

Feuille de route de décarbonation de la filière maritime

Proposition de plan d'action pour décarboner le maritime national, assurer la souveraineté d'approvisionnement de la France

JANVIER 2023



Direction générale
des affaires maritimes,
de la pêche et de
l'aquaculture

 Cluster
Maritime Français

EVOLEN
Energies
Aujourd'hui & Demain

 Armateurs
de France

GICAN

 MARITIME
ENERGY AND
ENVIRONMENTAL
TRANSITION 2050

1. PRESENTATION DE LA FEUILLE DE ROUTE DE DECARBONATION DU SECTEUR MARITIME	8
1.1. LES FEUILLES DE ROUTE DE L'ARTICLE 301 DE LA LOI CLIMAT ET RESILIENCE.....	8
1.2. LA FEUILLE DE ROUTE DE DECARBONATION DU SECTEUR MARITIME	8
1.2.1. <i>Gouvernance et démarche de travail</i>	9
1.2.2. <i>Projets et documents sur lesquels s'appuie la FDR 301</i>	9
1.2.3. <i>Les défis à relever pour établir une feuille de route « nationale »</i>	10
2. LA FILIERE MARITIME : UN ROLE ECONOMIQUE DE PREMIER PLAN ET DES ENJEUX MAJEURS DANS LE CADRE DE LA TRANSITION ENERGETIQUE.....	11
2.1. UNE PLACE DE PREMIER PLAN DANS L'ECONOMIE NATIONALE.....	11
2.1.1. <i>Les secteurs clés à décarboner de la filière maritime française</i>	11
2.1.2. <i>Opportunités liées à la décarbonation pour les acteurs de la chaîne de valeur</i> ...	12
2.1.3. <i>Segmentation de la flotte nationale</i>	13
2.2. ENJEUX DE LA TRANSITION ENERGETIQUE DU SECTEUR MARITIME	13
2.2.1. <i>Le secteur maritime comme enjeu de souveraineté et d'autonomie</i>	13
2.2.2. <i>Opportunités de développement économique</i>	15
3. PRESENTATION DES OBJECTIFS CLIMATIQUES FIXES POUR LE SECTEUR.....	16
3.1. OBJECTIFS ET MESURES AU NIVEAU MONDIAL	16
3.2. OBJECTIFS ET MESURES AU NIVEAU EUROPEEN (UE)	16
3.3. NATIONAL.....	17
3.4. SEGMENTS POUR LESQUELS IL N'EXISTE PAS D'OBJECTIF	17
4. PERIMETRE DES EMISSIONS ET BESOINS EN ENERGIE DU SECTEUR MARITIME.....	18
4.1. INVENTAIRE DES EMISSIONS DU SECTEUR MARITIME FRANÇAIS	18
4.2. PERIMETRE DES BESOINS EN ENERGIE	19
5. PRESENTATION DES LEVIERS DE DECARBONATION, REPARTIS PAR GT.....	19
5.1. DES LEVIERS ET TECHNOLOGIES SPECIFIQUES POUR UNE DECARBONATION COMPLEXE A REALISER	19
5.2. DE NOMBREUX LEVIERS A COMBINER POUR CHAQUE TYPE DE NAVIRES.....	19
5.3. EFFICACITE ENERGETIQUE POUR REDUIRE LA CONSOMMATION ET LES EMISSIONS	22
5.3.1. <i>Levier 1 : réduction de la traînée des navires</i>	22
5.3.2. <i>Levier 2 : amélioration du rendement propulsif</i>	23
5.4. LEVIER 3 : AMELIORATION DE L'EFFICACITE ENERGETIQUE DES EQUIPEMENTS DES NAVIRES.....	23
5.5. LEVIER 4 : ÉCOCONCEPTION, PROCESSUS DE FABRICATION ET FIN DE VIE POUR REDUIRE L'EMPREINTE CARBONE DE LA CONSTRUCTION ET DU DEMANTELEMENT	24
5.6. EXCELLENCE OPERATIONNELLE POUR REDUIRE LES EMISSIONS EN PHASE D'EXPLOITATION.....	25
5.6.1. <i>Levier 5 : Excellence opérationnelle</i>	25
5.6.2. <i>Levier 6 : Sobriété énergétique</i>	25
5.7. ÉNERGIES ET INFRASTRUCTURES	26
5.7.1. <i>Levier 7 : L'usage d'énergie fossile moins carbonée et transitoire (GNL)</i>	26
5.7.2. <i>Levier 8 : Les biocarburants</i>	27

5.7.3.	<i>Levier 9 : Les électro-carburants (e-carburants)</i>	28
5.7.4.	<i>Levier 10 : La capture du CO2 à bord</i>	30
5.7.5.	<i>Levier 11 : Hybridation et électrification du navire et des quais</i>	30
5.7.6.	<i>Levier 12 : La propulsion par le vent et les autres énergies renouvelables</i>	32
6.	SCENARIOS DE DECARBONATION DU SECTEUR MARITIME NATIONAL	33
6.1.	MODELE DE TRANSITION ENERGETIQUE ET DONNEES ASSOCIEES	33
6.2.	PRESENTATION DES SCENARIOS ETUDIES	33
6.3.	PRESENTATION DU SCENARIO DE REFERENCE S3.....	34
6.4.	CONCLUSIONS SUR LES SCENARIOS ETUDIES.....	38
7.	PROPOSITION DE PLAN D’ACTION POUR DECARBONER LE SECTEUR MARITIME	39
7.1.	AXE 1 : DEVELOPPEMENT DE TECHNOLOGIES ET DE NAVIRES ZERO EMISSIONS.....	40
7.2.	AXE 2 : EFFICACITE OPERATIONNELLE, SOBRIETE.....	41
7.3.	AXE 3 : PRODUCTION, STOCKAGE, TRANSPORT ET DISTRIBUTION D’ENERGIES ET DE VECTEURS D’ENERGIE DECARBONEE POUR LE MARITIME.....	42
7.4.	AXE 4 : DECARBONATION DU SECTEUR PORTUAIRE.....	45
7.5.	AXE 5 : DECARBONATION DE LA PHASE DE PRODUCTION ET ECONOMIE CIRCULAIRE	46
7.6.	AXE 6 : COMPLETER, RENFORCER ET STABILISER LE CADRE REGLEMENTAIRE RELATIF AUX EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE DES NAVIRES	47
7.7.	AXE 7 : METTRE EN PLACE LES PREREQUIS POUR LA DECLINAISON OPERATIONNELLE DE LA FEUILLE DE ROUTE	48

Mot d'introduction des co-présidents

Face à l'urgence climatique, le secteur maritime, qui représente près de 3% des émissions de gaz à effet de serre au niveau mondial, n'a d'autre choix que d'engager sa transition pour réduire son empreinte environnementale. La décarbonation des activités maritimes constitue un immense défi pour notre secteur et plus largement pour l'économie française qui dépend massivement des échanges internationaux. Elle est aussi une opportunité pour notre filière à condition qu'elle soit ambitieuse, juste et source de renouveau pour notre industrie.

Par son histoire, par la diversité et qualité des acteurs qui la compose, la France a un rôle majeur à jouer dans cette transition.

La présente feuille de route a été l'occasion de fédérer les acteurs industriels, les chantiers, les bureaux d'études, les armateurs, les ports ainsi que les énergéticiens et de réaffirmer leur engagement et leur volonté à collaborer pour accélérer la décarbonation du secteur maritime en collaboration avec les services de l'état. Elle fait suite à un travail collaboratif de plusieurs mois réalisé par l'ensemble de la filière maritime sous le double pilotage de la Direction Générale des Affaires Maritimes, de la Pêche et de l'Aquaculture (DGAMPA) et du Cluster Maritime Français (CMF). La qualité et la régularité de cette collaboration est à souligner et reflète l'engagement réel de toute la filière à réussir sa décarbonation.

Depuis un an, nous avons conduit ces travaux en nous appuyant sur un groupe d'experts reconnus venant de la filière et de l'administration maritime, à travers des réunions hebdomadaires et des concertations élargies avec l'ensemble des acteurs concernés. Nous tenons à remercier les membres du groupe d'experts et l'ensemble des personnes qui ont contribué à la réussite de cette démarche.

Cette feuille de route prend en compte les spécificités du secteur maritime tant au niveau de la diversité des flottes, des navires et des ports, que dans sa dimension internationale très marquée. Elle traite des navires de commerce et de service, mais également de la pêche et du nautisme. Ce contexte a complexifié l'exercice mais a aussi offert l'occasion de souligner les nombreuses opportunités de développement économique et de souveraineté énergétique et technologique qu'offre la décarbonation.

Le dynamisme de la filière maritime et les nombreux atouts français permettent ainsi de proposer une feuille de route cohérente, équilibrée et à la hauteur des enjeux climatiques.

La feuille de route que nous vous présentons porte une vision commune pour atteindre les objectifs de décarbonation fixés en 2030 et en 2050. Elle définit des objectifs chiffrés et mesurables, et propose un plan d'actions qu'il nous faut maintenant déployer. Elle identifie les différents caps à prendre, et les actions à engager, pour amorcer cette transition nécessaire. Sur la base des arbitrages qui seront réalisés par le Gouvernement, la stratégie devra, si nécessaire, être adaptée.

La route sera longue et ventée, mais le cap est désormais fixé. Pour y parvenir, nous continuerons à nous appuyer sur cette dynamique remarquable et cette collaboration active de l'ensemble des acteurs de la chaîne de valeur du maritime. Nous savons que nous pouvons compter sur notre équipage maritime français.

Frédéric Moncany de Saint Aignan

Président du Cluster Maritime Français

Eric Banel

*Directeur Général des affaires maritimes, de
la pêche et de l'aquaculture*

Résumé exécutif

La feuille de route de décarbonation de la filière maritime, conduite en application de l'article 301 de la Loi climat et résilience, constitue la vision des acteurs français de cette filière pour atteindre les objectifs de décarbonation fixés au niveau international, européen et national. Fruit d'un travail collectif piloté par la DGAMPA et le CMF, et impliquant l'ensemble des acteurs de la chaîne de valeur – armateurs, énergéticiens, ports, chantiers navals et nautiques, équipementiers, architectes et bureaux d'étude – elle viendra nourrir les travaux de la Stratégie française pour l'énergie et le climat (SNBC et PPE) qui amènera à des premiers arbitrages en matière de choix énergétiques pour notre pays.

Cette feuille de route est d'autant plus importante que le secteur maritime remplit des fonctions essentielles pour l'économie nationale, qu'il ne pourrait plus réaliser sans réussir sa transition énergétique. Fort de ses 400 000 emplois directs et d'une industrie fortement exportatrice, le maritime contribue en effet fortement :

- A la **souveraineté d'approvisionnement et de transport de la France** et de l'Europe (autour de 85% des importations et exportations européennes en volume arrivent ou partent par la mer) ;
- A l'**autonomie alimentaire par la pêche et l'aquaculture** ;
- A la **réduction de la dépendance énergétique nationale** avec le développement de l'exploitation des énergies marines.

Moyen de transport le plus performant en termes de consommation d'énergie et d'émissions de gaz à effets de serre à la tonne transportée par kilomètre (facteur 20 par rapport au routier et 100 par rapport à l'aérien), le transport maritime offre aussi une **opportunité de réduire les besoins en énergie et les émissions du transport national**, avec un recours plus large à son usage et avec le développement du report modal vers le fluvial et le ferroviaire.

Cependant, malgré cette efficacité, les quantités de marchandises transportées par la mer sont tellement importantes que son impact global en devient significatif. Il contribue à hauteur d'environ **3% aux émissions mondiales** de gaz à effet de serre, et, sans action de décarbonation, ce chiffre pourrait représenter 90 à 130% des émissions de 2008 à l'horizon 2050. Le maritime devrait représenter une part similaire dans le bilan des émissions de la France, même s'il est difficile de décliner ces chiffres au niveau national tant le transport maritime présente un caractère international. Les données d'émissions rapportées chaque année par la France dans le cadre de la CNUCC sont sous-estimées car calculées sur seulement une partie de l'énergie soutée dans les ports français, le reste étant attribué aux émissions internationales. Le soutage dans les ports français est par ailleurs faible par rapport aux grands ports européens, ce qui fait de plus courir **un risque de dépendance au soutage étranger pour des énergies décarbonées moins abondantes**.

Des objectifs de décarbonation ambitieux ont été fixés au niveau international et européen, dans le prolongement de l'Accord de Paris sur le climat. L'Organisation maritime internationale s'est ainsi engagée à réduire de 50% les émissions en valeur absolue du secteur en 2050, et l'intensité carbone de la flotte mondiale de 40% en 2030 par rapport à 2008. Sur le plan européen, le Pacte vert (*Green deal*) comporte un certain nombre de dispositions réglementaires qui s'appliqueront au transport maritime une fois adoptées : l'extension du Système d'échange de quotas d'émission au transport maritime, le règlement sur les infrastructures pour carburants alternatifs ou encore le futur règlement FuelEU Maritime, qui, en l'état actuel des négociations, prévoit notamment une réduction progressive de l'intensité carbone de l'énergie utilisée à bord d'un navire pour atteindre une baisse significative en 2050. Bien que les objectifs réglementaires ne ciblent à ce jour que les plus grands navires, la feuille de route prend en compte quant à elle l'ensemble des segments de flotte, y compris ceux de moindre dimension tels que la pêche et la plaisance, dans une vision globale, de la construction du navire à sa fin de vie, en passant par son exploitation.

Pour atteindre les objectifs fixés par la réglementation, le maritime peut agir sur trois catégories de leviers : **l'efficacité énergétique** (technologique, opérationnelle et écoconception), **le changement d'énergie** (recours à des énergies moins carbonées, notamment les biocarburants,

les e-carburants mais aussi la propulsion par le vent) **et la sobriété** (principalement la baisse de vitesse des navires). La feuille de route décrit de façon détaillée douze leviers principaux appartenant à ces catégories, à des niveaux de maturité variables. Chacun d'entre eux s'applique avec plus ou moins d'efficacité en fonction du segment de flotte considéré (petits à très gros navires, navires neufs ou existants). Ils présentent également des freins et verrous d'origines technologiques, opérationnels, énergétiques, réglementaires, ou encore financiers qui limitent aujourd'hui la mise en œuvre effective des leviers.

À la différence d'autres secteurs, à l'image de l'automobile qui s'appuie sur une électrification massive, aucun des leviers ne s'impose à ce jour pour le maritime. Seule une **combinaison optimale des leviers**, par segment de flotte ou par navire selon son profil d'usage, permettra de réussir la décarbonation du secteur.

Pour définir sa stratégie de décarbonation, la filière s'est appuyée sur l'outil de modélisation développé par l'Institut MEET2050 en cours de constitution. Il a permis de **comparer une dizaine de scénarios de décarbonation et d'en retenir un de référence**. Celui-ci repose sur la mise en œuvre de mesures d'efficacité technologiques et opérationnelles ambitieuses, le recours modéré à la baisse de vitesse, l'utilisation de carburants moins carbonés et le déploiement de la propulsion par le vent. Il met en évidence trois éléments majeurs :

- Le **besoin significatif de biocarburants** (autour de 15 TWh en 2035) **puis de e-carburants** (30 TWh en 2050), et cela malgré des efforts importants de réduction de la consommation énergétique. Avec l'électrification et l'hybridation électrique de certains navires, l'électrification des quais pour limiter les émissions lors des escales et la production de carburants décarbonés, les besoins en électricité amont sont estimés à 5 TWh en 2030 et 90 TWh en 2050, soit l'équivalent de 50 champs éoliens comme celui de Saint-Nazaire ;
- La **nécessité d'atteindre des gains d'efficacité énergétique significatifs** pour limiter le recours aux énergies décarbonées, coûteuses à produire et dont les stocks seront limités ;
- Le **coût très élevé de la transition pour les acteurs de la filière, estimé entre 75 et 110 milliards d'euros sur la période 2023 – 2050**, valeurs cohérentes avec les conclusions d'études internationales sur ce sujet.

La décarbonation représente un véritable défi pour l'écosystème maritime dont dépend une partie importante de l'économie française. La France doit être à la mesure de l'enjeu, sans quoi le secteur s'exposera à des risques forts – opérationnels et financiers – avec pour conséquence une perte de compétitivité nuisible à l'ensemble de l'économie et à la souveraineté nationale.

La France dispose pour cela d'acteurs de premiers plan sur toute la chaîne de valeur, capables d'innover et de s'engager dans la décarbonation : armateurs de premier rang, chantiers et équipementiers leader sur des technologies à haute valeur ajoutée, bureaux d'étude et société de service à haut niveau d'expertise, énergéticiens de rang mondial, ports implantés sur toute les façades de métropole et d'outre-mer, acteurs académiques et scientifiques reconnues en France et à l'international. Plusieurs initiatives et projets concourent déjà à la décarbonation du secteur mais il faut aller plus loin et changer d'échelle.

Pour y parvenir, la filière propose la mise en place d'un **plan d'actions** ambitieux, équilibré et économiquement viable. Car au-delà des enjeux environnementaux, la transition énergétique représente aussi une véritable opportunité de développement économique et de création d'emplois industriels au niveau national. Ce plan d'actions se décline en sept axes principaux et 34 actions : le développement des briques technologiques et navires zéro émissions, la mise en place des mesures d'efficacité opérationnelles et de sobriété sur la flotte en service, la production et la distribution d'énergies décarbonée pour le maritime, la décarbonation des ports et leur transformation en hubs énergétiques, la décarbonation de la phase de production des navires, le renforcement du cadre réglementaire et la déclinaison opérationnelle de la feuille de route.

Deux propositions ont été formulées pour permettre la nécessaire **structuration et la collaboration de tous les acteurs de la chaîne de valeur autour du plan d'actions** : la mise en place d'un **programme national de décarbonation** du maritime, et la **création d'une entité**

dédiée. Celle-ci contribuera à coordonner la réalisation du programme, tout en développant une expertise transverse au service des pouvoirs publics et de la filière.

Enfin, cette transition ne sera possible qu'à travers un travail conjoint entre les acteurs de la filière et l'État. L'accompagnement de l'État, en particulier le soutien financier, est une condition nécessaire à la mise en place de ce plan d'actions.

1. Présentation de la feuille de route de décarbonation du secteur maritime

1.1. Les feuilles de route de l'article 301 de la loi Climat et résilience

L'article 301 de la loi n° 2021-1104 du 22 août 2021 portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets, dite « loi Climat et résilience », dispose que, pour chaque secteur fortement émetteur de gaz à effet de serre, une feuille de route est établie conjointement par les représentants des filières économiques, le Gouvernement et les représentants des collectivités territoriales pour les secteurs dans lesquels ils exercent une compétence.

Cette feuille de route coordonne les actions mises en œuvre par chacune des parties pour atteindre les objectifs de baisse des émissions de gaz à effet de serre fixés par la stratégie nationale bas carbone. L'élaboration de chacune des feuilles de route prévues par la loi suit une démarche itérative afin d'impliquer les filières économiques dans la planification écologique :

- Dans un premier temps, tout au long de l'année 2022, chaque filière a élaboré une proposition de feuille de route de décarbonation qui recense les leviers de décarbonation qu'elle privilégie, les freins à lever, les actions qu'elle se propose de mettre en place et les propositions d'évolution des politiques publiques qu'elle adresse aux pouvoirs publics pour accompagner cette transition ;
- Ces propositions de feuille de route de décarbonation émanant des différentes filières sont remises au Gouvernement au début de l'année 2023. Elles viendront utilement nourrir les décisions et orientations qui seront prises dans le cadre de la planification écologique (répartition des objectifs de baisse des émissions entre secteurs, plans de financement, arbitrages intersectoriels pour répartir les ressources rares, évolution des usages et place de la sobriété) ;
- Une fois les orientations de la planification écologique décidées, les feuilles de route seront retravaillées par chaque filière conjointement avec l'État et les représentants des collectivités locales pour y intégrer les objectifs fixés par la stratégie nationale bas-carbone et plus largement la planification écologique. Elles seront alors transmises au Parlement et constitueront dès lors le plan d'action commun entre les pouvoirs publics et les filières économiques pour garantir l'atteinte des objectifs climatiques.

Le présent document constitue donc la proposition de feuille de route élaborée par le secteur du transport maritime et adressée aux pouvoirs publics début 2023 pour alimenter les chantiers de la planification écologique. Les propositions d'évolution des politiques publiques qu'il contient n'engagent pas le Gouvernement.

1.2. La feuille de route de décarbonation du secteur maritime

D'après l'Organisation maritime internationale (OMI), le transport maritime représente au niveau mondial près de 3% des émissions de gaz à effet de serre. Compte tenu de son caractère fortement international, il est difficile de donner un chiffre précis sur la contribution nationale du transport maritime aux émissions de gaz à effet de serre. En effet, selon que l'on se rapporte au pays des ports où sont les navires, au pavillon des navires, ou encore au temps passé dans les eaux territoriales, les chiffres varient grandement.

Moyen de transport efficace d'un point de vue énergétique rapporté aux volumes transportés, le transport maritime n'en est pas moins quasi exclusivement dépendant des énergies fossiles. Il doit aujourd'hui opérer une transition énergétique sans précédent afin de respecter les engagements fixés au niveau international et européen, mais aussi contribuer à l'effort national de décarbonation. Il en va également de la pérennité de l'industrie maritime nationale et de la souveraineté d'approvisionnement de la France.

Le présent document répond à l'article 301 de la loi n° 2021-1104 du 22 août 2021 et constitue la feuille de route des acteurs de la filière du maritime pour décarboner leur activité, en lien notamment avec les objectifs réglementaires auxquels ils sont soumis.

Comme pour les autres secteurs fortement émetteurs de gaz à effet de serre et concernés par l'article 301, l'approche retenue pour la feuille de route est intégrée l'ensemble de la chaîne de valeur. Concrètement, cela implique la prise en compte de l'impact environnemental en gaz à effet de serre de la construction du navire à son démantèlement, en passant par son exploitation, les infrastructures portuaires associées ainsi que les différentes formes d'énergie nécessaires à l'exploitation du navire (approche dite « en cycle de vie »).

1.2.1. Gouvernance et démarche de travail

Le calendrier resserré dans lequel l'élaboration de la feuille de route a été réalisée a conduit les coprésidents de la feuille de route, la Direction générale des affaires maritimes, de la Pêche et de l'aquaculture (DGAMPA) et le Cluster Maritime Français (CMF), à adopter une méthode de travail s'appuyant sur un groupe d'experts reconnus de la filière et de l'administration, et se réunissant à intervalles réguliers. Outre la DGAMPA et le CMF, ce comité de pilotage était composé de représentants des entités suivantes :

- Commissariat général au développement durable (CGDD) et Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC), en tant qu'équipe projet des feuilles de route de décarbonation de l'article 301 de la loi Climat et résilience ;
- Direction générale des entreprises (DGE) ;
- Les équipes projet de l'Institut MEET 2050 pour la décarbonation du maritime, en cours de création ;
- MAURIC, rapporteur sur la thématique « *conception des navires* » ;
- Groupement des industries de construction et industries navales (GICAN), rapporteur sur la thématique « *construction et fin de vie des navires* » ;
- EVOLEN, rapporteur sur la partie « *énergies et infrastructures* » ;
- Armateurs de France (ADF), rapporteur sur la partie « *exploitation des navires* ».

Les travaux ont été organisés en quatre étapes :

- La première a consisté, sur la base de l'expertise des rapporteurs et la mobilisation de leurs réseaux d'experts, en l'identification des différentes stratégies de décarbonation possibles pour le maritime et des leviers associés ;
- Une seconde étape a permis de partager les premiers éléments avec l'ensemble des acteurs de l'écosystème, par le biais de quatre réunions élargies rassemblant à chaque fois entre quarante et quatre-vingts acteurs, témoignant du grand intérêt de la filière pour la démarche. Des réunions thématiques complémentaires ont également été organisées autour de sujets spécifiques, comme par exemple avec les représentants des ports.
- Parallèlement à ces réunions, un travail de modélisation a été réalisé pour quantifier des scénarios basés sur les stratégies et leviers identifiés. Ce travail s'est appuyé sur un modèle développé par des membres de l'équipe du projet MEET2050 et l'intégration de données fournies par les industriels, experts et centres de recherche.
- La dernière étape a consisté en la rédaction d'un plan d'action pour atteindre les objectifs réglementaires de décarbonation et à finaliser le scénario proposé par la filière. Le plan d'action repose à la fois sur la mise en place de projets concrets mobilisant les pouvoirs publics et les acteurs privés, et d'un cadre facilitant la bonne collaboration entre les acteurs de la chaîne de valeur.

1.2.2. Projets et documents sur lesquels s'appuie la FDR 301

La réduction des émissions des navires n'est pas sujet nouveau. Il existe de nombreux travaux et études sur ce sujet, à l'échelle internationale, mais aussi au niveau national. On peut citer :

- De nombreux rapports et analyses disponibles dans la littérature, publiés par des centres de recherche, centres d'expertise dédiés à la décarbonation, sociétés de classification, cabinets de conseil. En particulier, la quatrième étude sur les émissions de gaz à effet de serre publiée par l'Organisation maritime internationale (OMI) en juillet 2020¹ constitue une référence.
- Les feuilles de route technologiques [Green Ship](#) et [Smart Ship](#) du Comité Stratégique de Filière (CSF) des industriels de la mer, dont les rédactions ont été portées par les Pôles Mer Bretagne Atlantique et Méditerranée et qui présentent une liste de leviers et de solutions technologiques et opérationnelles.
- Les travaux réalisés dans le cadre de l'initiative de la Coalition pour la Transition Éco-Énergétique du Maritime (T2EM), portée par le CMF depuis 2019 avec le concours d'une cinquantaine d'acteurs de la chaîne de valeur, qui ont conduit à l'élaboration de livrables de référence ayant servi de base de travail importante pour la feuille de route : Rapport de synthèse, plateforme d'information, programme Navires et Ports Zéro Émissions, outil de modélisation de scénarios de décarbonation, projet de création d'un institut sur la transition éco énergétique du maritime pour favoriser la collaboration des acteurs de la chaîne de valeur.

