existe deux types de kites : passifs et dynamiques. Les kites passifs suivent simplement la direction du vent, tandis que les kites dynamiques se déplacent activement pour augmenter la portance. Les kites dynamiques peuvent générer une poussée efficace par vent arrière, mais leurs efficacités diminuent rapidement lorsque l'angle du vent change (European Maritime Safety Agency et al., 2023).

Pour les loisirs et les petits bateaux de pêche, les kites disponibles ont une taille maximum de 80 m<sup>2</sup> (« Libertykite », s. d.). Pour les grands navires, l'objectif de la société interviewée (Beyond the Sea, 13 mars 2024) est de doubler chaque année la surface de leurs kites conçus pour la marine marchande. Afin de communiquer un ordre de grandeur, les kites en test aujourd'hui font entre 200 m<sup>2</sup> et 1000 m<sup>2</sup> (« airseas », s. d. ; Beyond the sea, s. d.).

## 3.1 Technologic Readiness Level

La notion *Technologic readiness level* est importante, car elle permet d'estimer l'état d'une technologie. Analyser l'intégration d'une industrie naissante dans celle du transport maritime est moins pertinent si les technologies introduites sont loin d'être opérationnelles.

### Définition

TRL est une méthode d'analyse de technologie en développement, originellement conçue par la NASA afin de mesurer la maturité des composants, en vue de leurs utilisations. Cette méthode est aujourd'hui utilisée dans beaucoup d'agences gouvernementales, notamment par la Commission européenne. Bien qu'à l'origine purement technique, elle est maintenant appliquée aux projets de manière plus générale (Européenne, 2014).

Les niveaux de *readiness* sont décrits en 9 étapes :

1. Principes de base observés et rapportés
2. Concepts ou applications de la technologie formulés
3. Fonction critique analysée et expérimentée ou preuve caractéristique du concept
4. Validation en laboratoire du composant ou de l'artéfact produit
5. Validation dans un environnement significatif du composant ou de l'artéfact produit
6. Démonstration du modèle système / sous-système ou du prototype dans un environnement significatif

### *Valley of death*

7. Démonstration du système prototype en environnement opérationnel
8. Système réel complet qualifié à travers des tests et des démonstrations
9. Système réel prouvé à travers des opérations / missions réussies

*La VoD se trouve généralement à la septième étape*

(Européenne, 2014 ; Héder, 2017)

### **Technologic valley of death ou VoD**

Le paradoxe de la VoD désigne la situation dans laquelle une technologie ne parvient pas à passer de la phase de démonstration à la phase de commercialisation.

D’abord, la recherche académique est à 100% financée par l’état. Lorsque la technologie est montrée faisable en laboratoire, le financement de la recherche devient semblable à de l’investissement. L’état y est de moins en moins impliqué au fur et à mesure que la technologie se développe. À un certain point, elle perd ses financements publics sans être assez attrayante pour des investisseurs, principalement à cause du coût de transformation de cette technologie en un produit commercialisable. Il existe d’autres raisons d’échecs par exemple, si la technologie n’est pas compétitive, mais a besoin d’un marché pour se développer, si le produit ne peut être viable qu’à grande échelle (ex. : téléphone), ou encore, si ce n’est pas clair sur comment cette technologie va être introduite dans la société (ex. : Intelligence artificielle) (Gbadegeshin et al., 2022 ; McIntyre, 2014).

En résumé, la vallée de la mort désigne le fossé qui existe entre les premiers stades de la recherche d’une technologie et les derniers stades de sa commercialisation par les entreprises (Muscio et al., 2023).

#### **3.1.1 Niveau de maturité des WASPs**

Toutes les technologies n’ont pas le même niveau de maturités. Les rotors Flettner et les turbovoiles sont considérés comme matures grâce à plusieurs navires gréés. Les rotors représentent plus d’un tiers des installations et l’option des turbovoiles se développe rapidement (European Maritime Safety Agency et al., 2023).

Les rotors Flettner sont actuellement la technologie la plus aboutie dans le domaine de la propulsion assistée par le vent pour les navires. Plus d’un tiers des navires utilisant la propulsion éolienne sont équipés de rotors ( voir tableau 2) ce qui en fait la solution la plus populaire. Ces installations ont prouvé que les rotors peuvent réduire considérablement

Technologies	Nombre d'installations faites ou planifiées	Entreprises qui ont complété une installation	Entreprises actives
Rotor	23	4	6
Turbovoile	13	2	3
Voile rigide	13	5	13
Kite	6	1	2
Voile souple	1	1	3
<b>Total</b>	<b>56</b>	<b>13</b>	<b>27</b>

TABLEAU 2 – Nombre d'installations faites ou planifiées par technologie, Entreprises qui ont complété une installation et entreprise actives dans ces types de technologies.

Source : European Maritime Safety Agency et al. (2023) corroboré par Briere de La Hosserraye, C. (2024) et *propre travail*.

la consommation de carburant et les émissions de CO<sub>2</sub>, rendant les navires plus efficaces et écologiques. Depuis 2010, la plupart des installations ont été des rétrofits. Le succès et l'efficacité démontrés par les rotors ont conduit à une augmentation de leur déploiement (« Bulk carrier | Rotor Sails | Norsepower », s. d.; European Maritime Safety Agency et al., 2023; « Rotor Sail Installation and Services - Anemoi Marine », s. d.).

Les turbovoiles ou « suction wings » ont atteint un niveau de maturité technologique avancé, caractérisé par un développement rapide et des installations récentes. Depuis 2020, treize installations de cette technologie ont été réalisées, démontrant leurs efficacités et leurs fiabilités. Toutes les turbovoiles jusqu'à présent sont des rétrofits.

Les voiles rigides sont proches du stade 9 dans le cadre d'une implémentation pour des navires-cargos. Quelques navires en sont déjà équipés, mais la variété de designs fait qu'encore du temps est nécessaire pour qu'elles soit considérées complètement matures (European Maritime Safety Agency et al., 2023).

Les voiles souples modernes ont démontré une maturité technologique élevée grâce à des essais en mer, mais elles restent à un stade de développement inférieur par rapport aux voiles rigides, aux turbovoiles et aux rotors. À ce jour, ces systèmes sont installés sur deux superyachts pour assister la propulsion avec le vent (« *Maltese Falcon* (yacht) », 2024; Wesselby, 2021). Toutefois, aucun essai pilote sur de grands navires de transport maritime

n'a encore été réalisé. Cette limitation a conduit certaines entreprises de recherche à privilégier les voiles rigides, s'attendant à ce qu'elles offrent des performances équivalentes ou meilleures, avec des coûts de maintenance réduits (Neoline, 2023). Malgré ces choix, un prototype d'une nouvelle technologie de voile souple, sous la tutelle d'un industriel, a été annoncé pour être testé sur un navire Ro-Ro en septembre 2023, montrant un intérêt continu pour cette technologie (Michelin groupe, s. d.).

Un projet pilote grandeur nature pour le kite existe, mais n'est pas encore commercialisé. Des ventes de kites plus simples sans vol dynamique pour petits navires existent (Beyond the sea, s. d.). De plus, peu d'entreprises travaillent sur cette technologie, Skysails (s. d.) a changé de secteur et Airseas a un nouveau propriétaire malgré des moyens importants mis en place et une longue période de développement sans installation commerciale (« airseas », s. d. ; Teillard, 2024).

Technologies	Mature (8-9)	Presque mature (6-7)	En développement(6-1)
Rotors Flettner	X	•	•
Turbovoile	X	•	•
Voiles rigides	X	•	•
voile souple	•	X	•
kite	•	•	X
Voilier	•	X	•

FIGURE 8 – Niveau de maturité des technologies véliques

Sources : *propre travail* ; Briere de La Hossieraye, C. (2024) et European Maritime Safety Agency et al. (2023)

### 3.1.2 Niveau de maturité de la branche du 100% vélique

Ci-dessous une analyse TRL (3.1) pour le marché du transport 100% vélique à l'échelle européenne, en considérant que la fourchette de tailles des voiliers adaptées au commerce européen est de minimum 1000 DWT.

#### Principes de base observés et rapportés

La voile fonctionne depuis longtemps.

### Concepts ou applications de la technologie formulés

Depuis 2012, des bureaux d'architecte ou des sociétés de conseils ont proposé des designs de voiliers cargos modernes (ex. : Lade (2014)). Les voiliers ont été utilisés comme support de recherches (course et performances) et comme moyen de transport de marchandises à différentes époques.

### Fonction critique analysée et expérimentée ou preuve caractéristique du concept

Il est possible aujourd'hui d'utiliser un voilier pour transporter de la marchandise avec d'anciennes comme de nouvelles unités (« Notre voilier cargo - Transport maritime décarboné - Grain de Sail », s. d. ; « Tres Hombres », s. d.).

### Etapas 4, 5 et 6

Il existe au moins 2 voiliers cargos modernes et plusieurs sont en construction. Le business modèle fonctionne à son échelle actuelle (plus petit que 1000 DWT).

Valley of death VoD

### Démonstration du système prototype en environnement opérationnel

Aucun navire de minimum 1000 DWT n'a encore été construit. *TOWT* a récemment (21 juillet 2023) mis à l'eau un navire de 1000 tonnes de port en lourd, mais le navire doit prouver sa fiabilité (« Le premier #voiliercargo #TOWT a quitté Giurgiu le 21 juillet, pour l'instant pas #àlavoile, l'ETA à Constantza est prévue ce jour-même. » 2023). Il est encore difficile de mesurer la demande pour des *slots* dans ce type de navire. Notons que G. Folschette (2021) mentionne que la demande pour ce transport était au-dessus de l'offre en 2020 et 2021.

### Système réel complet qualifié à travers des tests et des démonstrations

Reste encore à prouver en situation réelle.

L'analyse du marché du transport 100 % vélique à l'échelle européenne montre que bien que la technologie des voiles souples à gréement classique ait démontré une maturité

élevée de par son histoire, son application marchande à grande échelle reste très limitée.

Depuis 2012, des designs de voiliers cargo modernes sont proposés, et des voiliers sont utilisés pour le transport de marchandises, mais avec des tailles largement inférieures à 1000 DWT. Deux voiliers cargo modernes existent, et plusieurs autres sont en construction (Neoline, 2023 ; TOWT & LITA.co, 2024), mais aucun grand navire n'est pleinement opérationnel. Le modèle économique fonctionne actuellement à petite échelle et rencontre des défis financiers et techniques à surmonter pour une adoption plus large (Fairtransport, communication personnelle, 29 novembre 2023). TOWT a récemment lancé un navire avec 1000 DWT, mais sa fiabilité doit encore être prouvée, et la demande pour ce type de transport est encore difficile à mesurer, bien que des indicateurs montrent un intérêt croissant (« À Douarnenez, la levée de fonds citoyenne de Towt atteint les 3 M€ », 2022 ; TOWT & LITA.co, 2024). Le système réel complet qualifié à travers des tests et des démonstrations doit encore faire ses preuves en situation réelle.

## 3.2 Des technologies prêtes pour leurs utilisations

Sommairement, les solutions de propulsions véliques sont à des phases différentes de maturités même entre fabricants d'une même technologie. Ces solutions ont des designs et fonctionnements uniques. Le rotor mène la danse en termes d'installations et d'achèvements, suivent la turbovoile et la voile rigide. Le kite et la voile souple ferment le peloton avec presque pas d'installations. Ce travail trie les techniques entre les deux terminaisons « avec ou sans moteur » par souci de simplicité. Mais des nomenclatures plus subtiles sont nécessaires pour mieux classer les technologies de propulsion éolienne.

Cependant, l'assistance à la propulsion vélique est technologiquement plus prête pour un déploiement à grande échelle que la branche du 100% vélique. Mais ces deux sous-domaines sont globalement à des stades de maturité technologiques assez avancés pour faire l'objet d'expérimentations commerciales et donc de recherches séparées.

# Chapitre 4

## Secteur de la propulsion vélique

Le secteur du transport maritime à la voile regroupe deux principaux types d'acteurs (dans le triangle, c.f. 3) bien distincts : les néoarmateurs et les équipementiers. Le chapitre précédent nous met en évidence les différents niveaux de maturité des technologies et souligne qu'elles sont presque toutes prêtes à un déploiement à grande échelle aujourd'hui ou dans un avenir proche. Ces deux styles de sociétés sont donc assez grandes pour faire l'objet d'une étude. Comme décrit dans le point 2.1, elles sont d'abord analysées séparément, puis nous décrivons leurs différences et similitudes. Ensuite, dans le chapitre suivant, les interactions avec leurs environnements sont traitées.

### 4.1 Équipementier

*Entreprise qui conçoit les gréements, ils construisent les WASPs.*

Ses clients sont des armateurs et leur objectif est de vendre un maximum d'équipements et de services associés en maximisant les profits. Il est en compétitions avec les autres technologies de propulsion éolienne et avec les autres solutions de décarbonations.

L'équipementier fait le pari que le vent est un moyen viable dans la transition énergétique du shipping.

### 4.1.1 Ventes et services

Les rotors sont vendus cash, car leurs clients ont les fonds nécessaires après l'année extraordinaire qu'a connu le shipping de 2022 (Alan Murphy, 2021). Ce sont leurs premières sources de revenus. Plus ils produisent, plus le cout marginal de chaque unité supplémentaire diminue, permettant d'offrir de meilleurs prix. Une économie d'échelle peut être aussi réalisée si l'entreprise installe beaucoup d'équipements sur des sister-ships, le savoir et l'expérience augmente, diminuant les gaspillages et augmentant la productivité (Effet d'apprentissage)(« Économie d'échelle », 2023). Enfin, les commandes par lots permettent à l'équipementier de réduire le prix unitaire tout en augmentant son chiffre d'affaires et garnissant son carnet de commandes. Elles sont un levier de négociations pour l'armateur. L'industrie vélique est jeune, l'annonce de grosses commandes par des armateurs (surtout s'ils sont connus) permet la légitimation de l'équipementier et peut avoir l'effet d'une publicité. Les équipementiers comme Anemoi Marine incubées par des armateurs ou grands groupes sont plus vite crédibles et bénéficient de facto d'un carnet de commandes plein (« About Anemoi Marine », 2023).

Il n'y a pas encore de leasing ou de location. Le leasing est un sujet en discussion dans le milieu, mais pas encore concret (Anemoi Marine, communication personnelle, 7 mars 2024, European Maritime Safety Agency et al. (2023) et Velic consulting (s. d.)).

Les équipementiers proposent aussi des services adjacents à la vente cash d'appendices.

Le premier service est l'entretien des équipements, enjeu important pour les équipementiers. Le plus long contrat de maintenance signé par Anemoi Marine (communication personnelle, 7 mars 2024) est de 10 ans. D'un côté l'équipementier est poussé à proposer des contrats de longue durée et chers. Et de l'autre, l'armateur veut minimiser les couts de maintenance et diminuer au maximum sa dépendance vis-à-vis de l'équipementier

qui restera un fournisseur critique. Il peut être judicieux pour l'armateur de choisir une technologie de réduction de gaz à effets de serre moins de niche pour diminuer sa dépendance aux pièces détachées. Un contrat de maintenance n'est pas forcément signé en même temps que la vente du WASP (Jifmar Guyane, communication personnelle, 29 avril 2024).

Le second service est la pose de l'équipement et son intégration (mise sous classe). La pose de l'équipement est faite par le chantier naval et une partie de l'intégration aussi. Ici l'équipementier travaille avec la SC et le chantier naval pour délivrer le produit prêt à l'emploi. La pose de l'équipement peut durer à titre illustratif de 5 heures à 2 jours. Elle peut être faite en 2 fois, d'abord le navire est préparé « *wind ready* »<sup>3</sup>(p.ex. : en Asie), ensuite les WASPs sont installés. La préparation et la pose ne doivent pas être faites au même endroit. Les équipements peuvent aussi être installés pendant la cale sèche sans qu'elle ne dure plus longtemps (Miltos Messinezis, 2024).

Le troisième service est la formation des marins, tous les équipementiers et personnes interviewées la considèrent comme importante et elle est même citée comme un enjeu par des hommes politiques et l'École Nationale Supérieure Maritime en France (*Colloque sur l'avenir du transport maritime à la voile*, 2023 ; Gael Cogne, 2024). Cependant, aucun équipementier n'a décrit la formation liée à l'utilisation des WASPs comme complexe. Anemoi Marine (communication personnelle, 7 mars 2024) dit qu'elle est rapide, Norsepower communique que la formation dure une demi-journée et Beyond the Sea (communication personnelle, 13 mars 2024) indique qu'elle demande la présence d'un technicien à bord pendant maximum quelques jours (pour l'utilisation du kite dynamique). Subtilement, Jifmar Guyane (communication personnelle, 29 avril 2024) précise que la compréhension des systèmes et composants est plus longue. Ici revient l'enjeu de la maintenance.

Le quatrième service regroupe les services supplémentaires comme par exemple, la vérification des performances, l'optimisation du routage météo et la vente d'une assurance supplémentaire pour protéger l'armateur contre les dégâts provoqués par une grue (Rehmatulla et al., 2017). L'offre d'un équipementier dépend de sa taille, les petites structures

---

3. voir section SC

se concentrent uniquement sur la R&D et la vente. L'équipementier possède les données liées à la performance de ses WASPs et l'enjeu du routage météo pour l'équipementier est de garder ses données en proposant un service de routage spécifique et performant (Anemoi Marine, communication personnelle, 7 mars 2024). Le routage météo est outsourcé (car pas du tout dans le domaine d'expertise de l'équipementier).

### 4.1.2 Recherches et Développements

Tous les équipementiers cités font leurs R&D eux-mêmes. Certains ont recours à des cabinets d'études pour des tâches spécifiques ou de vérifications (Jifmar Guyane et Anemoi marine, communications personnelles, 29 avril 2024 et 7 mars 2024).

Le besoin d'estimations et de calculs fiables et standardisés pour mesurer l'impact de la propulsion vélique est bien compris puisque le Marin (institut de recherche) y travaille avec l'American Bureau of shipping et citons aussi « WASP4 », initiative européenne (European Maritime Safety Agency et al., 2023 ; Hueber, 2024).

L'automatisation des navires est un facteur de décarbonisation du shipping parce que la numérisation des systèmes permet une meilleure utilisation des ressources et généralise, précise la collection de données. On mesure plus précisément l'estimation des gains de carbone occasionnés par l'installation d'innovations. La justesse de ces mesures réduit les incertitudes liées aux nouvelles technologies (Rehmatulla et al., 2017). Donc l'intégration des systèmes de propulsions véliques à des environnements toujours plus automatisés est un enjeu de compétitivité entre les acteurs du marché. En particulier dans les années à venir, car « l'installation de technologies innovantes » doit maintenant être mentionnée dans la base de données de l'OMI : « Ship Fuel Oil Consumption Database » ce qui donnera plus de précisions sur l'utilité des WASPs (European Maritime Safety Agency et al., 2023). Cette nouvelle règle appuie encore l'importance de la collection des données et la capacité des équipementiers à les mesurer, optimiser, automatiser et interpréter. Les données sont très stratégiques, utiles pour le routage météo et l'optimisation des réglages des voiles.

Cette intégration des systèmes dans le navire demande des compétences en informatiques bien précises, qui nous renvoient au besoin d'expertises transversales révélé précédemment par K. Proost (2013) (voir 1). Ces compétences ne sont pas forcément maîtrisées par les constructeurs d'équipements puisque, à titre illustratif, Ayro externalise une partie de sa collecte de données à D-ice Engineering (Jifmar Guyane, communication personnelle, 29 avril 2024).

