

CAP 2050 : UN MODELE GLOBAL DE TRANSITION ENERGETIQUE POUR EVALUER DES TRAJECTOIRES DE DECARBONATION DU SECTEUR MARITIME

Jean-François SIGRIST & Erwan JACQUIN
MEET 2050
jf.sigrist@meet2050.org



**MARITIME
ENERGY AND
ENVIRONMENTAL
TRANSITION 2050**



113^{ème} session ATMA – Paris, 13 octobre 2023

MEET 2050, un centre d'expertise
national dédié à la décarbonation
du maritime

MEET 2050 : dix ans pour réussir collectivement la décarbonation du maritime national



Enjeux

- Urgence **climatique** aux conséquences désastreuses
- Secteur maritime responsable de **3% des émissions de GES**
- **Règlementations** de plus en plus contraignantes vers la neutralité
- **Enjeux énergétiques** pour se passer des énergies fossiles
- **Enjeux technologiques** pour développer des solutions non disponibles
- **Enjeux financiers** avec un coût estimé autour de 3.000 Mrds \$ à 2050
- **Risques sur la souveraineté** d'approvisionnement, la mer représentant plus de 85% des volumes transportés (EU ou monde)
- **Risques économiques**, le PIB étant fortement lié à la capacité de transport par la mer qui pourrait être réduite faute de solutions



Solutions

- Mise en place de **centres d'expertise** et de **programmes de décarbonation planifiés et financés** dans les principaux pays maritimes
- En France, les **principales filières industrielles** s'organisent avec leurs spécificités et bénéficient de **financements dédiés à leurs transitions**
- Le maritime national au sens large ne présente **pas de stratégie partagée, et reste peu audible et donc peu soutenu dans cette transition**



MARITIME
ENERGY AND
ENVIRONMENTAL
TRANSITION 2050

- Plus d'un an pour **construire un projet qui réponde à ces enjeux**, en s'inspirant des solutions mises en place à l'international ou au niveau national sur d'autres filières industrielles ou de mobilité
- **Mobilisation et soutiens de nombreux acteurs publics et privés** : Président de la République, ministères, régions, fédérations, pôles, clusters, entreprises de toutes tailles, centres de recherche ...
- **Création de l'Institut en juin 2023** sous la forme d'une **association d'intérêt général soutenue par l'Etat**.
- Un Institut avec une **offre de services pour répondre aux besoins des acteurs** du maritime et **accélérer la transition par la réalisation de projets**:
 - Développer une **expertise transverse**
 - Contribuer à la **mise en place de projets** notamment autour d'un **Programme national de transition coordonné, planifié et financé**
 - Favoriser la **collaboration** et la **mutualisation de moyens**
 - Assurer la **publication et dissémination de connaissances**
 - Permettre le **rayonnement et l'influence à l'international**



La décarbonation du maritime,
un enjeu global aux aspects multiples

Un défi historique pour la filière

Une nécessité d'agir rapidement face à des enjeux nombreux et complexes



1 - Environnementaux

- L'urgence climatique impose d'agir : tous les secteurs économiques doivent se décarboner
- Les émissions du maritime représentent 3 à 4% des émissions de GHG aux niveaux mondial, européen et national
- Les organismes internationaux prévoient une augmentation de ces émissions si on ne fait rien
- Le maritime - incluant le secteur portuaire et associant le fluvial - est directement touché par la montée des eaux liée au réchauffement climatique



2 - Règlementaires

- Les objectifs de long et court termes fixés par l'OMI entrent en vigueur dès 2023 (EEDI, EEXI, CII)
- L'Union européenne impose des mesures plus ambitieuses (Fuel EU, ETS, RED) qui visent la neutralité carbone à 2050
- Avec des navires dont la durée de vie est de 25 ans, des durées d'études et de construction de 2 à 3 ans, 2023 est déjà une date critique pour atteindre les objectifs



3 - Economiques

- Sans solution de décarbonation, nécessité de baisser la vitesse des navires et les flux de marchandises transportées et donc l'activité économique mondiale
- Il existe un risque de contribution significative à l'inflation, avec une hausse non maîtrisée des coûts de transport, et une pénurie de navires respectant la réglementation (ex récent de dérèglement)
- La transition est en même temps une opportunité de développement de solutions innovantes, tant numériques qu'industrielles et de services