1.2.3. Les défis à relever pour établir une feuille de route « nationale »

Plusieurs spécificités du secteur maritime, rendant l'exercice d'une feuille de route complexe, méritent d'être mises en avant :

- Une **flotte très hétérogène** composée de navires de toutes tailles en navigation nationale et internationale, avec des activités et contraintes d'exploitation diverses, et des valeurs d'achat de quelques centaines de kilos euros à plus d'un milliard pour les navires les plus technologiques ;
- **L'absence de séries industrielles** dans la construction des navires. Chaque navire doit être à la fois un prototype, un démonstrateur d'une nouvelle technologie et un outil de travail à la disponibilité sans faille pour les armateurs rendant complexe l'intégration de technologies de rupture ;
- La nécessité, dans un secteur très soumis à la compétition internationale, d'avoir des **solutions harmonisées à l'échelle européenne voire internationale et n'induisant pas de distorsion de concurrence** susceptible de pénaliser les intérêts nationaux ;
- Une **diversité de leviers** (énergétiques, technologiques, opérationnels) dont le déploiement requiert la synchronisation de l'ensemble de la chaîne de valeur (décision d'un armateur, capacité de développement du navire et de ses sous-systèmes, des unités de production d'énergie et des infrastructures de distribution, adaptation de la réglementation ...) ;
- Une part importante des leviers disponibles qui sont à des **niveaux de maturité assez faibles** ne permettant pas à ce stade d'avoir des certitudes sur les solutions à mettre en œuvre ni sur leur réelle efficacité ;
- Un **grand nombre d'acteurs sur la chaîne de valeur** (armateurs, affréteurs, chantiers, équipementiers, bureaux d'architecture et d'ingénierie navale, port, fluvial, énergéticiens, services financiers et d'assurance, réglementation ...), représentés par une vingtaine de fédérations professionnelles ;
- Des **acteurs de la chaîne de valeur leaders à l'international** mais qui n'entretiennent pas forcément de relations client / fournisseurs au niveau national, ce qui ne favorise pas une collaboration directe comme entre un donneur d'ordre industriel principal et son réseau de sous-traitants.

¹ Fourth Greenhouse Gas Study 2020, www.imo.org

2. La filière maritime : un rôle économique de premier plan et des enjeux majeurs dans le cadre de la transition énergétique

2.1. Une place de premier plan dans l'économie nationale

Avec un chiffre d'affaires de 91,6 milliards d'euros pour près de 386 000 emplois directs en 2021² et près de 2% du PIB national,³ le secteur maritime représente un acteur majeur de l'économie nationale. Il est à noter qu'une part significative du chiffre d'affaires est réalisée à l'export, avec une balance commerciale excédentaire⁴. Ces chiffres sont en augmentation (+25% en 5 ans), démontrant le dynamisme du secteur et faisant de la France une grande nation du maritime. Le potentiel de développement du secteur est fort dans un pays doté d'une façade maritime de premier plan et du deuxième espace maritime mondiale en superficie.

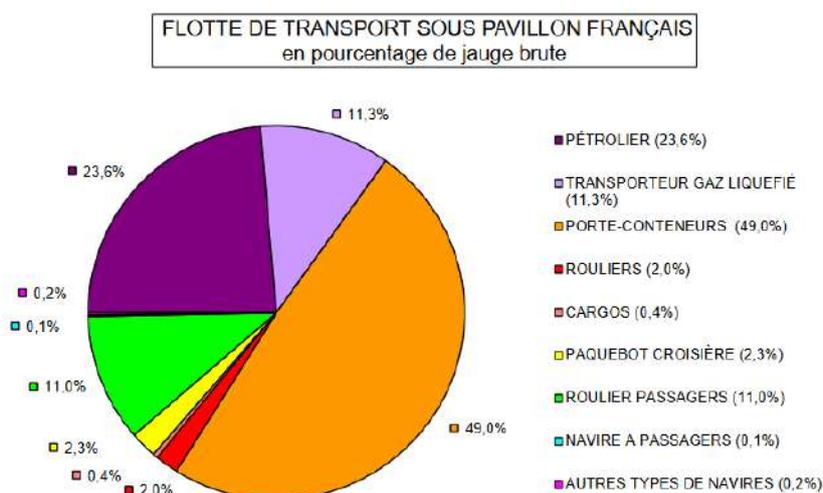
2.1.1. Les secteurs clés à décarboner de la filière maritime française

Le secteur de l'industrie navale

Le secteur de l'industrie navale français est très actif sur l'écoconception, le développement de technologies bas carbone (dont la propulsion par le vent) et l'intégration de navires à haute performance environnementale. Il se classe au deuxième rang européen et sixième rang mondial en chiffre d'affaires. Les chantiers navals français (plus de 50 en métropole et outre-mer) sont parmi les leaders mondiaux dans les systèmes complexes (paquebots, navires militaires). Cela représente un chiffre d'affaires de 13 milliards d'euros en 2021 dont 45% à l'export, environ 50 000 emplois directs et 650 entreprises, dont 90% sont des TPE ou PME.

Le secteur du transport et des services maritimes

La flotte de commerce française est composée de navires de conception et d'usage très divers : pétroliers (brut, produits raffinés), vraquiers, chimiquiers, gaziers (GNL, GPL...), porte-conteneurs, cargos, rouliers (véhicules) et rouliers à passagers, paquebots, vedettes à passagers, câbliers, navires hydrographiques et océanographiques, navires de maintenance en mer et de service, dragues, remorqueurs, navires spéciaux, navires de surveillance et de sauvetage.



(Groupe LDA pour la pose de câbles sous-marins, le transport de tronçons d'avion Airbus ou la maintenance des parcs éoliens). Ce sont également des armateurs très spécialisés (SOGESTRAN - MN, Jifmar) ou plus traditionnels (Brittany Ferries dans le transport de passagers)

² <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4219557>.

³ https://www.cluster-maritime.fr/economie_maritime/

⁴ CGDD, Les comptes des transports en 2018

voire novateurs sur le segment de la croisière (Ponant dans les croisières de luxe). À noter que de nouveaux armateurs spécialisés dans le transport décarboné voient le jour en France, à l'image de Néoline, Zephyr & Borée, TOWT, Grain de Sail, Sailcoop et d'autres initiatives en cours de création.

Le secteur de la pêche et de l'aquaculture

Le secteur français de la pêche et de l'aquaculture représente un chiffre d'affaires de deux milliards d'euros et se place ainsi au troisième rang européen. La France est composée de 65 ports de pêche et recense pas moins de 4 336 navires de pêche en métropole et 3438 navires en outre-mer. Concernant les emplois générés par ce secteur, la pêche représente environ 60 000 emplois directs et induits. La flotte de navires de pêche est vieillissante avec une moyenne d'âge de 31 ans, bien supérieure aux navires de commerce sous pavillon français. Le sujet du renouvellement de cette flotte et de la transition vers des énergies bas carbone, plus chères que le gasoil fossile, est un véritable enjeu.

Le secteur du nautisme et de la plaisance

Le nombre de plaisanciers réguliers atteint aujourd'hui les quatre millions et les immatriculations de navires de plaisance augmentent d'environ 10 000 unités par an. Il existe plus d'un million d'unités immatriculées en France en 2020, dont près de 78% sont des unités à moteur. Sur le littoral, près de 473 installations portuaires sont destinées à l'accueil des navires de plaisance. L'enjeu économique de la filière est majeur : la France est le premier constructeur de navires de plaisance en Europe et le second au niveau mondial. L'activité des loisirs nautiques s'exerce sur l'ensemble du territoire de métropole et d'outre-mer.

Le secteur portuaire

Les ports français représentent environ 200 000 emplois directs et créent plus de 17 milliards d'euros de valeur ajoutée. Il existe 66 ports de commerce en France dans lesquels transitent environ 350 millions de tonnes de marchandises par année et 30 millions de passagers. Véritables interfaces terre-mer, les ports sont des acteurs clés de la bonne exploitation des navires en tant que lieu de soutage, de chargement et de déchargement de la cargaison, de report vers d'autres modes de transport, de relève d'équipage et de réparation courante.

2.1.2. Opportunités liées à la décarbonation pour les acteurs de la chaîne de valeur

Devant les défis techniques et économiques posés par la transition écologique et énergétique, la **France dispose d'entreprises leaders sur les principales composantes de la chaîne de valeur**, capable d'adresser la majorité des solutions de décarbonation :

- **Armateurs** de premier rang engagés et volontaires pour verdir leurs flottes, et couvrant la totalité des segments d'activités de transports et services maritimes, ainsi que d'activités de pêche et de plaisance.
- **Énergéticiens** et industriels de l'énergie de rang mondial implantés dans la production et la distribution de carburants marins, et en mesure de produire et distribuer les carburants décarbonés ou bas carbone de demain, et de développer des infrastructures de production, transport et stockage.
- **Chantiers navals** leaders sur les segments les plus technologiques : paquebots de croisière et navires militaires, avec une capacité d'innovation importante et à même d'adresser des sujets complexes, ainsi que des chantiers de taille moyenne qui se positionnent sur des navires intermédiaires et petits à faible voire zéro émission.
- **Équipementiers** leaders sur des technologies clés et en capacité de les développer ou de créer de nouvelles entreprises industrielles, avec des entreprises pour certaines déjà positionnées sur le maritime, pour d'autres capables de proposer des solutions innovantes
- **Ports** sur les principales façades maritimes européennes (en métropole) ou sur des routes et hubs logistiques mondiaux (en outre-mer), en mesure de devenir des hubs énergétiques, de développer des routes de cabotage adaptées aux évolutions des navires et de favoriser le report modal notamment vers le transport fluvial.

- **Sociétés proposant des services** associés au maritime de premier plan, que ce soit des sociétés d'ingénierie, des bureaux de design, une société de classification, des banques et des compagnies d'assurance.
- **Acteurs académiques et scientifiques** reconnus en France et à l'international dans le maritime et l'énergie, en capacité de mobiliser de l'expertise et des ressources pour accompagner la transition et former aux technologies de demain.

2.1.3. Segmentation de la flotte nationale

Afin d'articuler au mieux les leviers de décarbonation, les travaux de la feuille de route ont pris en compte, autant que possible, les spécificités d'exploitation des différents types de navires. La segmentation suivante a été retenue, étant entendu qu'un même segment de flotte peut recouvrir divers types de navires :

- Ferries, rouliers, navires à passagers
- Navires de croisière
- Navires de transport de marchandises (vraquiers, porte-conteneurs, pétroliers, etc.)
- Navires transporteurs de GNL
- Navires de service (portuaires, pilotes maritimes, offshore, câbliers, etc.)
- Navires de pêche et conchylicoles
- Nautisme et navires de plaisance

Compte tenu du temps imparti pour élaborer la feuille de route, la déclinaison des actions opérationnelles à mettre en œuvre par segment de flotte n'a pas été possible, notamment pour les navires de pêche et de plaisance. Ce travail doit se poursuivre avec la mise en œuvre de la feuille de route.

2.2. **Enjeux de la transition énergétique du secteur maritime**

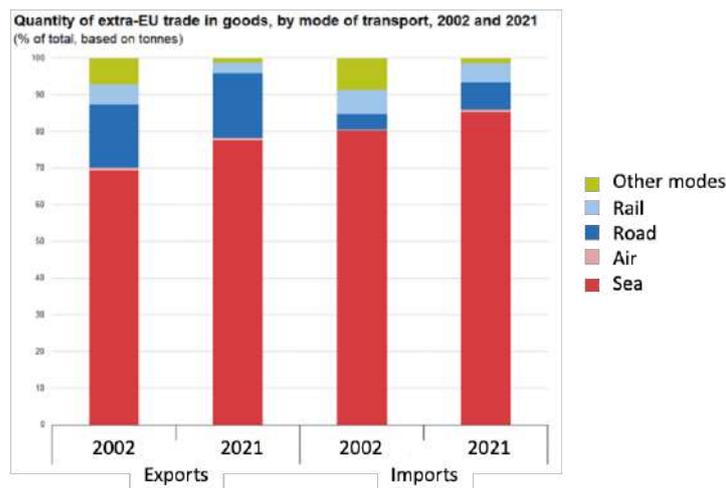
2.2.1. Le secteur maritime comme enjeu de souveraineté et d'autonomie

La souveraineté nationale et européenne est devenue une priorité, tout particulièrement dans le contexte post crise sanitaire, d'instabilité géopolitique et de tensions pesant sur les besoins énergétiques. Souvent mal connu, le secteur maritime est au cœur de cet enjeu :

1. **Rôle essentiel dans la souveraineté d'approvisionnement de la France et de l'Europe**

Avec près de 85% des importations en volume qui arrivent par la mer au niveau européen, la souveraineté d'approvisionnement est fortement dépendante de la capacité des entreprises maritimes nationales à assurer le transport de marchandises, de biens et de personnes. Cela est en particulier valable pour les approvisionnements stratégiques de la métropole et des outre-mer tels que les besoins énergétiques, alimentaires, en matières premières et en biens manufacturés.

Cette souveraineté passe par des navires, capables d'opérer conformément à la réglementation, avec un accès à des énergies décarbonées dans des conditions économiques viables et sans être contraint à une forte baisse de vitesse des navires réduisant significativement les échanges.



Répartition des volumes importés et exportés de l'Europe par moyens de transport ⁵

2. Dépendance majeure au soutage étranger

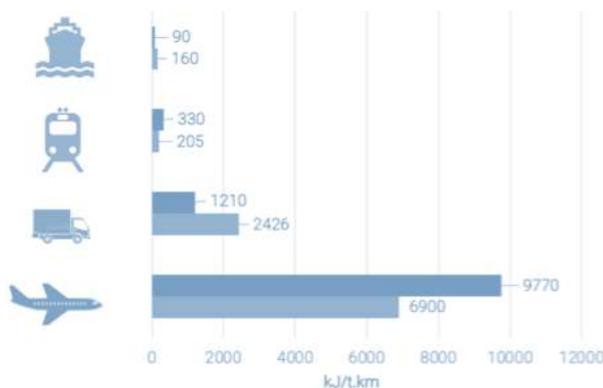
La dépendance au soutage dans les ports étrangers s'élève aujourd'hui à plus de 80% pour le transport international. Concrètement, quatre navires venant acheminer des biens ou des personnes sur cinq remplissent leurs soutes dans un pays étranger. Cette forte dépendance n'est pas sans risque pour l'économie française. En effet, certains pays pourraient ne pas être en mesure de satisfaire les besoins des armateurs en énergie décarbonée et réserver ces énergies pour d'autres usages que le transport maritime international. Par ailleurs, si les ports français ne sont pas en capacité, demain, de fournir des carburants durables, le recours aux énergies fossiles, fortement taxées et donc coûteuses dans un avenir proche, et à des baisses de vitesse importantes, seront à envisager, avec un risque de perte de compétitivité par rapport aux pays ayant sécurisé leurs approvisionnements.

La souveraineté passe ainsi, d'une part, par une relocalisation des opérations de soutage et de chargement / déchargement dans les ports français, d'autre part, par la capacité des ports français pour fournir des énergies décarbonées.

3. Contribution à la baisse des besoins énergétiques nationaux par le report modal

Rapportés à la tonne transportée, les transports par voie maritime et fluviale sont de loin – avec le rail – les plus efficaces d'un point de vue énergétique (de l'ordre d'un facteur 20 pour le routier et 100 pour l'aérien). Ces moyens de transport sont donc une solution à favoriser dans une logique d'efficacité énergétique. Le couplage avec le rail puis le camion sur les derniers kilomètres est également un moyen d'optimiser les besoins énergétiques.

Comparaison des besoins énergétiques de différents modes de transports à la tonne transportée, suivant deux études internationales (nuances de bleu)



4. Autonomie alimentaire par la connaissance et l'exploitation des ressources marines

⁵ International trade in goods by mode of transport, 2022, Eurostat ([lien](#)).

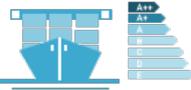
La capacité des acteurs du maritime à développer des productions aquacoles et à exploiter les océans de manière responsable à travers une flotte de pêche décarbonée dans des conditions économiques acceptables joue un rôle important en matière de souveraineté.

5. Capacités technologique et numérique

La maîtrise en France des savoir-faire et des capacités de production des technologies et équipements permettant la construction et le retrofit de navires performants, la production d'énergie décarbonée pour le maritime, ou encore la pose, l'entretien et la surveillance des câbles sous-marins indispensables échanges de flux de données sont des enjeux de souveraineté nationale.

2.2.2. *Opportunités de développement économique*

Au-delà de ces enjeux, les acteurs du maritime sont convaincus que la transition énergétique représente une formidable opportunité de développement économique et industrielle pour la France. Le tableau ci-dessous présente des exemples de produits et services pouvant être développés par des acteurs français dans le cadre de la transition du maritime.

	Production d'énergie Unités de production d'énergie décarbonées pour le maritime
	Port hub énergétique Infrastructures portuaires, distribution d'énergie décarbonée et accroissement de l'activité portuaire.
	Navires zéro émissions Conception et fabrication de navires éco-efficients. Systèmes de réduction de la consommation énergétique, système de capture et stockage de CO ₂ , récupération de chaleur / froid, optimisation des performances, etc.
	Piles à Combustible & Batteries forte puissance marinisées Piles à combustible (PEM, SOFC, ...) et batteries de moyennes et fortes puissances marinisées.
	Motorisation électrique ou adaptée aux nouveaux carburants Moteurs électriques de faible à forte puissance, moteurs à combustion interne adaptés aux carburants marins alternatifs.
	Stockage / soutage Cuves de stockage d'énergie décarbonée (hydrogène liquéfié, méthane liquéfié, méthanol, ammoniac), systèmes de soutage à bord des navires, système gaz à bord, etc.
	Propulsion Vélique Systèmes de propulsion vélique : voiles, ailes, kites, rotors ... et systèmes de contrôle.
	Efficiences énergétique et opérationnelle Capteurs, outils d'analyse de données et d'aide à la décision (routage, management de l'énergie ...)

3. Présentation des objectifs climatiques fixés pour le secteur

3.1. Objectifs et mesures au niveau mondial

La nature internationale et globalisée du transport maritime a conduit la Convention-cadre des Nations unies sur le changement climatique à confier à l'Organisation maritime internationale (OMI), la charge de comptabiliser et de réguler les émissions de gaz à effet de serre (GES) du secteur.

L'OMI a véritablement commencé à agir sur les émissions de GES des navires dans les années 2010, avec l'entrée en vigueur effective en 2015 de l'indice nominal de rendement énergétique (*Energy Efficiency Design Index – EEDI*), qui impose aux navires neufs de jauge égale ou supérieure à 400 UMS de se conformer à une certaine valeur d'efficacité énergétique minimale en fonction de leur conception, rendue plus contraignante par phases de cinq ans. À cette première mesure s'est ajoutée en 2018 l'obligation pour les 30 000 navires de jauge égale ou supérieure à 5000 UMS de la flotte mondiale de déclarer annuellement leurs données de consommation de carburant. Ces mesures sont toutefois d'une portée limitée et l'adoption en 2015 de l'Accord de Paris a poussé l'OMI à accélérer son action dans ce domaine.

En 2018, la **Stratégie initiale de réduction des émissions de gaz à effet de serre par les navires** a été adoptée. Elle vise à décarboner le transport maritime international au plus tôt d'ici la fin du siècle, avec comme objectifs intermédiaires la diminution de l'intensité carbone de la flotte mondiale de 40% en 2030 et de 70% en 2050 par rapport à 2008, et une réduction de 50% en valeur absolue des émissions totales du secteur en 2050 par rapport à 2008. **La Stratégie est actuellement en cours de révision, la version révisée doit être adoptée en juin 2023.** La France et les États membres de l'Union Européenne portent dans ce cadre des modifications ambitieuses, notamment un objectif d'élimination progressive des **émissions de GES du transport maritime à l'horizon 2050.**

La Stratégie initiale prévoit l'adoption de mesures de court terme (effectives à compter de 2023), moyen-terme (après 2023) et de long-terme (après 2030). Les mesures de court terme (EEXI, CII), adoptées en 2021, imposent notamment à chaque navire de jauge égale ou supérieure à 5000 (UMS) des cibles de réduction de son intensité carbone réelle par rapport à une référence calculée en fonction de l'intensité carbone de sa catégorie en 2019 : -5% en 2023, -7% en 2024, -9% en 2025 et -11% en 2026. Les cibles pour la période 2027-2030 devront être adoptées en 2026 au plus tard, mais un alignement avec l'objectif actuel de -40 en 2030 par rapport à 2008 nécessiterait un rythme proche de -3% par an entre 2027 et 2030. Ces mesures sont présentées plus en détail en annexe 2.

3.2. Objectifs et mesures au niveau européen (UE)

La "Loi climat" européenne, adoptée le 9 juillet 2021, inscrit dans le droit européen l'objectif de neutralité carbone de l'Union européenne en 2050 et un nouvel objectif intermédiaire, plus ambitieux, de **réduction des émissions nettes de gaz à effet de serre à -55% en 2030** par rapport à 1990 (contre -40% précédemment).

Le paquet législatif visant à atteindre ces objectifs (**paquet « Fit For 55 »**), comporte deux propositions législatives clés pour le secteur du transport maritime (selon l'état des négociations au 31 décembre 2022) :

- La révision de la **directive ETS** prévoit l'inclusion du transport maritime dans le Système européen d'échange de quotas d'émission existant (« ETS » pour Emission trading scheme) qui couvre déjà les émissions des installations industrielles, de la production d'énergie et du transport aérien, avec un plafond de quotas pour les secteurs couverts aboutissant à une réduction de 62% des émissions en 2030 par rapport à 2005 ;
- Le nouveau règlement **FuelEU Maritime** imposera des cibles d'intensité carbone de l'énergie utilisée à bord des navires, prenant en compte l'ensemble du cycle de vie des carburants. Les cibles devraient se situer dans les fourchettes suivantes (par rapport à

2020) : -2% à partir de 2025, -6% à partir de 2030, entre -13% et -20% à partir de 2035, entre -26% et -38% à partir de 2040, entre -59% et -64% à partir de 2045 et entre -75% et -80% à partir 2050.

Ces dispositifs, ainsi que leurs impacts attendus, sont décrits en annexe 3.

3.3. National

La Stratégie nationale bas-carbone (SNBC) est la feuille de route de la France pour mener sa politique d'atténuation du changement climatique. Elle prévoit des réductions d'émissions de GES dans tous les secteurs d'activité émetteurs de GES (transport, bâtiment, industrie, etc.) et donne en conséquence les orientations stratégiques sectorielles pour mettre en œuvre en France la transition vers une économie décarbonée durable. La SNBC en vigueur (SNBC-2) vise l'atteinte de la neutralité carbone à l'horizon 2050 et la réduction de l'empreinte carbone de la consommation des Français.

Elle prévoit en particulier un **transport maritime et fluvial entièrement décarboné pour les émissions domestiques à horizon 2050 et décarboné à 50 % pour les routes internationales**. Ces objectifs seront revus à l'occasion de la révision de la SNBC en 2023-2024, en lien avec le relèvement de l'ambition climatique européenne, qui nous engage à intensifier fortement nos efforts pour décarboner en profondeur notre économie et la société à grande échelle. La future SNBC fixera par ailleurs, en application de la loi énergie climat, des objectifs de court / moyen terme (sous forme de budgets carbone) pour le transport maritime international.

3.4. Segments pour lesquels il n'existe pas d'objectif

Les dispositions juridiques qui déclinent les objectifs climatiques internationaux, européens et nationaux comportent des angles morts. Parmi ces secteurs n'étant à ce jour pas concernés par des objectifs de réduction contraignants, on peut citer :

- Les navires de commerce de jauge brute inférieure à 5000 UMS à navigation nationale,
- Les navires de commerce de jauge brute inférieure à 400 UMS,
- Les navires de plaisance,
- Les navires de pêche.

Ces segments constituent une part non négligeable du secteur maritime français en nombre d'unités concernées. S'ils répondent à des contraintes et des enjeux spécifiques, ils doivent cependant être associés aux démarches visant à atteindre les objectifs climatiques nationaux.

4. Périmètre des émissions et besoins en énergie du secteur maritime

4.1. Inventaire des émissions du secteur maritime français

La consommation d'énergie et les émissions associées doivent être mesurées avec précision pour avoir une vision claire des besoins du secteur.

En France, le Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique (CITEPA) réalise chaque année l'inventaire des émissions nationales en lien avec les engagements de la France dans le cadre des conventions internationales et des obligations de rapportage européennes. Les émissions du transport maritime et fluvial, publiées dans le rapport SECTEN du CITEPA, sont pour le décompte domestique à 0.6% des émissions nationales⁶, et à moins de 2% en intégrant les émissions liées au transport international⁷, ce qui est inférieur aux pourcentages d'émission du maritime au niveau européen ou mondial, estimé à 3 et 4%.

Ces écarts s'expliquent pour plusieurs raisons, notamment :

- La méthode de calcul se fonde sur le volume de carburants marin souté **par des navires sous pavillon Français dans les ports français**, qui, comme indiqué plus haut, sont faibles en proportion par rapport aux autres pays maritimes.
- En application de la méthode de décompte internationale, seule une partie des soutes sont intégrées au calcul, à savoir celles concernant les petits navires et navires de pêche d'une part, et seulement une **quote-part (6%) attribuées aux émissions de fioul lourd**. Le gaz naturel liquéfié, dont l'usage est plus récent comme carburant, n'est également pas pris en compte.

En outre, même si elles n'entrent pas dans les décomptes du CITEPA, les émissions liées à la construction et au recyclage ou au démantèlement du navire peuvent être significatives. Le tableau ci-après donne une estimation du poids de l'empreinte carbone de ces phases (chiffres issus de différentes études nationales ou internationales⁸).

Type de navire	Empreinte construction-déconstruction / Émissions totales
Navire de charge	3 à-5 %
Paquebot	10 à 20 %
Mega-yacht et unités de plaisance	15 à 20 %

La part relative de cette empreinte devrait augmenter avec l'amélioration de l'efficacité énergétique des navires en opération. Ainsi, un navire propulsé majoritairement par le vent aura une part relative de son empreinte carbone à la construction nettement supérieure à celle d'un navire standard du fait de sa faible consommation de carburant en opération.

⁶ Transport fluvial de marchandises, transport maritime domestique, transport autres navigations, soit principalement les bateaux fluviaux, navires de pêche et navires de plaisance.

⁷ Transport fluvial international, transport maritime international, soit principalement les portes conteneurs, vraquiers, pétroliers venant souter dans un port français

⁸ Données fournies par les adhérents du GICAN et de Fontaine Pajot et des études internationales (Jian Hua & al(2019), Pham Ky Quang & al (2020), Favi & al (2017).