De plus, la fusion plus profonde des wasps avec le navire peut être un argument de vente ainsi qu'un service additionnel. MEPC-81-INF.39 reduction of GHG emissions from ships , White paper on wind propulsion Submitted by Comoros, France, Solomon Islands and IWSA (2024) mentionnent les avantages qu'offrent les hélices à pas variables pour s'adapter facilement aux fluctuations de charges occasionnées par le vent. La complexification des systèmes augmente la dépendance de l'armateur à ses fournisseurs.

Ajoutons que la propriété des données est aussi un sujet. Dans quelle mesure l'armateur est-il propriétaire des données collectées par des équipements qu'il a achetés ?

Pour finir, R&D est un aspect important pour les équipementiers, car ils la font autant que possible en interne. La collecte des données, l'intégration et l'automatisation des appendices de propulsion éoliens est aussi un enjeu stratégique qui peut faire part de la R&D. Cette compétence n'est pas forcément complètement acquise par tous les acteurs, et elle pourrait constituer un avantage concurrentiel pour les entreprises qui en feront un argument de vente et/ou un service. Enfin, un effort collectif est réalisé pour mieux estimer, calculer et **standardiser** les économies faites par les wasps.

## 4.2 Néoarmateur

*Entreprise qui transporte des marchandises sur des navires principalement propulsés à la voile*

Ses clients sont les chargeurs et les écotouristes. Il est en compétition avec les autres armateurs et les technologies de propulsion vertes. Si cette branche de la propulsion vélique atteint des échelles industrielles, les écotouristes seront négligeables et ne seront plus une source de revenus conséquente. Ils ne font pas partie du business modèle à long terme.

Le néoarmateur fait le pari que le vent rajoutera une plus-value au transport maritime et que c'est le seul moyen de propulsion entièrement décarbonné à prix compétitif.

### 4.2.1 Les navires sans moteur et les nouveaux navires

Certains navires-cargos sans moteur sont immatriculés dans des pays comme le Vanuatu (« Vessel Characteristics », s. d. ; « Tres Hombres spec », s. d.). Aujourd'hui, Briere de La Hosserraye, C. (2024) recense 12 refits de vieux gréements pour le transport de cargaisons (en excluant les voiliers de croisières).

Deux armateurs ont construit des voiliers-cargos modernes. L'un, producteur de cacao et de café, en est à son deuxième navire et a élargi son offre de transport depuis 2023 avec « Grain de Sail logistique » (« Grain de sail logistique, renseignement juridique », 2023). L'autre société, présente dans les marchés de niches, a levé des fonds pour financer six nouveaux navires (TOWT & LITA.co, 2024). La levée fut très importante et a affiché un record d'intention d'investissement, témoignant de l'intérêt du public et des investisseurs privés pour l'idée (Vekeman, J., 2024). Une partie de la levée de fonds s'est réalisée sur une plateforme de financement participatif.

L'offre s'agrandit avec des entreprises comme Vela, Veer Shipping, et Neoline, qui veulent construire des navires modernes. La signature de contrats d'affrètement est cruciale pour le financement de ces projets (Banque Populaire Grand Ouest, communication personnelle, 1er décembre 2023, réunion des sociétaires de Windcoop coopérative, 22 novembre 2023). Cela concorde avec la littérature qui met en avant le problème des inci-

tations fractionnées (« *split incentives* ») entre l'affréteur et l'armateur dans un contrat « time charter » (c.f. 1.2.1).

Le secteur reste dynamique et on ne peut pas exclure de nouveaux arrivants. Citons, « VELA » (2023), une startup lancée par François Gabart ce dernier semestre, et l'entrée au capital de Neoline (2023) par CMA-CGM et Corsica Ferries. Les récentes levées de fonds réussies de *TOWT* et *Windcoop* témoignent de ce dynamisme (« À Douarnenez, la levée de fonds citoyenne de Towt atteint les 3 M€ », 2022 ; « Investir en parts sociales dans Windcoop | LITA.co France », s. d.). Les profits exceptionnels du shipping de l'année 2022 permettent aussi qu'une partie du budget des armateurs classiques soit alloué à des projets plus risqués (Alan Murphy, 2021). Si une partie de ces profits est réinvestie dans l'innovation, nous pourrions constater des prises de position similaires dans les années à venir.

Enfin, Sailcoop et SailLink sont des nouvelles entreprises qui viennent garnir l'offre de transport maritime décarbonée. Ils proposent le transport de passagers sur de moyennes et courtes distances. Le premier a construit un navire pouvant transporter 80 passagers le second une douzaine. Le transport de passagers est nouveau, Sailcoop n'en transporte que depuis 2022. L'initiative Sailcoop semble fonctionner puisque 1 nouvelle ligne supplémentaire est ouverte. La forte volonté écologique caractérise ces sociétés et leurs clients.

### 4.2.2 Utilisation des Voiles

L'un des principaux inconvénients de la mise en place de voiles sur un navire de commerce est la difficulté de stocker les marchandises sur le pont et d'effectuer les opérations de chargement sans être gêné par le gréement (Rehmatulla et al., 2017). Les designs de voiles de travail modernes prennent souvent ce problème en compte. Mais à ce jour, les voiliers-cargos modernes sortis de chantiers navals sont gréés avec un gréement classique et fixe, car le secteur est encore concentré sur les produits à haute valeur ajoutée comme le vin et le cacao (« Grayhound Shipping – Events and sail cargo on an 18th century sail ship », s. d. ; « Hawila », s. d. ; « Le premier #voiliercargo #TOWT a quitté Giurgiu le

21 juillet, pour l’instant pas #àlavoile, l’ETA à Constantza est prévue ce jour-même. » 2023; « Notre voilier cargo - Transport maritime décarboné - Grain de Sail », s. d. ; « Tres Hombres », s. d.).

Notons que n’importe quelle technologie WASPs peut être utilisé comme moyen de propulsion principal du navire, mais que pour l’instant seule la voile souple est d’application. La majorité des voiliers-cargos sont de vieux gréements et seuls 2 cargos modernes sont actuellement opérationnels aujourd’hui. Les autres armateurs ne possèdent souvent que 1 ou 2 navires et traitent directement avec les affréteurs, ils sont donc difficilement identifiables. Lorsque les premiers navires modernes entreront en service, leur part du tonnage total sera considérable, ce qui concentrera beaucoup la capacité de transport. Le néoarmateur a aussi un choix réduit d’équipement puisque par définition il ne peut qu’en choisir qui nécessite un moteur.

Aujourd’hui, les néoarmateurs sont sur des business modèles B2C ou sont très proches du consommateur final, car la majorité des marchandises transportées sont des produits de consommation à haute valeur ajoutée, où le nom du navire et le moyen de transport sont des arguments marketing<sup>4</sup>. Ils essayent de sécuriser leur chaîne de valeur en créant des labels, le transport faisant partie du marketing (TOWT, s. d.-a). Ce fait corrobore les recherches de Rehmatulla et al. (2017) qui estimaient que la demande de transition viendrait des consommateurs par le biais des chargeurs.

### 4.3 Relation des néoarmateurs avec l’équipementier

Pour un « newbuild », l’armateur 100% vélique fait le choix de son gréement auprès des équipementiers. Pour un refit il fait un appel à chantier naval spécialisé dans la rénovation.

---

4. Source : (« Grayhound Shipping – Events and sail cargo on an 18th century sail ship », s. d. ; « Hawila », s. d. ; « Le premier #voiliercargo #TOWT a quitté Giurgiu le 21 juillet, pour l’instant pas #àlavoile, l’ETA à Constantza est prévue ce jour-même. » 2023; « Notre voilier cargo - Transport maritime décarboné - Grain de Sail », s. d. ; « Tres Hombres », s. d.)

La construction d'un navire nécessite beaucoup de ressources et par conséquent le néoarmateur doit manipuler plus d'éléments différents. Il aura dans ce cas une démarche similaire à un armateur voulant construire un newbuild, mais avec moins de solutions de décarbonation, car le vent est déjà choisi de facto. Comme pour Canopée l'équipementier peut devenir partie prenante dans une organisation plus complexe qui construit un navire expérimental (Jifmar Guyane, communication personnelle, 29 avril 2024). Notons que l'annonce de la construction d'un nouveau navire n'implique pas nécessairement un nouveau client pour un équipementier, car tous les nouveaux navires ont installé des gréements classiques conçus par les chantiers navals (« Notre voilier cargo - Transport maritime décarboné - Grain de Sail », s. d. ; TOWT & LITA.co, 2024).

## 4.4 Le 100% vélique, absent de la littérature

L'étude de la littérature a montré que la branche des néoarmateurs y était presque absente. La distinction équipementier - néoarmateur n'est pas faite dans la littérature actuelle (1) et elle est importante, car une partie seulement des problèmes rencontrés par le secteur vélique sont valables pour les deux branches. Les interviews menées ont permis de décrire ces différences et de comprendre en quoi ces deux entités s'imbriquent différemment dans l'industrie maritime plus large. Cette absence de recherches illustre la situation du marché où les principales ressources se dirigent vers l'*assistance* à la propulsion.

La littérature académique (1) se penche principalement sur l'*assistance* à la propulsion lorsqu'elle parle du vent pour décarboner le shipping. Bien qu'il est dit dans le point « Néo-armateur » (4.2) que le nombre de néoarmateurs est difficilement quantifiable, car ils possèdent très peu de voiliers et sont de très petites tailles, donc peu visibles au chercheur. Mes recherches donnent à penser qu'il y a plus d'équipementiers.

Ensuite, ils ont plus facilement accès à des financements et à des subventions si nous les comparons aux néoarmateurs (Fairtransport, Bound4Blue, communication personnelle, 29 novembre 2023, 20 mars 2024 ; Beyond the sea (s. d., 2024), Eason (2024), « Funding & tenders, airseas » (s. d.), GT Green Technologies (2022) et Rehmatulla et al. (2017)). À

titre illustratif, certaines sociétés n'ont pas de produits commercialisables et sont toujours en phase de R&D. Mais elles peuvent déjà atteindre de grandes tailles avec parfois plus d'une centaine d'employés comme Airseas (2023). Il n'existe pas de si grosse structure parmi les néoarmateurs.

La branche des WASPs est plus dynamique et est dans une phase plus avancée de croissance. En témoigne l'état d'esprit d'Anemoi Marine (7 mars 2024) qui explique pendant l'interview que l'entreprise est indépendante depuis 2015 (« About Anemoi Marine », 2023) et que son objectif principal est l'expansion la plus rapide possible pour augmenter l'échelle de la société. L'entreprise utilise différents programmes d'options pour les employés, notamment des « *growth shares* » pour les motiver au développement de l'entreprise. Les *growth shares* sont des produits dérivés d'actions qui permettent aux détenteurs de s'exposer à la valorisation de l'entreprise sans diluer l'actionnariat. Elles permettent à l'entreprise de vendre des options à une plus grande échelle.

Velic Consulting (communication personnelle, 21 février 2024) partage aussi l'idée que l'avenir est plutôt dans les WASPs, témoin supplémentaire de la direction qu'a prise le marché.

Le néoarmateur est forcé de commander de la recherche, car aucun chantier naval n'a de l'expérience dans la construction d'un voilier cargo. Windcoop (coopérative qui entame la construction d'un voilier porte-conteneurs) commande un navire au chantier naval et également de la R&D pour aider à la construction du navire. Mais Windcoop ne possèdera pas le design du navire qui sera la propriété du chantier. Lors de l'assemblée générale de Windcoop, un membre fondateur insistait sur ce point pour expliquer son détachement vis-à-vis de la technologie utilisée. Il rajoutait que ça l'arrangeait d'avoir différentes conceptions à disposition. Cet exemple illustre l'approche du néoarmateur vis-à-vis des technologies utilisées (Windcoop, 2024).

Ces deux entités au sein du secteur de la propulsion éolienne se distinguent clairement,

car ils n'ont pas le même cœur d'activité. Ils sont aussi complémentaires, car le néoarmateur est un client potentiel des équipementiers. Ces derniers sont beaucoup moins exposés aux risques commerciaux. Et le néoarmateur lorsqu'il opère un « newbuild » a la même exposition au risque technique étant donné qu'il embarque sur un navire expérimental. Il cumule aussi tous les risques commerciaux liés à l'activité d'armateur en plus des coûts de R&D.

La confusion peut facilement être faite entre les nouveaux navires (« newbuilds ») pensés et optimisés pour utiliser le vent. Certains sont pensés pour naviguer 100% à la voile, d'autre pour être équipés des WASPs (Jifmar Guyane, communication personnelle, 29 avril 2024). Les refits sont des réhabilitations de navires et les retrofits correspondent l'installation de WASPs à bord de navires marchands.

Les causes de ce retard peuvent être attribuées aux échéances courtes de faisabilité de ces types d'investissements. Premièrement les retrofits sont installés et les bénéfices directs pour les clients sont mesurables. Deuxièmement, l'industrie grossit, et voyant que la technologie fonctionne s'attèle à l'optimiser, notamment en construisant des navires conçus pour armer des appendices éoliens. Troisièmement, le concept est poussé plus loin et des navires pensés pour utiliser uniquement des voiles sont construits.

Cependant, le secteur a démarré autour de 2010 comme le suggère la figure 2 et les sources : « About Anemoi Marine » (2023), « Fair transport - Cargo Under Sail » (s. d.), Norsepower (2023) et TOWT et LITA.co (2024). Si les deux protagonistes sont contemporains, l'idée développée dans le paragraphe précédent n'est pas l'unique moteur de la création de cette filière. Je suppose que la volonté de restaurer du patrimoine et l'intime conviction écologique pourraient aussi être des raisons importantes. Les néoarmateurs ont d'abord fait des refits de navires. Et depuis peu ils essayent de passer à une plus grande échelle en construisant de nouveaux navires (Fairtransport, communication personnelle, 29 novembre 2023, « Fair transport - Cargo Under Sail » (s. d.) et TOWT et LITA.co (2024)). Notons que selon Fairtransport (communication, personnelle), les années de la crise énergétique récente ont eu pour conséquence de réduire conséquemment la demande pour leurs produits, les poussant même à décommissionner un de leur navire fraîchement

préparé.

En conclusion, bien que tous deux dans l'industrie de la propulsion vélique, la branche des WASPs est plus dynamique, car la littérature est plus fournie, le secteur bénéficie plus facilement de financement et il y a plus de navires équipés. On ne peut pas soutenir que le secteur prospère d'assistance à la propulsion pousse naturellement à la construction de nouveaux voiliers cargos, car ces deux branches sont presque contemporaines l'une de l'autre.

Cependant il est important de différencier les 2 acteurs, car ils ne sont pas exposés aux mêmes risques et ils ont des cœurs d'activités différents. L'activité d'armateur comporte des risques propres que l'équipementier doit pas assumer.

# Chapitre 5

## Relations des équipementiers avec leurs environnements

Dans cette deuxième partie de l'analyse, nous abordons les relations avec des acteurs clés de l'industrie maritime. Certains concepts et programmes pertinents sont aussi brièvement expliqués, comme à titre d'illustration, FuelEU et l'European Emission Trading System

### 5.1 Propre au secteur, les néoarmateurs

Les armateurs 100% véliques choisiront une technologie qui permet une propulsion totale. Les rotors et les turbovoiles sont donc écartés, car ils nécessitent un moteur pour fonctionner. Le kite est une solution, mais a pour l'instant un niveau de TRL trop bas et H. Beckers (2019) le décrit comme ayant des performances instables qui le rendrait viable uniquement sur des trajets spécifiques.

Les équipementiers qui répondent à ces critères ont donc moins de concurrences dans le secteur de la propulsion éolien et vis-à-vis de l'industrie des technologies de propulsions vertes en général. Voilà qui fait aussi moins de clients potentiels étant donné que le secteur du 100% vélique est plus petit et arme pour l'instant presque que des vieux gréements. Les

seuls navires modernes construits sont gréés avec un gréement classique qui ne nécessite pas le service d'un équipementier.

Les chantiers navals qui brevètent un design de WASP peuvent offrir un service plus complet qui comprend le navire et son gréement (« SolidSail », s. d.). Les équipementiers pourraient être amenés à signer des partenariats avec des chantiers navals pour proposer un service plus complet.

## 5.2 Limitrophe au secteur

D'abord nous discutons des acteurs de l'industrie financière que sont les banques, assurances et investisseurs. Ensuite les acteurs administratifs que sont l'administration européenne et publique, car elles jouent un rôle dans le financement des équipementiers. Après les relations avec les SC sont abordés. Et pour finir, nous travaillons les acteurs liés à l'industrie du transport maritime que sont les armateurs, chargeurs et chantiers navals.

### 5.2.1 Banques

Elles sont des actrices incontournables pour tout projet en quête de financement. Malgré la progression significative mise en valeur par la figure 1, les fournisseurs de WASPs dépendent encore souvent de prêts pour la production et l'augmentation de leur capacité, montrant que des investissements supplémentaires sont nécessaires pour une adoption plus large (Chambers, 2023 ; European Maritime Safety Agency et al., 2023). Indication que la phase d'industrialisation est un défi pour les équipementiers. Les banques prêtent presque toujours en dette sénior<sup>5</sup>, Banque Populaire Grand Ouest, fond « Mer Invest » (communication personnelle, 1er décembre 2023) investit très peu en fonds propres et ne revend pas d'obligations.

---

5. Dette remboursée en priorité parmi tout les créanciers lors de la faillite d'une entreprise.

Chambers (2023) suggère que la force publique a un rôle à jouer, c'est le cas aussi en France où la BPI garantie certains prêts qu'ont octroyés des banques (Banque Populaire Grand Ouest, Velic Consulting, communication personnelle, 1er décembre 2023, 21 février 2024 et BPIFrance (2020)). Cette phase d'industrialisation demandera aux fournisseurs d'équipements de contracter des prêts auprès de fonds d'investissements et différents établissements de crédit. Ces derniers peuvent offrir des modes de financements diverses et sont spécialisés dans l'infrastructure (ex. : Eurazeo Maritime Transition Fund).

Enfin, les banques sont un acteur incontournable, elles permettent de financer les entreprises de leurs débuts à leur phase d'industrialisation. Principalement en dettes sénières, mais aussi en fond propres (« BPI France, private equity », 2024). Les équipementiers dépendent encore beaucoup de financement extérieur, indiquant que le secteur est en phase d'industrialisation. Elle demande l'entrée de nouvelle forme d'investissement que les banques et les fonds spécialisés en infrastructure peuvent offrir.

### 5.2.2 Assurance

Ici, l'accent est placé sur les difficultés à assurer les WASPs une fois installés à bord d'un navire et pas les assurances liées à la vie d'une entreprise.

Selon Anemoi Marine et Jifmar Guyane (communications personnelles, 7 mars 2024, 29 avril 2024) le WASP est assuré par la couverture *Hull and Machinery* au moment du transfert de propriété. Les conditions de ce transfert sont régies par la liberté contractuelle.

L'armateur interviewé n'a pas pris d'assurance opérationnelle supplémentaire comme le « *off hire* » et n'a pas eu de difficultés à intégrer ses WASPs à l'assurance « *hull and machinery* », ce qui a toujours surpris mon interlocuteur (Jifmar Guyane, communication personnelle, 29 avril 2024). Parce que l'ajout d'équipements de propulsions expérimentales a été perçu comme un facteur de risque supplémentaire par P. Landoeuer (2018) (1).

Rehmatulla et al. (2017) mentionne qu'un équipementier proposait un service sup-

plémentaire qui est une assurance de protection contre les mouvements des grues lors d'opérations portuaires. Les navires devront altérer leurs routes et ces changements devront aussi être incorporés aux contrats d'assurance. Spécialement lorsque les navires sont assurés pour des trajets spécifiques et l'invocation de la « master overriding authority » n'est pas approprié comme solution pour des changements de routes récurrents (MEPC-81-INF.39 reduction of GHG emissions from ships , White paper on wind propulsion Submitted by Comoros, France, Solomon Islands and IWSA, 2024).