4 - Energétiques

- Le maritime et le fluvial sont les moyens de transport les plus efficaces à la tonne kilomètre (x20 pour le routier et X100 pour l'aérien), et sont une option incontournable de la sobriété du transport national
- Les besoins énergétiques pour décarboner le maritime sont cependant colossaux, estimés entre 5 et 10 réacteurs nucléaires pour produire les carburants de synthèse pour le maritime national à 2050
- La grande majorité du fuel dédié au transport maritime est soulée à l'international



5 - Souveraineté d'approvisionnement

- Au total, 85% des importations et 80% des exportations de l'UE passent par la mer : une baisse des vitesses ou du trafic amènerait à un ralentissement de l'économie mondiale, européenne et nationale
- La forte dépendance au soutage dans des ports étrangers (à plus de 80% pour les navires de transport) présente le risque pour les acteurs nationaux de ne plus avoir accès aux futures énergies décarbonées, dont les quantités seront limitées et disputées entre filières de mobilité



6 - Financiers

- Le coût de la transition est estimé entre 2500 et 3000 milliards de dollars au niveau mondial, avec un impact sur le prix du transport et indirectement sur l'inflation
- Au niveau national, 75 à 100 milliards d'euros seront nécessaires pour adapter les infrastructures de production et de distribution d'énergie décarbonées, transformer les ports, développer et déployer les technologies sur les navires, etc.
- Il est crucial d'optimiser les financements publics / privés dédiés à la décarbonation

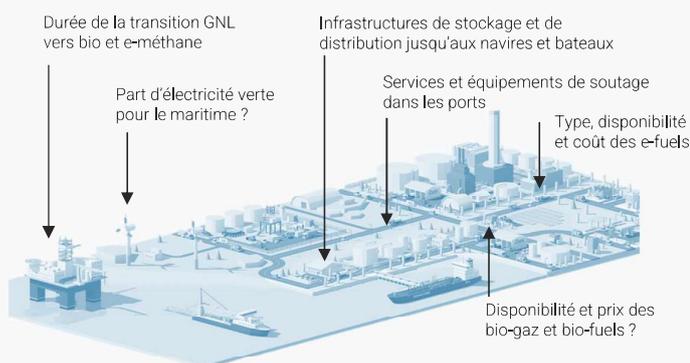
Une transition environnementale très complexe à réaliser

Un challenge inégalé dans l'histoire avec des objectifs à atteindre à court terme et des enjeux économiques importants

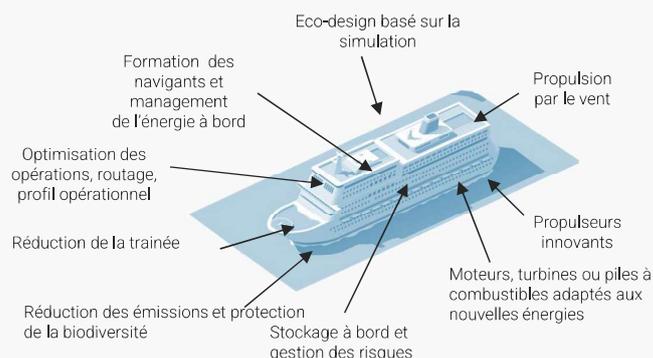
La complexité de la transition énergétique du maritime réside dans le fait que :

1. Elle adresse une large chaîne de valeur interdépendante : armateurs, ports, énergéticiens, chantiers, bureaux d'étude, réglementation, financement, etc.
2. Les solutions de décarbonation présentent toutes des limitations par rapport aux solutions actuelles fortement carbonées ;
3. La majorité des technologies sont sur des niveaux de maturité encore bas, ou à des capacités trop faibles pour les besoins du maritime ;
4. Il est nécessaire de combiner un mix de solutions, qui dépendra des segments de flotte et des profils opérationnels des navires
5. Les besoins en énergies décarbonées sont très importants, avec des compétitions d'usage avec d'autres secteurs industriels ou de mobilité
6. Le coût de la transition est très élevé : construction des navires, développement des briques technologiques, énergie décarbonée et infrastructures portuaires.