4.2. Périmètre des besoins en énergie

Pour tenir compte des émissions réelles du secteur maritime et ne pas sous-estimer les besoins énergétiques nécessaires à sa décarbonation, plusieurs hypothèses ont été étudiées :

- **Périmètre restreint aux seules consommations domestiques**, ce qui serait extrêmement limitatif compte tenu de ce qui est écrit au paragraphe précédent, et correspondrait à environ 4 TWh d'énergie fossile représentant 1.7 MtCO₂ annuels.
- **Périmètre intermédiaire couvrant la décarbonation de l'ensemble des carburants soutés dans les ports français** (faible part au niveau européen), soit autour de 30 TWh d'énergie fossile (moyenne avant COVID et ajout du GNL), soit autour de 8.5 MtCO₂.
- **Périmètre élargi, basé sur des besoins en énergies décarbonées rapportés au prorata du PIB français par rapport au PIB européen**, ce qui amènerait à autour de 90 TWh d'énergie fossile représentant 30 MtCO₂ (autour de 6% des émissions nationales).

L'approche intermédiaire couvrant la décarbonation de l'ensemble des soutes nationales a été retenue dans l'exercice de la feuille de route. Ce choix équilibré est notamment justifié par :

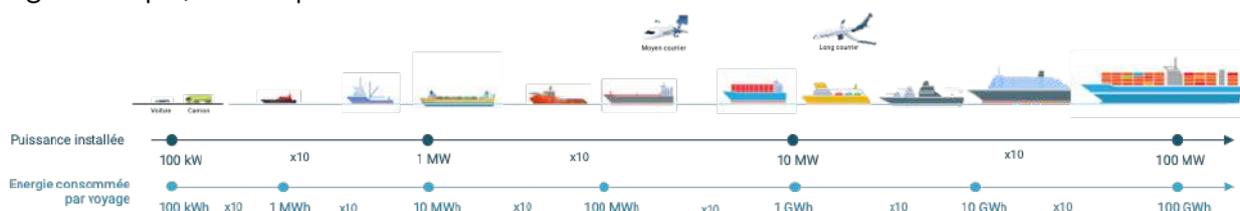
- La nécessité de prendre en compte la résolution de l'OMI invitant chaque État à agir à son niveau pour faciliter l'atteinte des objectifs internationaux⁹
- Les objectifs de développement économique et industriel portés par les acteurs français, ce quelle que soit la nationalité du client intermédiaire ou final

5. Présentation des leviers de décarbonation, répartis par GT

5.1. Des leviers et technologies spécifiques pour une décarbonation complexe à réaliser

La décarbonation du maritime est assez spécifique et identifiée, pour les plus grands navires, comme une des plus complexes à réussir compte tenu des besoins en puissance et en autonomie. De manière générale, les technologies développées dans d'autres domaines, tels que l'automobile, ne sont pas directement adaptables et nécessitent une « marinisation » (batteries, stacks de piles à combustible) ou des développements spécifiques (vélique).

Le graphique ci-dessous donne à titre illustratif des ordres de grandeur des puissances (moteur principal et auxiliaires) et de l'énergie consommée pour un déplacement / voyage, en échelle logarithmique, en comparaison à d'autres mobilités.



Concernant le type d'énergie, le secteur maritime, qui repose essentiellement sur le gazole et le fioul lourd aujourd'hui, va devoir s'orienter vers de nouvelles molécules. Certaines peuvent être communes avec d'autres mobilités comme le méthane et l'hydrogène, d'autres sont plus spécifiques comme le méthanol et l'ammoniac.

5.2. De nombreux leviers à combiner pour chaque type de navires

Il existe une multitude de solutions, à des niveaux de maturité cependant très variés, pour réduire la consommation et les émissions de GES des navires. Certaines solutions sont au stade de concepts, d'autres au stade de démonstrateurs et certaines sont déjà mises en œuvre

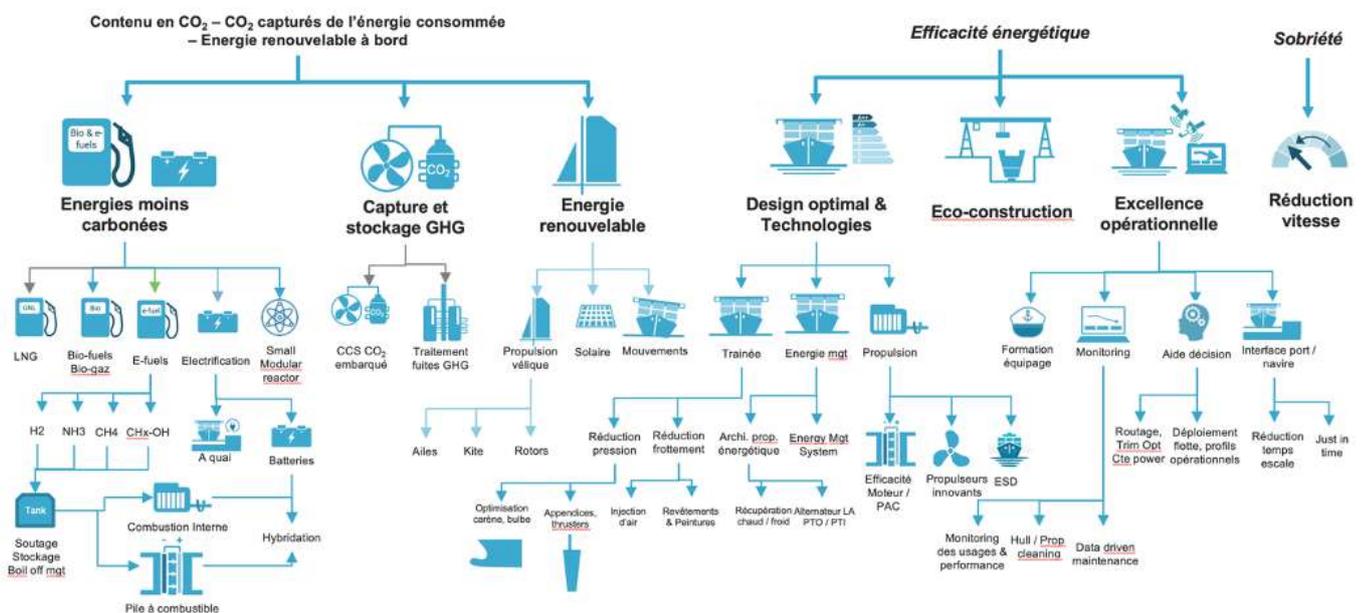
⁹ Résolution MEPC.327(75) du 20 novembre 2020 encourageant ses Etats membres à développer des "plans d'actions nationaux" pour réduire les émissions de GES des navires.

depuis de nombreuses années. On estime ainsi que la performance énergétique des navires aujourd’hui est améliorée de l’ordre de 10 à 20% par rapport à il y a 20 ans.

Chaque solution présente ses avantages propres, mais aussi des **inconvenients de différentes natures** ayant jusqu’à présent limité leurs déploiements :

- **Technologique**, du fait de la complexité des solutions restant à développer ou à fiabiliser ;
- **Réglementaire**, pour des raisons de sécurité (batteries, ammoniac, nouveaux matériaux etc.) ;
- **Financier**, car les solutions décarbonées seront généralement plus chères en investissement (CAPEX) et parfois en fonctionnement (OPEX) ;
- **Énergétique**, car les ressources sont limitées eu égard aux besoins importants pour la production de carburants alternatifs ;

Le diagramme ci-dessous présente à titre illustratif les principaux leviers, à combiner par type de navire, pour réussir leur décarbonation.



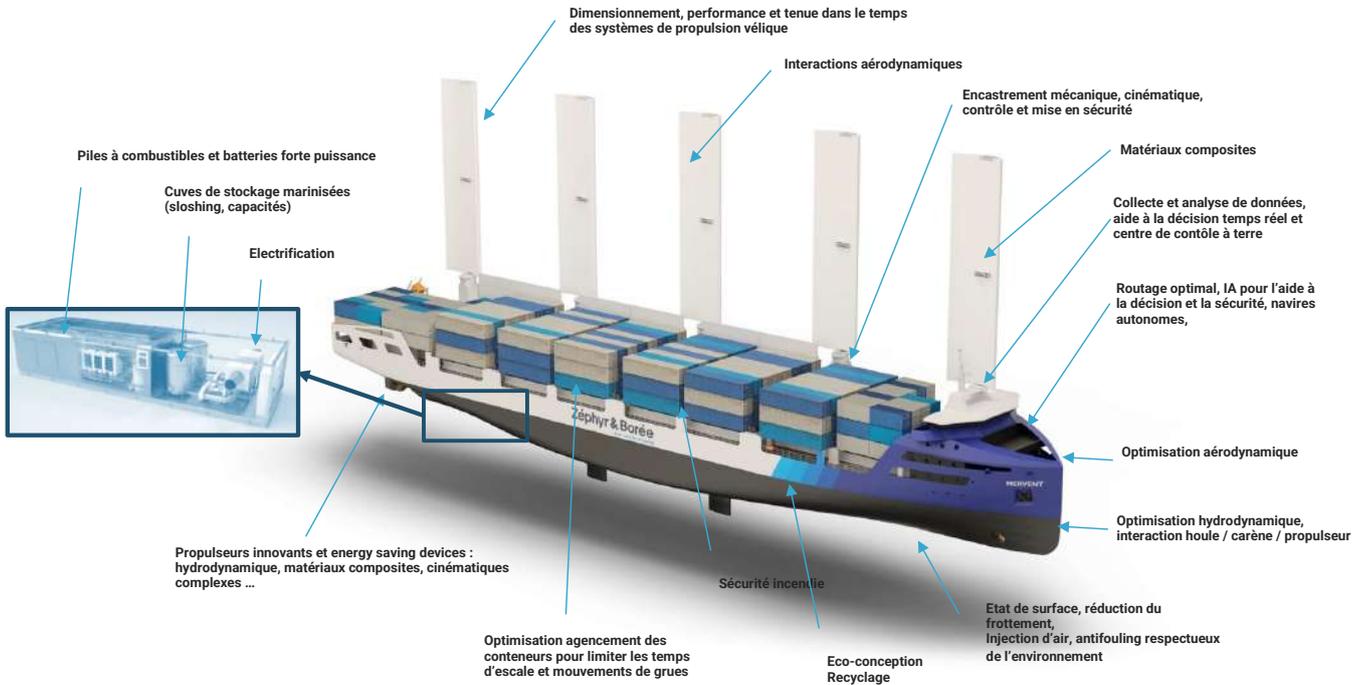
Les principaux leviers de décarbonation du maritime (source MEET2050)

Dans le cadre de la feuille de route, 12 principaux leviers ont été spécifiquement étudiés. Ils sont décrits dans la suite de ce paragraphe en présentant leurs avantages et les freins actuels à leur mise en place. Des illustrations de projets concrets accompagnent ce descriptif.

Familles de leviers	Leviers de décarbonation
Efficacité énergétique du navire	Réduction de la traînée
	Optimisation de la propulsion
	Optimisation de la consommation d'énergie à bord
Écoconception, construction et fin de vie	Écoconception, process de fabrication et déconstruction
Exploitation	Excellence opérationnelle
	Sobriété et baisse de vitesse
Énergies et infrastructures	Énergie fossile moins carbonée et transitoire (GNL)
	Biocarburants

	E-carburants dont hydrogène et dérivés
	Électrification des navires et des quais
	Capture et utilisation du CO2 (CCUS)
	Propulsion par le vent

Les trois navires-concepts présentés ci-dessous font appel à ces différents leviers.



Navire porte-conteneur allant vers le zéro émissions (Crédits : Zéphyr et Borée)



Cargo à voile Neoline (Crédits : Mauric / Néoline)



Navire pêche à hydrogène (Crédits : Mauric)

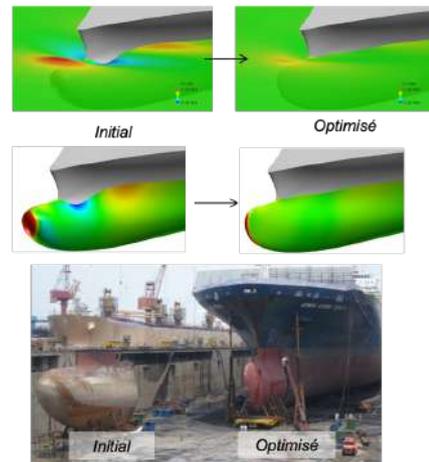
5.3. Efficacité énergétique pour réduire la consommation et les émissions

Plusieurs solutions permettent d’optimiser l’efficacité énergétique des navires au stade de la conception. Les navires n’étant de manière générale pas construits en série, à l’exception des unités de plaisance, des études spécifiques doivent être menées sur chaque navire pour en améliorer le design et l’efficacité énergétique globale. Ces améliorations permettent de gagner en moyenne de 5 à 15% d’efficacité, notamment en adaptant le design au profil opérationnel du navire.

5.3.1. Levier 1 : réduction de la traînée des navires

La réduction de la traînée consiste à optimiser la forme du navire pour minimiser la résistance de vague et de frottement du navire.

Elle implique des calculs complexes via des outils numériques et parfois des vérifications en bassin de carène. Les études peuvent concerner la forme générale du navire ou des parties spécifiques (bulbe, voûte, appendices), selon différents profils opérationnels, qu’il s’agisse de constructions neuves ou en rétrofit. Certaines techniques innovantes contribuent aussi à réduire les frottements comme l’injection d’air sous la carène ou l’usage de certains revêtements de surface.



Gains de l’ordre de 10% sur la consommation

Crédits : HydrOcean / CMA-CGM

AVANTAGES	FREINS
<ul style="list-style-type: none"> • Applicable sur tous les navires et segments de flotte, en rétrofit et en constructions neuves ; • Gains significatifs de 5 à 20% sur la consommation et les émissions 	<ul style="list-style-type: none"> • Temps restreint alloué à la phase de conception du navire • Études encore vues comme un coût additionnel malgré le ROI significatif

<ul style="list-style-type: none"> • Solution mature et prouvée par de nombreux retours d'expérience très positifs • ROI immédiat en construction neuve et rapide (1 à 3 ans sur les grands navires) en retrofit 	<ul style="list-style-type: none"> • Mesures OMI non applicables aux plus petits navires • Nécessité d'un arrêt technique dans le cas d'un retrofit • Difficulté d'avoir des données fiables et précises sur les profils opérationnels réels des navires, point d'entrée des études d'optimisation • Modification des missions de certains navires qui rendent difficiles les optimisations trop spécifiques, notamment dans l'objectif de garder une polyvalence (en vue de la revente du navire)
--	--

5.3.2. Levier 2 : amélioration du rendement propulsif

L'amélioration du rendement propulsif d'un navire consiste à optimiser l'ensemble de la chaîne propulsive du navire (de la commande moteur à l'hélice). Les solutions peuvent être :

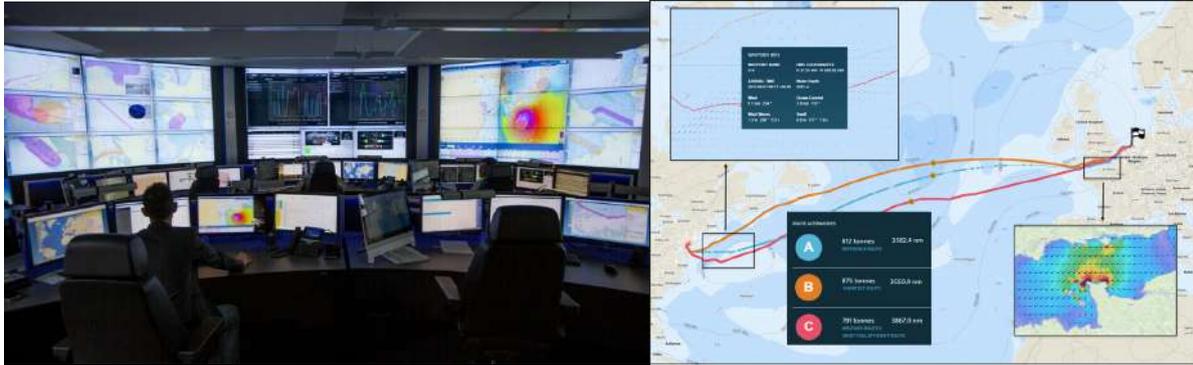
- L'optimisation du rendement des propulseurs : formes optimisées, adaptation puissance / cavitation / bruit rayonné, utilisation de matériaux composites et déformables ;
- L'intégration de propulseurs innovants pouvant être inspirés du biomimétisme ;
- L'optimisation de l'intégration carène / appendices / propulseur : propulseurs carénés, sillage / succion, tunnels et voûtes arrières optimisées ;
- Le développement de systèmes Energy Saving Device (ESD) pour améliorer les rendements propulsifs.

AVANTAGES	FREINS
<ul style="list-style-type: none"> • Optimisation en construction neuve et en retrofit pour l'adaptation à de nouveaux points de fonctionnement du navire • ROI immédiat en construction neuve et rapide (1 à 3 ans pour les grands navires) en retrofit • Fiabilité des outils de conception et d'évaluation numérique • Gains de 3 à 10% • Innovations de ruptures en développement faisant notamment appel au biomimétisme avec de meilleurs rendements 	<ul style="list-style-type: none"> • Temps restreint alloué à l'optimisation des performances propulsives dans la phase de conception • Études encore vues comme un coût additionnel malgré le ROI • Nécessite une étude technique approfondie sur la base du profil opérationnel du navire ; • Coût élevé des propulseurs les plus performants (entre 5 et 25% du coût du navire selon le type) • Nécessité de passage à l'échelle et d'augmentation de puissance pour les propulseurs innovants basés sur le biomimétisme

5.3.3. Levier 3 : amélioration de l'efficacité énergétique des équipements des navires

Il s'agit d'optimiser l'ensemble de l'énergie consommée à bord sur un profil de navire et d'exploitation donnée afin d'éviter des consommations superflues ou redondantes. Les solutions peuvent être notamment :

- La récupération de chaleur ou de froid pour une utilisation à bord ;
- L'optimisation de l'usage moteur principal par rapport à celui des auxiliaires ainsi que des points de fonctionnement ;
- Le dimensionnement optimal de la puissance (*sea margin*) ;
- L'amélioration de l'efficacité des équipements de pont, équipements de pêche et divers appareils ;
- L'optimisation des dépenses énergétiques à bord : ampoules, climatisation, chauffage.



Exemple d'un centre de contrôle de navire et d'un logiciel de routage (Crédit Marine Traffic)

AVANTAGES	FREINS
<ul style="list-style-type: none"> • Installation possible sur tous les navires • Facilité de mise en place à l'aide d'études au stade du design ou en retrofit • Coût réduit et gains en consommation assurés 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessite des outils de modélisation énergétique et de monitoring du navire encore en développement ou pas encore totalement validés • Optimisations très dépendantes du profil opérationnel du navire, amené à varier au cours de sa durée de vie

5.4. Levier 4 : Écoconception, processus de fabrication et fin de vie pour réduire l'empreinte carbone de la construction et du démantèlement

L'étape préalable pour appréhender ce levier, souvent peu pris en compte dans les réglementations internationales et peu documenté, consiste à s'accorder sur un référentiel de comptabilité carbone pour mener des analyses en cycle de vie (ACV) et à démocratiser son usage. La consolidation des principales données d'inventaire (énergies, matériaux, etc.) spécifiques aux domaines navals, fluviaux et nautiques (profils d'émissions moteurs, matériaux composites, process de soudure, etc.) est nécessaire pour engager une démarche d'écoconception.

L'écoconception implique ensuite de trouver les moyens incitatifs pour que les constructeurs et armateurs s'orientent vers des navires à empreinte carbone la plus réduite possible sur l'ensemble du cycle de vie des navires. Cette approche fait apparaître le poids des intrants matériaux, notamment l'acier, l'aluminium et le composite qui peuvent représenter jusqu'à 90 % de l'empreinte carbone de production. La transition des filières amont doit être réalisée en maintenant la compétitivité des filières avales européennes.

Les chantiers français cherchent à intégrer les contraintes liées à la fin de vie des navires dès leur conception. Le secteur de la plaisance a déjà initié des développements pour recourir à des matériaux plus respectueux de l'environnement et plus faciles à recycler (ex : recours à la fibre de lin en remplacement de la fibre de carbone, et à la résine recyclable).

AVANTAGES	FREINS
<ul style="list-style-type: none"> • Des solutions techniques pour certaines déjà matures • Premières analyses de cycle de vie effectuées par des acteurs de référence • Obligations réglementaires sur la fin de vie des navires • Existence de l'éco-organisme national APER agréé par le ministère de la Transition 	<ul style="list-style-type: none"> • Absence de méthodologie ACV partagée et manque de données pour fixer un cadre de référence • Critères de performance environnementale sur l'ensemble du cycle de vie non pris en compte par le marché et la réglementation • Mécanisme d'ajustement carbone aux frontières européen qui renchérit l'accès aux matières

<p>écologique pour gérer la déconstruction et le recyclage des bateaux de plaisance et de sport en fin de vie.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quatre installations de recyclage de navires agréées par l'Union européenne situées en France • Capacité industrielle française et savoir-faire des acteurs français 	<p>premières pour les industriels européens, mais n'inclut pas les produits finis</p> <ul style="list-style-type: none"> • Réglementation contraignante d'approbation des matériaux qui ne facilite pas l'innovation.
--	--

5.5. Excellence opérationnelle pour réduire les émissions en phase d'exploitation

5.5.1. Levier 5 : Excellence opérationnelle

Les mesures d'excellence opérationnelle regroupent l'ensemble des actions permettant d'optimiser la consommation du navire existant en exploitation et dans son interaction avec son environnement : outils d'aide à la décision et à l'écoconduite, routage intégrant les conditions météorologiques (vent, houle, courant), optimisation des interactions avec la terre pour réduire les vitesses de transit (arrivée « juste à temps », réduction des temps d'escale, etc.), monitoring de performance pour identifier les surconsommations, formation des équipages.

Ces mesures, qui contribuent à l'efficacité énergétique du navire dans sa phase opérationnelle, sont insuffisamment déployées.

AVANTAGES	FREINS
<ul style="list-style-type: none"> • Gains significatifs apportés par la meilleure compréhension du fonctionnement des navires • Solutions, pour certaines, simples à mettre en œuvre, sans modifications significatives du navire • Des outils numériques toujours plus performants (routage par exemple) 	<ul style="list-style-type: none"> • Bande passante pour les communications satellites navires / terre • Standards et qualité des données • Propriété des données discutée entre les équipementiers, les chantiers et les armateurs • Faible culture technique de certains opérateurs de navires • Partage des investissements et bénéfices entre armateurs et affréteurs

5.5.2. Levier 6 : Sobriété énergétique

La sobriété du transport maritime est une mesure complémentaire pour réduire les émissions de GES sur certains segments de flotte. Actionner ce levier, simple technologiquement parlant, n'est toujours pas sans poser de difficulté.

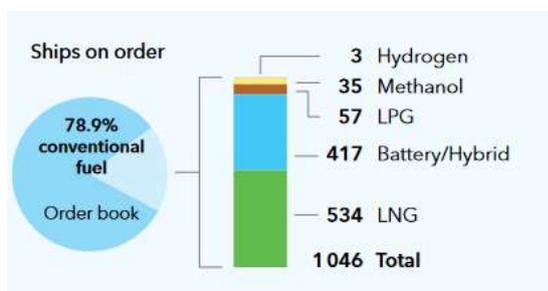
La principale mesure identifiée concerne la baisse de vitesse des navires, la consommation de carburant étant fonction du cube de la vitesse. Cette pratique est, dans les faits, déjà répandue et a été portée par la France à l'OMI. Elle est aussi reprise dans la charte SAILS signée par plusieurs compagnies maritimes françaises. Toutefois, une baisse trop importante de la vitesse des navires de commerce impliquerait une baisse des volumes transportés et, potentiellement, un besoin accru en nouveaux navires pour assurer les échanges maritimes.

La baisse des volumes transportés et donc des échanges internationaux n'est à ce jour que peu crédible. Dans son rapport annuel publié le 29 novembre 2022, la Conférence des Nations unies sur le commerce et le développement (CNUCED) pronostique une hausse annuelle des échanges maritimes mondiaux ramenée à 2,1 % par an dans les cinq prochaines années en dépit de la hausse des coûts de l'énergie.

AVANTAGES	FREINS
<ul style="list-style-type: none"> • Simple à mettre en place d'un point de vue technique • Solution efficace si la baisse de vitesse est raisonnée (jusqu'à 30% selon les types de flotte) • La baisse de vitesse rend la propulsion par le vent plus attractive 	<ul style="list-style-type: none"> • Impact sur l'activité économique des exploitants, • Peu de marge de manœuvre sur certains segments de flotte (ex : horaires à tenir pour des ferrys) • Compensation potentiellement par l'introduction de navires supplémentaires, réduisant significativement les gains attendus • Risque de report modal vers des modes de transport moins efficaces énergétiquement parlant, mais plus rapides

5.6. Énergies et infrastructures

Le recours progressif à des énergies dont l'empreinte carbone est réduite, sur l'ensemble du cycle de vie, est une solution indispensable pour décarboner le secteur. Aujourd'hui, la quasi-totalité des navires utilise des combustibles fossiles, mais, peu à peu, des armateurs optent pour des navires compatibles avec des carburants alternatifs (21% des commandes de navires neufs d'après le DNV).



Commandes de navires utilisant des fuels alternatifs (DNV, 2022)

Sous le terme de carburants alternatifs se cache en réalité une diversité de solutions qui peuvent être regroupées en grandes catégories : le gaz naturel liquéfié (GNL), les biocarburants, les e-carburants, les batteries. Par ailleurs, les systèmes de capture et de stockage de CO₂ (CCS) et de propulsion vélique peuvent compléter les équipements des navires et réduire leur empreinte carbone.

Au niveau national, l'énergie soutée dans les ports français est d'environ 30 TWh d'énergie fossile. La conversion de ces 30 TWh en d'autres formes d'énergie décarbonées, impliquerait de disposer aujourd'hui de l'énergie équivalente en biocarburants, ou l'équivalent de 60 à 120 TWh d'électricité pour produire des e-carburants compte tenu des rendements énergétiques inhérents à chaque phase de transformation, de l'ordre de 12 à 25%. La disponibilité des énergies pour la décarbonation est donc un sujet majeur.