En conclusion, assurer les WASPs ne pose pas de problème. La littérature émet des considérations vis-à-vis des risques techniques et de safety supplémentaires (Nuttall & Kaitu'u, 2016) qui ne semblent pas se traduire dans la difficulté à s'assurer. Les assurances peuvent constituer un service supplémentaire proposé par les équipementiers.

### 5.2.3 Investisseurs

Certaines entreprises organisent des rounds de financement, comme le font Moon (2023), Eason (2024) et Bound4Blue. D'autres sont montées en interne par de grands groupes, tels que Wisamo, Airseas ou Anemoi Marine (communication personnelle, 7 mars 2024, « airseas » (s. d.) et « Wisamo by Michelin - maritime transport » (2023)) . Un mix de subventions, de dettes et de levées de fonds est aussi une possibilité (Bound4Blue, communication personnelle, 20 mars 2024 et « Public grants. Renewable Energy in Shipping | bound4blue » (2023)).

Tous les acteurs éoliens interviewés ont rapporté peu de mouvements d'actionnaires et aucun changement majeur, ce qui suggère une confiance notable des investisseurs. Bien que les difficultés de financement soient encore citées en 2023 comme la principale barrière à l'adoption (24%) MEPC-81-INF.39 reduction of GHG emissions from ships , White paper on wind propulsion Submitted by Comoros, France, Solomon Islands and IWSA (2024), elle se place presque au même niveau que les défis opérationnels (23%). La littérature suggère que l'information sur l'efficacité des WASPs augmentera avec des projets pilotes et une augmentation des installations (Karslen et al., 2019). Les projets européens « Optiwise » et « WASP EU program » (s. d.) font les liens entre les armateurs, les équipe-

mentiers et des universités pour monter des projets pilotes. Le projet « Interreg North Sea Region WASP » a permis le déploiement de premiers équipements sur de petits navires. L'efficacité de ces projets pilotes pour l'adoption de la propulsion vélique est compliquée à mesurer, mais ils rentrent certainement dans la dynamique que déduit Karslen et al. (2019).

#### 5.2.4 Administration de l'Union européenne, locale, régionale et étatique

La littérature sur le sujet conclut notamment qu'un support à long terme est nécessaire (Mander, 2017) et que le mélange des compétences et les collaborations avec l'industrie sont des facteurs importants pour le développement de la filière vélique (K. Proost, 2013 ; Karslen et al., 2019). L'administration en générale est un acteur important qui reste donc en mesure d'apporter un soutien à long terme. De plus elle aide au financement et à travers de projets en partenariat avec l'industrie. Enfin, le soutien public fait partie des suggestions de la littérature (Rehmatulla et al., 2017).

Dans cette sous-section nous traitons les programmes EEDI&EEXI, CII, FuelEU, European Emission Trading System (ETS) pour leurs rôles importants dans la décarbonisation du shipping. De brèves explications sur le fonctionnement de ces programmes sont nécessaires. Enfin nous illustrons avec deux exemples comment les subventions peuvent jouer un rôle dans le développement d'une startup et comment l'EEDI peut se calculer.

#### **EEXI, EEDI, CII**

Le *Ship Energy Efficiency Design Index* ou EEDI a été adopté par l'OMI dans le but de réduire l'émission de CO<sup>2</sup> de certains type de navires. En imposant une meilleure efficacité par design. Le EEDI joue un rôle important lors de la conception du navire. Il définit les normes d'efficacité énergétique minimum qui sont adaptées tous les 5 ans (« EEDI -

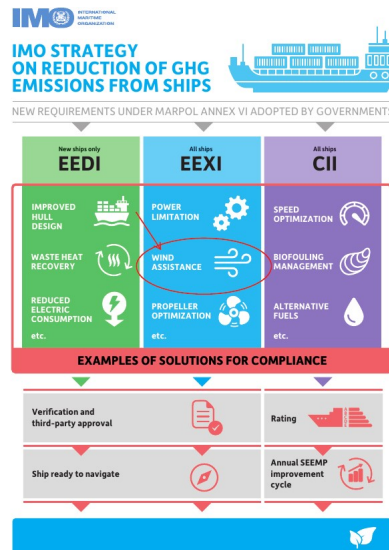


FIGURE 9 – Tableau récapitulatif : CII, EEXI, EEDI

Source : (IMO, s. d.)

Notez que dans la colonne EEXI, la solution vélique est mentionnée.

rational, safe and effective », s. d. ; Ghosh, 2022).

*Energy Efficiency Existing Ship* (EEXI) le nouveau règlement, d'application depuis le premier novembre 2022 impose aux navires existants de faire analyser leur efficacité énergétique. Si nécessaire, ils devront être mis à niveau. Le EEXI est une certification unique obligatoire. Le règlement sera revu en 2026 (IMO, s. d.).

Et enfin le CII (*Carbon Intensity Indicator*) détermine la réduction annuelle d'émissions qu'un navire doit suivre pour garder une cotation allant de A à E, où A est la meilleure note possible. Contrairement au EEXI, il s'applique aux navires de plus de 5000 tonnes de port en lourd et est revu à la baisse chaque année. Si le navire est classé 3 ans consécutivement comme navire D ou un an comme navire E, il devra proposer un plan qui devra être approuvé pour augmenter sa cote jusqu'au moins le niveau C (IMO, s. d.).

**Méthode de calcul approuvée par le Lloyd's Register et les autorités pavillonnaire**

Cette méthode, développée par Anemoi, a obtenu l' « approval of principle », qui constitue l'une des premières étapes dans la procédure de classification. Concernant les rotors, la matrice de poussée utilisée dans le calcul de l'EEXI et de l'EEDI est générée pour chaque angle et vitesse de vent, en se basant sur les coefficients de portance et de traînée du rotor, dérivé de leur site d'essai terrestre (Anemoi Marine, communication personnelle, 7 mars 2024).

La poussée vers l'avant du rotor est ensuite calculée pour chaque angle et vitesse de vent apparent, spécifique au navire et applicable à la matrice de vent globale de l'OMI (« IMO global wind matrix »), conformément à la circulaire MEPC 77 circ. 396. Notez que la puissance nette effective est calculée en se basant sur les 50 % des conditions de vent les plus favorables de la matrice mondiale des vents de l'OMI (« IMO global wind matrix »).

La puissance nette effective obtenue est ensuite déduite de la formule de l'EEXI et de l'EEDI, entraînant une amélioration du score (Anemoi Marine, communication personnelle, 7 mars 2024).

## **Enjeu**

L'enjeu de ces règlements est qu'ils soient justement applicables et adaptés à la propulsion éolienne. La méthode d'application est encore en discussion pour qu'elle soit juste entre les différentes technologies véliques et de décarbonations. Et au regard de toutes les informations collectées et recherchées, cela demandera un arbitrage habile étant donné l'influence d'un nombre élevé de facteurs sur l'efficacité des WASPs (ex : route v.s. vent disponible). Selon European Maritime Safety Agency et al. (2023), un gap majeur est que l'EEDI ne considère pas l'impact du WASP dans la procédure de vérification.

Ici les équipementiers ont un rôle important à jouer, car l'impact de leurs solutions sur l'EEDI, l'EEXI et l'CII sont des demandes directes de leurs clients (Anemoi Marine,

communication personnelle, 7 mars 2024). Il en relève de la compétitivité au sein du marché et vis-à-vis des autres solutions vertes. Les équipementiers ont un intérêt commun en ce qui concerne la prise en compte de la propulsion éolienne dans les règlements. Il existe à ma connaissance qu'un seul lobby spécifique à propulsion vélique, mais de nombreuses organisations protègent l'intérêt des technologies vertes. Donc devenir membres permanents de plusieurs lobbys aide à la protection de la solution d'un équipementier en plus de la pénétration et visibilité (reach) qu'offrent ces organisations. Devenir membre signifie souvent acheter une inscription, les toutes petites sociétés avec très peu de fonds propres sont désavantagées.

En conclusion, European Maritime Safety Agency et al. (2023) considèrent que l'EEDI, EEXI et le CII impactent bénéfiquement l'adoption des WASPs dans la mesure où ceux-ci diminuent la consommation de carburant. Dans ces cas, la propulsion vélique n'est à priori pas avantagée par rapport aux autres technologies de décarbonation. Cependant, il reste des incertitudes quant à la ratification de ces règlements, ce qui pourrait donner un avantage ou un désavantage réglementaire et rajoute de l'incertitude quant aux choix à faire par l'industrie pour leurs solutions vertes. La protection des intérêts communs peut se faire avec les lobbys.

La suite du chapitre se concentre sur les règlements européens FuelEU, European Emission Trading System et les subventions étatiques illustrées d'un exemple.

## FuelEU

La réglementation maritime FuelEU, qui doit entrer en vigueur en 2025, accorde un facteur de récompense supplémentaire *spécifique* pour l'utilisation de la propulsion éolienne allant de 1% à 5%. L'énergie du vent est considérée comme « substitute source of energy ». Le parlement européen reconnaît l'importance de règles adaptées à différentes sources d'énergie, veut être neutre technologiquement et reconnaît la difficulté de pondération à faire pour insérer la propulsion vélique dans la loi (Regulation (EU) 2023/1805 of the European Parliament and of the Council, 2023).

A specific regulatory approach dedicated to the deployment of renewable and low-carbon maritime fuels and substitute sources of energy, such as wind or electricity, is therefore necessary.

(Regulation (EU) 2023/1805 of the European Parliament and of the Council (2023), préambule, paragraphe 22)

Ce facteur multiplie « l'intensité des gaz à effet de serre » et réduit sa valeur. Cette intensité est la métrique qu'un armateur cherche à baisser dans le cadre de FuelEU (Regulation (EU) 2023/1805 of the European Parliament and of the Council, 2023).

Ce facteur de récompense incite dans les calculs de la réglementation à l'adoption de la propulsion éolienne. Ces réductions sont conditionnées par la disponibilité d'une méthode vérifiable pour le suivi et la comptabilisation de l'énergie de propulsion éolienne (Lloyd's Register, 2024 ; MEPC-81-INF.39 reduction of GHG emissions from ships , White paper on wind propulsion Submitted by Comoros, France, Solomon Islands and IWSA, 2024). De plus elle est limitée à 15% de l'énergie apportée au navire, ce qui est jugé insuffisant par certains professionnels du secteur, rappelant l'apport en énergie bien supérieur que pourrait fournir la propulsion vélique (Allwright, 2024).

Le facteur de récompense vélique renforce l'importance des règlements EEDI, EEXI car la valeur de ce dernier dépend de l'apport d'énergie des appendices éoliens. Qui est calculé en accord avec « les directives sur le traitement des technologies d'efficacités énergétiques innovantes pour le calcul et la vérification de l'EEDI & EEXI atteint » (Regulation (EU) 2023/1805 of the European Parliament and of the Council, 2023).

L'OMI a inclus l'énergie de propulsion éolienne dans la liste de désignation des carburants, dans le cadre de l'analyse du cycle de vie carbone, l'identifiant comme une voie nette zéro (MEPC 80/7/4 IMO - REDUCTION OF GHG EMISSIONS FROM SHIPS : Final report of the Correspondence Group on Marine Fuel Life Cycle GHG Analysis). Cette inclusion nécessitera une formule standardisée pour calculer la performance de la

propulsion éolienne, qui est actuellement en d'élaboration (MEPC-81-INF.39 reduction of GHG emissions from ships , White paper on wind propulsion Submitted by Comoros, France, Solomon Islands and IWSA, 2024).

Inclure l'énergie de propulsion éolienne dans la liste de désignation des carburants pourrait avoir des répercussions sur la manière dont est perçue la propulsion vélique vis-à-vis de la convention SOLAS et ses standards de propulsion. La question se posera si la réglementation technique doit évoluer. Les WASPs pourraient perdre leur statut de « nonessential deck equipment ». Aujourd'hui le vent est un carburant que dans le cadre de l'analyse du cycle de vie carbone, mais cela ouvre la porte à l'évolution de l'idée.

Tsvetkova et al. (2024) (c.f. 1) détermine que les carburants alternatifs sont considérés comme un des chemins principaux de la transition énergétique du shipping. Le vent maintenant considéré comme un fuel renforce son rôle a joué. Et la perception de l'industrie maritime vis-à-vis de la propulsion vélique pourrait évoluer beaucoup plus rapidement grâce à ce changement.

Ajoutons que European Maritime Safety Agency et al. (2023) rappellent que la propulsion hybride est encore mal définie.

Il y a un fort soutien pour l'adoption d'une évaluation « Well to Wake » (voir glossaire) pour tous les carburants, garantissant une égalité de traitement pour la propulsion éolienne. Cette évaluation complète prend en compte tout le cycle de vie des carburants, de la production à l'utilisation finale, et soutient l'évaluation équitable de la propulsion éolienne par rapport aux autres carburants (MEPC-81-INF.39 reduction of GHG emissions from ships , White paper on wind propulsion Submitted by Comoros, France, Solomon Islands and IWSA, 2024).

En conclusion, FuelEU avantage la propulsion éolienne *spécifiquement*. Le vent est reconnu comme fuel en tant que tel sous certains règlements, ce qui aura des répercussions

sur plusieurs réglementations. Enfin le législateur se penche fortement sur l'analyse « well to wake » ce qui avantage également la propulsion vélique. Ces changements sont importants, en particulier le fait que le vent est considéré comme fuel par l'UE.

### European Emission Trading System

Le 18 avril 2023, l'Union Européenne (UE) a adopté une législation visant à inclure le transport maritime dans le système European Emission Trading System, à partir du 1er janvier 2024. C'est un outil clé de la politique de l'UE et additionnel aux règles de l'OMI pour lutter contre les émissions de gaz à effet de serre (« What is the EU ETS ? », s. d.).

L'European Emission Trading System fonctionne sur le principe du « cap and trade ». Un plafond annuel est fixé sur le total des émissions maximum émises et le plafond est réduit au fil du temps pour garantir une diminution des émissions. Les armateurs doivent acheter ou vendre des quotas (*allowances*) d'émission pour toujours rester sous ce plafond annuel, sous peine de lourdes amendes. L'offre de quotas est contrôlée pour garantir leurs valeurs (« What is the EU ETS ? », s. d.).

Les WASPs sont implicitement pris en compte dans le cadre de l'European Emission Trading System car ils contribuent à réduire la consommation de carburant, réduisant ainsi les émissions. Cela peut aider les compagnies maritimes à se conformer aux exigences de l'European Emission Trading System en réduisant le nombre de quotas nécessaires ou en évitant les pénalités pour excès d'émissions (European Maritime Safety Agency et al., 2023; « What is the EU ETS ? », s. d.).

Il faut comprendre que l'European Emission Trading System n'est pas discriminatoire d'aucune technologie réduisant les émissions de CO<sub>2</sub>. C'est un argument marketing pour l'équipementier qui rajoute le système dans la liste de « pourquoi acheter mon produit ? ». Cependant l'argument publicitaire est limité, car il ne donne aucun avantage particulier à la propulsion vélique. Les solutions pour diminuer les émissions restent en compétitions

et la demande pour toute technologie verte augmente, simplement dit, le marché des technologies vertes grandit.

La disponibilité immédiate de la propulsion vélique est un argument très important surtout dans un cadre réglementaire très exigeant.

## Subventions

Les mécanismes d'aides et de subsides sont nombreux et complexes, l'UE y joue un grand rôle.

## Illustration de Beyond the Sea

*Beyond the Sea* a d'abord reçu une subvention de l'Ademe<sup>6</sup> pour mener une étude de faisabilité. Ensuite la région Nouvelle-Aquitaine a financé la preuve de concept. Un trimaran a été construit à cet effet et embarque plusieurs innovations de différentes startups. Enfin, ils ont aussi reçu de l'aide de « *CORIMER 2022* » qui est un consortium public pour financer la recherche sous forme de subventions et de dettes à but non lucratif. Dans cette situation, Beyond the sea est à titre illustratif ce que Mander (2017) et Rehmatulla et al. (2017) suggéraient dans leurs conclusions : un support politique à long terme et une offre de financement soutenue qu'elle soit privée ou publique. Le récent « pacte vélique » signé en France corrobore le rôle du politique (Lescure et al., 2024). La page dédiée aux subventions attribuées à Boun4blue suggère aussi une aide publique consistante et maintenue dans le temps (« Public grants. Renewable Energy in Shipping | bound4blue », 2023).

---

6. Organisme publique français qui participe à la construction des politiques nationales et locales de transition écologique

L'obtention de subventions pour les équipementiers dépend beaucoup de l'état dans laquelle l'entreprise opère. Concrètement sur les 3 équipementiers interviewés, tous ont eu droit à des subventions européennes, étatiques ou régionales et de manière générale, de très nombreux projets ont reçu de l'aide. Pour deux d'entre eux, les subsides sont très importants pour le financement des projets. Si l'équipementier est incubé par un armateur ou un industriel comme Airseas ou Anemoi Marine la demande et la nécessité des aides sont moins importantes (« About Anemoi Marine », 2023 ; « airseas », s. d.).

Pour tous les projets interviewés, l'obtention de subside est une charge de travail conséquente qui peut s'avérer énorme en fonction de la taille de la startup. L'incertitude quant à leurs obtentions est aussi pesante.

Les petites structures ont un accès aux subventions difficiles surtout si elles opèrent dans 2 juridictions différentes. De plus l'incertitude quant à l'obtention des subventions freinent les petites sociétés à les demander compte tenu de l'effort demandé. La demande de subventions au gouvernement anglais demande trop de ressources et une possibilité perçue trop faible de l'obtenir (SailLink, communication personnelle, 21 février 2024).

### **5.2.5 Synthèse, règlements européens et internationaux**

En résumé, les régulations maritimes actuelles et futures jouent un rôle crucial dans la transition vers une navigation plus écologique. Le EEDI, le EEXI et le CII sont des instruments essentiels de l'Organisation Maritime Internationale pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub> des navires. Le EEDI fixe des normes d'efficacité énergétique pour les nouveaux navires, tandis que le EEXI impose des exigences aux navires existants pour améliorer leur performance énergétique. Le CII, quant à lui, évalue annuellement l'intensité carbone des navires et incite à des améliorations continues. Ces normes encouragent l'adoption de technologie plus verte, mais pas spécifiquement la propulsion vélique.

La réglementation FuelEU, avec son facteur de récompense pour l'utilisation de la

propulsion éolienne, ainsi que l'inclusion de cette dernière dans le système de désignation des carburants de l'OMI, représentent des avancées significatives pour la promotion des technologies véliques. L'adoption de la méthode « Well to Wake » pour évaluer l'impact environnemental des carburants est également un pas en avant vers une équité de traitement entre les différentes solutions de décarbonation.

L'inclusion du secteur maritime dans le European Emission Trading System à partir de 2024 constitue une mesure supplémentaire pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. Les WASPs, en réduisant la consommation de carburant, peuvent aider les compagnies maritimes à se conformer aux exigences de l'European Emission Trading System, bien qu'ils ne bénéficient pas de traitements préférentiels.

Enfin, les mécanismes de subventions jouent un rôle vital pour soutenir les innovations dans le domaine de la propulsion éolienne. Les financements européens, nationaux et régionaux sont essentiels pour le développement et la mise en œuvre de ces technologies. Cependant, l'accès à ces subventions reste un défi, surtout pour les petites structures, en raison des ressources nécessaires pour les obtenir et des incertitudes liées à leur attribution.

### 5.2.6 Sociétés de classifications

Certains des pionniers ont dû naviguer dans un environnement administratif où aucun cadre légal et réglementaire n'était bien défini. Les directives de certaines SC ont été publiées en 2021 alors que les premières entreprises se fondaient autour de 2007 (« About Anemoi Marine », 2023 ; European Maritime Safety Agency et al., 2023 ; « Fair transport - Cargo Under Sail », s. d.). À titre illustratif, Canopée (premier « newbuild » construit en 2023)(Newsdesk, 2023) n'est pas « wind ready », car la notation n'existait pas chez Bureau Veritas lors de sa mise sous classe (Jifmar Guyane, communication personnelle, 29 avril 2024).