1 Principaux enjeux à terre



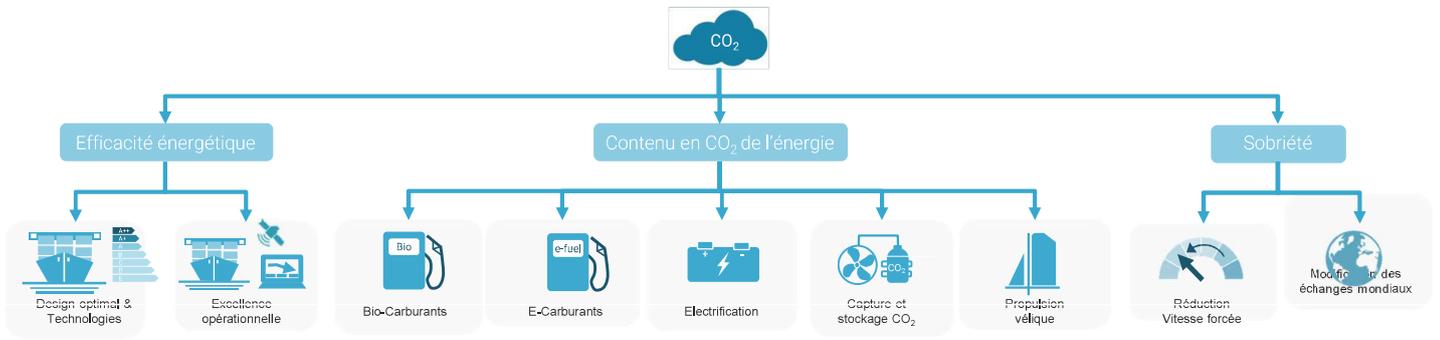
2 Principaux enjeux en mer



Principales solutions de décarbonation avec les verrous à lever

Des solutions identifiées qui restent à développer, tester, quantifier en termes d'impact et à déployer à l'échelle de la flotte

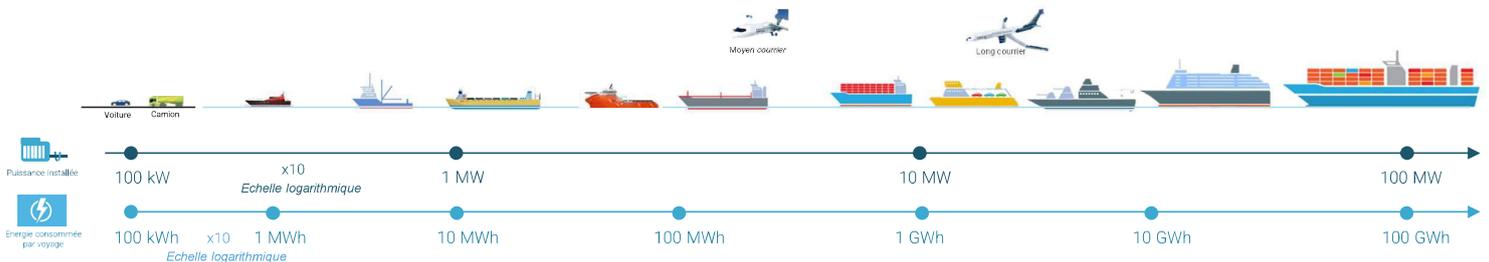
Les principaux leviers de réduction de la consommation des navires et/ou de leurs émissions sont répartis en trois grandes catégories. Baisser les émissions nécessite d'agir sur un ou l'ensemble des leviers qui présentent tous des limitations importantes au regard des solutions carbonées actuelles.



Al-Enazi et al., 2021 Bouman et al., 2017 Issa et al., 2022
 Balcombe et al., 2019 Foretich et al., 2021 Jacquin et al., 2023
 Barreiro et al., 2022 Horvarth et al., 2018 Mallouppas-Yfantis, 2021

Avec des contraintes spécifiques par segment de flotte à décarboner

Une des difficultés de la décarbonation du maritime réside dans la **multitude de segments de flottes**. Les solutions de décarbonation et contraintes technologiques ou opérationnelles ne permettent pas le développement d'une solution unique. L'illustration ci-dessous met en évidence cette diversité, avec **des larges gammes de puissances et d'énergies à embarquer**, avec une comparaison aux autres mobilités qui montre la spécificité du maritime.