5.6.1. Levier 7 : L'usage d'énergie fossile moins carbonée et transitoire (GNL)

Le Gaz naturel liquéfié est un mélange gazeux d'hydrocarbure d'origine fossile composé majoritairement de méthane. Transporté sous forme liquéfiée (température cryogénique de -161°) dans des navires méthaniers, il est utilisé sur ces navires comme carburant depuis les années 1960-1970, ce qui en fait une technologie mature. Permettant également de satisfaire aux contraintes liées aux réglementations en matière de pollution atmosphérique, notamment dans les zones de contrôle des émissions (zones ECA au sens de l'OMI), le GNL est adopté peu à peu sur les constructions neuves de navires de charge et navires à passagers, qui ne peuvent être décarbonés uniquement par les vecteurs électricité et hydrogène.

L'abattement d'émissions de gaz à effet de serre du GNL est limité compte tenu de son origine fossile et des émissions fugitives de méthane (dont le pouvoir réchauffant est 28 fois supérieur au CO₂ à 100 ans) provoquées par son utilisation, le GNL ne peut donc être vu que comme une énergie de transition vers le bioGNL et vers le e-méthane qui offre l'avantage sur les autres formes d'énergies d'une transition progressive et pilotable.

Pour les plus petits navires, tels que les navires de pêche, le gaz naturel comprimé (GNC et ses dérivés en bio et e-carburants) peut s'avérer pertinent.

Par ailleurs, la pyrolyse du gaz naturel à bord des navires, procédé qui transforme directement le gaz en hydrogène et en carbone solide, est en cours de développement pour le maritime.

AVANTAGES	FREINS
<ul style="list-style-type: none"> • Amélioration de la qualité de l'air : réduction des émissions de SO_x, NO_x et de particules fines • Chaîne d'approvisionnement mature, infrastructure croissante dans les principaux ports de ravitaillement • Réglementation internationale déjà existante pour l'usage du GNL à bord des navires • Réduction des émissions de CO₂ jusqu'à 17% selon le type de motorisation et l'origine du GNL (+6% à -17% dans le projet de règlement FuelEU) • Densité énergétique intéressante comparativement aux autres fuels alternatifs • Possibilité de passer progressivement au bioGNL et au e-GNL sans modification du design des navires et des infrastructures 	<ul style="list-style-type: none"> • Énergie fossile • Fuites fugitives de méthane pouvant amener à une augmentation jusqu'à 6% des émissions de GES (par rapport au fuel lourd d'après FuelEU). • Usage limité à des navires de taille significative (>100m) • Nécessite une formation professionnelle de l'équipage pour maîtriser le combustible cryogénique à bord

5.6.2. Levier 8 : Les biocarburants

Les biocarburants liquides représentent une gamme très variée de carburants alternatifs produits à partir de biomasse issue de ressources à usage alimentaire (huiles végétales, plantes sucrières, céréales ...) pour les carburants dits de première génération, et de ressources lignocellulosiques (bois, feuilles, pailles, etc.) pour les carburants de seconde génération. Certains biocarburants sont déjà utilisés depuis longtemps pour la mobilité routière, mais leur usage dans le maritime reste embryonnaire.

Autre type de biocarburant, le biométhane est un gaz 100% renouvelable produit à partir de déchets issus de l'industrie agroalimentaire, de la restauration collective, de déchets agricoles et ménagers, ou encore de boues de stations d'épuration. Ce biogaz épuré a les mêmes propriétés que le gaz naturel, et donc les mêmes usages. Il peut ensuite être liquéfié pour faire du bioGNL et remplacer du GNL fossile.

Relativement simples à utiliser et disponibles dès à présent, les biocarburants ont des pouvoirs de réduction des émissions de gaz à effet de serre variables selon leur origine et leur niveau d'incorporation. La disponibilité des stocks, compte tenu des besoins à venir, est un enjeu majeur. Leur prix est globalement plus élevé que les carburants fossiles.

AVANTAGES	FREINS
<ul style="list-style-type: none"> • Carburants déjà disponibles dans certains ports • Solution « drop-in », les biocarburants peuvent être incorporés directement dans les soutes des navires, en mélange aux carburants fossiles, sans retrofit majeur (besoin parfois d'adaptateur les réglages moteur) • Densité énergétique similaire à celle des combustibles fossiles 	<ul style="list-style-type: none"> • Stocks limités et compétitions d'usage avec d'autres secteurs (dont l'aérien) • Réductions des émissions variables selon les biocarburants • Travaux de recherche nécessaires pour permettre le passage à plus grande échelle, et pour développer des biocarburants de troisième génération (à partir d'algues marines) • Émissions de NO_x de ces biocarburants à maîtriser

5.6.3. Levier 9 : Les électro-carburants (e-carburants)

Les e-carburants sont une classe de carburants fabriqués à partir d'électricité. Ils peuvent représenter une solution neutre en matière de gaz à effet de serre à condition que les étapes nécessaires à leur production, notamment l'électricité utilisée, le soient aussi. Avec les biocarburants, il s'agit des deux solutions majeures pour satisfaire à terme les besoins énergétiques du secteur maritime.

La production d'e-carburants nécessite d'énormes quantités d'énergie, compte tenu des rendements faibles. Leur production passe par une étape de production d'hydrogène, lui-même pouvant être produit par électrolyse de l'eau (pour assurer son caractère décarboné), cet hydrogène pouvant ensuite être transformé en d'autres molécules par différents processus chimiques.

Plusieurs e-carburants sont envisagés pour satisfaire les besoins du maritime, sans qu'il ne soit possible de déterminer aujourd'hui si l'un d'entre eux émergera plus qu'un autre. Les principaux sont les suivants :

- Le **e-hydrogène**, produit par électrolyse de l'eau et pouvant ensuite être utilisé dans une pile à combustible voire, dans certains cas, dans un moteur à combustion. Du fait de sa faible densité énergétique par unité de volume, l'hydrogène doit être comprimé à très haute pression (de 300 à 700 bars) voire même liquéfié à environ -252°C. Son utilisation restera limitée à certains types de navires en capacité de s'avitailer fréquemment. La durée de vie limitée des piles à combustible et leur coût sont également une contrainte.



Energy Observer 2 - navires de charge polyvalent et électrique alimenté par de l'hydrogène liquide (crédits : Kader Boucher / Epron Design)

- Le **e-méthane**, produit via le procédé Fischer-Tropsch, pouvant ensuite être liquéfié et donner du e-GNL. Ce dernier pourra remplacer directement le GNL fossile utilisé dans les navires construits pour cette énergie.



Projet Jupiter 1000, démonstrateur industriel de Power-to-Gas (Crédit Jupiter 1000)

- Le **e-méthanol** dont la production est déjà industrialisée, notamment pour l'industrie chimique. Ce carburant est liquide à température ambiante ce qui facilite sa manipulation et son soutage, il pourrait notamment être utilisé en retrofit de navires existants. Des navires-citernes fonctionnant et transportant du méthanol sont déjà en opération, et des premiers navires – hors navires-citernes – utilisant le méthanol comme

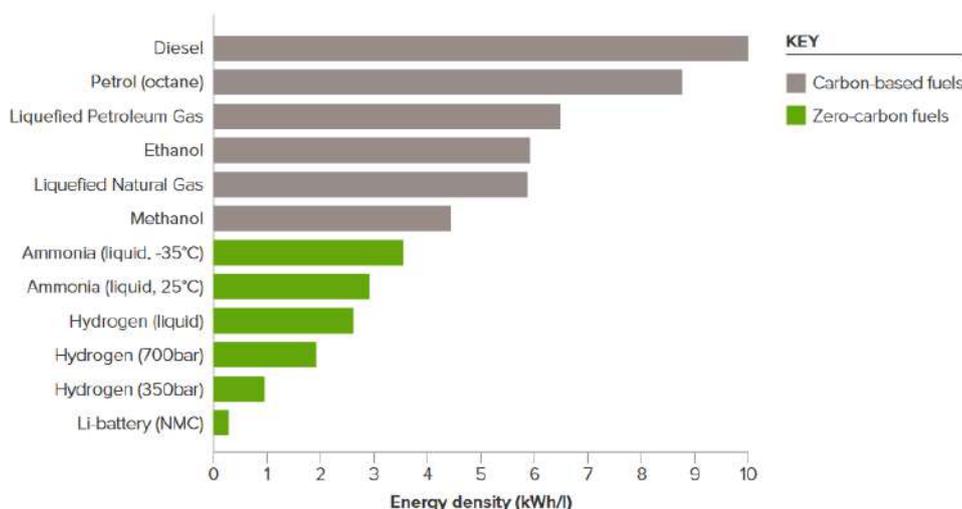
carburant seront en opération dès 2025-2026. Certains armateurs de porte-conteneurs misent notamment sur cette technologie.

- Le **e-ammoniac**, lui aussi produit en grande quantité pour des besoins industriels (industrie des engrais, explosifs) selon le procédé de Haber-Bosch. Moins mature que les deux e-carburants précédents pour un usage maritime, l'ammoniac présente l'intérêt majeur d'être dépourvu de chaîne carbonée et ainsi de ne pas émettre de CO₂ à sa combustion. De gros efforts de R&D sont néanmoins nécessaires pour permettre son exploitation de manière sûre, l'ammoniac étant hautement toxique.

Le prix des e-carburants, dont la production est quasi nulle à ce jour hormis pour la mobilité lourde, dépendrait grandement des prix de l'électricité. On peut estimer qu'à terme et hors mécanisme de taxe carbone, les e-carburants seront entre trois et quatre fois plus chers que leurs équivalents fossiles. Il faut ajouter à ce prix les investissements nécessaires en infrastructures et les surcoûts des navires dont le design est différent des navires conventionnels.

Les e-carburants présentent des propriétés physiques différentes entre eux. En particulier, leur densité énergétique par unité de volume varie considérablement, avec des conséquences directes sur l'encombrement dans les soutes du navire et donc la charge utile de ce dernier.

The volumetric energy density of a range of fuel options.



Densité énergétique des carburants marins, sans prise en compte des cuves de stockage¹⁰

Autre point d'attention, les e-carburants comportant du carbone, notamment les e-méthane et e-méthanol, doivent, pour leur production, disposer d'une source de carbone, CO₂ ou CO. Plusieurs technologies sont envisagées pour disposer de CO₂ sachant que la réglementation européenne RED 3 pourrait contraindre le recours à certaines sources. Le CO₂ biogénique, issu par exemple de la production de biométhane, est particulièrement vertueux dans un bilan carbone, en particulier lorsque le couplage à une unité de méthanisation permet de doubler la production de gaz pour une même quantité de biomasses en entrée.

AVANTAGES	FREINS
<ul style="list-style-type: none"> • Potentiel de réduction de gaz à effet de serre très important • Amélioration de la qualité de l'air : réduction des émissions de SO_x, NO_x (hors ammoniac pour lequel il y a des risques) 	<ul style="list-style-type: none"> • Gros besoins en électricité renouvelable ou bas carbone du fait des rendements faibles • Économie industrielle à construire, avec des investissements lourds pour les infrastructures de production et de distribution (notamment portuaires)

¹⁰ <https://royalsociety.org/-/media/policy/projects/green-ammonia/green-ammonia-policy-briefing.pdf>

<p>d'émissions résiduelles de NOx) et de particules fines</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diversité de e-carburants permettant de répondre à différents usages et contraintes d'exploitation 	<ul style="list-style-type: none"> • Source de CO2 pour produire les e-carburants carbonés • Propriété de certains e-carburants à risque, notamment l'e-ammoniac et l'hydrogène • Moindre densité énergétique que les combustibles fossiles • Design des navires à adapter • Abaissement de la signature carbone non reconnue du fait de la non-prise en compte d'analyse de cycle de vie des carburants marins par l'OMI à ce jour (travaux en cours) • Formation des équipages pour ces nouveaux carburants • Foncier limité dans les zones portuaires
--	---

5.6.4. Levier 10 : La capture du CO2 à bord

La capture à bord du CO2 émit sur un navire, et sa séquestration ultérieure permettrait de réduire la teneur en carbone des émissions des navires utilisant un carburant carboné. La technologie est déjà relativement mature à terre et déployée sur certains sites industriels. Elle nécessite encore des efforts de R&D et la mise en place de démonstrateurs en conditions marines.

Son déploiement peut être envisagé sur les plus gros navires, mais reste coûteux.

AVANTAGES	FREINS
<ul style="list-style-type: none"> • Technologie pouvant venir en complément des fuels alternatifs • Pertinent pour les navires disposant de source froide à bord tels que les navires au GNL, pour liquéfier le CO2 et le stocker • Nouveau marché potentiel pour les ports français 	<ul style="list-style-type: none"> • Nombreuses modifications nécessaires pour un retrofit de navire existant • Encombrement lié aux systèmes de captage et de stockage du CO2 à bord • Processus qui requiert de l'énergie à bord • Incertitudes réglementaires sur la nature du CO2

5.6.5. Levier 11 : Hybridation et électrification du navire et des quais

Comme dans d'autres mobilités, l'électrification des modes de propulsion se déploie progressivement sur les navires. Les plus petits d'entre eux, à l'image des navires aquacoles ou de plaisance, peuvent déjà opter pour une propulsion électrique alimentée par des batteries. C'est aussi une option intéressante pour des petits navires à passagers ou de servitude, en fluvial ou eaux abritées, qui bénéficient de capacité de recharge à quai et n'ont pas des besoins d'autonomie élevés. Sur les plus grands navires, ces applications restent limitées à quelques usages spécifiques, comme l'électrification des auxiliaires qui peut représenter jusqu'à 20% de la consommation énergétique du navire, ou pour des ferrys assurant de courtes traversées et pouvant se recharger souvent à quai.

Autre option, l'hybridation électrique de la propulsion décorrèle la génération d'énergie à bord et le pilotage électrique de la propulsion en s'appuyant sur du stockage d'électricité à bord avec des avantages pour le dimensionnement des systèmes, leur efficacité et leur capacité d'évolution technologique. Elle adresse un marché plus large, allant des navires de maintenance en mer aux navires à passagers, à certains navires de pêche et plus généralement à tout navire par exemple lors de sa phase d'approche en zone portuaire.

L'électrification des quais est une condition nécessaire au développement de la propulsion électrique, tant pour la réduction des émissions à quai que pour le rechargement des batteries. Un certain nombre d'infrastructures existent déjà dans les ports européens et français pour que les navires se raccordent à quai pendant leurs escales. Cependant, compte tenu des exigences européennes du règlement AFIR¹¹ et avec le développement à venir de l'électrification des navires, le déploiement d'infrastructures de raccordement devrait s'accélérer.

AVANTAGES	FREINS
<ul style="list-style-type: none"> • Absence d'émission directe du navire • Réduction des nuisances sonores • Technologie batterie déjà mature avec une bonne efficacité énergétique • Pertinent pour les faibles puissances (plaisance, pêche) mais aussi les plus grosses puissances à condition d'avoir des rotations courtes • Possibilité d'hybridation avec un moteur thermique par exemple • Réduction des émissions de GES et de polluants, notamment dans les ports • Découplage génération d'énergie à bord, stockage et propulsion : adaptation à des variations de charge et fonctionnement optimisé de chacune des briques • Capacité de rétrofit de la génération d'énergie 	<ul style="list-style-type: none"> • L'efficacité dépend du mix énergétique utilisé pour produire l'énergie électrique utilisée à bord • Encombrement important. Pas une option pour une propulsion sur de longues distances • Risque d'incendies lié aux batteries • Coût des infrastructures d'électrification pour les ports pour le branchement et la recharge



Barge ostréicole électrique François Cadoret



Navire Commandant Charcot, doté de 4520 kWh de batteries

¹¹ Alternative Fuels Infrastructure Regulation, cf Annexe 3

5.6.6. Levier 12 : La propulsion par le vent et les autres énergies renouvelables

Le vent est une énergie renouvelable, gratuite et abondante en mer, notamment dans certaines zones géographiques. Son exploitation directe à bord des navires à l'aide de systèmes de propulsion dédiés (voiles, ailes rigides, rotors, kites, etc.) permet de réduire significativement le recours à d'autres formes d'énergies. L'énergie éolienne peut ainsi être utilisée en assistance à une propulsion principale, sur des navires neufs ou en retrofit de navires existants, ou sur certaines lignes particulières en propulsion principale.



Exemple de systèmes de propulsion par le vent en cours de développement

(crédits Ayro et Airseas)

La propulsion par le vent fait l'objet de nombreuses propositions et brevets d'innovation dans la sphère nationale, l'industrialisation des équipements et de leur intégration pour son déploiement à grande échelle sur des navires commerciaux reste encore à accélérer.

D'autres énergies renouvelables peuvent dans certains cas être exploitées à bord des navires, en particulier le photovoltaïque et l'énergie hydrolienne.

AVANTAGES	FREINS
<ul style="list-style-type: none"> • Énergie gratuite à son point d'utilisation à bord • Aucune transformation, transport, stockage à terre • Aucun soutage, stockage à bord • Routage disponible pour optimiser l'usage et l'hybridation avec un autre mode de propulsion • Disponible en abondance y compris dans les pays et îles ayant un moindre accès aux carburants • Énergie sans compétition d'usage avec d'autres industries et compatible avec les modes de propulsion • Industrie française innovante dans ce domaine 	<ul style="list-style-type: none"> • Efficace pour des vitesses de navire réduites • Adapté à certaines lignes maritimes et moins à d'autres (faiblesse du vent) • Performance et fiabilité des équipements véliques de nouvelle génération qui vont devoir démontrer leur durabilité et efficacité avec leur utilisation à bord • Nécessite une adaptation de la carène et ses appendices pour remonter au vent efficacement • Impact sur le pont de chargement, la stabilité et la visibilité depuis passerelle • Pour de forts gains d'efficacité énergétique, l'ensemble du design doit être pensé pour intégrer la propulsion par le vent et l'hybridation des moyens de propulsion

6. Scénarios de décarbonation du secteur maritime national

La décarbonation du secteur maritime ne pourra se faire qu'à travers une combinaison des différents leviers. La comparaison de différents scénarios de décarbonation permet d'apporter des éléments quantitatifs sur les solutions à mettre en place et à prioriser les actions.

6.1. Modèle de transition énergétique et données associées

Un outil de modélisation a été développé par la filière maritime dans le cadre du projet MEET2050. Il se base sur l'évolution d'une flotte "moyenne" caractérisée par une population donnée de navires et une consommation énergétique moyenne. Il intègre l'ensemble des paramètres et variables qui ont une influence sur l'évolution des émissions. Pour chaque scénario obtenu par combinaison des différentes variables, le modèle permet d'obtenir des éléments quantitatifs dont la consommation énergétique de la flotte, les émissions associées¹² et la conformité aux réglementations en vigueur et potentielles, les besoins en énergie primaire, une estimation du coût associé, etc.

Un travail collaboratif a été réalisé par les équipes de MEET2050 et les acteurs de la chaîne de valeur pour définir les données et paramètres utilisés dans le modèle : facteurs d'émission, données techniques associées aux nouvelles énergies (volume, rendements...), coûts estimatifs. Il est important de noter que **les données utilisées présentent une certaine dispersion selon les sources utilisées**, liée notamment à l'incertitude de prévisions futures (coût de l'énergie à moyen et long terme, coût de la tonne de CO₂) ou à l'absence de référentiel partagé (facteurs d'émission de certains biocarburants par exemple).

6.2. Présentation des scénarios étudiés

Une dizaine de scénarios ont été élaborés autour d'un scénario principal (scénario S3) dans lequel les objectifs de décarbonation sont atteints par une mise en œuvre équilibrée de l'ensemble des leviers : efficacités technologique et opérationnelle disponibles à ce jour et espérées d'ici 2050, propulsion par le vent, baisse de vitesse de 15% avec un ajout de navires pour conserver les volumes transportés, déploiement progressif des biocarburants avant intégration de e-carburants à partir de 2030. Ce scénario principal s'appuie également sur une croissance de 3% des besoins énergétiques. C'est 3% correspondent à 1,5% de hausse des volumes transportés, en lien avec les projections internationales, et 1,5% liés à une croissance du soutage dans les ports français dans l'optique de réduire la dépendance au soutage étranger.

Les autres scénarios permettent d'évaluer la sensibilité aux paramètres principaux, ils figurent en annexe 4 :

Paramètre étudié	Description	Nom du scénario
Pas de leviers activés	Aucune action spécifique n'est réalisée avec une croissance de la demande en transport maritime de 1,5 %. Scénario dit « <i>business as usual</i> »	S0
Croissance des besoins en énergie	Scénarios avec variation de la croissance et du rapatriement de soutage en France	S1 et S2
Combinaison équilibrée des leviers	Scénario de référence avec 3% de croissance des volumes soutés et la mise en place ambitieuse des différents leviers	S3

¹² Émissions en CO₂ équivalent, dans une approche du puits au sillage (WTW).

Efficacité techno et opérationnelle	Scénarios avec gains d'efficacité poussés à leurs maximums	S4
Sobriété	Accroissement de la baisse de vitesse et accroissement des gains liés à la propulsion vélique	S5
Carburants alternatifs	Retard et avancée de la disponibilité des bio et e-carburants pour le maritime	S6 et S7

Le dernier scénario nommé S7 permet de modéliser une trajectoire allant vers une baisse de 100% des émissions.

6.3. Présentation du scénario de référence S3

Le paramétrage du scénario S3 est le suivant :

Énergie initiale consommée : 27,7 TWh

Croissance annuelle transport : 1,5 %

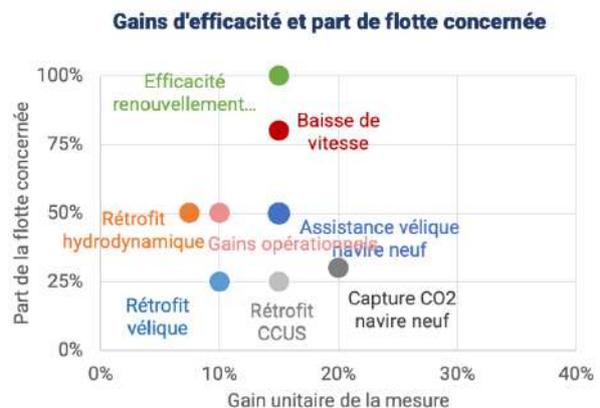
Croissance annuelle soutage FR : 1,5%

Croissance totale : 3%

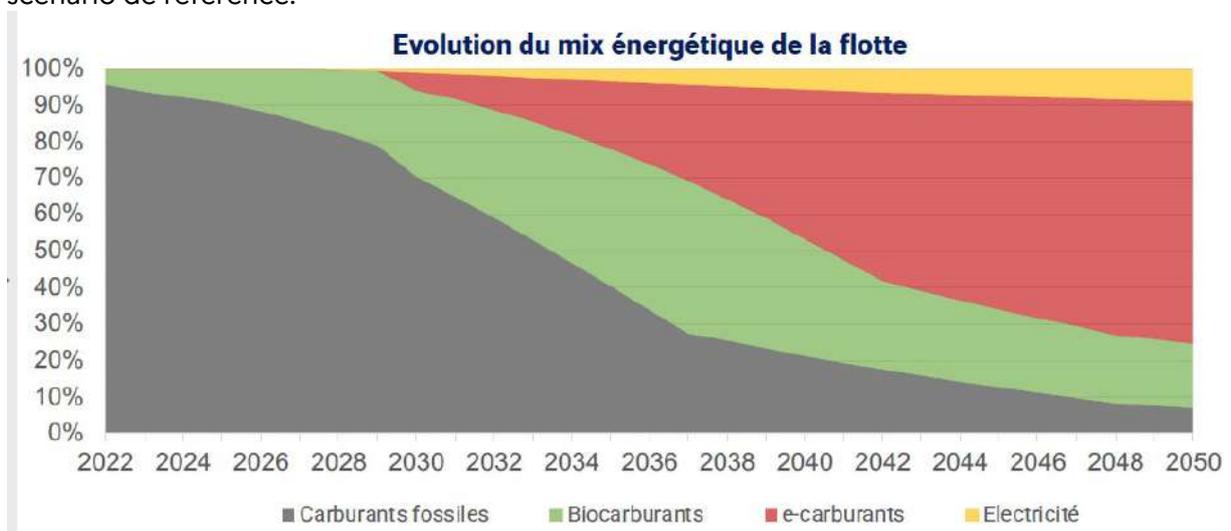
Durée de vie moyenne des navires : 25 ans

Date d'introduction e-carburants: 2030

Durée déploiement des e-carburants : 12 ans



Les graphiques ci-dessous présentent l'évolution du mix énergétique tel que défini dans le scénario de référence.



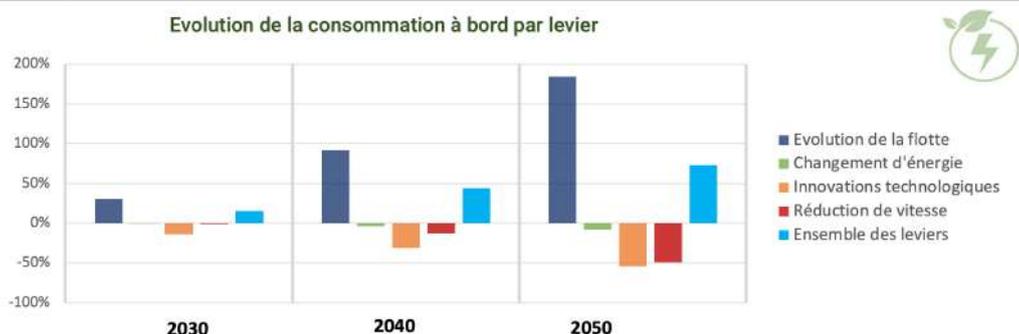
On observe dans ce scénario que les biocarburants assurent une transition entre l'énergie fossile et les e-carburants qui arrivent ultérieurement à partir de 2030 pour représenter un peu moins de 70% des volumes en 2050. Le GNL fossile est substitué progressivement par du bio-GNL puis du e-GNL, avec un développement plus tardif du méthanol compte tenu de l'absence d'infrastructures et de navires compatibles actuellement. L'électrification des navires reste limitée à moins de 10%, compte tenu des contraintes inhérentes pour les navires les plus gros.

Les tableaux ci-dessous présentent l'évolution et la répartition de l'énergie consommée (en TWh) par la flotte, ainsi qu'une décomposition suivant les principaux leviers de décarbonation.

	2023	2030	2040	2050	2023-2050
Énergie consommée par la flotte (TWh)	27,7	32,0	39,7	46,4	1061
<i>Évolution de la consommation</i>	<i>Référence</i>	<i>+15%</i>	<i>+44%</i>	<i>+73%</i>	-
<i>Énergie fossile</i>	26,5	22,7	9	3,4	431
<i>Biocarburants</i>	1,2	7,6	13,3	8,8	262
<i>E-carburants</i>	0	1,5	16,1	31,7	340
<i>Énergie élec. (quai / bord)</i>	0	0,2	1,3	2,6	28

On observe que la quantité d'énergie consommée par la flotte croît, entre 2023 et 2050, de 27,7 TWh à 46,4 TWh, soit 73% d'augmentation. Le mix énergétique passe majoritairement du fossile aux e-carburants avec une transition par les biocarburants.