Les directives pour l'aide à la propulsion vélique datent de 2021, mais l'approbation

des technologies véliques n'a pas nécessité de créer de nouvelles règles. Il s'agit simplement de les adapter et de les comprendre. Les règles portent sur des exigences, mais pas sur des designs spécifiques (Lloyd's Register, communication personnelle, 2 mai 2024).

Les équipementiers ont besoin d'une certification de société de classification (SC) pour valider leurs méthodes de calcul de l'EEDI/EEI en attendant une clarté réglementaire. Selon Anemoi Marine et Jifmar Guyane (communication personnelle, 7 mars 2024, 29 avril 2024), il n'y a pas de difficultés particulières avec les SC, mais le processus peut prendre du temps. Au contraire, les sociétés de classifications sont motivées à l'idée de classer de nouveaux designs.

Les SC sont également des (Recognised Organisation) et effectuent une partie du travail de l'autorité pavillonnaire, donc être « class ready » est synonyme d'être certifié (M. Uten, 2022)). La mise en classe des rotors et le respect des normes SOLAS n'ont pas posé de problèmes majeurs qui auraient été difficilement résolubles. Les navires doivent être adaptés. Par exemple, un navire équipé de WASPs peut avoir deux « stability booklets »<sup>7</sup> (Anemoi Marine, Jifmar Guyane, communications personnelles, 7 mars 2024, 29 avril 2024).

Les rotors sont classés comme « nonessential deck equipment ». Aucun des acteurs interviewés n'a décrit la communication et le travail réalisé avec les sociétés de classification comme lents ou laborieux. Au contraire, ils les décrivent comme proactives et parlent à chaque fois d'une collaboration. Au moins deux acteurs interviewés les décrivent comme soucieuses d'être à jour vis-à-vis des nouvelles innovations dans le secteur (Anemoi Marine, Jifmar Guyane, communications personnelles, 7 mars 2024, 29 avril 2024), bien que la vitesse de travail dépende des ressources internes et du timing des demandes. Lors de différents moments de rencontres avec l'industrie, à l'issue des interviews et au regard de toutes les informations obtenues, la même conclusion m'est revenue.

---

7. Manuel obligatoire à bord contenant toutes les tables nécessaires sur la stabilité du navire.

Il existe différents types de classifications et les certificats obtenus par les équipementiers sont parfois utilisés comme arguments marketing. Le Lloyd's Register n'aura pas tendance à communiquer dessus, sauf dans les cas de projets exceptionnels. Le certificat de classe est fondamental pour les équipementiers. Le type de certificat obtenu peut aussi déterminer la vitesse avec laquelle le design est installé. Certains « approval » sont spécifique à une installation (par exemple : General Marine Appraisal), tandis que d'autres sont pour des installations plus standards et donc plus difficiles à obtenir (par exemple : Type Approval) (Lloyd's Register, communication personnelle, 2 mai 2024).

Les SC ont une relation privilégiée avec les chantiers navals. La relation entre les équipementiers et les SC se doivent d'être bonne, car ces dernières sont présentes à beaucoup de stades de l'installation des WASPs, que ce soit pour une nouvelle construction (new-build) ou une transformation (retrofit). La notation *wind ready* ou équivalent indique que le navire est prêt à armer des WASPs.

Aujourd'hui, les SC offrent des services de consulting en tout genre, qui peuvent être en lien avec la propulsion vélique. Les sociétés de classifications ont 2 verticales, la mise sous classe et le conseil. La première est le cœur de son activité historique, elle constitue la base de son savoir accumulé qui nourrit la seconde verticale (Miltos Messinezis (2024) et Lloyd's Register, communication personnelle, 2 mai 2024). Cette double casquette leur permet de connaître exactement les besoins des armateurs et des équipementiers. Les SC peuvent faire un bon lien entre l'armateur et l'équipementier.

### **Nonessential Deck Equipment**

Les WASPs sont classés comme « nonessential deck equipment » ce qui a des impacts très concrets sur l'installation des WASPs vis-à-vis de SOLAS, par exemple que la source d'énergie de l'équipement ne doit pas être dédoublée (European Maritime Safety Agency et al., 2023). Cependant la compréhension de l'industrie de ce concept change.

La convention SOLAS donne une définition précise de ce qui est un « essential deck

equipment », du point de vue de la sécurité (safety), ce qui n'est pas « essential » est « nonessential » et le Lloyd's Register se limite à cette définition dans le cadre de son activité de classification vis-à-vis du SOLAS (Lloyd's Register, communication personnelle, 2 mai 2024).

Mais ce concept a évolué et les équipements qui font partie de l'utilisation normale du navire peuvent être considérés comme essentiels du point de vue de leurs utilisations réelles et dans leurs impacts lorsqu'ils sont à l'arrêt. Ici, les WASPs sont utilisés dans le calcul de l'EEDI, dans l'obtention de crédits carbone et peuvent être considérés comme moteur sous FuelEU (aussi admis comme fuel par l'OMI (5.2.4)) bien que non essentiels pour la sécurité du navire, ils doivent fonctionner pour être aux standards environnementaux obligatoires. L'incapacité à être à ces standards peut conduire à des sanctions opérationnelles et financières conséquentes et concrètes pour l'armateur. La compréhension de ce qui est essentiel évolue, mais la définition et son application stricte restent dans le cadre de la classification (Lloyd's Register, communication personnelle, 2 mai 2024, MEPC-81-INF.39 reduction of GHG emissions from ships, White paper on wind propulsion Submitted by Comoros, France, Solomon Islands and IWSA (2024)).

Ce risque opérationnel est porté par l'armateur et pas par l'équipementier. Celui-ci doit avoir une compréhension fine de l'évolution réglementaire et garantir que ses équipements sont bien aux normes et correctement implémentés dans les différentes réglementations européennes et mondiales. Il a un rôle de communication avec les armateurs et de travail avec les SC. Les lobbys comme l'IWSA sont importants pour garantir la bonne implémentation de ces normes. Ils font aussi office de liens entre les différents acteurs de l'industrie.

### **5.2.7 Clients**

Pour la technologie avec le plus bas niveau de TRL comme le kite, l'équipementier est à la recherche de partenariats commerciaux et de codéveloppements pour réaliser des essais à grande échelle. Dans cette démarche les équipementiers ont aussi eu des discussions

à plus long terme avec des armateurs qui souhaitent développer un nouveau navire avec un kite intégré dès la conception du navire (Beyond the Sea, communication personnel, 13 mars 2024). Ce qui témoigne de l'intérêt des armateurs pour le secteur vélique, ils s'intéressent même aux technologies les moins développées.

Souvent, les clients sont les armateurs, mais ils peuvent être aussi des néoarmateurs ou des particuliers. Pour ce dernier cas, « Libertykite » (s. d.) on vend des kites statiques de petite taille pour des pêcheurs et plaisanciers. Elle est vendue comme voile d'appoint et de secours. Ce produit rend Beyond the Sea particulier, car c'est le seul équipementier qui dispose d'une offre pour particulier.

### 5.2.8 Armateurs

Toutes les entreprises interviewées ont vendu ou acheté leurs équipements cash. La question du leasing est aussi abordée, (European Maritime Safety Agency et al., 2023 ; Velic consulting, s. d.) mais sur base de mes recherches, ne semble pas encore d'actualité ou pas très répandue.

Dès 2017, Rehmatulla et al. décrit une méthode de financement alternatif par un troisième parti comme service pour l'armateur. Les couts du WASPs sont partagé entre l'armateur et un financeur, ce dernier se paye en prenant X% de la valeur de l'économie de carburant. Ce schéma permet à l'armateur de diminuer le risque financier en diminuant le CAPEX. Dans ce schéma de financement d'équipement, la collecte de données de propulsion, sa traduction en énergie motrice puis en économie de carburant se montre encore cruciale (4.1.2 et 5.2.4).

Cette option de financement complexe contraste avec les interviews menées où tous les WASPs sont vendus cash. Je l'explique soit par la différence de contexte général du shipping entre 2017 et aujourd'hui soit juste parce que les intervenants n'ont pas rencontré

ce type de financement, mais qu'il existe. En 2017 l'industrie naviguait dans un climat commercial plus tendu.

### **Leasing, une option disponible**

Certains fournisseurs de WASPs collaborent avec des institutions financières pour proposer des programmes de location. Cela rend les WASPs plus accessibles aux armateurs en répartissant les coûts initiaux sur une période de temps plutôt qu'en exigeant une dépense en capital importante dès le départ (European Maritime Safety Agency et al., 2023; Velic consulting, s. d.).

Pour atténuer les risques d'investissement, certains fournisseurs offrent des garanties de performances. Ces contrats peuvent inclure des clauses protégeant l'armateur contre les systèmes sous-performants (Anemoi Marine, communication personnelle, 7 mars 2024, European Maritime Safety Agency et al. (2023)). Un navire « wind ready » peut alors plus facilement tester différentes technologies surtout quand l'installation de l'équipement est rapide avec un coût d'opportunité très faible (minimum off hire) (Miltos Messinezis, 2024)

Les armateurs peuvent également conclure des accords avec les fournisseurs de technologies pour partager les gains des WAPS sur une période déterminée dans le cas où le leasing n'est pas signé avec un parti tiers (European Maritime Safety Agency et al., 2023).

En conclusion le leasing est un atout pour l'armateur et un éventuel service pour l'équipementier ou un parti tiers.

### **Illustration newbuild**

Canopée est le premier navire à propulsion vélique neuf construit, il est le résultat via l'entreprise Alizée d'un appel à projets de Ariane Groupe pour transporter ses pièces d'aérospatiale. Le seul et non exclusif client de Alizée est Ariane Group et le contrat est

de 15 ans. Ici l'armateur travaille avec une autre société spécialisée dans la propulsion vélique (Zéphyr et Borée) en cofondant Alizée (Jifmar Guyane, communication personnelle, 29 avril 2024), (Newsdesk, 2023 ; Zéphyr et Borée, s. d.).

Zéphyr et Borée (startup) est à l'initiative de la réponse à l'appel d'offres. Par manque de moyens et de ressources, ils ont fondé Alizée avec Jifmar, cette première est l'entreprise qui a présenté le projet à Ariane group. 51% des actions d'Alizée sont détenue par Jifmar et le reste par Zephyr et Borée. Ils se déclarent agnostiques sur les technologies à choisir et Ayro a été sélectionnée comme équipementier (Jifmar Guyane, communication personnelle, 29 avril 2024, Newsdesk (2023) et Zéphyr et Borée (s. d.) )

Dans cet exemple, l'équipementier ne traite pas avec l'armateur directement. Son client est un gestionnaire technique de navire (Alizée). Cette construction augmente la complication de l'organisation, car plus d'entités différentes sont mêlées au projet.

De plus, l'armateur intervient sur un projet spécifique avec une vision claire sur l'avenir. Les cas de Canopée, Neoline, Louis Dreyfus, windcoop (The Maritime Executive, 2024) sont tous des exemples d'armateurs qui utilisent de grosses confirmations de chargeurs pour monter des WASPs sur des « newbuild ». Suggérant que les « split incentives » entre le chargeur et l'armateur sont toujours d'actualités et que la solution adoptée est de signer des contrats d'affrètements longs pour aligner les intérêts des deux partis. Solution qui avait été suggérée par la littérature (Rehmatulla et al., 2017).

### **Dépendance de l'armateur**

L'équipementier essaye de signer des contrats de maintenance le plus longs possible et l'armateur essaye d'en être le plus indépendant possible malgré le fait que l'équipementier reste un fournisseur critique pour l'armateur (Jifmar Guyane, communication personnelle, 29 avril 2024). On peut déduire que si l'armateur obtient un équipement vélique avec un programme de leasing, un contrat de maintenance semble plus facilement obtainable pour

un équipementier. Et l'armateur a plus de flexibilités dans le choix du WASP.

Dans la même dynamique, je constate que les armateurs ont intérêt à standardiser les différentes technologies disponibles pour réduire leur dépendance à leur maintenance et à leur fournisseur d'équipements.

Dans les cas de startups incubées par de grands groupes ou par un armateur, la question de la dépendance de l'armateur se pose moins.

### 5.2.9 Chantiers navals

Les équipementiers ciblent principalement le marché des rétrofit de navires marchands (B2B). La R&D est faite *in house* pour les équipementiers interviewés, mais certains aspects sont délégués ou doublement vérifiés par des bureaux d'études. Dans le cas de Anemoi Marine (communication personnelle, 7 mars 2024) les chantiers navals s'occupent de l'installation de l'équipement. La charge (et risques) technique est donc séparée et diminuée entre le chantier naval et le constructeur.

Si nous comparons le défi technique lié à la construction d'un nouveau navire et celui de construire et de poser un WASP sur un navire existant, la première option semble plus complexe.

Comme suggéré plus haut, l'équipementier pourrait essayer d'obtenir un avantage commercial face à ses concurrents en s'alliant à un chantier naval pour proposer un service « clé en main ». Un chantier naval est capable de développer et commercialiser ses propres designs de WASPs comme les chantiers de L'atlantique avec Solid Sail (« SolidSail », s. d.), les positionnant comme potentiels concurrents.

### 5.3 Synthèse, l'équipementier et son environnement

L'analyse empirique des équipementiers montre un secteur dynamique et en pleine croissance, marqué par des innovations technologiques et des opportunités d'expansion. Contrairement aux néoarmateurs, qui rencontrent des défis financiers importants et opèrent sur des marchés de niche, les équipementiers bénéficient de meilleurs accès aux financements et subventions. Ils jouent un rôle dans la décarbonation du transport maritime grâce aux WASPs, soutenues par des régulations internationales et européennes comme le EEDI, EEXI, CII, FuelEU et le European Emission Trading System. FuelEU a un facteur qui avantage spécifiquement la propulsion éolienne.

Les équipementiers de propulsion vélique montrent un dynamisme notable, illustré par leur capacité à attirer des financements et à croître rapidement. Les entreprises, comme Anemoi Marine et Airseas, emploient déjà des centaines de personnes et ont des plans d'expansion ambitieux. Les structures de financement et de subvention, bien que complexes, sont plus accessibles à ces entreprises comparativement aux néoarmateurs.

Les rotors et autres équipements véliques sont majoritairement vendus cash, profitant de l'année exceptionnelle pour le shipping en 2022. Le leasing, bien que discuté, n'est pas encore une pratique courante. Les équipementiers offrent également une gamme de services adjacents, tels que l'entretien, l'intégration des systèmes et des services supplémentaires comme le routage météo et la vérification des performances.

La recherche et le développement (R&D) sont au cœur de l'activité des équipementiers. La majorité des entreprises interviewées mènent leur R&D en interne, bien que certaines tâches spécifiques soient externalisées ou vérifiées par des cabinets d'études. Cette approche permet de répondre rapidement aux évolutions du marché et aux exigences réglementaires.

Les équipementiers naviguent dans un environnement réglementaire complexe, mais

bénéfique pour la propulsion vélique. Les réglementations maritimes comme le EEDI, EEXI, et CII jouent un rôle essentiel dans l'adoption des technologies vertes. De plus, des initiatives comme FuelEU et l'inclusion du transport maritime dans le European Emission Trading System Européen ajoutent des incitations financières significatives. Toutefois, des incertitudes demeurent quant à l'implémentation de ces réglementations, ce qui pourrait influencer le choix des technologies de décarbonation.

Les sociétés de classification SC jouent un rôle clé en validant les technologies véliques et en aidant à leur intégration sur les navires. Les relations avec les SC sont collaboratives et proactives, bien que les processus puissent être longs. Les partenariats avec les chantiers navals pourraient s'avérer cruciaux, permettant potentiellement aux équipementiers de proposer des services « clé en main » et de diminuer les risques techniques.

L'avenir de la propulsion vélique semble prometteur, avec des opportunités de croissance continue. Les mécanismes de financement et de subvention resteront essentiels pour soutenir le développement de nouvelles technologies et leur adoption à grande échelle. La collaboration entre les équipementiers, les armateurs, les régulateurs et les sociétés de classification sera déterminante pour surmonter les défis et maximiser les bénéfices environnementaux et économiques de la propulsion vélique.

### 5.3.1 Défis des équipementiers

Dans cette sous-section, nous abordons les défis que les équipementiers rencontrent lors de leurs développements.

- Bien que les équipementiers aient un meilleur accès aux financements et subventions comparé aux néoarmateurs, l'obtention de subventions demeure une tâche complexe et incertaine.

- Les réglementations maritimes comme le EEDI, EEXI, et le CII encouragent l'adoption de technologies vertes, mais la mise en œuvre de ces réglementations créer des incertitudes.
- Les contrats de maintenance à long terme sont un enjeu pour les équipementiers, mais les armateurs cherchent à minimiser leur dépendance à ces contrats.
- Le routage météo est crucial pour l'efficacité des technologies véliques, mais les équipementiers doivent protéger leurs données tout en offrant des services performants.
- La formation des marins à l'utilisation des WASPs est simple, mais la compréhension de ces équipements et de leurs systèmes peuvent être perçue comme complexes. Ce qui nous ramène à la question de la maintenance.
- La concurrence entre différentes technologies de propulsion verte existe.
- La standardisation des équipements poserait des questions et pourrait changer certaines dynamiques.
- La communication et le travail avec les sociétés de classification sont essentiels pour valider les technologies véliques. L'équipementier a maintenant plus de guidelines pour l'aider à accélérer le processus.
- La collaboration entre équipementiers, chantiers navals, et sociétés de classification est cruciale.
- Le leasing des WASPs est en discussion, mais pas encore largement adopté, ce qui limite les options de financement pour les armateurs et les services des équipementiers.

# Chapitre 6

## Relations des néoarmateurs avec leur environnement

D'abord nous discutons les acteurs de l'industrie financière que sont les banques, assurances et investisseurs, ensuite les acteurs administratifs que sont l'administration européenne et publique, car elles jouent un rôle dans le financement des néoarmateurs. Subséquemment, les relations avec les SC sont abordés. Et pour finir nous travaillons les protagonistes liés à l'industrie du transport maritime que sont les armateurs, chargeurs et chantiers navals.

### 6.1 Banques

SailLink et Fairtransport, (communication personnelle, 21 février 2024, 29 novembre 2023), ont tous les deux rencontré de grosses difficultés pour le financement des projets. En 2023, IWSA réalise un sondage qui indique que 24% des barrières à l'adoption de la propulsion vélique sont financières ce qui est la plus grosse tranche (10) (MEPC-81-INF.39 reduction of GHG emissions from ships , White paper on wind propulsion Submitted by Comoros, France, Solomon Islands and IWSA, 2024). Le graphique est pertinent, mais ne s'applique pas vraiment à la branche de l'armateur vélique, elle semble avoir encore plus de mal à se financer, étant donné que SailLink est en levée de fonds et que Neoline, est présent depuis 2010 et a conclut le financement de son navire en 2022 (Neoline, 2023). Le

premier a du mal à lever des fonds et le second a attendu longtemps avant de clôturer le financement de son navire.

Saillink (communication personnelle, 21 février 2024) indique que les banques demandent un historique financier d'au moins 3 ans, Fairtransport et Jifmar Guyane (communications personnelles, 29 novembre 2023, 29 avril 2024) indiquent que les banques demandent un apport en fonds propres de 30% à 50% pour accepter le financement d'un navire. La structure financière d'un tel investissement se fait presque toujours via un « crédit-bail fiscal », dans le cas des navires dits écologiques, le suramortissement vert est pour l'instant toujours accordé.