Le graphique ci-dessous présente la décomposition des évolutions de la consommation par leviers principaux.

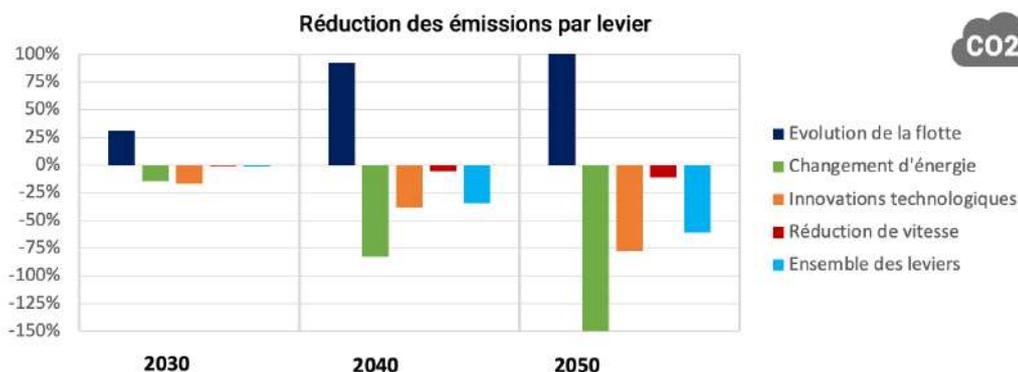


On observe qu'en 2050, les 73% d'augmentation de l'énergie consommée à bord se décomposent en +185% pour la croissance de la flotte, -54% pour l'efficacité, -49% pour la réduction de vitesse et -8% pour le changement d'énergie.

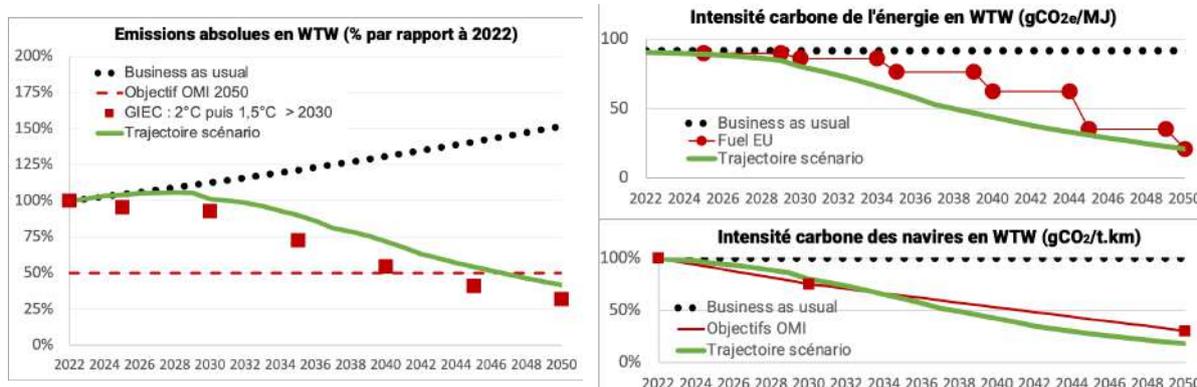
Le tableau ci-dessous présente l'évolution des émissions de CO₂e (CO₂ équivalent), sur le cycle de vie, du puits au sillage (WTW), ainsi que la décomposition par leviers principaux.

	2023	2030	2040	2050	2023-2050
Émissions CO₂e (WTW) (Millions de tonnes)	9	9,0	6,1	3,5	203
<i>Évolution des émissions</i>	<i>Référence</i>	<i>-1%</i>	<i>-33%</i>	<i>-61%</i>	-
<i>Croissance flotte</i>	0%	31%	92%	185%	74%
<i>Changement d'énergie</i>	0%	-15%	-83%	-157%	-61%
<i>Efficacité</i>	0%	-17%	-38%	-78%	-11%
<i>Réduction vitesse</i>	0%	-1%	-6%	-11%	-4%

Ce scénario prévoit une baisse des émissions de 9 millions de tonnes en 2023 à 3,5 millions de tonnes en 2050, soit -61%. Cette baisse se décompose en +185% liés à la croissance, -157% pour le changement d'énergie, -78% pour l'efficacité et -11% pour la réduction de vitesse.



Les trajectoires de décarbonation sont présentées dans les trois graphiques ci-dessous : émissions absolues comparées à l'objectif actuel de l'OMI de -50% en 2050, mais aussi à une courbe théorique construite à partir des trajectoires globales du GIEC pour un scénario +2°C puis 1.5°C après 2030¹³, intensité carbone correspondant aux discussions en cours concernant FuelEU (gCO₂e/MJ) et intensité carbone (gCO₂/t.km) demandée par l'OMI.



Les besoins en énergie primaire pour réaliser ce scénario sont présentés dans le tableau ci-dessous. Le passage à des carburants décarbonés, notamment des e-carburants, amène à un accroissement de l'énergie amont nécessaire de 27,9 TWh à 89,1 TWh entre 2023 et 2050. Une transition est assurée par les biocarburants pour près de 15 TWh en 2040.

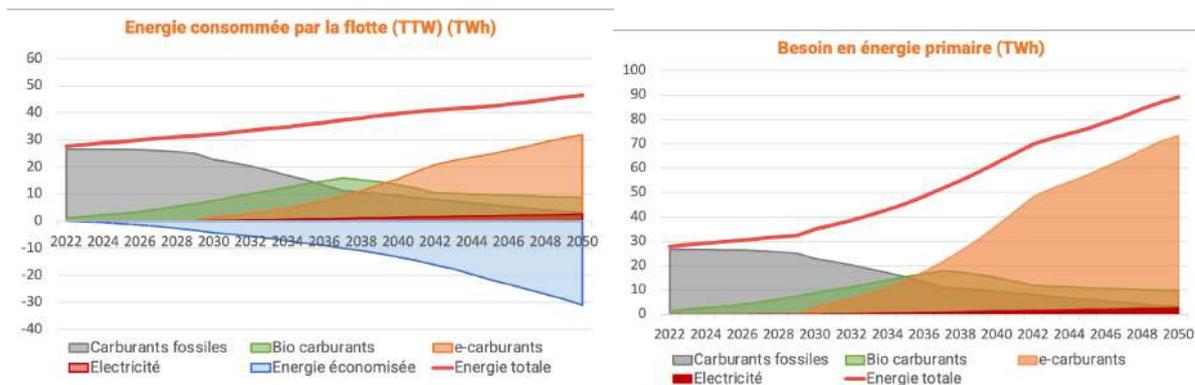
	2023	2030	2040	2050	2023-2050
Énergie consommée par la flotte (TWh)	27,7	32,0	39,7	46,4	1061
Énergie amont (TWh)	27,9	34,9	62,2	89,1	1668
Énergie fossile	26,5	22,8	9,4	3,3	436
Énergie biosourcée ¹⁴	1,4	8,6	14,9	9,7	297
Énergie pour produire les e-carburants ¹⁵	0,0	3,4	36,4	73,4	773
Énergie élec. (quai / bord)	0,0	0,2	1,4	2,7	29

Les graphiques ci-dessous récapitulent les besoins en énergie de la flotte (gauche) et en énergie primaire pour produire cette énergie (droite), tels que décrits dans les tableaux précédents.

¹³ <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/figures/summary-for-policymakers/figure-spm-4/>

¹⁴ Énergie consommée à bord + 10% lié à l'électricité nécessaire pour la production des biocarburants

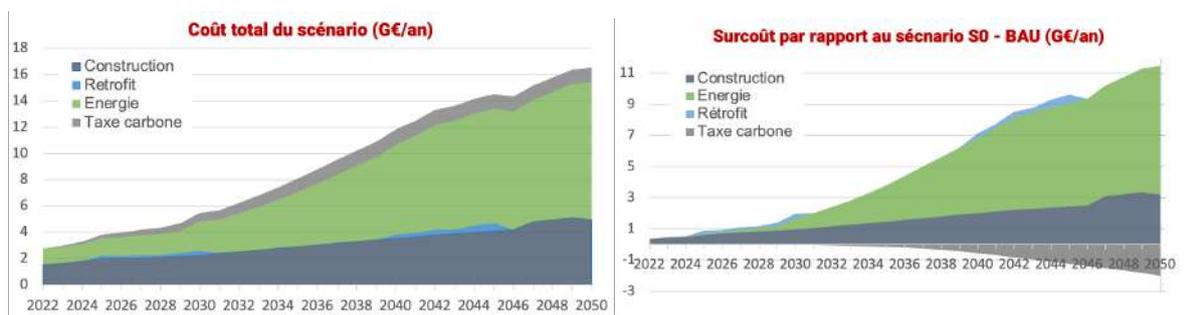
¹⁵ Suivant les hypothèses de rendement de production des e-carburants prises dans le modèle et du mix retenu



Le modèle permet aussi une estimation des coûts fondés sur le surcoût des navires décarbonés, les plans de rétrofit, les coûts de l'énergie (bio et e-carburants) et estime, avec toutefois une forte incertitude, le surcoût lié à l'ETS suivant des hypothèses d'évolution du marché et de différentes mesures réglementaires. Il n'intègre pas le coût des infrastructures de distribution ou portuaires.

Le résultat de ce scénario, par rapport à un scénario *Business As Usual*, est présenté ci-dessous, avec une décomposition par origine et en tenant compte ou non des ajouts de nouveaux navires pour compenser les baisses de vitesse.

	Surcoût / scénario S0 (Mds d'euros)			
	Avec ajout de navires pour compenser les baisses de vitesse		Sans ajout de navires pour compenser les baisses de vitesse	
	2023-2030	2023-2050	2023-2030	2023-2050
Surcoût total du scénario	8	130	6	93
Construction navires	5,6	45.6	4.5	29.5
Plan de rétrofit	0,9	3.5	0,9	3.2
Changement d'énergie	1,0	94.8	0.9	76.4
Taxe carbone	0	-14	0	-16
Ports - Infrastructures	Non chiffré		Non chiffré	
Programme R&D et démonstrateurs	Chiffré séparément		Chiffré séparément	



Il ressort de ce scénario que **les armateurs vont devoir faire face à des surcoûts très élevés** dans les prochaines années avec un accroissement des coûts des navires (et éventuellement du nombre de navires pour compenser la baisse de vitesse) et de l'énergie. La taxe carbone (mécanisme ETS) est présentée en négatif dans le surcoût par rapport au scénario *Business As Usual*, mais représentera bien un coût additionnel pour les armateurs, de l'ordre d'un milliard d'euros annuels autour de 2030, en fonction des quotas et de la valeur du CO₂ qui reste encore difficile à prévoir.

Ces ordres de grandeur qui doivent encore être affinés par des études spécifiques sont comparables aux projections réalisées dans le cadre d'études internationales, estimant le coût de la transition à 3000 milliards au niveau mondial, soit 92 Mds d'euros en se basant sur le prorata du PIB français. Le modèle estime en effet un surcoût, hors taxe carbone, entre 77 et 110 Mds d'euros.

6.4. Conclusions sur les scénarios étudiés

Pour atteindre les objectifs de décarbonation fixés et réduire la dépendance au soutage étranger, le scénario proposé (S3) met en évidence les ordres de grandeur suivants :

- Besoin annuel de biocarburant estimé à 7.6 TWh en 2030 et à 13.3 TWh en 2040, avec un maximum de 15 TWh autour de 2035,
- Besoin annuel de e-carburants estimé à 16.1 TWh en 2040 et 31.7 TWh en 2050, soit 37.4 TWh et 73.1 TWh d'énergie amont électrique avec les hypothèses de rendement prises dans le modèle,
- Besoin total en électricité décarbonée amont pour produire des carburants décarbonés et permettre l'électrification directe des quais et de navires de 4.8 TWh en 2030, 40.4 TWh en 2040 et 89 TWh en 2050, soit l'équivalent respectivement sur ces trois années de 0.4, 3.8 et 7.1 réacteurs nucléaires ou encore 2.5, 26 et 52 champs éoliens comme celui de Saint-Nazaire,
- La nécessité de mettre en place des mesures d'efficacité technologique et opérationnelle, pour réduire de l'ordre de 30% les besoins énergétiques sur la période 2023-2050, ce qui est très ambitieux et ne sera atteint que par la mise en place d'un programme national de décarbonation du maritime coordonné et financé,
- La baisse de vitesse des navires est limitée à des valeurs acceptables pour les opérateurs de navires (10 à 20%) afin de ne pas trop impacter l'économie nationale par une baisse des volumes importés / exportés, mais aussi de limiter l'accroissement du nombre de navires pour conserver les volumes transportés.
- Le développement rapide des solutions comme la propulsion par le vent ou l'hybridation électrique des navires a un effet sensible. À titre d'exemple, la propulsion par le vent permettait d'économiser en 2050 entre 25 et 30% d'énergie, soit l'équivalent de deux réacteurs nucléaires ou d'une quinzaine de champs éoliens comme celui de Saint-Nazaire.
- Les ordres de grandeur du surcoût annuel pour la filière sont autour d'un milliard d'euros à partir de 2025, 2 Mds en 2030, 6 Mrds d'euros vers 2040 pour atteindre 10 Mrds d'euros en 2050. Le surcoût total sur la période 2023-2050 est estimé entre 75 et 110 Mrds d'euros, en cohérence avec les études internationales.

7. Proposition de plan d'action pour décarboner le secteur maritime

Ce chapitre présente une proposition de plan d'action élaborée par la filière française du secteur maritime en vue de se décarboner.

Il a été construit avec les quatre objectifs suivants :

1. **Atteindre les objectifs réglementaires** définis au niveau de l'OMI, de l'UE et au niveau national ;
2. **Réduire au maximum la consommation d'énergie du maritime** afin de contribuer aux efforts nationaux de sobriété et favoriser l'usage du maritime et du fluvial pour réduire globalement les besoins énergétiques du transport ;
3. **Assurer le développement économique des acteurs nationaux du maritime** et saisir l'opportunité de changements technologiques et énergétiques pour relocaliser des industries et des emplois en France ;
4. **Accroître la souveraineté d'approvisionnement de la France** dans un contexte de changements majeurs à venir pour les acteurs du transport et de la logistique (réglementation, fiscalité, baisse de vitesse, investissements).

Ce plan d'action s'appuie sur le savoir-faire des acteurs français qui disposent des compétences et des moyens de le mettre en œuvre, sous réserve d'un soutien de l'État, dans une ambition collective de faire de la France une nation leader dans la décarbonation du maritime.

Le plan d'action est décliné en sept axes.

- Axe 1 : Développement des briques technologiques indispensables à la construction de navires zéro émissions et réalisation de navires démonstrateurs pour ensuite amorcer le déploiement des solutions,
- Axe 2 : Mise en place des mesures d'efficacité opérationnelles et de sobriété sur la flotte en service,
- Axe 3 : Production, stockage, transport et distribution d'énergies décarbonée pour le maritime,
- Axe 4 : Décarbonation et modernisation des ports,
- Axe 5 : Décarbonation de la phase de production des navires et économie circulaire,
- Axe 6 : Renforcement du cadre réglementaire relatif aux émissions de gaz à effet de serre des navires,
- Axe 7 : Prérequis pour la déclinaison opérationnelle de la feuille de route.

Pour chaque action, le budget total a été estimé par les acteurs industriels, sans préjuger à ce stade du montage financier pertinent, notamment s'agissant du soutien public.

Les porteurs et responsables d'action sont aussi identifiés. L'institut MEET2050 est mentionné sous réserve de sa mise en place effective.

7.1. Axe 1 : Développement de technologies et de navires zéro émissions

Cet axe vise à favoriser la conception, la construction et l'exploitation de navires éco-efficients. Les actions associées concernent la généralisation des méthodes d'écoconception, la réalisation de navires démonstrateurs, l'exemplarité en matière de commande publique, le soutien aux premières commandes de solutions innovantes, la mise en place de plans de retrofit et de renouvellement lorsque nécessaire, et enfin le développement de technologies industrialisées en France.

Action 1.1	Généraliser l'usage des méthodes d'écoconception pour tout nouveau navire <ul style="list-style-type: none">- Définir un standard d'études et un guide des bonnes pratiques associés à la mise en place des études d'optimisation énergétique (outils, méthode ...) pour les différents segments de flottes- Mettre en place un fonds permettant aux prestataires de services accrédités de proposer des études d'écoconception dans des conditions financières avantageuses pour promouvoir le recours à ce type d'études <p><u>Coût</u> : 5 M€ sur 5 ans (100 études d'écoconception de 50 k€ en moyenne)</p> <p><u>Porteurs</u> : MEET2050, DGAMPA, Bureaux architecture et spécialisés, société de classification, armateurs, ports</p>
Action 1.2	Favoriser la réalisation de navires démonstrateurs allant vers le zéro émission <p>Mettre en place une dizaine de navires-concepts à échelle 1, en capacité d'opérer en conditions réelles, basées sur les briques technologiques développées. Ces navires intégreront une approche globale de l'écoconception (analyse complète du cycle de vie, optimisation du design et des technologies pour le profil d'usage, etc.). Les retombées économiques locales, en particulier sur le segment de la fabrication des matériels innovants seront prises en compte.</p> <p><u>Coût</u> : 2 Mds € sur 5 ans, dont 600 M€ liés aux innovations</p> <p><u>Porteurs</u> : Armateurs, chantiers, bureaux d'étude, équipementiers, ports</p>
Action 1.3	Utiliser la commande publique pour soutenir les innovations et les premières commandes de solutions de décarbonation <p>Dans un objectif d'amorçage et de soutien :</p> <ul style="list-style-type: none">- Inclure systématiquement l'approche de l'écoconception suivant les standards les plus évolués pour la conception de navires pour l'État ou les collectivités.- Inclure dans les appels d'offres publics d'achat de navires l'intégration d'équipements de décarbonation, pour un montant minimum de 20% de la valeur du navire. <p><u>Coût</u> : 200 M€ sur 5 ans (20% de surcoût sur plus de 200M€ d'investissements par an)</p> <p><u>Porteurs</u> : État (lien avec la Direction des Achats de l'État), collectivités, chantiers, équipementiers, bureaux d'étude, ports</p>
Action 1.4	Mettre en place des projets structurants favorisant le développement de filières industrielles sur les principaux leviers de décarbonation technologiques et opérationnels. <p>Faire émerger des équipementiers et fournisseurs de services nationaux sur principaux leviers de décarbonation pour lesquels la France dispose d'entreprises en position de prendre une part de marché significative, en soutenant le développement des solutions, leur industrialisation (usines) et le</p>

soutien à leur déploiement commercial (premières commandes, surcoût initial, etc.)

Exemple de technologies industrielles : systèmes de propulsion par le vent¹⁶ (ailes, kites, rotors ..), hybridation électrique (batteries et pile à combustible forte puissance marines, architectures hybrides)¹⁷, cuves de stockage pour les nouveaux carburants, gestion de l'hydrogène liquide à bord des navires, propulseurs innovants, systèmes récupération chaleur / froid, logiciels d'aide à la décision (gestion de l'énergie, routage).

Coût : 150 à 300 M€ par projet structurant, 5 projets soit 1 Md€ sur 5 ans

Porteurs : État, Équipementiers, chantiers

Action 1.5 Permettre l'évaluation rapide et précise des solutions de décarbonation sur des plateformes technologiques et des tests sur banc à terre ou en mer et favoriser l'émergence de standards sur les technologies clés

Mettre en place des plateformes technologiques et de tests (bancs d'essais et logiciels) pour accompagner le développement des briques technologiques et de standards associés¹⁸

Coût : 150 M€ pour 3 à 5 plateformes

Porteurs : MEET2050, Centres de recherche publics, industriels

7.2. Axe 2 : Efficacité opérationnelle, sobriété

Cet axe vise à améliorer l'efficacité opérationnelle des navires par la mise en place d'outils de suivi en temps réel de la performance, par l'évaluation des améliorations potentielles liées aux interfaces entre les terminaux portuaires et les navires, l'étude de la pertinence de baisser la vitesse de certains navires et par le développement à grande échelle du report modal.

Action 2.1 Formation initiale et continue des marins

Mettre en place des formations initiales et continues permettant d'accompagner la montée en compétence des marins en les formant à l'utilisation des technologies de décarbonation et à l'écoconduite.

Coût : non chiffré à ce stade

Porteurs : CINav, Écoles d'ingénieur maritimes, ENSM, Lycée maritime

Action 2.2 Plan de soutien au retrofit et au renouvellement des navires en opération

Mettre en place un plan d'accompagnement des armateurs au retrofit ou au renouvellement de leurs navires, sur les segments de flotte et navires prioritaires vis-à-vis des émissions nationales, en veillant à la mobilisation de l'offre française. En particulier, une étude de la capacité des chantiers et équipementiers à répondre à ce plan de renouvellement devra être menée au préalable. Un soutien à la modernisation des équipements industriels pourra alors être envisagé comme sous action. Ce plan pourra comprendre des

¹⁶ Un premier projet structurant vélique est en cours de mise en place par les équipes projet de MEET2050, l'association WindShip et l'IRT Jules Vernes, pour un budget de l'ordre de 200 M€ sur 5 ans.

¹⁷ Le projet Helena porté par le CEA est en cours de montage, pour un budget de l'ordre de 150 M€ sur 5 ans

¹⁸ Les plateformes nécessaires sont liées à l'hybridation électrique des navires, la propulsion par le vent, les performances hydro et aérodynamique, les données de performance, les moyens d'essais, etc.

	<p>actions spécifiques comme par exemple le de soutien à l'électrification des navires dans le cadre de la connexion courant quai.</p> <p><u>Coût</u>: étude préalable nécessaire pour le chiffrage par segment de flotte</p> <p><u>Porteurs</u>: État, MEET2050, Armateurs, bureaux d'étude, chantiers</p>
Action 2.3	<p>Favoriser l'instrumentation des navires, la collecte et l'analyse des données liées à la performance</p> <p>Accompagner les armateurs dans l'installation d'outils de monitoring de la performance et de la consommation de leurs navires, incluant l'installation de systèmes de mesure, d'outils d'analyse et d'aide à la décision, dans la suite du programme AMMARREE dédié aux navires de pêche.</p> <p><u>Coût</u>: 30 M€ sur 5 ans (30 k€ par navire, sur une flotte de 1 000 navires parmi les plus émetteurs des différents segments de flotte) + 10 M€ pour le développement et déploiement des outils d'analyse.</p> <p><u>Porteurs</u>: Armateurs, éditeurs logiciels, équipementiers, chantiers</p>
Action 2.4	<p>Étude des opportunités d'optimisation des interfaces navires / ports</p> <p>Évaluer les solutions et gains possibles liés à l'optimisation des interfaces entre les navires et ports / terminaux à l'échelle nationale (optimisation du chargement / déchargement, du branchement à quai, des solutions d'arrivée « juste à temps », etc.) et recenser les initiatives et solutions mises en place ou en cours de déploiement à l'international (ex : association internationale de standardisation TIC4.0).</p> <p><u>Coût</u>: 300 k€ sur 2 ans</p> <p>Porteur : MEET2050, ports, gestionnaires de terminaux, armateurs</p>
Action 2.5	<p>Favoriser le report modal pour réduire l'empreinte énergétique globale du transport et de la logistique</p> <p>Favoriser le report modal pour réduire l'empreinte énergétique globale du transport et de la logistique grâce à l'efficacité énergétique du transport maritime et fluvial par rapport aux autres modes de transport .</p> <p>Coût : non chiffré</p> <p><u>Porteurs</u>: État, ADEME, collectivités, chargeurs, logisticiens, ports, opérateurs de plate-forme multimodale, opérateurs de transport terrestre massifié, gestionnaires d'infrastructures ferroviaire et fluviale</p>

7.3. Axe 3 : Production, stockage, transport et distribution d'énergies et de vecteurs d'énergie décarbonée pour le maritime

La disponibilité en énergie bas carbone constituera une des pierres angulaires de la transition énergétique du transport maritime dont le fonctionnement est aujourd'hui complètement dépendant des énergies fossiles. Comme indiqué précédemment, les carburants décarbonés seront notablement plus chers et présentent des contraintes d'utilisation plus importantes que leurs équivalents fossiles.

La transition des modes d'énergie constitue une véritable opportunité de relocaliser la production énergétique sur notre territoire, de renforcer l'attractivité de nos ports par une offre d'avitaillement unique en énergies bas carbone et renouvelables, de sécuriser nos offres de soutage, et de faire des énergéticiens, des industriels et des ports français de véritables champions des énergies et des vecteurs énergétiques de demain. La finalité est de développer de nouvelles activités économiques et industrielles, garantes de la souveraineté maritime du pays, créatrices de valeur et d'emploi sur le territoire, de permettre aux ports français

d'accompagner la décarbonation du secteur et de réduire la dépendance énergétique du secteur.

Cette ambition, partagée par les acteurs du maritime, nécessite de réaliser de lourds investissements dans des infrastructures de production, stockage, transport, distribution et d'avitaillement. Elle nécessite la mise en place d'une véritable planification de la disponibilité des carburants décarbonés (dans le temps et sur territoire) au regard des besoins du maritime, d'assurer rapidement la mise en place de premiers démonstrateurs avant de pouvoir déployer massivement les solutions à travers des investissements importants portés par les énergéticiens, auxquels l'État doit prendre part, et qui nécessiteront des engagements des armateurs.

Action 3.1	Engager une planification puis réaliser le déploiement des infrastructures de distribution énergétiques nécessaires aux besoins du maritime
	<p>Mettre en place une planification à l'échelle nationale, déclinée par façade maritime, des besoins et disponibilités des carburants décarbonés du maritime. Assurer le déploiement des infrastructures énergétiques associées –construction de jetées sur les principaux grands ports maritimes–, développement d'infrastructures de stockage et de soutage (navires ravitailleurs, solutions <i>truck to ship</i> ...) sur les ports, y compris les ports de taille plus réduite</p>
	<p><u>Coût</u>: à estimer, à titre d'exemple 200 M€ pour la construction d'une jetée polyvalente (multi énergies)</p>
	<p><u>Porteurs</u>: État, collectivités, ports, énergéticiens, armateurs, MEET2050</p>
Action 3.2	Production de biocarburants liquides et gazeux
	<p>Soutenir le déploiement de projets industriels en biocarburants durables, liquides et gazeux, dans des quantités suffisantes pour atteindre les objectifs réglementaires.</p>
	<p><u>Quantité de biocarburants</u>: 8,6 TWh en 2030 avec un pic du besoin de 16 TWh en 2037</p>
	<p><u>Coût</u>: à titre indicatif, une usine de biocarburants liquides peut atteindre 1,5 Md€ pour une production de 200 000 tonnes par an</p>
	<p><u>Porteur</u>: Énergéticiens, État, armateurs et ports</p>
Action 3.3	Développement et tests de biocarburants liquides dédiés au maritime
	<p>Soutenir un programme de recherche et développement dédié aux tests et au déploiement des biocarburants liquides de nouvelle génération destinés au maritime (spécificités des moteurs marins 2 temps par exemple).</p>
	<p><u>Coût</u>: 15 M€ pour la partie R&D / prototypes, 40 M€ pour la partie démonstrateur, 10 M€ pour la réalisation de tests à bord, sans intégrer le déploiement par la mise en place d'unités de production intégrées dans les actions 3.1 et 3.2.</p>
	<p><u>Porteurs</u>: Énergéticiens, Armateurs</p>
Action 3.4	Développement de la filière de production de e-carburants marins
	<p>Soutenir les projets industriels de construction de premières unités de production de e-carburants marins durables. Au-delà des infrastructures terrestres, cela implique aussi l'émergence d'une industrie de production d'hydrogène à partir des énergies marines renouvelables, notamment l'éolien en mer, pour accélérer à moyen terme la production de e-carburants ainsi que la décarbonation des industries portuaires.</p>

Quantité de e-carburants en 2030 : 3,4 TWh, correspondant à la production de près de 600.000 tonnes de e-méthanol, ou 250.000 tonnes de e-méthane, produites sur le territoire ou importées

Implications réglementaires : Prolonger le taux réduit de taxation des e-carburants au-delà de 2033

Coût : à titre indicatif, une usine de e-méthanol ou de e-méthane peut atteindre jusqu'à 2 Mds€ pour une production de 1 TWh/an.

Porteurs : Énergéticiens, Armateurs

Action 3.5 **Adapter les infrastructures d'importation aux nouvelles énergies**

Construire une filière française d'importation et d'exportation de e-carburants et de leurs intrants (notamment de Hubs d'import-export). Intégrer cette réflexion dans les textes réglementaires français en préparation (LPEC, PPE, SNBC...).

Implications réglementaires : Adapter le plan *RePower EU* pour permettre l'importation de e-carburants

Porteurs : État, industriels, ports

Action 3.6 **Développer la filière du CO2 autour du maritime et en lien avec les ports**

Développer, à l'image des pays du nord de l'Europe, une économie et une industrie française du CO2, allant de la capture sur les navires ou dans les industries portuaires au transfert du CO2 à quai, puis à son utilisation pour produire des e-carburants.

Implications réglementaires : Autoriser la capture de CO2 fatal et incompressible pour la production d'e-carburants au-delà de 2041

Coût : mener une étude en vue de la mise en place d'un écosystème du traitement du CO2 et définir la quantité de CO2 nécessaire pour répondre aux besoins de la filière : 200 k€ sur un an.

Porteurs : Énergéticiens, port

Action 3.7 **Assurer une cohérence entre la réglementation, les ambitions de décarbonation et les besoins de production d'énergie décarbonée**

Contribuer à la mise en place d'un cadre réglementaire clair et incitatif pour le déploiement rapide des vecteurs d'énergie bas carbone et renouvelables. Tenir compte dans les documents de politiques publiques, notamment la loi de programmation énergie-climat (LPEC), la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE), la Stratégie nationale bas carbone (SNBC), des opportunités de production de e-carburants pour développer cette industrie du futur.

Porteur : État

7.4. Axe 4 : Décarbonation du secteur portuaire

À l'interface entre la terre et la mer, les ports sont des nœuds multimodaux, énergétiques, industriels et accueillent des activités liées au transport maritime. En particulier, ils abritent souvent un tissu industriel et logistique. La sécurisation du foncier portuaire, le soutien à la décarbonation des écosystèmes portuaires et aux investissements en infrastructures et équipements portuaires nécessaires à la décarbonation de l'économie nationale doivent être intégrés aux réflexions, en complément des sujets relatifs à la fourniture d'énergies décarbonées aux navires.

Action 4.1 **Décarboner les ports et assurer leur transformation pour permettre la décarbonation des navires**

Cette action regroupe la décarbonation des activités portuaires, et la transformation des ports pour qu'ils permettent la décarbonation des navires. La première action passe par l'électrification ou l'hybridation électrique des équipements, l'utilisation des surfaces portuaires pour la production d'énergie (solaire par exemple). La deuxième nécessite une adaptation aux stockage et soutage des nouvelles énergies.

Coût: Un travail avec le secteur est encore nécessaire pour préciser des montants d'investissement sur 5 ans.

Porteurs: État, ports, opérateurs de services portuaires, industriels, logisticiens.

Action 4.2 **Permettre l'électrification des quais et le rechargement électrique des navires**

Accélérer le déploiement des infrastructures portuaires de raccordement à l'électricité à quai des navires et de carburants durables. Les puissances mises en jeu nécessitent des adaptations électriques majeures.

Coût: 5 M€ par prise de raccordement. Étude des potentiels de chargements multimodes (électricité + fluide) dans les ports : 200 k€.

Porteurs : ports, collectivités, État, industriels.

7.5. Axe 5 : Décarbonation de la phase de production et économie circulaire

Les chantiers et équipementiers navals et nautiques français contribuent en premier lieu à la décarbonation en innovant pour réduire les émissions pendant la phase d'opérations et en préparant le navire de demain. La phase de production et de fin de vie des navires est aussi à considérer, tout comme la capacité d'ancrer les activités de construction navale durablement sur le territoire. Sur l'ensemble des axes réglementaires, il conviendra de veiller à s'assurer de ne pas imposer une contrainte aux seuls chantiers français.

Action 5.1 **Accès aux intrants décarbonés en assurant la compétitivité**

Assurer l'accès à des matières premières décarbonées en garantissant la compétitivité de l'industrie française et des conditions de concurrence internationale équitables. Dans un premier temps, des études d'impact du MACF (mécanisme d'ajustement carbone aux frontières) apparaissent nécessaires pour documenter les impacts sur la compétitivité et les risques de délocalisation induits.

Porteurs : État

Implications réglementaires : Assurer la cohérence des textes au niveau européen (mécanisme d'ajustement carbone aux frontières par exemple) pour garantir la compétitivité des filières navales françaises et lutter contre les distorsions sur le marché intérieur tout en décarbonant la production des matières premières.

Action 5.2 **Méthodologie et référentiel communs pour une analyse de cycle de vie (ACV) des navires**

Définir une méthodologie d'ACV et consolider les principales données d'inventaire (énergies, matériaux, etc.) spécifiques aux domaines naval, fluvial et nautique (profils d'émissions moteurs, matériaux composites, process de soudure, etc.).

Coût : 1 M€ sur 5 ans

Porteurs : Centres de recherche, MEET2050, bureaux d'études, équipementiers, chantiers

Action 5.3 **Matériaux et procédés pour l'industrie navale et nautique verte**

Accompagner l'innovation et les expérimentations dans les nouveaux matériaux et procédés industriels par les acteurs français permettant des gains d'empreinte carbone et la circularité en fin de vie pour réussir à recycler 100 % d'un bateau déconstruit.

Coût : 25 M€ sur 5ans (5 M€ par an sur le développement)

Porteurs : Équipementiers, chantiers, bureaux d'études, centres de recherche

Action 5.4 **Développer la déconstruction sur le territoire**

Consolider la filière de déconstruction des bateaux et navires pour garantir sa montée en puissance et l'augmentation du taux de recyclage. Augmenter à 5% la quote-part de la TAEMP affectée à l'éco-organisme APER, augmenter l'utilisation de la capacité de déconstruction française

Coût : non chiffré à ce stade

Porteurs : État, chantiers de déconstruction et de construction

7.6. Axe 6 : Compléter, renforcer et stabiliser le cadre réglementaire relatif aux émissions de gaz à effet de serre des navires

Afin d'assurer que l'ensemble des navires concernés contribuent à l'atteinte des objectifs de décarbonation et que les ports français soient compétitifs dans la chaîne de valeur de la décarbonation par rapport à leurs concurrents européens, il est nécessaire, conjointement aux actions évoquées plus haut, de poursuivre la construction, de consolider et stabiliser le cadre réglementaire de long terme relatif aux émissions de GES des navires en navigation et à quai, au niveaux mondial, européen et national.

Action 6.1	Assurer un rôle de leader dans les instances réglementaires internationales Continuer d'exercer un rôle leader au sein des instances européennes et de l'OMI pour la mise en place et la consolidation d'un cadre réglementaire le plus ambitieux possible tout en assurant une concurrence internationale loyale. <u>Porteur</u> : État
Action 6.2	Optimiser au niveau national l'application du cadre réglementaire international et européen Étudier l'opportunité et la faisabilité d'une application la plus large possible des outils réglementaires internationaux au niveau national, comme par exemple les mesures de rendement énergétique de l'OMI ou les obligations de branchement à quai qui seront prévues le cas échéant par la réglementation européenne, tout en assurant une concurrence internationale loyale. <u>Porteur</u> : État en concertation avec les acteurs concernés (fédérations professionnelles, ports, etc.)
Action 6.3	Explorer des mesures réglementaires nationales pour les segments de flotte non couverts par la réglementation internationale Étudier, le cas échéant par des financements dédiés, l'opportunité et la faisabilité d'éventuelles réglementations nationales (de type normatif et/ou incitatif) sur les émissions de GES des segments de flotte non couverts par les réglementations internationales et européennes. <u>Porteur</u> : État en concertation avec les acteurs concernés

7.7. Axe 7 : Mettre en place les prérequis pour la déclinaison opérationnelle de la feuille de route

Cet axe concerne la mise en œuvre opérationnelle et le suivi de la feuille de route. Il vise à favoriser une parfaite collaboration des acteurs de la filière à travers un socle commun de connaissance fondé sur des données fiables et des outils d'aide à la décision pour orienter les politiques publiques et stratégies industrielles de façon coordonnées. La déclinaison opérationnelle nécessite de transformer les objectifs de décarbonation présentés dans les scénarios en projets concrets permettant de les atteindre (recherche, développement, démonstrateurs, déploiement). Il est proposé de coordonner ces actions dans le cadre d'un programme du type Navires et Ports Zéro Émissions déjà développé dans le cadre du projet MEET2050.

Action 7.1	<p>Développement de connaissances et de données fiables sur la transition du maritime au bénéfice des acteurs publics et privés de la filière</p> <p>Réaliser des études technico-économiques, des analyses indépendantes permettant de fiabiliser les informations et données liées à la transition du maritime : gains, rendements, coûts, disponibilités, émissions ...</p> <p><u>Coût</u>: 3.5 M€ sur 5 ans</p> <p><u>Porteurs</u>: MEET2050, centres de recherche publics, industriels</p>
Action 7.2	<p>Développement d'outils d'aide à la décision pour le soutien aux politiques publiques et aux stratégies industrielles</p> <p>Réaliser le développement des outils d'aide à la décision nécessaires pour orienter les politiques publiques et stratégies d'investissement industrielles, en s'appuyant sur les données fiabilisées dans l'Action 7.1. Développer, en lien avec le CITEPA, une méthode de suivi des émissions qui rende compte des émissions réelles du secteur et des évolutions dans le temps.</p> <p><u>Coût</u>: 2 M€ sur 5 ans</p> <p><u>Porteurs</u>: MEET2050, centres de recherche publics, CITEPA</p>
Action 7.3	<p>Formation et sensibilisation des décideurs du monde maritime aux enjeux de transition</p> <p>Mettre en place une action de formation et de sensibilisation des décideurs privés et publics de la filière maritime aux sujets de la transition énergétique sur l'ensemble du territoire : conseils d'administration des fédérations professionnelles et pôles de compétitivité, dirigeants d'entreprises, directeurs de services, etc.</p> <p><u>Coût</u>: 300 k€ sur 2 ans</p> <p><u>Porteurs</u>: MEET2050, Experts climat et transition, Consultants, État, Fédérations professionnelles, Pôles de compétitivité, entreprises de la filière</p>
Action 7.4	<p>Mise en place d'un centre d'expertise dédié à la décarbonation du maritime</p> <p>Mettre en place un centre d'expertise capable de fédérer l'ensemble des parties prenantes et acteurs de la chaîne de valeur autour d'un programme de transition (action 7.5).</p> <p>Les missions définitives de ce centre sont à définir collectivement par l'État, le Cluster Maritime Français, les représentants des filières et pôles de compétitivité Mer. Le centre devra <i>a minima</i> apporter une expertise technique à l'État et aux collectivités et appuyer la mise en place de politiques publiques. Il fera progresser les connaissances par la réalisation d'études technico-économiques et de R&D, la fiabilisation et la capitalisation des données, le développement d'outils d'aide à la décision et de suivi des émissions, et plus globalement visera à favoriser la décarbonation du secteur</p>

	<p>maritime national en assurant le développement économique des acteurs et la création d'emplois en France.</p> <p><u>Coût</u>: 1 à 3 M€ annuel en fonction de l'étendue des services</p> <p><u>Porteurs</u>: État, Fédérations professionnelles, CMF, CSF, pôles mer, équipe projet MEET2050</p>
Action 7.5	<p>Mettre en place un programme national Navires et Ports Zéro Émissions et assurer son suivi opérationnel</p> <p>Assurer la mise en place des projets identifiés dans la feuille de route, à travers un programme engageant les acteurs de la filière et l'État. Assurer la mise en place de la coordination et du financement privé et public des projets avec une vision pluriannuelle.</p> <p><u>Porteurs</u>: MEET2050, État, Fédérations professionnelles, entreprises, laboratoires et centres de recherche.</p>
Action 7.6	<p>Mobiliser les acteurs académiques et les centres de recherche pour la réalisation des travaux de recherche et développement du programme Navires et Ports Zéro Émissions</p> <p>Fédérer l'ensemble des forces académiques et centres de recherche pouvant apporter une expertise autour d'un programme commun pour lever les verrous et freins identifiés par les acteurs industriels, lancer des développements sur des technologies de rupture et répondre aux besoins des industriels pour accélérer le développement de leurs produits et services.</p> <p><u>Coût</u>: 50 à 100 M€ sur 5 ans (programme à rédiger et chiffrer précisément)</p> <p>Porteurs : MEET2050, Laboratoires et centres de recherche publics</p>
Action 7.7	<p>Adapter les modalités de financement du maritime aux enjeux de la décarbonation</p> <p>Réaliser un audit détaillé des besoins de financement des acteurs dans le cadre de la transition énergétique (type, montant) et des moyens publics (au niveau national et européen) et privés mobilisables actuellement sur les différents niveaux de maturité (de la recherche au soutien aux premières commandes). Cet audit proposera d'éventuels axes d'amélioration et d'optimisation (clarté, rapidité et modalités d'accès aux financements, effet de levier), dans la suite du rapport sur la Finance Bleue¹⁹ et pourra émettre des recommandations pour trouver la meilleure adéquation possible entre les montants mobilisables, quelle que soit leur origine, et les besoins de soutien aux acteurs pour investir dans la décarbonation.</p> <p><u>Coût</u>: 75 à 200 k€ en fonction du niveau de détail souhaité</p> <p><u>Porteurs</u>: MEET2050 ou consultants, État, fédérations professionnelles, pôles</p>
Action 7.8	<p>Rechercher un équilibre entre les recettes générées par les nouvelles réglementations et le soutien aux acteurs pour investir dans la décarbonation</p> <p>Sur la base de l'audit prévu par l'action 7.7, rechercher une mobilisation optimale des revenus générés par les nouvelles réglementations européennes (FuelEU, ETS, ...) afin qu'ils accompagnent le développement des solutions de décarbonation.</p> <p><u>Porteur</u>: État</p>

¹⁹ <https://www.mer.gouv.fr/finance-bleue-decouvrez-le-rapport>

Annexe 1 : Table des acronymes et abréviations

Acronyme ou abréviation	Signification
AMARREE	Accompagnement des marins-pêcheurs pour la réalisation d'économies d'énergie
ADEME	Agence de la Transition écologique
AFIR	Alternative Fuels Infrastructure Regulation
ACV	Analyse en cycle de vie
ADF	Armateurs de France
APER	Association pour la plaisance éco-responsable
BAU	Business As Usual
CAPEX	Capital expenditure (dépense d'investissement)
CCUS	Carbon capture use and storage
CII	Carbon Intensity Index
CITEPA	Centre technique de référence en matière de pollution atmosphérique et de changement climatique
CEE	Certificat d'économie d'énergie
CMF	Cluster Maritime Français
CNUCED	Conférence des Nations unies sur le commerce et le développement
CO2e	CO2 équivalent
CSF	Comité stratégique de Filière (des Industriels de la Mer ou des Nouveaux Systèmes énergétiques)
CORIMER	Conseil d'Orientation pour la Recherche et l'Innovation des industriels de la Mer
CGEDD	Conseil général à l'Environnement et au Développement durable
CNUCC	Convention-cadre des Nations unies sur le changement climatique
DCS	Data Collection System
DGAMPA	Direction générale des Affaires maritimes, de la Pêche et de l'Aquaculture
DGE	Direction générale des Entreprises
DGITM	Direction générale des Infrastructures des Transports et de la Mer
ECA	Emission Control Area
ETS	Emissions trading scheme
EMR	Energies marines renouvelables
EEDI	Energy Efficiency Design Index
EEXI	Energy Efficiency eXisting ship Index
ESD	Energy saving device
ETS	European Trade System

Acronyme ou abréviation	Signification
GES	Gaz à Effet de Serre
GPL	Gaz de pétrole liquéfié
GNC	Gaz naturel comprimé
GNL	Gaz naturel liquéfié
gCO2e/MJ	Grammes de CO2 équivalent par mégajoule
gCO2/t.km	Grammes de CO2 par tonne au kilomètre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GICAN	Groupement des Industries de Construction et Activités navales
LOM	Loi d'Orientation des Mobilités
LTECV	Loi pour la Transition énergétique et la croissance verte
MEET2050	Maritime Energy and Environmental Transition towards 2050
MWh	Mégawattheure
MRV	Monitoring, reporting and verification
OPEX	Operational expenditure (coût d'exploitation)
OMI	Organisation maritime internationale
NOx	Oxydes d'azote
SOx	Oxydes de soufre
PME	Petite et moyenne entreprise
PAC	Pile à Combustible
PAC	Pile à combustible (PEM : pile à membrane échangeuse, SOFC : pile à combustible à oxydes solides)
PPE	Programmations Pluriannuelles de l'Énergie
RED	Renewable energy directive
ROI	Return on investment
SGPI	Secrétariat général pour les Investissements
SECTEN	Secteurs économiques et énergies
SEEMP	Ship Energy Efficiency Management Plan
SFEC	Stratégie Française pour l'Énergie et le Climat
SNBC	Stratégie nationale bas carbone
SAILS	Sustainable Actions for Innovative and Low-impact Shipping
SEQE	Système d'Echange de Quotas d'Emissions
TtW	Tank-to-Wake
TAEMP	Taxe annuelle sur les engins maritimes de plaisance

Acronyme ou abréviation	Signification
TWh	Térawattheure
T2EM	Transition éco-énergétique du Maritime
TPE	Très petite entreprise
UE	Union européenne
WtW	Well-to-Wake

Mesures de court-terme à compter du 1^{er} janvier 2023

Deux volets constituent ces mesures de court-terme adoptées par l'OMI en juin 2021 :

- Le *Energy Efficiency Existing ship Index* (EEXI), volet technique, est un indice nominal d'efficacité énergétique construit sur le même modèle que l'EEDI mais applicable aux navires existants de jauge égale ou supérieure à 400 (UMS) et non plus seulement aux navires neufs. Les facteurs de réduction imposés par rapport à la valeur de référence (qui reflète l'efficacité énergétique nominale moyenne de chaque catégorie de navires sur la période 2000-2009) sont compris entre différents paliers allant de 0 à 50%, selon le type de navire et sa taille. Les navires concernés devront être conformes le 31 décembre 2023 au plus tard. Certains devront pour y parvenir avoir recours à des solutions parmi un large panel de possibilités techniques : limitation de la puissance des moteurs, optimisation de la motorisation, récupération de chaleur, optimisation des hélices, installation de systèmes d'assistance à la propulsion vélique, etc.
- Le *Carbon Intensity Indicator* (CII), volet opérationnel, est un indicateur d'intensité carbone (émissions relatives à l'activité) applicable aux navires de jauge égale ou supérieure à 5000 (UMS). Il est calculé en divisant les émissions de gaz à effet de serre par la capacité de transport du navire et la distance parcourue sur l'année, prenant ainsi en compte les émissions réelles du navire et pas seulement son efficacité énergétique théorique (à la différence de l'EEDI et de l'EEXI). Son objectif est d'assurer que la flotte mondiale atteigne l'objectif de 40% de réduction de son intensité carbone en 2030 par rapport à 2008. Pour cela, sont imposées à chaque navire des cibles de réduction de son intensité carbone par rapport à une référence calculée en fonction de l'intensité carbone de sa catégorie en 2019 : -5% en 2023, -7% en 2024, -9% en 2025 et -11% en 2026. Les cibles pour la période 2027-2030 devront être adoptées en 2026 au plus tard, mais pour atteindre un objectif de -22% en 2030 (dans l'hypothèse où la Stratégie révisée conserverait l'objectif de -40% en 2030), il serait nécessaire de poursuivre un rythme de proche de -3% par an entre 2027 et 2030.

Les navires devront planifier les mesures permettant d'atteindre la cible au sein du Plan de rendement énergétique du navire (SEEMP). Selon le degré de conformité du "CII obtenu" par rapport au "CII requis" (correspondant à la cible), le navire se verra attribuer un score pouvant aller de **A** (faible intensité carbone) à **E** (forte intensité carbone), **C** étant autour de l'intensité requise.

Si le dispositif ne prévoit pour le moment pas de sanctions ou de retrait de certificat pour les navires ayant des mauvaises performances, il imposera aux navires notés au mieux **D** trois années consécutives ou **E** une année de mettre en place un plan d'action correctives devant être validé par leur État du pavillon, et invite les acteurs du secteur (États, ports, institutions financières, etc.) à mettre en place des incitations pour les navires notés **A** et **B**. Enfin, la mise en œuvre du SEEMP pourra faire l'objet de vérifications et audits par l'État du pavillon.

Impacts potentiels des mesures de court terme de la réglementation OMI sur la flotte nationale

Les mesures d'efficacité énergétique et d'intensité carbone auront un impact différencié selon les segments de flotte, l'exploitation des navires et leur âge. L'impact de l'EEXI est estimé relativement limité, surtout pour une flotte relativement jeune comme la flotte française. Dans son étude d'impact des mesures de court-terme, une étude du DNV estime que l'EEXI seul pourrait réduire l'intensité carbone de la flotte mondiale de 6% à 10% en 2030 par rapport à 2019, mais n'empêcherait pas une augmentation des émissions en valeur absolue (+3%) du fait des projections d'augmentation de la demande en transport maritime. Bureau Veritas estime de son côté que 30% des navires construits à partir de 2015 devront prendre des mesures techniques pour se conformer.

L'impact du CII devrait être plus important : en exigeant des navires de réduire leur intensité carbone réelle d'au moins 2% par an, il leur impose l'application planifiée et relativement continue de solutions techniques (les mêmes que celles permettant de se conformer à l'EEXI) ou opérationnelles (réduction de vitesse, optimisation du routage, application du « juste-à-temps », etc.). Cette mesure, bien que non assortie de sanctions dures pour le moment, devrait entraîner une évolution vertueuse des pratiques. Pour la première fois dans un secteur qui s'est jusqu'à présent peu préoccupé de sobriété énergétique, elle systématise la prise en compte de l'impact climatique des navires dans la gestion technique et opérationnelle des flottes. La France ayant choisi d'appliquer les règles de l'EEXI et du CII à tous ses navires de plus de 5000 UMS, y compris ceux en navigation domestique.

Mesures de moyen et long-terme

Actuellement en cours de discussion à l'OMI, ces mesures incluront potentiellement une combinaison d'éléments technique (de type norme d'intensité carbone de l'énergie utilisée par les navires, par exemple) et économique. La France et les États membres de l'Union Européenne plaident pour l'adoption de règles fondées sur le marché (*market-based measures*, par exemple une taxe carbone sur les émissions des navires) de nature à compenser en tout ou partie l'écart de prix entre carburants fossiles et carburants à émissions faibles ou nulles.

Complémentaires des mesures de court-terme, ces mesures devront enclencher la transition énergétique sur les 20 à 30 prochaines années. La France y promeut la prise en compte de l’empreinte carbone des carburants sur l’ensemble de leur cycle de vie, incluant notamment la source d’énergie primaire et les méthodes de production (approche dite en « analyse de cycle de vie »), afin d’encourager les carburants alternatifs réellement plus vertueux. L’adoption de ces mesures n’est pas attendue avant 2025 mais le MEPC 80 de juin 2023 devrait acter des premières décisions sur les dispositifs envisagés, et donner une idée du niveau d’exigence prévisible sur la base des nouveaux objectifs de la Stratégie révisée.

Il convient de noter que les réglementations adoptées par l’OMI respectent en règle générale le principe de neutralité technologique, c’est-à-dire qu’elles laissent aux acteurs économiques le choix des solutions techniques ou opérationnelles pour atteindre les objectifs fixés.

ETS maritime

L'extension du système d'échange de quotas d'émissions (ou ETS pour *Emissions Trading System*) européen au transport maritime. En vertu de l'accord trouvé au sein des institutions européennes le 18 décembre 2022, à partir de 2024, 100% des émissions dans les ports et des voyages intra-européens et 50% des émissions des voyages entre un port de l'UE et un port d'Etat tiers devront donner lieu à restitution des quotas correspondants. N'étant pas sujet à des risques de délocalisation, le transport maritime ne bénéficiera pas de quotas gratuits, mais d'une progressivité dans la mise en œuvre initiale (seule une partie des quotas devront être restitués en 2024 et 2025). Le plafond de quotas disponibles sur l'ensemble du marché diminuera annuellement à un rythme autour de 4,2%.