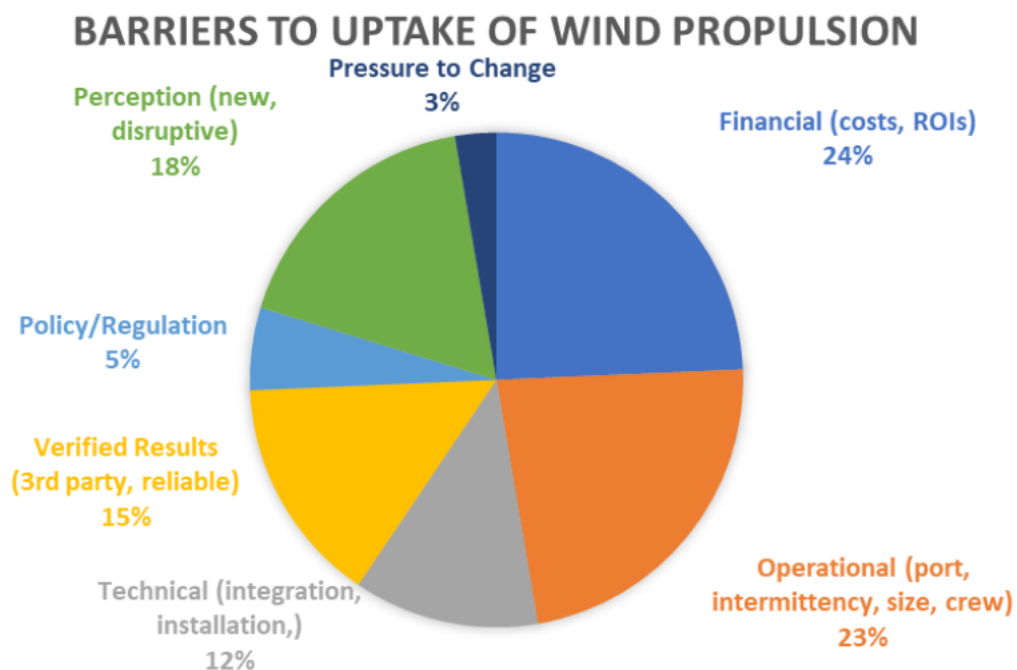


FIGURE 10 – Barrière à l'adoption de la propulsion éolienne

Source : MEPC-81-INF.39 reduction of GHG emissions from ships , White paper on wind propulsion Submitted by Comoros, France, Solomon Islands and IWSA (2024)

Pour financer des navires, les banquiers se syndiquent pour diminuer les risques, elles sont plusieurs par navires. Tous les intervenants ont mentionné de la dette sénior qui est prioritaire.

La dette sénior est une dette bénéficiant de garanties spécifiques et dont le

remboursement se fait prioritairement par rapport aux autres dettes, dites dettes subordonnées. Il s'agit donc d'une dette privilégiée.

(« Senior debt », 2023)

Banque Populaire Grand Ouest (communication personnelle, 1er décembre 2023) investit très peu en actions et ne revend pas sa dette, mais la garantie auprès de la BPI. Concrètement, pour limiter le risque que pose une dette, un banquier peut la revendre (= obligation) ou la faire garantir par une autre banque. Cette dernière se porte garante du prêt. La Banque Européenne d'Investissement joue un rôle similaire au niveau européen.

### 6.1.1 Crédit-bail fiscal

Un Crédit-bail fiscal, notamment dans le contexte maritime, est un arrangement financier qui offre des avantages fiscaux significatifs aux compagnies maritimes en leur permettant de louer des navires grâce à une structure impliquant un véhicule de projet spécial (Special Purpose Vehicle, SPV). Il est très courant dans le financement des navires.

Dans cet arrangement, une compagnie maritime a besoin d'un nouveau navire, mais choisit de ne pas l'acheter directement en raison du coût initial élevé. Au lieu de cela, la transaction est facilitée par une institution financière comme bailleur. Le bailleur crée un SPV, qui est une entité juridique distincte créée spécifiquement pour cette transaction.

Le SPV est alors responsable de l'achat du navire. Il possède le navire et le loue à la compagnie maritime dans le cadre d'un contrat de location. La compagnie maritime effectue des paiements de location réguliers au SPV sur une période prédéterminée. Les banques sont donc propriétaires sur papier du navire (voir 11).

Les avantages de cet arrangement sont les avantages fiscaux qu'il offre. Les paiements de location effectués par la compagnie maritime sont entièrement déductibles en tant que dépenses d'exploitation, réduisant ainsi le revenu imposable de l'entreprise. De plus, puisque le navire est détenu par le SPV et non par la compagnie maritime, le navire

n'apparaît pas au bilan du preneur. Ce financement hors bilan peut améliorer les ratios financiers de la compagnie maritime et accroître sa capacité d'emprunt (Caisse d'épargne, 2011 ; « Crédit-bail fiscal », 2023 ; Mcgroarty, 2003).

À la fin de la période de location, la compagnie maritime a la possibilité d'acheter le navire au SPV à un prix convenu à l'avance, généralement inférieur à la valeur marchande. Par exemple, après dix ans, la compagnie maritime peut acheter le navire pour XX millions d'euros, ce qui est souvent significativement en dessous de sa valeur marchande actuelle (Caisse d'épargne, 2011 ; « Crédit-bail fiscal », 2023 ; Mcgroarty, 2003). Ce montage est parents du leasing.

En résumé, un crédit-bail fiscal impliquant un SPV est un outil financier stratégique dans l'industrie maritime. Il offre des efficacités fiscales et une flexibilité financière, permettant aux compagnies maritimes de gérer efficacement leurs actifs et leur trésorerie tout en minimisant leurs obligations fiscales et en optimisant leur structure financière (Caisse d'épargne, 2011 ; « Crédit-bail fiscal », 2023 ; Mcgroarty, 2003).

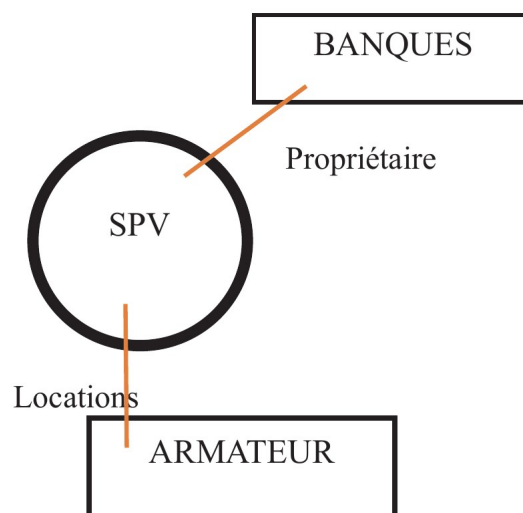


FIGURE 11 – Schéma simplifié crédit-bail fiscal

Source : *propre travail*, Caisse d'épargne (2011), « Crédit-bail fiscal » (2023) et Mcgroarty (2003)

### 6.1.2 Suramortissement vert

Le suramortissement vert permet aux entreprises de bénéficier d'une déduction fiscale supplémentaire sur leurs investissements dans des équipements écologiques, au-delà de l'amortissement classique. Elle est aussi applicable dans le cadre d'un « crédit-bail fiscal ». Il faut comprendre que l'amortissement se fait sur la même durée (durée normale d'utilisation), mais est plus fort.

Tous les néoarmateurs connus utilisent un schéma de financement similaire au crédit-bail fiscal. Le suramortissement vert est une mesure spécifique à la France (Article 39 decies C - 2 : Détermination des bénéfices imposables (Articles 36 à 43 bis), 2023 ; Toulin, 2022).

Selon les différents néoarmateurs interviewés et l'interview de Banque Populaire, la présence de chargeurs engagés sur le long terme est fondamentale pour que le dossier de financement d'un navire soit accepté par les banques.

## 6.2 Investisseurs

Pour les néoarmateurs, le recours au financement par crowdfunding peut être une option. Par exemple, Saillink (communication personnelle, 21 février 2024) qui n'est pas disposée à utiliser le crowdfunding, se trouve entre deux pays. La question du lieu d'opération se pose et complique également l'accès aux subventions. La plupart des fonds levés à ce stade proviennent de particuliers et d'enthousiastes.

Le 21 février 2024, Saillink a expliqué ses difficultés à se financer auprès des investisseurs. Saillink est une entreprise qui souhaite transporter ses clients entre l'Angleterre et l'Union européenne à la voile. Les fonds de capital-risque et les business angels ne montrent pas d'intérêt particulier, les profits potentiels étant jugés trop faibles. Les exigences des plateformes de levées de fonds participatives sont également trop élevées. Le

secteur maritime traditionnel n'a également pas montré d'intérêt prononcé.

Fairtransport (communication personnelle, 29 novembre 2024) décrit une situation similaire pour le financement de ses navires, dix ans plus tôt et encore récemment. Au point qu'ils ont dû licencier une partie de leurs effectifs.

Les projets de refits semblent avoir des proportions d'investisseurs privés et de business Angels plutôt élevés. Qui montre l'incertitude des professionnels face aux refits. Les projets de « newbuilds » comme TOWT ou Windcoop ont fait appel aux particuliers pour leurs levés de fonds, mais ce n'est pas le cas de Neoline ou de Veershipping (shipping, 2023 ; TOWT & LITA.co, 2024 ; « Veer · shipping, About », s. d.). Ajoutons que Fairtransport essaye de financer un nouveau voilier cargo en se basant sur les plans d'un clipper. Faisant de l'aventure un projet hybride « neo-retro » ce qui ne semble pas non plus plaire aux investisseurs (Fairtransport, communication personnelle, 29 novembre 2023). Enfin une compagnie récente de voilier pour le transport de passagers a entamé la construction d'un ferry vélique avec une capacité de 80 passagers. Elle l'a commandé 2 ans après le début de ses activités, montrant une croissance rapide (« Sailcoop », 2024). On interprète que les projets de refits sont moins populaires auprès des investisseurs professionnels que les plans de « newbuilds ».

En résumé les investisseurs professionnels semblent peu privilégier les néoarmateurs, mais lorsqu'ils le font se dirigent plus facilement vers les projets de « newbuilds » moderne.

### **6.3 Administration de l'Union européenne, locale, régionale et étatique**

Pour de petites structures, l'accès aux subventions est difficile, surtout si l'entreprise opère dans deux juridictions différentes (SailLink, communication personnelle, 21 février

2024). L'incertitude quant à l'obtention des subventions dissuade également les petites structures de les demander, compte tenu de l'effort requis.

Elles peuvent ne pas être éligibles, car SailLink (communication personnelle, 21 février 2024) opère entre deux pays et doit démontrer une rentabilité potentielle intéressante. De plus, peu de subventions sont destinées à des projets aussi jeunes et aussi niches que le transport de passagers (12 passagers) à la voile. Fairtransport (communication personnelle, 29 novembre 2023) a également confirmé le manque de subventions pour les startups à un stade très précoce de leur développement, surtout lorsqu'il s'agit de fonds pour la gestion opérationnelle.

Saillink explique qu'il n'existe pas de subventions pour des structures aussi petites à ce stade de développement de l'entreprise, corroborant les dires de Fairtransport (SailLink, communication personnelle, 21 février 2024). De plus, les dossiers lourds de demandes de subventions doivent offrir des perspectives de croissance que des projets très niche comme le transport de passagers (12 passagers) à la voile ont du mal à présenter.

La réglementation FuelEU fait mention dans le paragraphe 4 et l'article 3 paragraphe 9 de la propulsion vélique totale. Le régulateur comprend donc que l'aide à la propulsion n'est pas le seul paradigme dans la propulsion éolienne. Cependant comme expliqué dans la sous-section *FuelEU* (5.2.4) le facteur de récompense éolien est plafonné à 15% de l'énergie produite par l'hélice (Regulation (EU) 2023/1805 of the European Parliament and of the Council, 2023). Un lobby, une sensibilisation efficace et le succès des premiers « newbuilds » sont nécessaires pour que ces ratios augmentent en faveur des néoarmateurs. Cette augmentation est déjà envisagée puisque l'idée de la propulsion 100% vélique existe. Cette différence appuie la première conclusion de ce mémoire (c.f. 4.4) qui fait la différence entre l'aide à la propulsion et la propulsion éolienne totale tout en les plaçant dans la même catégorie.

Nous pouvons expliquer cette précaution réglementaire notamment par le manque de standardisation sur les calculs de l'EEDI (c.f. 5.2.4 et l'article 30, paragraphe 2, alinéa (h)

de (Regulation (EU) 2023/1805 of the European Parliament and of the Council, 2023)) et la difficulté de bien prendre en compte cette source de substitution d'énergie « substitute sources of energy ». Cette dernière difficulté est aussi bien comprise du régulateur dans le préambule, paragraphe 35.

Ajoutons que la branche des « newbuilds » est très jeune, les résultats des projets pilotes donneront plus de matière pour statuer du cas de l'énergie vélique. Le législateur doit être prudent dans ses décisions pour respecter le concept de neutralité technologique. Il reconnaît aussi que des investissements dans l'innovation sont nécessaires (Regulation (EU) 2023/1805 of the European Parliament and of the Council (2023), préambule, paragraphe 4).

## **6.4 Sociétés de classifications**

Les néoarmateurs de vieux gréements ne sont pas vraiment en relation avec les SC car leurs refits sont trop petits pour être soumis à la convention SOLAS.

Pour les « newbuilds », la question réglementaire se pose. Beaucoup d'aspects de la classification sont réglés entre les chantiers navals et la SC, car elle dispose d'une relation très forte avec eux ayant parfois un bureau permanent dans les plus gros chantiers (Lloyd's Register, communication personnelle, 2 mai 2024).

Pour des raisons citées plus haut, le néoarmateur paye pour de la R&D par manque de solutions véliques directement disponibles (Windcoop, 2024). Dans ce cadre il pourrait être en communication régulière avec la société de classe pour du conseil, mais aussi (Lloyd's Register, communication personnelle, 2 mai 2024).

## 6.5 Clients

Ces startups 100 % véliques ont un modèle économique différent, car elles ont besoin de relations directes avec les consommateurs (B2C) pour soutenir leurs ventes. Les armateurs classiques ne sont pas habitués à ce type de relation client.

Dans le cas des refits de vieux gréements, les clients restent le consommateur final ou des courtiers spécialisés. La situation que décrivent G. Folschette (2021) et S. Veyt (2018) vis-à-vis des cargaisons à hautes valeurs ajoutées ne semble pas changer (omettant la mise à l'échelle du secteur avec les « newbuilds »). La mise hors service du *MV Tukker* de Fairtransport à cause du manque de demandes (communication personnelle, 29 novembre 2023) suggère que la branche des anciens navires a atteint un plateau.

Le secteur compte très peu de nouveaux bâtiments et a besoin d'un accroissement d'échelle pour devenir compétitif en termes de volumes transportés, lesquels ne sont pas encore comparables à ceux des modes de transport traditionnels. À terme les clients seront les chargeurs et le transport d'écotouristes ne sera plus une composante importante du business modèle comme le suggérait S. Veyt (2018).

Il existe déjà des initiatives pour industrialiser ce marché en créant des labels certifiant un transport durable ou à la voile (« Our promise label », s. d. ; TOWT, s. d.-a). Ces initiatives pourraient légitimer et rendre transparent le transport vélique. Pour les clients de ces startups, la méthode de transport est un argument de vente en soi, ce qui explique l'importance d'un marketing B2C. À terme on peut imaginer que le transport maritime vélique s'orientera B2B et les labels garantiront l'information de la plus-value ajoutée par le transport décarboné (communication personnelle, Assemblée générale Windcoop, 28 juin 2024).

D'autres acteurs comme New Dawn Traders (« New Dawn Trader », s. d.) sont spécialisés dans la vente de marchandises transportées à la voile. Certains sont des courtiers

appartenant parfois à un armateur, comme Comptoir de Misaine (Blue Schooner Company, s. d.). Ils utilisent la légitimité des labels et participent à l'industrialisation de ce nouveau mode de transport. Ils sont aussi des clients des néoarmateurs.

Rajouter de la plus-value au transport maritime est un pari très risqué que plusieurs grandes entreprises de transport de containers ont tenté sans aucun succès. Le shipping est une industrie dont les concurrents se démarquent uniquement par le prix du fret (Notteboom et al., 2022). La réussite d'une telle entreprise au niveau mondiale peut représenter une croissance absolument gigantesque. Et ce pourrait être une première dans le shipping mondial.

En résumé les clients aujourd'hui des néoarmateurs sont les consommateurs finaux et des courtiers spécialisés dans ce secteur. À terme, si les néoarmateurs transvasent vers un modèle B2B, l'utilisation des labels permettra de communiquer la plus-value du transport décarbonné aux consommateurs finaux. La mise à l'échelle est un enjeu et sa conséquence est que les écotouristes deviennent marginales dans les business modèles. Enfin l'idée de proposer un transport de cargaison avec une plus-value est un concept déjà tenté par certains armateurs et peut potentiellement représenter une opportunité gigantesque.

## 6.6 Chargeurs

Leurs présences sur le long terme sont fondamentales pour la recevabilité d'un projet vis-à-vis des banques (c.f. 6.1). Ils sont même parfois investisseurs et clients comme c'est cas dans Windcoop (« Investir en parts sociales dans Windcoop | LITA.co France », s. d. ; « Windcoop », 2023). Le chargeur est parfois le client en particulier dans le cas du B2B (voir 6.5).

L'exemption aux lois sur la concurrence faite aux liners (transporteurs de containers mondiaux) a régulièrement été un sujet de désaccords. En particulier venant des char-

geurs qui disent subir les couts et pratiques des armateurs. Ces derniers ont tendance à se verticaliser sur leurs chaînes de valeurs, prenant le risque d'entrer en compétitions avec leurs clients. L'inverse est plus compliqué, car peu « freight forwarders » ont une taille suffisamment grande qui leur permettrait de rentrer en compétition avec les armateurs sur des lignes de commerces internationaux (Notteboom et al., 2022 ; Premti, 2016 ; Stock, 2023).

Les néoarmateurs ont donc besoin de chargeurs pour sécuriser leur prêt bancaire et montrer leur crédibilité, les chargeurs<sup>8</sup> se plaignent de l'avantage des liners. Cette situation offre un intérêt commun aux deux partis qui autrement se font concurrence ou/et ont des intérêts divergeant et pourrait redonner aux chargeurs un contrôle sur leurs chaînes d'approvisionnement. De plus cette industrie naissante offre des opportunités aux chargeurs de se verticaliser dans un secteur auparavant difficile d'accès (CAPEX moins élevé). Cet intérêt commun est une nouvelle situation qui résout le problème des incitations partagées déjà documenté dans la littérature par Karslen et al. (2019) et Rehmatulla et al. (2017).

À titre illustratif, Windcoop a comme investisseur en « pré-seed » Arcadie (coopérative malgache exportatrice d'épices ) et comme futurs chargeurs : Super U (chaîne de supermarché), Leader Price, Ethiquable, ... Les chargeurs sont représentés au sein de la coopérative et pèsent 15% des votes à l'assemblée générale, leur donnant une réelle influence (« Windcoop », 2023). Neoline a comme partenaire le groupe Beneteau (premier exportateur de voiliers d'Europe), le groupe manitou (vente d'engins de chantiers), le groupe Renault, Michelin et d'autres (ENAU, 2024).

Sommairement, la présence de chargeurs est clés dans l'obtention de prêts bancaires. Dans les projets de newbuilds, la construction de « newbuilds » représente une opportunité pour des chargeurs et transiteurs soucieux de regagner une forme de contrôle sur leurs chaînes de valeurs.

---

8. Ici nous simplifions la situation en faisant pas ou peu de différences entre le chargeur et le « freight forwarder » (transitaire). Car les actions des liners ont des conséquences d'abord sur le transitaire ensuite sur le chargeur qui peuvent être la même entité.

## 6.7 Chantiers navals

La différence entre les solutions qui utilisent le vent comme une *aide* à la propulsion et celles qui l'utilisent comme moyen principal de propulsion impliquent immédiatement une approche technique différente. Les armateurs 100% véliques doivent construire un nouveau navire ou rénover un vieux gréement et leur démarche marketing doit directement atteindre le consommateur final (B2C & label voir 6.5). La rénovation de vieux gréements cible exclusivement des produits à forte valeur ajoutée, elle se restreint donc à un marché de niche et les connaissances requises se limitent à la rénovation (c.f. littérature G. Folschette (2021) et S. Veyt (2018)).

La construction d'un nouveau navire (« newbuilds ») demande un CAPEX élevé ainsi qu'une prise de risques technologique conséquente considérant que presque aucun voilier marchand n'a été construit depuis longtemps. Il est plus difficile et non souhaitable pour ces nouveaux armateurs de pendre l'entièreté de la R&D en charge (dut à leur difficulté à se financer et leurs différences avec les équipementiers voir 4.4) et le travail entre la startup et le chantier naval est conséquent. La construction d'un navire est techniquement plus complexe que la conception d'un WASP. Beyond the Sea et Anemoi Marine (communications personnelles, 13 et 7 mars 2023) font eux-mêmes la quasi-entièreté de leurs R&D, contrairement à TOWT et LITA.co (2024) et « Veer · shipping, About » (s. d.) qui travaillent et commandent leurs navires à des chantiers navals (ici Pirioux et Dykstra). La charge technique globale est plus élevée chez les nouveaux armateurs.

En plus de la charge technique plus élevée, le néoarmateur qui construit un « new-build » ne veut pas spécialement investir en R&D. Il est contraint de le faire, car aucun chantier naval dans le monde n'est spécialisé dans la construction de voiliers cargos. Le design du navire appartient au chantier naval (Windcoop, 2024). Cette situation est paradoxale, car le chantier naval sera celui qui bénéficiera le plus des recherches de son client, l'avantage technique du premier arrivé (*first mover advantage*)<sup>9</sup> semble pencher plus en

---

9. La théorie du « first mover advantages » théorise les avantages et les inconvénients que les entreprises rencontrent lorsque elles sont pionnières dans un nouveau secteur.

faveur du chantier vis-à-vis de sa concurrence (« First-mover advantage », 2024).

Ce déséquilibre dans les connaissances techniques permet aux potentiels nouveaux arrivants sur le marché d'accéder plus facilement à la construction de leur propre navire en bénéficiant de l'expertise du chantier. Le dépôt de brevet (TOWT & LITA.co, 2024) peut compenser ce déséquilibre et augmenter l'avantage technologique du « first mover ». Un membre de Windcoop expliquait que le droit de faire construire le navire par un autre chantier ne coutait qu'une fraction de la valeur du navire, un cout presque négligeable. L'armateur peut donc facilement demander la construction à un autre chantier. Alors, il ne bénéficiera pas de l'expérience du précédent chantier, mais permet au néoarmateur de faire jouer la concurrence (Windcoop, 2024).

En résumé, les néoarmateurs sont forcés de commander de la R&D, le chantier garde la propriété intellectuelle, mais le droit de construction est facilement vendable. Quand bien même le néoarmateur brevète certains équipements, l'accès à des navires performants par la concurrence est considérablement plus aisé. Le néoarmateur peut faire jouer la concurrence avec un design de navire et dans l'idéal préfère choisir dans un catalogue de navire plutôt que de construire et concevoir le sien.

## **6.8 En somme le néoarmateur et son environnement**

Un problème majeur pour ces néoarmateurs est l'accès difficile aux financements et subventions. Les startups véliques, comme Fairtransport et SailLink, ont rencontré de nombreuses difficultés pour obtenir des fonds, ce qui limite leur capacité à croître et à innover. Les exigences des institutions financières, telles que des apports en fonds propres élevés et des historiques financiers longs, posent des barrières supplémentaires. Les néoarmateurs ont plus de difficultés à se financer que les équipementiers, le financement reste la plus grande difficulté pour les startups selon l'IWSA.

Les navires sont presque exclusivement financés avec un montage « crédit-bail fiscal »

et en France le suramortissement vert est souvent accordé. Les banques se syndiquent et prêtent avec de la dette sénior. Elles ne revendent pas leurs dettes, mais la garantissent auprès de service tiers. L'engagement de chargeurs sur le long terme est un indicateur clés pour obtenir un prêt bancaire.

Les investisseurs professionnels peuvent être réticent à investir, cela dirige les startups vers le crowdfunding. La proportion de particuliers semble plus forte dans les projets de refits.

L'obtention de subventions peut représenter des ressources conséquentes pour les petites structures, surtout si elles opèrent entre 2 juridictions. Le manque d'aide pour les startups aux stades les plus précoces peut aussi représenter un défi.

FuelEU reconnaît la possibilité d'une propulsion 100% vélique. Du lobby, plus de datas et de la standardisation semblent utiles pour que les néoarmateurs bénéficient d'avantages plus prononcés sous ce règlement.

Les refits sont souvent pas soumis à la convention SOLAS. Le néoarmateur peut être client des sociétés de classes pour demander des conseils ou dans le cadre de R&D. La SC peut être une aide et un partenaire pour le néoarmateur, qui doit le choix de son chantier naval, équipementier ou de sa recherche.

L'information de la plus-value ajoutée au produit par le biais d'un transport décarboné doit être communiquée aux consommateurs finaux, les labels et le modèle B2C y contribuent. La montée à l'échelle du secteur est un enjeu et la promesse d'une valeur ajoutée lors du transport représente une opportunité conséquente.

L'émergence des néoarmateurs est une opportunité pour les chargeurs et transitaires soucieux de regagner du contrôle sur leurs chaînes de valeurs. Surtout qu'ils sont néces-

saïres pour conclure le financement d'un navire.

Des chantiers navals spécialisés dans la rénovation de vieux gréements sont plus adaptés aux projets de refits. Une partie de l'avantage technologique du premier est perdu, car le néoarmateur ne possède pas le design du newbuild qu'il fait construire. La possibilité de racheter le droit de construction permet de faire jouer la concurrence parmi les chantiers.

Les contrats de maintenance à long terme sont essentiels pour les équipementiers, mais représentent une dépendance que les armateurs cherchent à minimiser. Le futur néoarmateur devra se poser cette question.

La concurrence entre les différentes technologies de propulsion verte et l'éventuelle standardisation des équipements peuvent être à l'avantage des néoarmateurs.

Les réglementations, telles que FuelEU le European Emission Trading System et l'EEXI/EEDI peuvent aider les néoarmateurs à être plus compétitif puisqu'ils seront plus avantagés par rapport aux armateurs normaux.

Les chargeurs jouent un rôle crucial, car ils sont clients, débloquent l'accès aux prêts bancaires et sont même parfois investisseurs eux-mêmes. Les partenariats stratégiques avec eux sont un enjeu central. Ici, on constate un alignement des intérêts entre le chargeur et l'armateur.

### 6.8.1 Défis des néoarmateurs

Cette sous-section liste les défis décrits dans l'analyse de l'environnement des néoarmateurs.

- Trouver les financements auprès des investisseurs et banques en particulier pour les projets de refits.

- Convaincre les investisseurs professionnels de la viabilité des projets, en particulier les refits.
- Accéder aux subventions en particulier pour les petites structures et celles qui opèrent entre deux juridictions.
- Surmonter le manque de programme d'aide pour les startups très tôt dans leurs développements.
- Consolider l'avantage technologique du premier arrivé.
- Aligner les intérêts des chargeurs et de l'armateur.
- Garantir la transmission de la valeur ajoutée aux consommateurs finaux.
- Faire jouer la concurrence entre les équipementiers et entre les chantiers navals.
- Protéger l'interprétation de la force du vent dans les traités internationaux, en particulier FuelEU.

# Chapitre 7

## Discussion

Ce chapitre traite des réflexions pertinentes, qui n'auraient pas leur place autrement dans ce mémoire parce qu'elles nécessiteraient plus de recherches et dépasseraient le cadre d'un mémoire de master. De plus ce chapitre permet des réflexions intéressantes, mais moins rigoureuses.

Finalement, une section traite des limitations de ce mémoire et suggère des axes de travaux pour de futures recherches.

### 7.1 Charge et exposition aux risques techniques

La figure 12 trie les acteurs du secteur de la propulsion vélique sur 2 axes. L'axe des abscisses :« Exposition aux risques techniques » classe les différents acteurs sur base des conséquences d'un ennui technique sur les ailes ou sur un navire « newbuild ». Les chantiers navals, les courtiers spécialisés et les néoarmateurs sont les plus exposés. Précisons que le risque est estimé relatif l'un par rapport aux autres et de manière qualitative.

Les banques, les assurances et l'administration européenne et étatique sont absentes du graphe. Leurs contributions au secteur vélique sont principalement financières, la charge

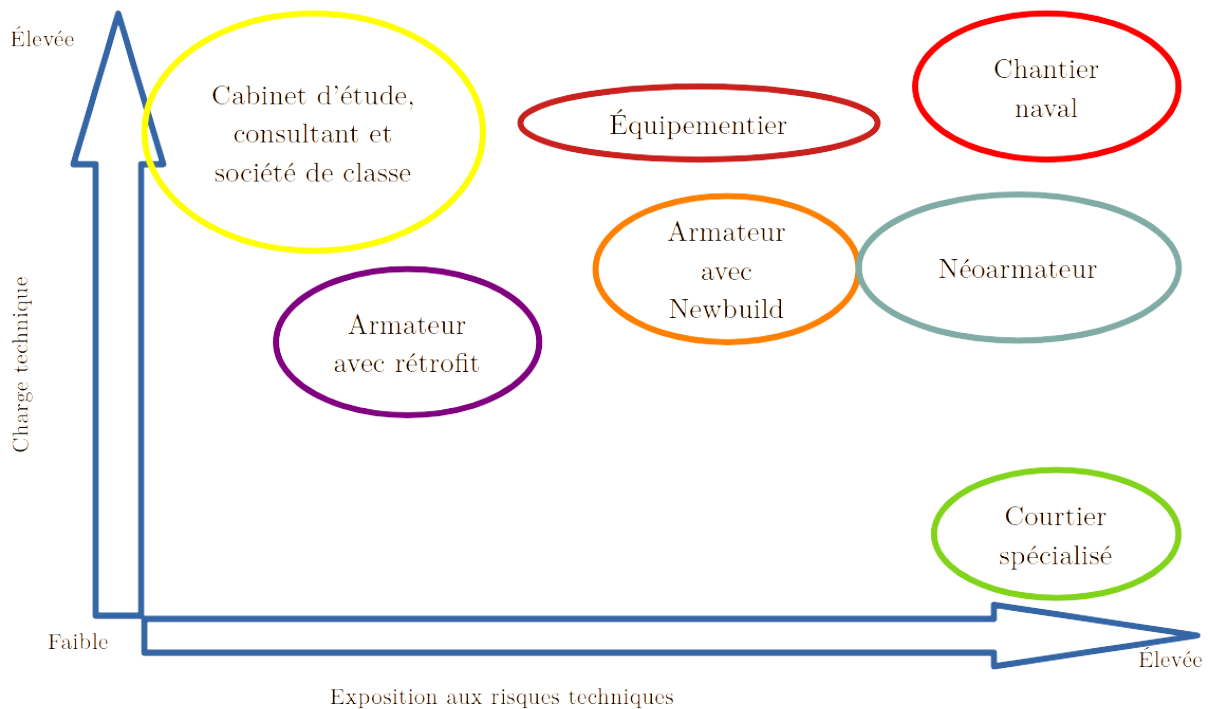


FIGURE 12 – Exposition et charge techniques des principaux acteurs de la propulsion vélique vis-à-vis de l'installation de WASPs ou de la construction d'un navire.

technique peut donc être classée comme très basse. Cependant il ne m'apparaît pas pertinent d'estimer leurs expositions aux risques techniques puisque le contrôle de celui-ci est le métier des banques et assurances. Pour les institutions financières, le risque dépend de leurs balances en fonds propres, du % à risque et du rendement des investissements ou des prêts. Une estimation serait en dehors du cadre de ce travail.

Le chantier naval a la responsabilité de la construction d'un navire ou de la pose d'un appendice vélique. Il est en contact permanent avec les sociétés de classes auxquelles il rend des comptes. Il a une charge technique élevée et est donc aussi très exposé à ces risques. Ils sont augmentés à cause de la nouveauté du secteur de la propulsion vélique.

Les courtiers spécialisés dans le l'import-export de marchandises transportées à la voile ont la même exposition que les néoarmateurs. Puisque le succès de ces derniers cadre la réussite des courtiers. Si les néoarmateurs faillissent à remplir leurs obligations, c'est le cas des courtiers de facto.

Ensuite, le risque chez les néoarmateurs est aussi élevé, car ces derniers arment des navires très vieux ou très expérimentaux. Ils possèdent très peu de navires, rendant les néoarmateurs plus vulnérables. Sur la chaîne de valeur, ils sont situés directement après le chantier naval et les néoarmateurs subiront directement les échecs des chantiers.

Dans la catégorie d'exposition aux risques modérés, on retrouve les équipementiers et les armateurs avec newbuilds. Le risque est perçu comme moyen, car aucun des intervenants interviewés n'a émis des difficultés vis-à-vis de l'assurance des WASPs en rétrofits ou en newbuilds. Légalement, les ailes ne sont pas essentielles et les navires peuvent continuer leurs opérations sans elles. Pour les rétrofits, un certain nombre de bateaux ont déjà été équipés (voir figure 2), réduisant davantage les risques.

Enfin dans la catégorie des moins risqués nous plaçons les armateurs avec rétrofits, les sociétés de classes, les consultants et les cabinets d'études. Les armateurs avec des rétrofits sont moins risqués que les armateurs construisant des newbuilds, ces derniers exigent une charge technique plus élevée. Les sociétés de classes, les consultants et les cabinets d'études sont les moins exposés puisque leurs opérations sont indépendantes des pépins techniques.

L'axe des ordonnées : « Charge technique » classe les acteurs sur base de l'effort mis par ces derniers dans l'élaboration d'une aile ou d'un « newbuild ». Les chantiers navals, les cabinets d'études, les consultants, les sociétés de classes et les équipementiers ont la charge technique la plus élevée puisqu'ils travaillent directement aux développements des technologies véliques.

Dans le groupe du risque modéré, mais relativement élevé, nous retrouvons les armateurs et néoarmateurs. Il leur incombe une charge technique, car ils opèrent les ailes et les possèdent. L'armateur avec rétrofit a une charge plus faible vis-à-vis des autres puisqu'un rétrofit exige moins de nouveauté que la construction d'un nouveau navire.

Les courtiers spécialisés n'ont pas de charges techniques puisqu'ils sont clients des

néoarmateurs.

La figure 12 suggère que l'option « Armateur avec rétrofit » semble la moins risquée et la moins technique. Le graphe explique par une autre approche l'abondance des retrofits sur le marché de l'aide à la propulsion vélique.

La figure permet de déduire les potentielles dominances qu'il pourrait exister entre les acteurs de la propulsion vélique. Ceux avec une grosse charge techniques ont une connaissance supérieure par rapport aux autres. Cette connaissance pourrait dans le futur se traduire en un avantage concurrentiel. Qui, a taux de risque relatif équivalent s'expose de manière la plus efficace à ce nouveau secteur ? Quelle activité demande le moins de CAPEX et apporte stratégiquement un avantage ?

Avec la charge minimum et une exposition maximale, les courtiers spécialisés semblent les plus vulnérables. De fait les néoarmateurs comme Blue Schooner Company, Grain de Sail, Fairtransport ou TOWT participent au marketing et à la vente aux consommateurs. Il est prématuré de parler d'acquisition, mais notons que ces entreprises ont intégré leur activité de courtage dès le début de leur activité (Blue Schooner Company, s. d. ; « Fair transport - Cargo Under Sail », s. d. ; « Notre voilier cargo - Transport maritime décarboné - Grain de Sail », s. d. ; TOWT, s. d.-b).

À l'autre opposé, les cabinets de conseils ont la charge la plus élevée avec une exposition relative faible. À titre d'exemple, Zephyr et Borée réalise des études de marché en attendant que leurs voiliers cargos soient construits. En plus d'un apport financier, cette activité leur apporte une expertise pertinente. Ils commencent avec une activité haute en charge puis augmenteront leurs expositions lors de la construction de leur navire. Une telle approche permet de diminuer le risque lié à l'expansion d'une nouvelle activité.

Le positionnement de ces acteurs pour déterminer leurs potentiels futurs avantages est en dehors du cadre de ce travail, car il exige une compréhension des conditions de

marché de chaque type d'industrie (ex. : comprendre les tenants et aboutissements de la construction navale). Par exemple, on imagine mal un chantier naval faire l'acquisition d'une activité de courtage.

En résumé, le graphe 12 trie des acteurs de la propulsion vélique en fonction de leurs charges et de leurs expositions aux risques techniques relatifs au secteur. Il peut entamer la réflexion sur qui est le mieux stratégiquement positionné dans le marché. Il permet aussi de suggérer l'approche d'un nouvel arrivant. Et regarde sous un autre angle l'abondance de retrofits. Il explique aussi certaines relations, notamment celle entre les néoarmateurs et les courtiers spécialisés. Enfin, la figure suggère une échelle de risques qu'impliquent ces activités.

Ce graphe me semble assez pertinent pour avoir sa place dans le chapitre « discussion » de ce mémoire en offrant un regard différent sur les futures relations possibles dans le secteur de la propulsion vélique. Mais il est limitant et seul, ne permet pas d'offrir une approche rigoureuse de la question qui demanderait des ressources en dehors du cadre d'un mémoire de master.

## 7.2 Limitations, implications et difficultés

Les difficultés à obtenir des interviews, et l'obtention d'échantillons complets sont les principaux défis déjà mentionnés dans le chapitre « Méthodologie et collection de données ». Mais rappelons qu'une limitation évidente est le manque de redondance dans les interviews. L'idéal serait de faire plusieurs interviews pour chaque type d'acteur tout en balayant l'ensemble des protagonistes du marché. Ensuite, j'aurais aimé incorporer plus d'informations quantitatives, elles constituaient une partie non négligeable de ma recherche. Malheureusement, j'ai dû les abandonner, faute de temps.

La grande quantité d'informations communiquées durant les interviews fut complexe à

traiter et intégrer dans un texte compréhensible. L'aspect multisectoriel contribue à cette difficulté.

Le premier point de ce mémoire suggère que la sous-branche des néoarmateurs mérite beaucoup plus d'attention de la part des académiciens.

La question de recherche se veut assez large et tente de donner une vue d'ensemble du marché et définit ce dernier de manière plus précise. Par conséquent, d'autres recherches pourront traiter des relations plus spécifiques au sein de la propulsion vélique.

- Les relations entre les équipementiers et les chantiers navals semblent offrir des synergies intéressantes.
- L'importance de réglementations internationales et leur impact réel. En particulier la survie du secteur sans ces règles contraignantes.
- Déterminer la capacité des néoarmateurs à concurrencer les armateurs en place ?
- Comment l'arrivée de néoarmateurs est une opportunité pour de grands groupes de se verticaliser sur leurs chaînes de valeurs.
- Dans quelles proportions le vent peut changer le business modèle des armateurs.
- Élaborer des modèles légaux et mathématiques juste pour une pondération des technologies vélique par rapport à leurs concurrents verts dans les règlements internationaux.

# Conclusion

Pour conclure nos recherches et mettre en avant les réponses et solutions suggérées par les interviews et la littérature, reprenons la question de recherches.

## **Qui sont les acteurs de la propulsion vélique et comment interagissent-ils dans leurs environnements administratif, commercial et bancaire ?**

Découpons la question de la recherche en plusieurs parties pour y répondre.