Dans un premier temps, seuls les navires de jauge supérieure à 5000 (UMS) transportant des marchandises ou des passagers seront inclus. Les navires de service offshore de jauge supérieure à 5000 (UMS) seront inclus dans le MRV (le système européen de déclaration obligatoire des données d'émissions des navires, en vigueur depuis 2018) à partir de 2025, puis dans l'ETS à partir de 2027. Les navires de service offshore entre 400 et 5000 UMS ainsi que les navires pour marchandises diverses ("general cargo ships") seront inclus dans le MRV à partir de 2025. L'inclusion des autres catégories de navires entre 400 et 5000 (UMS) dans le MRV sera examinées en 2024. L'éventuelle inclusion des navires entre 400 et 5000 (UMS) dans l'ETS sera examinée avant le 31 décembre 2026. Les navires de pêche, de plaisance, de service public, et militaires sont exclus.

En plus du CO₂ (déjà inclus dans le MRV), les émissions de méthane et de protoxyde d'azote seront incluses dans le MRV à partir de 2024 et dans l'ETS dès 2026. A noter que seront exemptées de l'obligation de restitution des quotas les émissions correspondant à la desserte des outre-mer (pour tous navires) ainsi qu'au surplus d'énergie requis par les navires « classe glace » (rabais de 5%). La mesure comporte une clause de révision de tout le dispositif pour tenir compte de l'éventuelle adoption d'ici 2028 par l'OMI d'une mesure de marché.

Le secteur maritime devient explicitement bénéficiaire du Fonds d'Innovation européen. La Commission européenne devra lors de ses appels à projet apporter une "attention spéciale" aux projets contribuant à la décarbonation du transport maritime et inclure des thèmes dédiés à cette dernière. Elle s'est également engagée à ce que les revenus résultant de la vente de 20 millions de quotas d'ici 2030 y soient dédiés. Les projets candidats au fonds d'innovation européen devront avoir une « valeur ajoutée européenne claire ».

FuelEU Maritime

En complément de l'ETS, qui permet de réduire l'écart de prix entre les combustibles fossiles et les combustibles bas carbone, le **nouveau règlement « FuelEU Maritime »** visera à stimuler l'adoption de carburants maritimes durables par les navires, à travers l'adoption de cibles obligatoires d'intensité carbone décroissantes de 2025 à 2050. Les cibles de réduction, prenant en compte l'ensemble du cycle de vie des carburants (du « puits au sillage »), se situent à -2% en 2025, -6% en 2030, -14.5 en 2035, -31% en 2040, -62% en 2045 et -80% en 2050. Le règlement prévoit également des obligations de branchement à quai pour les navires à passagers et porte-conteneurs dans les ports européens.

AFIR

Le projet de règlement sur le déploiement d'une **infrastructure pour carburants alternatifs (AFIR)** devrait comporter en complément de FuelEU Maritime une obligation de fourniture de branchement électrique des navires à passagers et porte-conteneurs dans les principaux ports du réseau européen de transport, ainsi qu'une obligation pour les Etats Membres de mettre en place un plan de développement des infrastructures pour carburants marins alternatifs dans leurs ports. Les discussions en sont au même stade que FuelEU Maritime à ce jour.

Directive RED 3

La révision de la directive 2018/2001 relative à la **promotion des énergies renouvelables** actuellement en cours de négociation n'est pas sans lien avec les objectifs de décarbonation du transport maritime : l'objectif d'utilisation d'énergie renouvelable pour les transports routiers et ferroviaire deviendra un objectif en réduction de gaz à effet de serre étendu à l'ensemble du secteur des transports. Les négociations, prévues d'aboutir au premier semestre 2023, devraient donner lieu à une révision significative à la hausse des objectifs de consommation d'énergie renouvelable en Europe à l'horizon 2030.

Impacts potentiels de la réglementation Fit For 55 sur la flotte nationale

Les implications techniques et économiques du paquet FF55 sur la flotte nationale seront nombreuses et variées selon le segment retenu et l'activité opérée. Il est complexe de les modéliser mais plusieurs éléments peuvent être soulignés.

S'agissant de l'impact de l'ETS maritime, le prix moyen du quota pour l'année 2022 est de 81€ (54€ en moyenne pour l'année 2021). Ce prix du carbone représentera @ la fois une charge pour les compagnies maritimes, qui bénéficiaient jusque-là d'une absence de taxe sur les combustibles, et dont le modèle économique n'intègre pas à ce jour cette externalité, et une opportunité pour celles qui progresseront sur la décarbonation de leurs navires en avance de phase. Un temps d'adaptation devrait toutefois être possible grâce au *phase-in* qui prévoit une intégration progressive du marché (40% des émissions vérifiées en 2024, 70% en 2025 et 100% à partir de 2026).

Parallèlement, l'atteinte des cibles de réduction de l'intensité carbone prévues par le règlement FuelEU Maritime devrait favoriser une sortie progressive des carburants fossiles. Or, les intervalles de prix attendus en 2030 pour les carburants alternatifs sont tous supérieurs à ceux du fioul lourd (autour de 15€/GJ), à l'exception du GNL. Ils s'établissent entre 25 et 65 €/GJ pour l'ammoniac vert, 15 et 35€/GJ pour le biodiésel, 25 et 50 €/GJ pour le bio-GNL.

Annexe 4 : 7 trajectoires énergétiques pour décarboner le maritime

SO - BAU

Nom du Scénario : **SO - Business as Usual** Date production : 31/12/2022 Version du modèle : V.1.11

Synthèse des principaux paramètres du modèle

Energie initiale consommée WTW (TWh)	27,7	Nb de navires	600
Croissance flotte / énergie	1,5%	Puissance moy. (MW)	4,2
Durée de vie moyenne navires (années)	25		
Date moyenne d'introduction e-fuel	2030	% Flotte concernée par retrofit	0,0%
Durée déploiement moyenne e-fuel (années)	12	Hydrogène	0,0%
		Vélique	0,0%
		CCUS	0,0%

Evolution de mix énergétique de la flotte

Répartition par source

Répartition par origine

Gains d'efficacité et part de flotte concernée

Impact économique et énergie hors maritime pour compenser les volumes

Compensation pertes volumes avec nouveaux navires	NON
Compensation baisse de vitesse avec nouveaux navires	NON

Baisse de vitesse	2022	2030	2040	2050
Quantités transportées	100%	112%	130%	151%
Nombre de navires	600	676	784	910
Multipl. énergie report	1,0	1,0	1,0	1,0

Capacité de transport (gauche) et baisse de vitesse (droite)

Part du transport maritime en volumes et évolution du besoin en énergie si report vers routier (80%) et aérien (20%)

CO2 Emissions (millions de tonnes)

1 - Emissions CO2 (WTW)	2023	2030	2040	2050	2023-2050
Evolution des émissions	100	115	169	318	218
Croissance flotte	0%	13%	31%	52%	24%
Changement d'énergie	0%	-1%	-1%	-2%	-1%
Efficacité	0%	-1%	-2%	-4%	-2%
Réduction vitesse	0%	0%	0%	0%	0%

Emissions absolues en WTW (% par rapport à 2022)

Intensité carbone de l'énergie en WTW (gCO2e/MJ)

Intensité carbone des navires en WTW (gCO2e/t.km)

Energie (TWh)

3 - Energie consommée à bord (TWh)	2023	2030	2040	2050	2023-2050
Evolution de l'énergie consommée par la flotte	27,7	30,9	35,5	41,0	982
Quantité d'énergie bio-sourcée	1,4	1,5	1,7	2,0	48
Quantité d'énergie e-carburants	0,0	0,0	0,0	0,0	0
Quantité d'énergie électrique (quai / bord)	0,0	0,0	0,0	0,0	0

4 - Energie primaire (bio- et e-) (TWh)

2023	2030	2040	2050	2023-2050
27,9	31,1	35,8	41,2	1016

Energie consommée par la flotte (TTW) (TWh)

Besoin en énergie primaire (TWh)

Coût (milliards d'euros constants)

5 - Coût total du scénario	2023-2030	2030-2040	2040-2050	2023-2050
28	41	58	121	

6 - Surcoût du scénario SO - BAU

2023-2030	2030-2040	2040-2050	2023-2050
0	0	0	0

Coût total du scénario (G€/an)

Surcoût par rapport au scénario SO - BAU (G€/an)

Evolution de la consommation à bord par levier

CO2 Réduction des émissions par levier

S1-TRANS REG

Nom du Scénario : **S1 - Transition réglementaire par activation volontariste de tous les leviers** / Avec conservation des volumes transportés avec baisse de vitesse et perte de capacités liée au changement d'énergie / Date production : 31/12/2022 / Version du modèle : V.1.11

Synthèse des principaux paramètres du modèle

Energie initiale consommée WTW (TWh)	27,7	Nb de navires	600
Croissance Flotte / énergie	1,5%	Puissance moy. (MW)	4,2
Durée de vie moyenne navires (années)	25	% Flotte concernée par retrofits	
Date moyenne d'introduction e-fuel	2030	Hydrodynamique	50,0%
Durée déploiement moyenne e-fuel (années)	12	Vélique	25,0%
		CCUS	25,0%

Gain en conso. d'énergie du scénario	Gain %	% Flotte	Durée déplot	Moyenne 2023-2050
Gain en efficacité au renouvellement	15%	700%	7	10,9%
Gain assistance vélique navires neufs	15%	50%	12	5,0%
Gain opérationnels	10%	50%	10	3,7%
Baisse de vitesse	15%	80%	25	5,4%

Gain en émissions CO2 du scénario	Gain %	% Flotte	Deplot	Moyenne 2023-2050
Technologiques	50%	20%	10	5,9%

Evolution de mix énergétique de la flotte

Gains d'efficacité et part de flotte concernée

Impact économique et énergie hors maritime pour compenser les volumes

Compensation pertes volumes avec nouveaux navires	OUI
Compensation baisse de vitesse avec nouveaux navires	OUI

Baisse de vitesse	2022	2030	2040	2050
Quantités transportées	100%	112%	130%	151%
Nombre de navires	600	697	881	1128
Multiplication énergie report	1,0	1,0	1,0	1,0

Capacité de transport (gauche) et baisse de vitesse (droite)

Part du transport maritime en volumes et évolution du besoin en énergie si report vers routier (80%) et aérien (20%)

CO2 Emissions (millions de tonnes)

1 - Emissions CO2 (WTW)	2023	2030	2040	2050	2023-2050
Evolution des émissions	9	8,8	5,8	2,7	-184
Croissance flotte	0%	16%	47%	88%	37%
Changement d'énergie	0%	-11%	-69%	-136%	-52%
Efficacité	0%	-13%	-15%	-14%	-12%
Réduction vitesse	0%	-1%	-5%	-8%	-3%

2 - Respect réglementation émissions et trajectoires de réchauffement	2023	2030	2040	2050	Créaire
Intensité carbone (gCO2e/MJ)	0	0	0	0	Fuel EU
OMI (gCO2/L.km)	0	0	0	0	OMI
Emissions totales (t)	0	0	0	0	GIEC
Emissions (tCO2e) +1,5°C	0	0	0	0	GIEC
Emissions (tCO2e) +2/+1,5°C	0	0	0	0	GIEC

Emissions absolues en WTW (% par rapport à 2022)

Intensité carbone de l'énergie en WTW (gCO2e/MJ)

Intensité carbone des navires en WTW (gCO2/L.km)

Energie (TWh)

3 - Energie consommée à bord (TTW)	2023	2030	2040	2050	2023-2050
Evolution de l'énergie consommée par la flotte	27,7	28,6	30,6	14,4	-13,7
Croissance flotte	0%	16%	47%	88%	37%
Changement d'énergie	0%	0%	-3%	-4%	-2%
Efficacité	0%	-12%	-23%	-36%	-19%
Réduction vitesse	0%	-1%	-10%	-32%	-9%

4 - Energie primaire (bio- et e-) (WTW)	2023	2030	2040	2050	2023-2050
Quantité d'énergie fossile	27,9	30,5	45,8	17,3	-17,3
Quantité d'énergie bio-sourcée	0,0	2,2	5,7	3,4	4,5
Quantité d'énergie e-carburants	1,4	6,3	10,7	6,5	20,8
Quantité d'énergie électrique (quasi / bord)	0,0	1,0	24,5	45,0	50,8
Quantité d'énergie électrique (quasi / bord)	0,0	0,1	1,0	1,8	2,0

Nombre de réacteurs type Civeaux	0,0	0,2	2,4	4,4
Nombre de champs solaires hors Saint Nazaire	0,0	1,1	17,3	32,5
Nombre de méthaniseurs	0,0	44,4	134,3	114,6

Energie consommée par la flotte (TTW) (TWh)

Besoin en énergie primaire (TWh)

Coût (milliards d'euros constants)

5 - Coût total du scénario	2023-2030	2030-2040	2040-2050	2023-2050
Construction	11,7	19,8	25,9	57
Retrofit	0,9	0,3	1,7	3
Energie	10,7	30,1	51,7	98
Taxe carbone	2,1	8,2	8,8	19

6 - Surcoût du scénario S0 - BAU	2023-2030	2030-2040	2040-2050	2023-2050
Construction	1,7	3,5	4,3	12
Retrofit	0,9	0,3	1,7	3
Energie	0,4	15,2	39,7	55
Taxe carbone	0,1	3,2	14,8	18

Coût total du scénario (G€/an)

Surcoût par rapport au scénario S0 - BAU (G€/an)

Evolution de la consommation à bord par levier

CO2 Réduction des émissions par levier

S2 - BAISSÉ CROISSANCE

Nom du scénario : **S2 - Baisse de croissance à 0%**

Avec conservation des volumes transportés avec baisse de vitesse et perte de capacité liée au changement d'énergie

Date production : 31/12/2022

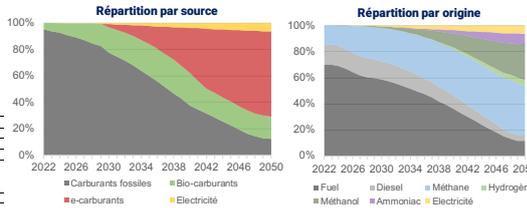
Version du modèle : V.1.11

V.1.11

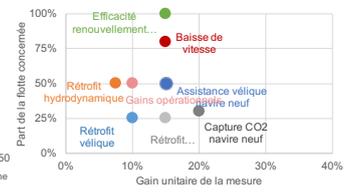
Synthèse des principaux paramètres du modèle

Energie initiale consommée (TWh)	27,7	Nb de navires	600
Croissance flotte / énergie	0,0%	Puissance moy. (MW)	4,2
Durée de vie moyenne navires (années)	25	% Flotte concernée par retrofit	
Date moyenne d'introduction e-fuel	2030	Hydrodynamique	50,0%
Durée déploiement moyenne e-fuel (années)	12	Vélique	25,0%
		CCUS	25,0%
Gains en conso. d'énergie du scénario			
Gains en efficacité renouvellement	13%		
Gains assistance vélique navires neufs	15%		
Gains opérationnels	10%		
Baisse de vitesse	13%		
Gains en émissions CO2 du scénario			
Technologiques	30%		

Evolution de mix énergétique de la flotte



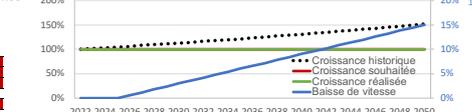
Gains d'efficacité et part de flotte concernée



Impact économique et énergie hors maritime pour compenser les volumes

Compensation pertes volumes avec nouveaux navires	OUI
Compensation baisse de vitesse avec nouveaux navires	OUI
Baisse de vitesse	
2022	0%
2030	3%
2040	9%
2050	15%
Quantités transportées	
2022	100%
2030	100%
2040	100%
2050	100%
Nombre de navires	
2022	600
2030	619
2040	667
2050	722
Variation nb navires	
2022	1,0
2030	1,0
2040	1,0
2050	1,0

Capacité de transport (gauche) et baisse de vitesse (droite)



Part du transport maritime en volumes et évolution du besoin en énergie si report vers routier (80%) et aérien (20%)

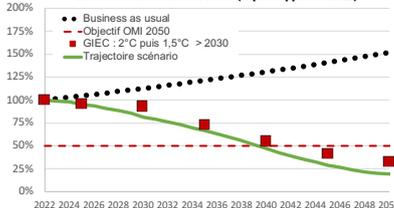


CO2

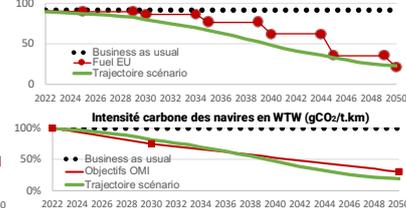
Emissions (millions de tonnes)

1 - Emissions CO2 (WTW)	
2022	7,9
2030	4,2
2040	1,0
2050	1,58
Evolution des émissions	
Croissance flotte	0%
Changement d'énergie	0%
Efficacité	0%
Réduction vitesse	0%
2 - Respect réglementation émissions et trajectoires de réchauffement	
Intensité carbone (gCO2e/MJ)	2028
Oil (gCO2e/l km)	2028
Emissions totales (t)	2028
Emissions (CO2) +1,5°	2028
Emissions (CO2) +2,1°+1,5°	2028

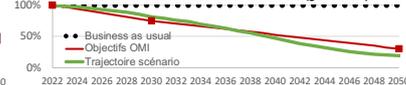
Emissions absolues en WTW (% par rapport à 2022)



Intensité carbone de l'énergie en WTW (gCO2e/MJ)



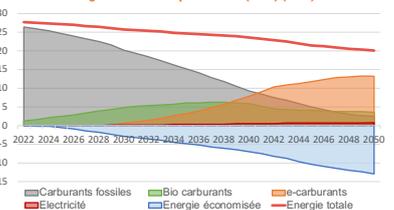
Intensité carbone des navires en WTW (gCO2e/l.km)



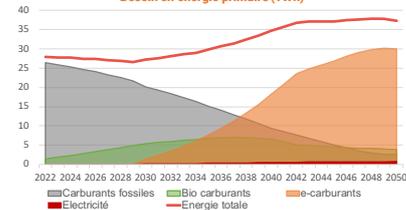
Energie (TWh)

3 - Energie consommée à bord (TTW)	
2022	27,7
2030	25,7
2040	23,6
2050	20,1
Evolution de l'énergie consommée par la flotte	
Croissance flotte	0%
Changement d'énergie	0%
Efficacité	0%
Réduction vitesse	0%
4 - Energie primaire (bio- et e)	
2022	27,9
2030	27,1
2040	34,6
2050	37,2
Quantité d'énergie bio-sourcée	
2022	1,5
2030	5,4
2040	6,6
2050	3,9
Quantité d'énergie e-carburants	
2022	0,0
2030	1,5
2040	18,2
2050	30,0
Quantité d'énergie électrique (au 7/ bord)	
2022	0,0
2030	0,1
2040	0,5
2050	0,8
Nombre de réacteurs type Cibeaux	
2022	0,0
2030	0,1
2040	0,7
2050	2,3
Nombre de charpentes aériennes type Saint Nazaire	
2022	0,0
2030	1,1
2040	12,7
2050	21,0
Nombre de méthaniseurs	
2022	3,4
2030	67,4
2040	100,5
2050	79,0

Energie consommée par la flotte (TTW) (TWh)



Besoin en énergie primaire (TWh)

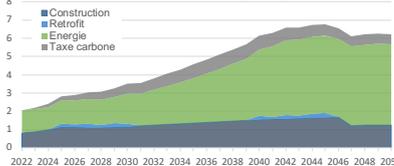


€

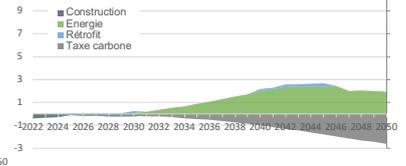
Coût (milliards d'euros constants)

5 - Coût total du scénario	
2023-2030	22
2030-2040	45
2040-2050	64
2023-2050	131
6 - Surcoût du scénario S0 - BAU	
2023-2030	-1
2030-2040	4
2040-2050	6
2023-2050	9

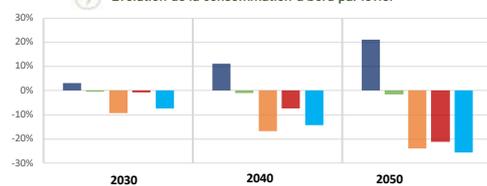
Coût total du scénario (G€/an)



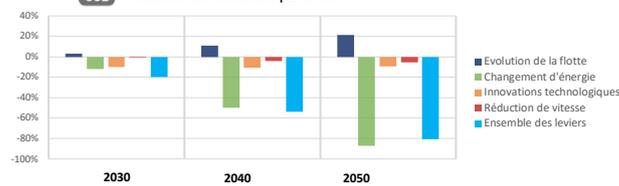
Surcoût par rapport au scénario S0 - BAU (G€/an)



Evolution de la consommation à bord par levier



CO2 Réduction des émissions par levier



S3 – RAPPATR. SOUTAGE

Nom du scénario : **S3 - Réduction de la dépendance en soutages étranger (+1.5% rapprochement soutage national)** Date production : 31/12/2022 Version du modèle : V.1.11
 Avec conservation des volumes transportés avec baisse de vitesse et perte de capacité liée au changement d'énergie

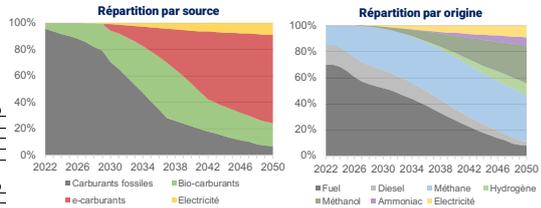
Synthèse des principaux paramètres du modèle

Energie initiale consommée (TWh)	27.7	Nb de navires	600
Croissance flotte / énergie	3.0%	Puissance moy. (MW)	4.2
Durée de vie moyenne navires (années)	25	% Flotte concernée par retrofits	
Date moyenne d'introduction e-fuel	2030	Hydrodynamique	50,0%
Durée déploiement moyenne e-fuel (années)	12	Vélique	25,0%
		CCUS	25,0%

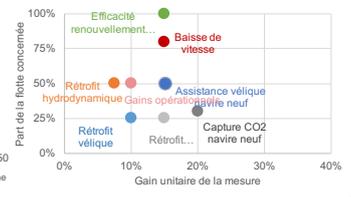
Gains en cons. d'énergie du scénario	Gain %	% Flotte	Durée dépl.	Moyenne 2023-2050
Gains en efficacité au renouvellement	15%	100%	7	10,9%
Gains assistance vélique navires neufs	15%	50%	12	5,6%
Gains opérationnels	10%	50%	10	3,7%
Baisse de vitesse	15%	80%	25	5,4%

Gains en émissions CO2 du scénario	Gain %	% Flotte	Dépl.	Moyenne 2023-2050
Technologiques	30%	20%	10	8,2%

Evolution de mix énergétique de la flotte



Gains d'efficacité et part de flotte concernée



Impact économique et énergie hors maritime pour compenser les volumes

Compensation pertes volumes avec nouveaux navires	OUI
Compensation baisse de vitesse avec nouveaux navires	OUI

Baisse de vitesse	2022	2030	2040	2050
Quantités transportées	100%	126%	170%	228%
Nombre de navires	600	785	1.154	1.707
Multiplication énergie report	1,0	1,0	1,0	1,0

Capacité de transport (gauche) et baisse de vitesse (droite)



Part du transport maritime en volumes et évolution du besoin en énergie si report vers routier (80%) et aérien (20%)



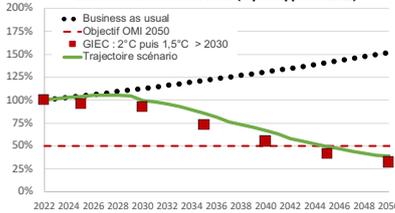
CO2

Emissions (millions de tonnes)

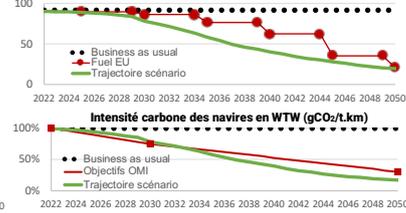
1 - Emissions CO2 (WTW)	2023	2030	2040	2050	2023-2050
Evolution des émissions	9,0	1,1	-34%	-61%	-202
Croissance flotte	0%	31%	92%	185%	74%
Changement d'énergie	0%	-17%	-102%	-216%	-79%
Efficacité	0%	-15%	-18%	-19%	-15%
Réduction vitesse	0%	-1%	-6%	-11%	-4%

2 - Respect réglementation émissions et trajectoires de réchauffement	2023	2030	2040	2050	Critère
Intensité carbone (gCO2e/MJ)	100%	100%	100%	100%	Fuel EU
DIT (gCO2/Lkm)	100%	100%	100%	100%	OMI
Emissions totales (%)	100%	100%	100%	100%	OMI
Emissions (CO2) +1,5	100%	100%	100%	100%	GIEC
Emissions (CO2) +2,0	100%	100%	100%	100%	GIEC
Emissions (CO2) 1,2-1,4 1,5-1,7	100%	100%	100%	100%	GIEC

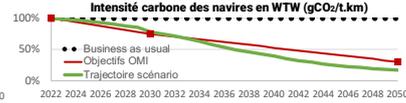
Emissions absolues en WTW (% par rapport à 2022)



Intensité carbone de l'énergie en WTW (gCO2e/MJ)



Intensité carbone des navires en WTW (gCO2e/Lkm)

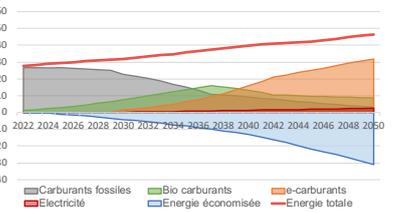


Energie (TWh)

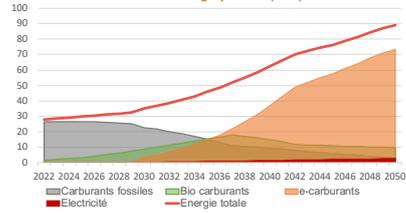
3 - Energie consommée à bord (TTW)	2023	2030	2040	2050	2023-2050
Evolution de l'énergie consommée par la flotte	27,7	32,0	39,7	44,4	10,1
Croissance flotte	0%	31%	92%	185%	74%
Changement d'énergie	0%	0%	-4%	-3%	-3%
Efficacité	0%	-14%	-32%	-54%	-26%
Réduction vitesse	0%	-1%	-13%	-49%	-12%