### *« Qui sont les acteurs de la propulsion vélique »*

Dans le secteur de la propulsion vélique, les protagonistes sont les équipementiers et les néoarmateurs. D'autres acteurs secondaires et mineurs existent comme la consultance spécialisée et les courtiers de produits transportés à la voile. Ils existent et dépendent du développement de ce nouveau marché.

Un premier constat suite à la revue de la littérature est que les néoarmateurs sont presque toujours absents de celle-ci. Plusieurs raisons expliquent cette absence et nous expliquons pourquoi ils devraient être traités comme deux entités distinctes d'un même marché.

D'abord, les ressources semblent se diriger plutôt vers les constructeurs de WASPs. Il existe probablement plus d'équipementiers que de néoarmateurs et ils ont accès à moins de financements et de subventions. Les constructeurs d'équipements sont à des stades plus

avancés de croissance.

Le néoarmateur est client du chantier naval et l'équipementier travaille avec lui. Malgré le fait que le néoarmateur est conduit à commander de la R&D. En conséquence, le néoarmateur cumule les risques techniques de la R&D et les risques commerciaux du shipping.

Les néoarmateurs aussi pourraient être clients des équipementiers. Car ils n'ont pas la même activité principale.

L'activité de néoarmateur peut être vue comme la suite logique après le plein développement de l'aide à la propulsion vélique. Mais ce n'est pas le seul aspect de leur développement puisque les deux sous-secteurs (néoarmateurs & équipementiers) débutent leurs activités en même temps. Les néoarmateurs passent leurs activités à l'échelle.

Enfin, les néoarmateurs ont moins de sortes d'équipements disponibles. Les équipementiers pourraient subir moins de concurrence dans le cas où leurs clients étaient des néoarmateurs. Les collaborations avec les chantiers navals pourraient être un enjeu tactique.

*« [...] comment interagissent-ils dans leurs environnements bancaires [...] ? »*

Les deux protagonistes obtiennent des prêts bancaires qui sont cruciaux pour le financement des projets. Les banques aident les entreprises à tous leurs stades de développements, prêtent en dettes sénières et investissent peu en fonds propres. Le protagoniste interviewé n'émet pas d'obligation.

Pour réduire les risques, les banquiers se syndiquent et peuvent garantir leurs prêts auprès d'organismes de réassurances. Le montage « crédit-bail fiscal » est utilisé pour le

financement de navires et des mesures d'aide fiscales supplémentaires sont accordées (sur-amortissement vert).

Parmi les équipementiers, il existe plusieurs structures différentes. Certaines sont dans des incubateurs de grands groupes, d'autres se financent en rounds et en dettes. Les entreprises peuvent aussi obtenir des subventions.

Les entités interviewées ne déclarent pas de grands mouvements d'actionnaires. Les projets pilotes des équipementiers semblent avoir donné confiance aux investisseurs comme le suggère la littérature académique sur le sujet. La première difficulté que rencontre le secteur reste la recherche de fonds même si les difficultés opérationnelles sont aussi un des principaux défis. Les néoarmateurs ont toujours plus de difficultés à se financer que les équipementiers. Pour ces nouveaux armateurs, les refits ont moins de soutien que les newbuilds.

« [...]comment interagissent-ils dans leurs environnements administratif [...] ? »

### *Équipementier*

L'enjeu des réglementations est important, car elles doivent être judicieusement appliquées et pondérées, exigeant un arbitrage subtil. L'impact des solutions véliques sur ces règlements est une demande des clients. Dans cette optique les équipementiers doivent beaucoup communiquer et protéger leurs intérêts notamment via des lobbys. Certains règlements tels que European Emission Trading System, EEXI&EEDI sont bénéfiques pour toutes les technologies vertes. FuelEU prend en compte la propulsion vélique spécifiquement, mais considère un apport énergétique des équipements véliques maximum de 15%.

L'analyse du cycle de vie carbone de l'OMI considère le vent comme un carburant. Cette classification ouvre la porte à de nouvelles interprétations notamment du statut des équipements véliques, avec des impacts potentiels au delà de leurs statuts de « non-essential deck equipment ». Statut dont l'interprétation ne se limite plus à la définition

que donne la convention SOLAS.

Les équipementiers ont opéré dans un environnement non règlementé qui a nécessité beaucoup de collaborations avec les sociétés de classifications. Ces dernières semblent motivées pour la mise sous classes de navires spéciaux. L'obtention de certificats de classes peut être un argument marketing pour les équipementiers, mais le Lloyd's Register n'en fait la promotion qu'à de rares occasions.

Les sociétés de classes sont aussi des consultants qui peuvent offrir leurs services, faisant un lien entre l'armateur et le fournisseur d'équipements.

### *Néoarmateurs*

Les néoarmateurs estiment difficile l'obtention de subventions qui requiert des ressources conséquentes inversement proportionnelles à la taille de l'entreprise. L'allocation des subventions dépend d'indicateurs de performance qui ne sont pas adaptés à certains néoarmateurs et peu de subventions sont destinées à des startups dans les premiers stades de leurs développements.

La possibilité d'une propulsion 100% vélique est mentionnée dans le règlement FUE-IEU. La communication, les lobbys et la réussite des startups peuvent aider à la prise en compte totale du vent par le régulateur.

Les sociétés de classification traitent principalement avec les néoarmateurs engagés dans la construction de « newbuilds ». Elles peuvent facturer du conseil aux néoarmateurs, notamment dans le cadre de leurs R&D.

« [...]comment interagissent-ils dans leurs environnements commercial [...]? »

### *Équipementier*

Les équipementiers peuvent rechercher des partenariats stratégiques pour la conception de « newbuilds ». Les WASPs sont encore vendu cash aux armateurs malgré la disponibilité de schémas de financement plus complexes (leasing & parties tierces). Le leasing pourrait s'avérer être un atout pour l'armateur (pour sa flexibilité de choix) et un service supplémentaire pour l'équipementier. Les contrats de maintenances sont alors plus faciles d'accès. L'armateur cherche à être indépendant de l'équipementier et il lui sera bénéfique de standardiser certaines technologies. Le soutien politique et les partenariats de longs termes sont les manières choisies par l'industrie pour aligner les intérêts des parties.

Les partenariats stratégiques avec des chantiers navals peuvent consolider et verticaliser les positions des équipementiers. Ces premiers sont capables de concurrencer les fournisseurs d'équipements véliques en fabriquant eux-mêmes ces fournitures.

### *Néoarmateurs*

Le changement d'échelle reste un des premiers objectifs qui poussera les business models vers le B2B et réduira l'apport financier des écotouristes. La branche des vieux gréements a montré un premier signe d'essoufflement. Pour industrialiser le secteur, des labels sont mis en place et des entreprises se spécialisent dans l'import-export de produits transportés à la voile.

Ajouter de la plus-value au transport maritime représente une opportunité encore non réussie dans le shipping mondial.

La présence des chargeurs sur le long terme est une clé pour le financement de projets par les banques. Ils sont parfois investisseurs, pour des raisons écologiques et stratégiques. Une position stratégique peut leur permettre de regagner de la souveraineté sur

leurs chaînes de valeurs. Ces intérêts convergent et poussent des acteurs non maritimes à s'investir dans la propulsion 100% vélique.

La charge technique est plus élevée chez le néoarmateur qui est forcé de commander de la R&D. Les chantiers navals récupèrent la plupart de l'expertise technique liée à la construction du navire, sans que le néoarmateur n'en tire un avantage clair par rapport à ses concurrents.

# Bibliographie

A. CONAN. (2012). *La turbo voile Propulsion écologique* [memoire bachelor]. Antwerp Maritime Academy. [https://ikz.hzs.be/cgi-bin/Public/Scripties.pl?VIEW\\_THESIS=960&LANG=NL](https://ikz.hzs.be/cgi-bin/Public/Scripties.pl?VIEW_THESIS=960&LANG=NL)

À Douarnenez, la levée de fonds citoyenne de Towt atteint les 3 M€ [Section Douarnenez]. (2022). *Le Télégramme*. Récupérée août 4, 2023, à partir de <https://www.letelegramme.fr/finistere/douarnenez-29100/a-douarnenez-la-leeve-de-fonds-citoyenne-de-towt-atteint-les-3-meur-269363.php>

*About - what is SailGP, the world's most exciting racing on water* [SailGP]. (s. d.). Récupérée mai 9, 2024, à partir de <https://sailgp.com/about/>

*About anemoi marine* [Anemoi]. (2023). Récupérée mai 16, 2024, à partir de <https://anemoimarine.com/magnus-effect-ship/>

*About us / our purpose* [BAR technologies]. (s. d.). Récupérée mai 10, 2024, à partir de <https://www.bartechnologies.uk/about/>

ADEME, Notre organisation. (s. d.). Récupérée mai 8, 2024, à partir de <https://www.ademe.fr/lagence/notre-organisation/>

*airseas*. (s. d.). Récupérée mai 11, 2023, à partir de <https://airseas.com/our-partners>

AIRSEAS. (2023, juillet). *First event as a company of more than a hundred employees!* [Linkedin]. Récupérée mai 12, 2024, à partir de <https://www.linkedin.com/>

posts/airseas-tech\_\_airseas-summer-camp-2023-activity-7083004662261391362-BKib/?utm\_source=share&utm\_medium=member\_desktop

ALAN MURPHY. (2021). Record USD 37.2bn Carrier EBIT in 2021-Q3. *Sea-Intelligence*, 1. Récupérée août 14, 2023, à partir de [https://sea-intelligence.com/images/press\\_docs/ss542/20211130\\_-\\_Sea-Intelligence\\_Sunday\\_Spotlight\\_542\\_Press\\_Release.pdf](https://sea-intelligence.com/images/press_docs/ss542/20211130_-_Sea-Intelligence_Sunday_Spotlight_542_Press_Release.pdf)

ALEIXENDRI, C. (2023, septembre 7). *Bound4blue raises €22.4 million from the european commission, major corporate investors and VC | bound4blue* [Press releases & news] [Section : Press release]. Récupérée juin 18, 2024, à partir de <https://bound4blue.com/bound4blue-raises-e22-4-million-from-the-european-commission-major-corporate-investors-and-vc/>

ALLWRIGHT, G. (2024, février 15). *Opinion : can wind propulsion weather the approaching perfect storm ?* [Offshore energy]. Récupérée mai 7, 2024, à partir de <https://www.offshore-energy.biz/opinion-can-wind-propulsion-weather-the-approaching-perfect-storm/>

Article 39 decies C - 2 : Détermination des bénéfices imposables (Articles 36 à 43 bis) (2023, décembre 29). Récupérée mai 17, 2024, à partir de [https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article\\_lc/LEGIARTI000044978835](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000044978835)

AYRO. (s. d.). *Ayro, OceanWINGs* [AYRO]. Récupérée mai 16, 2023, à partir de <https://ayro.fr/projects/shipping/>

BERGESON, L., & GREENWALD, C. K. (1985). Sail assist developments 1979–1985. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 19(1), 45-114. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0167-6105\(85\)90056-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0167-6105(85)90056-X)

BEYOND THE SEA. (s. d.). *Beyond the Sea®*, traction de navires par aile de kite [Beyond the sea]. Récupérée mai 12, 2024, à partir de <https://beyond-the-sea.com/>

BEYOND THE SEA. (2024, janvier 25). *Notre projet est soutenu dans le cadre de France 2030* [Beyond the sea] [<https://beyond-the-sea.com/>]. Récupérée mai 12, 2024, à

partir de <https://beyond-the-sea.com/notre-projet-est-soutenu-dans-le-cadre-de-france-2030/>

BLUE SCHOONER COMPANY. (s. d.). *Blue Schooner Company - Sail cargo* [Notre navire Gallant]. Récupérée août 5, 2023, à partir de <https://blue-schooner.com/flotte/>

BONNEY, P., & WALKER, J. (1986). Walker wingsail operating experience on the MV Ashington.

BPI France, *private equity* [Bpifrance.com]. (2024). Récupérée juin 24, 2024, à partir de <https://www.bpifrance.com/private-equity/>

BPIFRANCE. (2020, juin 19). *Garantie de crédit bancaire : évaluation de l'impact des fonds de garantie de place* [Actus]. Récupérée juin 23, 2024, à partir de <https://www.bpifrance.fr/nos-actualites/garantie-de-credit-bancaire-evaluation-de-limpact-des-fonds-de-garantie-de-place>

BRIERE DE LA HOSSERAYE, C. (2024). *WASP Vessels - Tracking Map* [Velic Consulting]. Récupérée mai 10, 2024, à partir de [https://velic-consulting.com/?page\\_id=309](https://velic-consulting.com/?page_id=309)

*Bulk carrier | rotor sails | norsepower*. (s. d.). Récupérée mai 6, 2023, à partir de <https://www.norsepower.com/bulker>

CAISSE D'EPARGNE. (2011, novembre 29). Le Crédit Bail Fiscal, un financement bonifié pour vos matériels de transport public. Récupérée mai 17, 2024, à partir de [https://www.caisse-epargne.fr/cache/credit-bail-fiscal\\_doc\\_20111129021804.pdf](https://www.caisse-epargne.fr/cache/credit-bail-fiscal_doc_20111129021804.pdf)

CARGILL MEDIA TEAM. (2023, août). Cargill & BAR Technologies | Cargill. Récupérée mai 7, 2024, à partir de <https://www.cargill.com/2023/cargill-bar-technologies-wind-technology-sets-sail>

CHAILLOU, J. (2023). Transport maritime : le cargo à voile de l'armateur nantais Neoline sera construit en Turquie [Section : Nantes]. *Le Figaro*. Récupérée juin 10, 2024, à partir de <https://www.lefigaro.fr/nantes/transport-maritime-le-cargo-a-voile-de-l-armateur-nantais-neoline-sera-construit-en-turquie-20230119>

CHAMBERS, S. (2023, janvier 31). *Norsepower gets state funds to expand* [Splash247].  
Récupérée mai 21, 2024, à partir de <https://splash247.com/norsepower-gets-state-funds-to-expand/>

*Colloque sur l'avenir du transport maritime à la voile.* (2023, octobre 24). Le Havre.  
Récupérée octobre 24, 2023, à partir de <https://www.youtube.com/watch?v=HFCRIr6WS0U>

*Crédit-bail fiscal* [Registre international français (RIF)] [Last Modified : 2023-11-09]. (2023, novembre 9). Récupérée mai 17, 2024, à partir de <https://www.rif.mer.gouv.fr/credit-bail-fiscal-a507.html?lang=fr>

DADD, G., HUDSON, D., & SHENOI, R. (2010). Comparison of Two Kite Force Models with Experiment. *Journal of Aircraft - J AIRCRAFT*, 47, 212-224. <https://doi.org/10.2514/1.44738>

*Delta wing sail | Seagate Sail.* (2014, février 23). Récupérée mai 20, 2023, à partir de <https://web.archive.org/web/20150517075517/http://seagatesail.com:80/technology/delta-wing-sail/>

E. DE MAEYER. (1988). *Weer routing voor zeilende vrachtschepen* [bachelor proef]. Antwerp Maritime Academy. Récupérée mai 20, 2023, à partir de [http://scripties.hzs.be/Repository/Eindwerk\\_Definitief\\_1818\\_1614608807.pdf](http://scripties.hzs.be/Repository/Eindwerk_Definitief_1818_1614608807.pdf)

EASON, C. (2024, avril 4). *British cleantech firm gets venture capital funding for wind propulsion trials* [TradeWinds | latest shipping and maritime news] [Section : technology]. Récupérée mai 12, 2024, à partir de <https://www.tradewindsnews.com/technology/british-cleantech-firm-gets-venture-capital-funding-for-wind-propulsion-trials/2-1-1621251>

*Ecoliner - Dykstra Naval Architects.* (s. d.). Récupérée mai 20, 2023, à partir de <https://www.dykstra-na.nl/designs/wasp-ecoliner/>

- Économie d'échelle [Page Version ID : 210650587]. (2023, décembre 17). In *Wikipédia*.  
Récupérée juin 21, 2024, à partir de [https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=%C3%89conomie\\_d%27%C3%A9chelle&oldid=210650587](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=%C3%89conomie_d%27%C3%A9chelle&oldid=210650587)
- EEDI - rational, safe and effective*. (s. d.). Récupérée août 3, 2023, à partir de <https://www.imo.org/fr/MediaCentre/HotTopics/Pages/EEDI.aspx>
- ENAUUX, B. (2024, février 14). "*Keel-laying*", *pose du premier bloc du NEOLINER ORIGIN : l'assemblage du premier cargo à voile de Neoline commence !* [NEOLINE].  
Récupérée juillet 2, 2024, à partir de <https://www.neoline.eu/pose-du-1er-bloc-du-neoliner-origin/>
- Energietransitiefonds. (2023, octobre 4). Récupérée mai 8, 2024, à partir de <https://economie.fgov.be/nl/themas/energie/energietransitie/energietransitiefonds>
- Équipes* [VELA]. (2023). Récupérée mai 10, 2024, à partir de <https://vela-transport.com/equipes/>
- EUROPEAN MARITIME SAFETY AGENCY, LAURSEN, R., PATEL, H., SOFIADI, D., ZHU, R., NELISSEN, D., VAN SETERS, D., PANG, E., AMERICAN BUREAU OF SHIPPING, CE DELFT & ARCSILEA. (2023, août 31). *Report - potential of wind-assisted propulsion for shipping* (EMSA/OP/43/2020 N° 4837444). European Maritime Safety Agency. Lisbonne.
- EUROPÉENNE, C. (2014, juillet). G. Technology readiness levels (TRL). Récupérée août 13, 2023, à partir de [https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014\\_2015/annexes/h2020-wp1415-annex-g-trl\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014_2015/annexes/h2020-wp1415-annex-g-trl_en.pdf)
- Fair transport - cargo under sail* [Fair transport]. (s. d.). Récupérée mai 16, 2024, à partir de <https://fairtransport.eu/en/>
- First-mover advantage [Page Version ID : 1223805713]. (2024, mai 14). In *Wikipedia*.  
Récupérée juillet 2, 2024, à partir de [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=First-mover\\_advantage&oldid=1223805713](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=First-mover_advantage&oldid=1223805713)

- Funding & tenders, airseas. (s. d.). Récupérée mai 16, 2023, à partir de <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/projects-details/31098847/101038256/EMFF>
- G. FOLSCHETTE. (2021). *Plan d'Entreprise : White Sail Company* [mémoire de master]. Antwerp Maritime Academy.
- GADKARI, M., DESHPANDE, V., MAHULKAR, S., KHUSHALANI, V., PARDHI, S., & KEDAR, A. (2017). To Study Magnus Effect on Flettner Rotor. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 4(02).
- GAEL COGNE. (2024). Formation : un module pour que les marins appréhendent mieux la propulsion par le vent | Mer et Marine. *Mer et Marine*. Récupérée mai 16, 2024, à partir de <https://www.meretmarine.com/fr/marine-marchande/formation-un-module-pour-que-les-marins-apprehendent-mieux-la-propulsion-par-le-vent>
- GBADEGESHIN, S. A., NATSHEH, A. A., GHAFEL, K., MOHAMMED, O., KOSKELA, A., RIMPILÄINEN, A., TIKKANEN, J., & KUOPPALA, A. (2022). Overcoming the Valley of Death : A New Model for High Technology Startups. *Sustainable Futures*, 4, 100077. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sftr.2022.100077>
- GHOSH, S. (2022, juillet 27). *What is energy efficiency design index?* [Marine insight]. Récupérée août 3, 2023, à partir de <https://www.marineinsight.com/maritime-law/energy-efficiency-design-index/>
- GRAIN DE SAIL LOGISTICS (MORLAIX) *Chiffre d'affaires, résultat, bilans sur SOCIETE.COM - 951240027* [Société.com]. (2023, mars 29). Récupérée mai 12, 2024, à partir de <https://www.societe.com/societe/grain-de-sail-logistics-951240027.html>
- Grayhound shipping – events and sail cargo on an 18th century sail ship*. (s. d.). Récupérée mars 3, 2023, à partir de <https://grayhoundshipping.com/>
- GT GREEN TECHNOLOGIES. (2022). GT green technologies secures grant funding for innovative AirWing™. *The Maritime Executive*. Récupérée mai 10, 2024, à partir

de <https://maritime-executive.com/corporate/gt-green-technologies-secures-grant-funding-for-innovative-airwing>

H. BECKERS. (2019). *LE RETOUR DE LA VOILE SUR LES NAVIRES MARCHANDS*  
*Quel système d'assistance éolien est le plus efficace sur les routes de l'Atlantique ?*  
[mémoire de master]. Antwerp Maritime Academy. [https://ikz.hzs.be/cgi-bin/Public/Scripties.pl?VIEW\\_THESIS=1128&LANG=NL](https://ikz.hzs.be/cgi-bin/Public/Scripties.pl?VIEW_THESIS=1128&LANG=NL)

HAMADA, N. (1985). THE DEVELOPMENT IN JAPAN OF MODERN SAIL-ASSISTED SHIPS FOR ENERGY CONSERVATION. *Regional Conference on Sail-Motor Propulsion*, 1-10. Accession Number : 00657635.

*Hawila* [Hawila]. (s. d.). Récupérée mars 3, 2023, à partir de <https://www.hawila.org/>

HÉDER, M. (2017). From NASA to EU : the evolution of the TRL scale in Public Sector Innovation. *THE INNOVATION JOURNAL*, 22(2), 1-23. <https://eprints.sztaki.hu/9204/>

HESSEVIK, A. (2022). Green shipping networks as drivers of decarbonization in offshore shipping companies. *Maritime Transport Research*, 3, 100053. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.martra.2022.100053>

HUEBER, C. (2024, mai 13). *Wind-assisted propulsion performance prediction tool for ships (WASP4) project* [Caponnetto Hueber]. Récupérée juin 23, 2024, à partir de <https://caponnetto-hueber.com/wind-assisted-propulsion-performance-prediction-tool-for-ships-wasp4-project/>

IMO. (s. d.). *EEXI and CII - ship carbon intensity and rating system* [IMO média center]. Récupérée mai 13, 2023, à partir de <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/EEXI-CII-FAQ.aspx>

*Investir en parts sociales dans Windcoop | LITA.co France* [LITA.co France]. (s. d.). Récupérée août 4, 2023, à partir de <https://fr.lita.co/fr/projects/925-windcoop>

- J. MEULEMEESTER. (2020). *Flettner rotors en VentiFoils : de mogelijke toekomst van windpropulsie* [masterproef]. Antwerp Maritime Academy. [https://ikz.hzs.be/cgi-bin/Public/Scripties.pl?VIEW\\_THESIS=1201&LANG=NL](https://ikz.hzs.be/cgi-bin/Public/Scripties.pl?VIEW_THESIS=1201&LANG=NL)
- K. PROOST. (2013). *Een hedendaags zeilende handelsvloot : haalbaar of niet ?* [masterproef]. Antwerp Maritime Academy. [https://ikz.hzs.be/cgi-bin/Public/Scripties.pl?VIEW\\_THESIS=779&LANG=NL](https://ikz.hzs.be/cgi-bin/Public/Scripties.pl?VIEW_THESIS=779&LANG=NL)
- KARSLÉN, R., PAPACHRISTOS, G., & REHMATULLA, N. (2019). An agent-based model of climate-energy policies to promote wind propulsion technology in shipping. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 31, 33-53. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eist.2019.01.006>
- Kiteboarding [Page Version ID : 1222830833]. (2024, mai 8). In *Wikipedia*. Récupérée mai 18, 2024, à partir de <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Kiteboarding&oldid=1222830833>
- KÖHLER, J. (2020). Zero carbon propulsion in shipping – scenarios for the development of hydrogen and wind technologies with the MATISSE-SHIP model [Publisher : IOS Press]. *International Shipbuilding Progress*, 67(1), 79-95. <https://doi.org/10.3233/ISP-190269>
- Koninklijk besluit tot vaststelling van de gebruiksvoorwaarden van het Energietransitiefonds [Dossiënummer : 2017-05-09/02]. (2017, mai). Récupérée mai 8, 2024, à partir de <https://www.ejustice.just.fgov.be/eli/bsluit/2017/05/09/2017012094/justel>
- LADE, T. (2014). *Project vindskip*. <https://www.wind-ship.org/en/vindskip/>
- LATAIRE, E. (2023, septembre). *PROPULSION (part 2)* (A. maritime ACADEMY, Éd.). Cours. Version 40.0. Antwerp, Antwerp Maritime Academy.
- Le premier #voiliercargo #TOWT a quitté Giurgiu le 21 juillet, pour l'instant pas #à la voile, l'ETA à Constantza est prévue ce jour-même.* (2023, juillet 27). Récupérée août 3, 2023, à partir de [https://www.linkedin.com/posts/towt\\_voiliercargo-](https://www.linkedin.com/posts/towt_voiliercargo-)

towt-aeqlavoile-activity-7089216739866984449-FUjH/?utm\_source=share&utm\_medium=member\_desktop

LESCURE, R., BERVILLE, H., BLAIZE, V., MARTY, P., CHAUVIERE, C., MERCIER-PERRIN, N., & CHOUMERT, D. (2024). Pacte propulsion des navires par le vent entre l'Etat et les acteurs du secteur velique.

*Libertykite* [LibertyKite]. (s. d.). Récupérée mai 17, 2024, à partir de <https://libertykite.com/en/>

LLOYD'S REGISTER. (2024). SHIPPING AND FIT FOR 55 : Managing compliance and optimising operations under the EU's new regime.

M. UTEN. (2022, janvier). Chapter 3, registering of a ship [Cours de 3 bach].

MAHMOUDI, M., SABOOHI, Y., & KÖHLER, J. (2024). Facilitating the transition to sustainable propulsion in the shipping industry : An agent-based modelling analysis of retrofitting. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 51, 100838.

*Maltese Falcon* (yacht) [Page Version ID : 1195563551]. (2024, janvier 14). In *Wikipedia*. Récupérée mai 18, 2024, à partir de [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Maltese\\_Falcon\\_\(yacht\)&oldid=1195563551](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Maltese_Falcon_(yacht)&oldid=1195563551)

MANDER, S. (2017). Slow steaming and a new dawn for wind propulsion : A multi-level analysis of two low carbon shipping transitions. *Marine Policy*, 75, 210-216. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2016.03.018>

MCGROARTY, R. D. (2003). THE ALLURE OF TAX LEASES. *Lloyd's Shipping Economist*.

MCINTYRE, D. R. A. (2014). Overcoming "The Valley of Death" [PMID : 25549408]. *Science Progress*, 97(3), 234-248. <https://doi.org/10.3184/003685014X14079421402720>

MEPC-81-INF.39 reduction of GHG emissions from ships , White paper on wind propulsion Submitted by Comoros, France, Solomon Islands and IWSA (2024, jan-

- vier 12). Récupérée mai 17, 2024, à partir de <https://www.wind-ship.org/wp-content/uploads/2023/01/MEPC-81-INF.39-White-paper-on-wind-propulsion-Comoros-France-Solomon-IWSA.pdf>
- MICHELIN GROUPE. (s. d.). *WISAMO*. Récupérée août 4, 2023, à partir de <https://wisamo.michelin.com/>
- MILTOS MESSINEZIS. (2024, mai 16). *Navigating Regulatory Waters : Wind Assisted Propulsion Systems and EU Compliance*.
- MOON, H. (2023, mars 28). *Norsepower secures €28 million from investors to bring sails back to shipping* [Norsepower rotor sails™ | wind propulsion]. Récupérée mai 21, 2024, à partir de <https://www.norsepower.com/post/norsepower-secures-e28-million-from-investors-to-bring-sails-back-to-shipping/>
- MUSCIO, A., SIMONELLI, F., & VU, H. (2023). Bridging the valley of death in the EU renewable energy sector : toward a new energy policy. *Business Strategy and the Environment*, bse.3384. <https://doi.org/10.1002/bse.3384>
- NELISSEN, D., TRAUT, M., KOEHLER, J., MAO, W., FABER, J., & AHDOUR, S. (2016). Study on the analysis of market potentials and market barriers for wind propulsion technologies for ships. *CE Delft*.
- NEOLINE. (2023, juin 13). *Neoline news* [NEOLINE]. Récupérée août 4, 2023, à partir de <https://www.neoline.eu/en/news-press/>
- New dawn trader* [New dawn traders]. (s. d.). Récupérée mars 1, 2023, à partir de <https://www.newdawntraders.com/>
- NEWSDESK, B. B. N. (2023). Canopée : world's first hybrid industrial cargo ship marks a new era in responsible shipping. *Break Bulk News*. Récupérée juin 25, 2024, à partir de <https://breakbulk.news/canopee-worlds-first-hybrid-industrial-cargo-ship-marks-a-new-era-in-responsible-shipping/>

- NORSEPOWER. (2023). *Norsepower, our story* [Norsepower rotor sails™ | wind propulsion]. Récupérée juin 28, 2024, à partir de <https://www.norsepower.com/ourstory/>
- Notre voilier cargo - Transport maritime décarboné - Grain de Sail.* (s. d.). Récupérée mai 1, 2023, à partir de <https://graindesail.com/fr/content/14-notre-voilier-cargo-grain-de-sail>
- NOTTEBOOM, T., PALLIS, A., & RODRIGUE, J.-P. (2022). *Port economics, management and policy*. Routledge.
- NUTTALL, P., & KAITU’U, J. (2016). The Magnus effect and the Flettner rotor : potential application for future oceanic shipping. *The Journal of Pacific Studies*, 36(2), 161-182.
- OneSails.* (s. d.). Récupérée mai 9, 2023, à partir de <https://www.onesails.com/international/sails/super-yachts/super-yachts-sails>
- Our promise label* [Grain de Sail]. (s. d.). Récupérée mai 14, 2023, à partir de <https://graindesail-overseas.com/our-promise-label>
- P. LANDOEUER. (2018). *Analyse aérodynamique et conception d’un propulseur Turbovoile* [mémoire de master]. Antwerp Maritime Academy.
- POTTIER, C. (2021). Et si la propulsion vélique était l’avenir du transport maritime ? *Franceinfo*. Récupérée juin 10, 2024, à partir de [https://www.francetvinfo.fr/replay-radio/au-fil-de-l-eau/et-si-la-propulsion-velique-etait-l-avenir-du-transport-maritime\\_4809149.html](https://www.francetvinfo.fr/replay-radio/au-fil-de-l-eau/et-si-la-propulsion-velique-etait-l-avenir-du-transport-maritime_4809149.html)
- PREMTI, A. (2016). Liner shipping : is there a way for more competition ? [JEL classification : K21, L40, L91]. *United nation conference on trade and development*, (224), 42. [https://unctad.org/system/files/official-document/osgdp2016d1\\_en.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/osgdp2016d1_en.pdf)
- Public grants. renewable energy in shipping / bound4blue* [Public grants]. (2023, mars 21). Récupérée mai 19, 2024, à partir de <https://bound4blue.com/public-grants/>

Regulation (EU) 2023/1805 of the European Parliament and of the Council of 13 September 2023 on the use of renewable and low-carbon fuels in maritime transport, and amending Directive 2009/16/EC (Text with EEA relevance) (2023, septembre 22). Récupérée juin 24, 2024, à partir de <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1805/oj>

REHMATULLA, N., PARKER, S., SMITH, T., & STULGIS, V. (2017). Wind technologies : Opportunities and barriers to a low carbon shipping industry. *Marine Policy*, 75, 217-226. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2015.12.021>

*Rotor sail installation and services - anemoi marine* [Anemoi]. (s. d.). Récupérée mai 7, 2023, à partir de <https://anemoimarine.com/rotor-sail-installation/>

S. VEYT. (2018). *Zeilvaart : een nieuw businessplan in de maritieme sector?* [master-proef]. Antwerp maritime academy. [https://ikz.hzs.be/cgi-bin/Public/Scripties.pl?VIEW\\_THESIS=471&LANG=NL](https://ikz.hzs.be/cgi-bin/Public/Scripties.pl?VIEW_THESIS=471&LANG=NL)

*Sailcoop, la coopérative* [Sailcoop]. (2024). Récupérée juillet 1, 2024, à partir de <https://www.sailcoop.fr/la-cooperative/>

*SailLink* [SailLink]. (s. d.). Récupérée mai 20, 2024, à partir de <https://saillink.co.uk/>

Section 1 : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Articles L131-3 à L131-7) - Légifrance. (2004, juillet). Récupérée mai 8, 2024, à partir de [https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section\\_lc/LEGITEXT000006074220/LEGISCTA000006176637/](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section_lc/LEGITEXT000006074220/LEGISCTA000006176637/)

Senior debt [Page Version ID : 1192589453]. (2023, décembre 30). In *Wikipedia*. Récupérée mai 17, 2024, à partir de [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Senior\\_debt&oldid=1192589453](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Senior_debt&oldid=1192589453)

SHIPPING, V. (2023). *(18) veer.voyage : posts / LinkedIn* [LinkedIn]. Récupérée juillet 1, 2024, à partir de <https://www.linkedin.com/company/veer-voyage/posts/?feedView=all>

- SKYSAILS. (s. d.). *Wind energy is our passion and motivation* [SkySails power]. Récupérée mai 18, 2024, à partir de <https://skysails-power.com/about-us/>
- SolidSail* [Chantiers de l'Atlantique]. (s. d.). Récupérée août 4, 2023, à partir de <https://chantiers-atlantique.com/references/solid-sail-aeoldrive/>
- STOCK, A. (2023). Decision not to extend EU CBER promotes level playing field. *FIATA, International Federation of Freight Forwarders Associations*. Récupérée juillet 2, 2024, à partir de <https://fiata.org/n/decision-not-to-extend-eu-cber-promotes-level-playing/>
- TADROS, M., VENTURA, M., & SOARES, C. G. (2023). Review of current regulations, available technologies, and future trends in the green shipping industry. *Ocean Engineering*, 280, 114670. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.114670>
- TEILLARD, T. (2024). L'armateur japonais K Line rachète le concepteur de voile Airseas [Section : Shipping]. *Le marin*. Récupérée mai 10, 2024, à partir de <https://lemarin.ouest-france.fr/shipping/larmateur-japonais-k-line-premier-client-de-son-kite-rachete-airseas-e5c6c45c-ccac-11ee-84f3-30cb0ba0cd2f>
- THE MARITIME EXECUTIVE. (2024). Airbus and louis dreyfuss order three wind-assisted cargo ships from china. *The Maritime Executive*. Récupérée mai 18, 2024, à partir de <https://maritime-executive.com/article/airbus-and-louis-dreyfuss-order-three-wind-assisted-cargo-ships-from-china>
- TOULIN, G. (2022). « Suramortissement vert » et crédit-bail avec option d'achat de navire : vision pratique, par Guy TOULIN. *Actualités du droit, LAMY LIAISONS*. Récupérée mai 17, 2024, à partir de <https://www.actualitesdudroit.fr/browse/environnement-qualite/environnement/39294/suramortissement-vert-et-credit-bail-avec-option-d-achat-de-navire-vision-pratique-par-guy-toulin>
- TOWT. (s. d.-a). *Le Label ANEMOS*. Récupérée mai 14, 2023, à partir de <https://www.towt.eu/le-label-anemos/>

- TOWT. (s. d.-b). *TOWT, une navigation décarbonée* [Towt.eu, voiliers-cargos, une navigation décarbonée]. Récupérée mai 12, 2024, à partir de <https://www.towt.eu/en/decarbonized-navigation/>
- TOWT & LITA.CO. (2024, janvier). Dossier d'investissement TOWT 2024.
- Tres Hombres* [Fairtransport]. (s. d.). Récupérée mai 1, 2023, à partir de <https://fairtransport.eu/es/onze-vloot/tres-hombres/>
- TSVETKOVA, A., HELLSTRÖM, M., SCHWARTZ, H., RABETINO, R., & SYED, H. (2024). A transition towards clean propulsion in shipping : The role of PESTLE drivers and implications for policy. *Marine Policy*, 161, 106002. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.106002>
- Turbosail [Page Version ID : 1204310603]. (2024, février 6). In *Wikipedia*. Récupérée mai 9, 2024, à partir de <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Turbosail&oldid=1204310603>
- Veer · shipping, about* [Veer shipping]. (s. d.). Récupérée juillet 1, 2024, à partir de <https://veer.voyage/about>
- VEKEMAN, J. (2024, janvier). *Trends Kanaal Z magazine interviewed Guillaume Le Grand about the fundraising of TOWT on LITA.co* [Linkedin]. Récupérée mai 12, 2024, à partir de [https://www.linkedin.com/posts/lita.co\\_trends-kanaal-z-magazine-interviewed-activity-7140029988329680896-HDEG/?utm\\_source=share&utm\\_medium=member\\_desktop](https://www.linkedin.com/posts/lita.co_trends-kanaal-z-magazine-interviewed-activity-7140029988329680896-HDEG/?utm_source=share&utm_medium=member_desktop)
- VELIC CONSULTING. (s. d.). *Velic consulting* [Velic Consulting]. Récupérée mai 10, 2024, à partir de <https://velic-consulting.com>
- Vessel characteristics : ship DE GALLANT (sailing vessel) registered in vanuatu - vessel details, current position and voyage information - call sign YJWJ6 | AIS marine traffic* [MarineTraffic.com]. (s. d.). Récupérée mai 13, 2024, à partir de <https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:266555/mmsi:577402000/imo:0/vessel:DE%20GALLANT>

- Vessel characteristics : ship TRES HOMBRES (sailing vessel) registered in vanuatu - vessel details, current position and voyage information - call sign YJQF3 | AIS marine traffic* [Marine traffic]. (s. d.). Récupérée mai 13, 2024, à partir de [https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:3605668/mmsi:577333000/imo:0/vessel:TRES\\_HOMBRES](https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:3605668/mmsi:577333000/imo:0/vessel:TRES_HOMBRES)
- WASP, interreg VB north sea region programme.* (s. d.). Récupérée juillet 11, 2024, à partir de <https://northsearegion.eu/wasp/>
- WESSELBY, H. (2021). DynaRig by Southern Spars proving to be a winner on two superyachts. *Sail-world*. Récupérée mai 18, 2024, à partir de <https://www.sail-world.com/news/235003/DynaRig-by-Southern-Spars-on-two-superyachts>
- What is the EU ETS? - european commission* [Climate european commission]. (s. d.). Récupérée mai 19, 2024, à partir de [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/what-eu-ets\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/what-eu-ets_en)
- WHEATLEY, M. (s. d.). *America cup HISTORY*. <https://www.americascup.com/history>
- Windcoop* [Windcoop] [<https://fr.lita.co/fr/projects/925-windcoop>]. (2023, octobre 2). Récupérée mai 9, 2023, à partir de <https://www.wind.coop/>
- WINDCOOP. (2024, juin 28). *Assemblée Générale Windcoop 28 juin 2024*. Lorient. Récupérée juillet 1, 2024, à partir de <https://www.youtube.com/watch?v=5z9aY8EmTfk>
- Wisamo by michelin - maritime transport* [Wisamo.michelin.com]. (2023, janvier). Récupérée mai 8, 2024, à partir de <https://wisamo.michelin.com/maritime-transport>
- ZÉPHYR ET BORÉE. (s. d.). *Projets* [Zéphyr & Borée]. Récupérée août 5, 2023, à partir de <https://zephyretboree.com/projets/>