4 - Energie primaire (bio- et e-) (WTI)	2023	2030	2040	2050	2023-2050
Emissions fossiles	27,9	35,0	62,4	63,8	134
Quantité d'énergie bio-sources	1,4	8,6	14,9	9,7	296
Quantité d'énergie e-carburants	0,0	3,5	36,9	73,4	779
Quantité d'énergie électrique (loop / bord)	0,0	0,2	1,4	2,7	29

Energie consommée par la flotte (TTW) (TWh)



Besoin en énergie primaire (TWh)

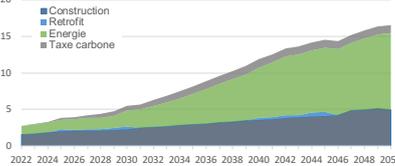


Coût (milliards d'euros constants)

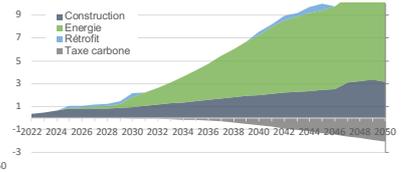
5 - Coût total du scénario	2023-2030	2030-2040	2040-2050	2023-2050
Construction	15,7	28,6	42,3	87
Retrofit	0,9	0,3	2,3	4
Energie	11,3	41,0	86,8	139
Taxe carbone	2,3	9,5	11,1	23
Ports - Infrastructures			Avaluer	

6 - Surcoût du scénario S0 - BAU	2023-2030	2030-2040	2040-2050	2023-2050
Construction	3,6	13,3	23,7	46
Retrofit	0,9	0,3	2,3	4
Energie	1,1	26,1	68,6	96
Ports - Infrastructures			Avaluer	
Taxe carbone	0,0	2,0	-12,5	-14
R&D - Démonstrateurs			Avaluer	

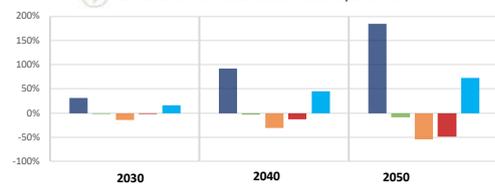
Coût total du scénario (G€/an)



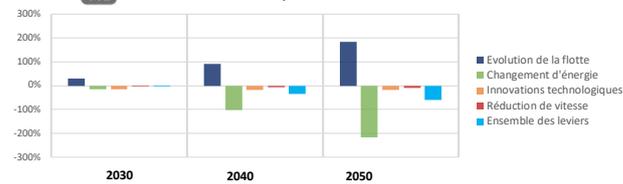
Surcoût par rapport au scénario S0 - BAU (G€/an)



Evolution de la consommation à bord par levier



Réduction des émissions par levier



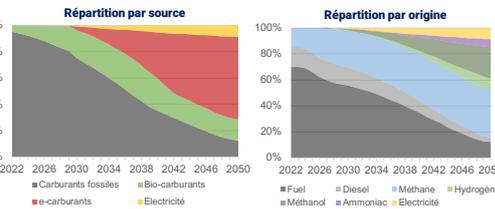
S4 – EFFICACITE

Nom du scénario : **S4 - Leviers technologie poussés à leur maximum** Avec conservation des volumes transportés avec baisse de vitesse et perte de capacités liée au changement d'énergie Date production : 31/12/2022 Version du modèle : V.1.11

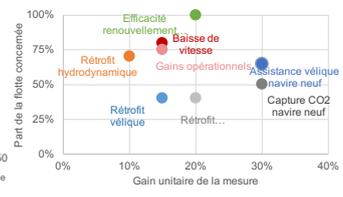
Synthèse des principaux paramètres du modèle

Energie initiale consommée WTW (TWh)	27,7	Nb de navires	600
Croissance flotte / énergie	1,5%	Puissance moy. (MW)	4,2
Durée de vie moyenne navires (années)	25		
Date moyenne d'introduction e-fuel	2030	% Flotte concernée par retrofit	
Durée de déploiement moyenne e-fuel (années)	12	Hydrogène	70,0%
		Véliges	40,0%
		CCUS	40,0%
Gains en conso. d'énergie du scénario			
Gains en efficacité au renouvellement	20%	Gain %	100%
Gains assistance vente navires neufs	30%	% Flotte	7
Gains opérationnels	15%	Durée dépot	17,2%
Baisse de vitesse	15%	Moyenne 2023-2050	151%
			8,3%
			5,4%
Gains en émissions CO2 du scénario			
Technologiques	50%	Gain %	30%
		% Flotte	10
		Dépot	16,3%

Evolution de mix énergétique de la flotte



Gains d'efficacité et part de flotte concernée



Impact économique et énergie hors maritime pour compenser les volumes

Compensation pertes volumes avec nouveaux navires	OUI
Compensation baisse de vitesse avec nouveaux navires	OUI
Baisse de vitesse	2022: 3%, 2030: 3%, 2040: 3%, 2050: 3%
Quantités transportées	100%, 112%, 130%, 151%
Nombre de navires	600, 697, 881, 1128
Multiplication énergie report	1,0, 1,0, 1,0, 1,0

Capacité de transport (gauche) et baisse de vitesse (droite)



Part du transport maritime en volumes et évolution du besoin en énergie si report vers routier (80%) et aérien (20%)

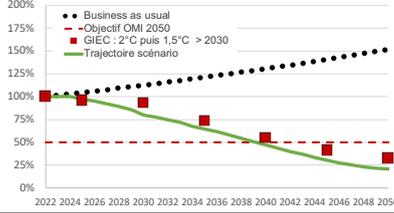


CO2

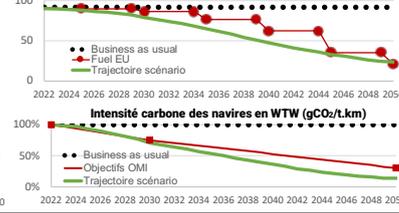
Emissions (millions de tonnes)

1 - Emissions CO2 (WTW)	2023	2030	2040	2050	2023-2050
Evolution des émissions	9	71	42	1,9	159
Croissance flotte	0%	21%	53%	88%	37%
Changement d'énergie	0%	-15%	-68%	-135%	-52%
Efficacité	0%	-22%	-28%	-26%	-22%
Réduction vitesse	0%	-1%	-4%	-6%	-3%
2 - Respect réglementation émissions et trajectoires de réchauffement	2023	2030	2040	2050	Critère
Intensité carbone (gCO2e/MJ)	100%	100%	100%	100%	Fuel EU
EM (gCO2e/l)	100%	100%	100%	100%	OMI
Emissions (tCO2e) +1,5°	100%	100%	100%	100%	GIEC
Emissions (tCO2e) +2°	100%	100%	100%	100%	GIEC
Emissions (tCO2e) 2,2°	100%	100%	100%	100%	GIEC
Atteint	●	●	●	●	●
Hesque atteint	○	○	○	○	○
Non atteint	●	●	●	●	●

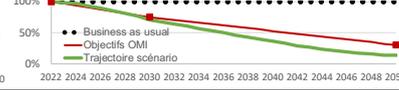
Emissions absolues en WTW (% par rapport à 2022)



Intensité carbone de l'énergie en WTW (gCO2e/MJ)



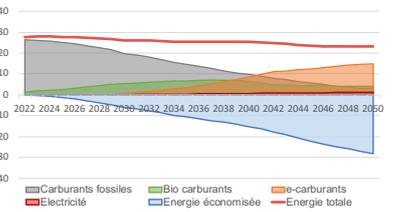
Intensité carbone des navires en WTW (gCO2e/t.km)



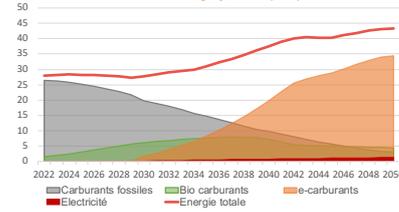
Energie (TWh)

3 - Energie consommée à bord (TTW)	2023	2030	2040	2050	2023-2050
Evolution de l'énergie consommée par la flotte	27,7	26,1	25,5	14,6	13,0
Croissance flotte	0%	16%	47%	88%	37%
Changement d'énergie	0%	0%	-2%	-6%	-4%
Efficacité	0%	-21%	-44%	-71%	-35%
Réduction vitesse	0%	-1%	-8%	-25%	-7%
4 - Energie primaire (bio- et e.) (WTW)	2023	2030	2040	2050	2023-2050
Quantité d'énergie fossile	27,9	27,8	37,4	43,5	1018
Quantité d'énergie bio-sourcée	0,0	6,2	7,2	4,4	158
Quantité d'énergie e-carburants	0,0	1,7	19,8	34,4	397
Quantité d'énergie électrique (hors à bord)	0,0	0,1	0,8	1,5	16
Nombre de réacteurs type Copeau	3,4	85,0	109,4	87,7	
Nombre de chaînes à neutrons type Saint-Nazaire	0,0	1,5	14,0	24,4	
Nombre de méthaniseurs	0,0	0,0	0,0	0,0	

Energie consommée par la flotte (TTW) (TWh)



Besoin en énergie primaire (TWh)

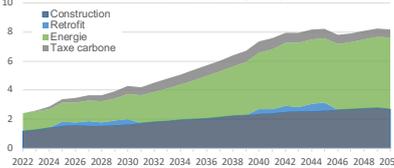


€

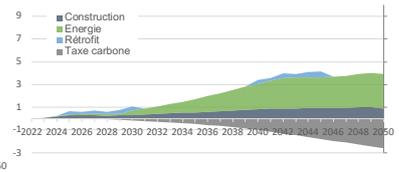
Coût (milliards d'euros constants)

5 - Coût total du scénario	2023-2030	2030-2040	2040-2050	2023-2050
Construction	11,7	19,8	25,9	57,4
Retrofit	1,3	0,4	2,3	4,0
Energie	10,9	26,1	44,6	82,6
Taxe carbone	2,0	6,8	6,5	15,3
Ports - infrastructures				A évaluer
5 - Surcoût du scénario S0 - BAU	2023-2030	2030-2040	2040-2050	2023-2050
Construction	11,7	5,5	9,3	26,5
Retrofit	1,3	0,4	2,3	4,0
Energie	0,7	11,2	26,9	39,8
Ports - infrastructures				A évaluer
Taxe carbone	-0,3	-4,6	-17,1	-22,0
M&A - Démarches				A évaluer

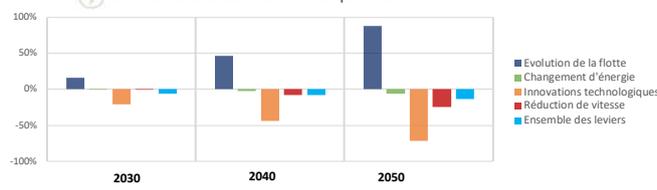
Coût total du scénario (G€/an)



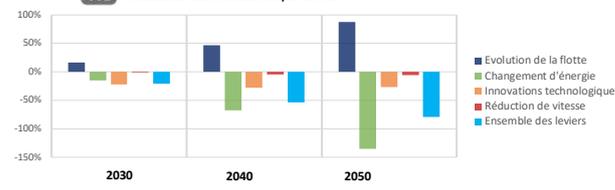
Surcoût par rapport au scénario S0 - BAU (G€/an)



Evolution de la consommation à bord par levier



CO2 Réduction des émissions par levier



S5 – BAISSÉ VITESSE ET VELIQUE

Nom du Scénario : **S5 - Baisse de vitesse et doublement des gains de la propulsion vélique** Sans conservation des volumes transportés avec baisse de vitesse et perte de capacité liée au changement d'énergie

Date production : 31/12/2022

Version du modèle : V.1.11

Synthèse des principaux paramètres du modèle

Energie initiale consommée WTW (TWh)	27,7	Nb de navires	600
Croissance flotte / énergie	1,5%	Puissance moy. (MW)	4,2
Durée de vie moyenne navires (années)	25	% Flotte concernée par retrofit	
Date moyenne d'introduction e-fuel	2030	Hydrodynamique	50,0%
Durée dépiement moyenne e-fuel (années)	12	Vélique	25,0%
		OCUS	25,0%

Evolution de mix énergétique de la flotte

Répartition par source

Répartition par origine

Gains d'efficacité et part de flotte concernée

Impact économique et énergie hors maritime pour compenser les volumes

Baisse de vitesse	2022	2030	2040	2050
Quantités transportées	100%	106%	108%	108%
Nombre de navires	600	676	784	910
Variation nb navires	ref	13%	31%	51%
Multipl. énergie report	1,0	1,3	2,0	2,7

Capacité de transport (gauche) et baisse de vitesse (droite)

Part du transport maritime en volumes et évolution du besoin en énergie si report vers routier (80%) et aérien (20%)

CO2 Emissions (millions de tonnes)

1 - Emissions CO2 (WTW)	2023	2030	2040	2050	2023-2050
Evolution des émissions	9	7,8	4,5	1,7	-166
Evolution des émissions	Reférence	-15%	-57%	-91%	-24%
Croissance flotte	0%	13%	31%	52%	24%
Changement d'énergie	0%	-14%	-61%	-109%	-45%
Efficacité	0%	-12%	-13%	-12%	-11%
Réduction vitesse	0%	-1%	-8%	-12%	-5%

2 - Respect réglementation émissions et trajectoires de réchauffement

Intensité carbone (gCO2e/MJ)	2023	2030	2040	2050	Critère
Fuel EU	90	80	70	60	OMI
Emmissions totales	90	80	70	60	GIEC
Emmissions (CO2) +1,5	90	80	70	60	GIEC
Emmissions (CO2) +2,0	90	80	70	60	GIEC

Emissions absolues en WTW (% par rapport à 2022)

Intensité carbone de l'énergie en WTW (gCO2e/MJ)

Intensité carbone des navires en WTW (gCO2e/t.km)

Energie (TWh)

3 - Energie consommée à bord (TWh)	2023	2030	2040	2050	2023-2050
Evolution de l'énergie consommée par la flotte	27,7	27,6	25,9	20,1	-74,9
Croissance flotte	0%	13%	31%	52%	24%
Changement d'énergie	0%	-11%	-21%	-30%	-16%
Efficacité	0%	-11%	-21%	-30%	-16%
Réduction vitesse	0%	-2%	-15%	-45%	-13%

4 - Energie primaire (bio- et e-) (WTW)

Quantité d'énergie fossile	27,9	29,3	38,4	37,5	100,9
Quantité d'énergie bio-sourcée	26,4	21,4	9,8	2,5	-42,9
Quantité d'énergie e-carburants	0,0	6,0	7,9	3,9	15,4
Quantité d'énergie électrique (auai / bord)	0,0	0,7	20,7	30,2	39,9
Quantité d'énergie électrique (total / bord)	0,0	0,7	0,6	0,8	12

Evolution de l'énergie consommée par la flotte (TTW) (TWh)

Besoin en énergie primaire (TWh)

Coût (milliards d'euros constants)

5 - Coût total du scénario	2023-2030	2030-2040	2040-2050	2023-2050
Construction	10,8	16,0	19,3	46
Retrofit	0,9	0,2	1,4	3
Energie	11,0	27,4	44,6	83
Taxe carbone	2,1	7,6	6,9	17

6 - Surcoût du scénario S0 - BAU

Construction	0,8	1,7	2,8	7
Retrofit	0,9	0,2	1,4	3
Energie	0,7	12,4	26,9	40
Taxe carbone	-0,2	-3,9	-16,7	-21

Coût total du scénario (G€/an)

Surcoût par rapport au scénario S0 - BAU (G€/an)

Evolution de la consommation à bord par levier

CO2 Réduction des émissions par levier

S6 – RETARD BIO- ET E-FUELS

Nom du scénario : **S6 - Retard de cinq ans dans le déploiement des bio- et e-carburants** Date production 31/12/2022 Version du modèle V.1.11

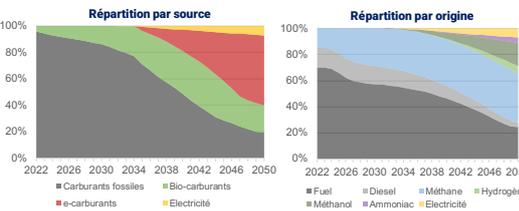
Synthèse des principaux paramètres du modèle

Energie initiale consommée WTW (TWh)	27,7	Nb de navires	600
Croissance flotte / énergie	1,5%	Puissance moy. (MW)	4,2
Durée de vie moyenne navires (années)	25	% Flotte concernée par retrofit	
		Hydrodynamique	50,0%
		Vélique	25,0%
		CCUS	25,0%
Date moyenne d'introduction e-fuel	2035		
Durée déploiement moyenne e-fuel (années)	12		

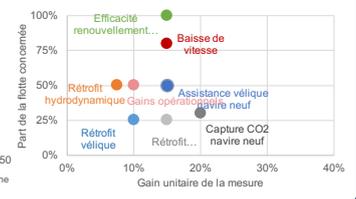
Gains en conso. d'énergie du scénario	Gain %	% Flotte	Durée déplot.	Moyenne 2028-2050
Gains en efficacité au renouvellement	13%	100%	7	10,9%
Gains assistance vélique navires neufs	15%	50%	12	5,0%
Gains opérationnels	10%	50%	10	3,7%
Baisse de vitesse	13%	80%	25	5,4%

Gains en émissions CO2 du scénario	Gain %	% Flotte	Déplot.	Moyenne 2028-2050
Technologiques	30%	20%	10	5,2%

Evolution de mix énergétique de la flotte



Gains d'efficacité et part de flotte concernée

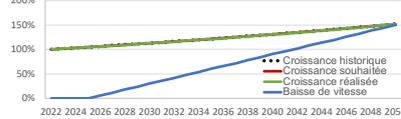


Impact économique et énergie hors maritime pour compenser les volumes

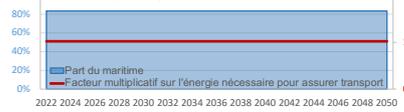
Compensation pertes volumes avec nouveaux navires	OUI
Compensation baisse de vitesse avec nouveaux navires	OUI

	2022	2030	2040	2050
Baisse de vitesse	0%	3%	9%	15%
Quantités transportées	100%	112%	130%	151%
Nombre de navires	600	695	864	1034
Variation nb navires	Ref	16%	44%	74%
Multiplication énergie report	1,0	1,0	1,0	1,0

Capacité de transport (gauche) et baisse de vitesse (droite)



Part du transport maritime en volumes et évolution du besoin en énergie si report vers routier (80%) et aérien (20%)



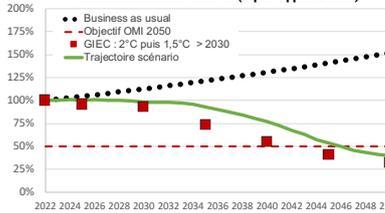
CO2

Emissions (millions de tonnes)

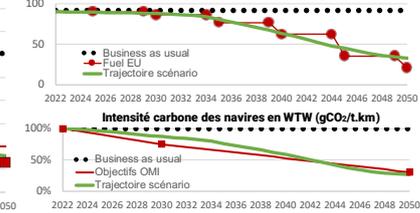
1 - Emissions CO2 (WTW)	2028	2030	2040	2050	2028-2050
Evolution des émissions	21,7	18,5	30,4	31,6	210
Croissance flotte	0%	16%	44%	84%	35%
Changement d'énergie	0%	-4%	-41%	-114%	-36%
Efficacité	0%	-14%	-21%	-19%	-15%
Réduction vitesse	0%	-1%	-7%	-11%	-4%

2 - Respect réglementation émissions et trajectoires de réchauffement	2028	2030	2040	2050	Critère
Intensité carbone (gCO2e/MJ)	100	100	100	100	Fuel EU
Oil (gCO2/t.km)	100	100	100	100	OMI
Emissions totales (%)	100	100	100	100	OMI
Emissions (CO2) +1,5	100	100	100	100	GIEC
Emissions (CO2) +2	100	100	100	100	GIEC
Emissions (CO2) +2,5	100	100	100	100	GIEC
Emissions (CO2) +2,7+1,5°C	100	100	100	100	GIEC

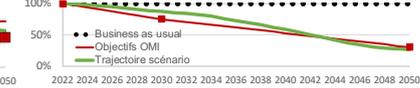
Emissions absolues en WTW (% par rapport à 2022)



Intensité carbone de l'énergie en WTW (gCO2e/MJ)



Intensité carbone des navires en WTW (gCO2e/t.km)



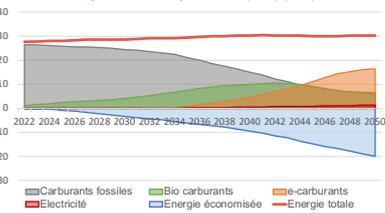
Energie (TWh)

3 - Energie consommée à bord (TWh)	2028	2030	2040	2050	2028-2050
Evolution de l'énergie consommée par la flotte	21,7	18,5	30,4	31,6	100
Croissance flotte	0%	16%	44%	84%	35%
Changement d'énergie	0%	-4%	-41%	-114%	-36%
Efficacité	0%	-12%	-23%	-36%	-19%
Réduction vitesse	0%	-1%	-10%	-32%	-9%

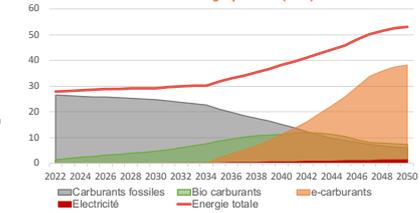
4 - Energie primaire (bio- et e-) (WTW)	2028	2030	2040	2050	2028-2050
Quantité d'énergie fossile	27,9	29,2	38,1	53,0	110
Quantité d'énergie bio-sourcée	0,0	0,0	11,3	7,4	211
Quantité d'énergie e-carburants	0,0	0,0	11,1	38,2	309
Quantité d'énergie électrique (hors / bord)	0,0	0,0	0,5	1,4	12

Nombre de réacteurs type Ciseau	2028	2030	2040	2050
Nombre de charniers océans type Saint Nazaire	0,0	0,0	7,9	27,6
Nombre de méthaniseurs	0,0	0,0	123,7	105,7

Energie consommée par la flotte (TTW) (TWh)



Besoin en énergie primaire (TWh)

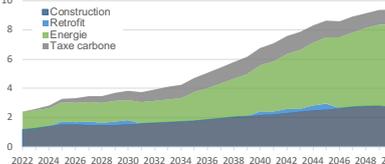


Coût (milliards d'euros constants)

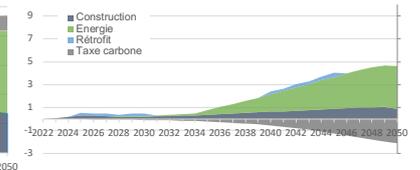
5 - Coût total du scénario	2028-2030	2030-2040	2040-2050	2028-2050
Construction	11,5	18,1	25,2	55
Retrofit	0,9	0,3	1,8	3
Energie	10,4	10,5	45,9	74
Taxe carbone	2,1	9,2	11,5	23
Parts infrastructures	A évaluer			

6 - Surcoût du scénario S0 - BAU	2028-2030	2030-2040	2040-2050	2028-2050
Construction	11,5	18,1	25,2	55
Retrofit	0,9	0,3	1,6	3
Energie	0,2	4,6	26,2	31
Parts infrastructures	A évaluer			
Taxe carbone	-0,1	-2,3	-12,2	-15
R&D / Démonstration	A évaluer			

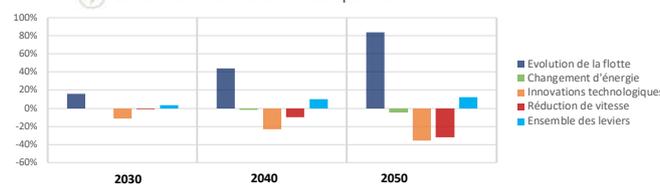
Coût total du scénario (G€/an)



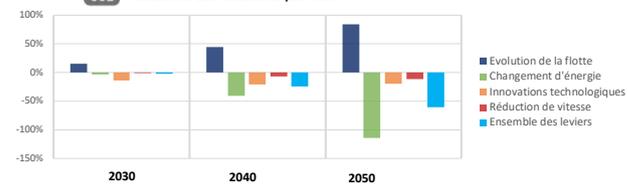
Surcoût par rapport au scénario S0 - BAU (G€/an)



Evolution de la consommation à bord par levier



CO2 Réduction des émissions par levier



S7 – NET ZERO 2050

Nom du Scénario : **S7bis - Net Zero émissions 2050 (avec principalement le levier énergétique)** / Date production : 31/12/2022 / Version du modèle : V.1.11
 Avec conservation des volumes transportés avec baisse de vitesse et perte de capacité liée au changement d'énergie

Synthèse des principaux paramètres du modèle

Energie initiale consommée WTW (TWh)	27,7	Nb de navires	600
Croissance flotte / énergie	1,5%	Puissance moy. (MW)	4,2
Durée de vie moyenne navires (années)	20		

Evolution de mix énergétique de la flotte

Répartition par source

Répartition par origine

Gains d'efficacité et part de flotte concernée

Impact économique et énergie hors maritime pour compenser les volumes

Compensation pertes volumes avec nouveaux navires	OUI
Compensation baisse de vitesse avec nouveaux navires	OUI

Baisse de vitesse	0%	3%	9%	15%
Quantités transportées	100%	112%	130%	151%
Nombre de navires	600	700	800	1123
Multiplication énergie report	1,0	1,0	1,0	1,0

Capacité de transport (gauche) et baisse de vitesse (droite)

Part du transport maritime en volumes et évolution du besoin en énergie si report vers routier (80%) et aérien (20%)

Emissions (millions de tonnes)

2023	2030	2040	2050	2023-2050	
1 - Emissions CO2 (WTW)	9	2,7	2,8	10	11

Emissions absolues en WTW (% par rapport à 2022)

Intensité carbone de l'énergie en WTW (gCO2e/MJ)

Intensité carbone des navires en WTW (gCO2e/Lkm)

Energie (TWh)

2023	2030	2040	2050	2023-2050	
3 - Energie consommée à bord (TTW)	27,7	21,6	20,2	28,8	31,3

Energie consommée par la flotte (TTW) (TWh)

Besoin en énergie primaire (TWh)

Coût (milliards d'euros constants)

2023-2030	2030-2040	2040-2050	2023-2050	
5 - Coût total du scénario	32	61	112	205

Coût total du scénario (G€/an)

Surcoût par rapport au scénario S0 - BAU (G€/an)

Evolution de la consommation à bord par levier

Réduction des émissions par levier