Jacquin et al., 2023,

Exemple de types de navires et de solutions envisagées pour réduire leurs émissions

Navires portuaires	Navires de pêche / côtiers	Fluvial	OSV	Navire transport polyvalent	Ferry Zéro émission	Corvette / Frégate	Paquebot	Porte conteneur intercontinental
<p>Concept : Hydrogène gazeux et PAC, batterie</p> <p>Longueur : 5-20 m Puissance : 0,5 à 5 MW Autonomie : 50 nm Date de livraison : 2030 Gains attendus : 0 émission</p>	<p>Concept : Hydrogène gazeux et PAC, batterie</p> <p>Longueur : 5-40 m Puissance : 0,5 à 5 MW Autonomie : 100 nm Date de livraison : 2030 Gains attendus : 0 émission</p>	<p>Concept : Hydrogène liquide et PAC, batterie pour pic shaving</p> <p>Longueur : 60 à 120 m Puissance : 0,5 à 3 MW Autonomie : X nm Date de livraison : 2027 Gains attendus : 0 émission</p>	<p>Concept : Hydrogène liquide et PAC, batterie pour pic shaving</p> <p>Longueur : 80-90 m Puissance : 5-6 MW Autonomie : X nm Date de livraison : 2028 Gains attendus : 0 émission</p>	<p>Concept : E-fuel, optimisation énergétique, assistance vélique</p> <p>Longueur : 120-150 m Puissance : 10 MW Autonomie : 500 nm Date de livraison : 2030 Gains attendus : 0 émission</p>	<p>Concept : ferry hybride bio fuel puis e-fuel, batterie pour pic shaving</p> <p>Longueur : 120-180 m Puissance : 25 MW Autonomie : 300 nm Date de livraison : 2030 Gains attendus : 0 émission</p>	<p>Concept : Navire militaire faible émission électrique, zéro-émission en patrouille, E-fuels, hybride, batterie pour pic shaving</p> <p>Longueur : 130-180 m Puissance : 30 MW Autonomie : 1000 nm Date de livraison : 2030 Gains attendus : 0 émissions en patrouille</p>	<p>Concept : 1^{er} paquebot à propulsion vélique, e-fuel et batterie, aux, hydrogène, efficacité technologique et opérationnelle maximale</p> <p>Longueur : 200-300 m Puissance : 40 MW Autonomie : 200 nm Date de livraison : 2030 Gains attendus : >50% émission</p>	<p>Concept : Navire Bio puis e-fuel, aux, hydrogène, courant à quai, efficacité technologique et opérationnelle maximale</p> <p>Longueur : 300-400 m Puissance : 60 MW Autonomie : 5000 nm Date de livraison : 2030 Gains attendus : >70% émission</p>

Le besoin de données et de modélisations pour faciliter l'aide à la décision

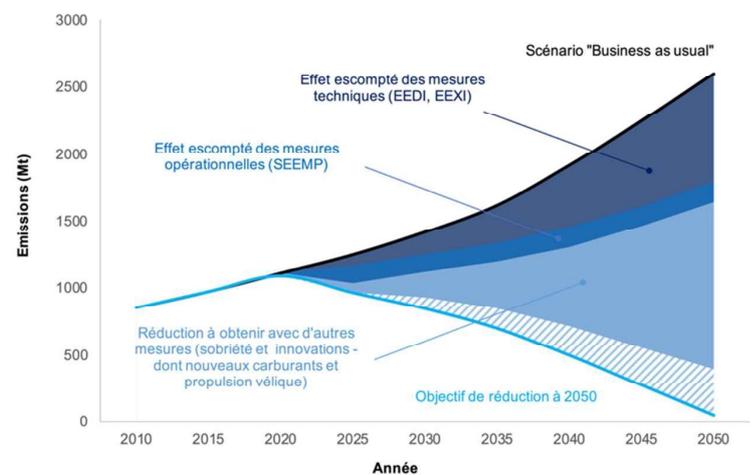
Modéliser la transition éco-énergétique du maritime

Des données et un modèle pour contribuer à la prise de décision, à l'élaboration de stratégies.

De **nombreuses questions** se posent alors aux différents acteurs de la filière.

- Quelles trajectoires de décarbonation (réduction des émissions) peuvent-elles être suivies par le maritime national – au regard des contraintes réglementaires décidées par l'OMI ou l'UE ?
- Dans quelles conditions ces trajectoires sont-elles réalisables (maturité des technologies d'efficacité énergétique, disponibilité des énergies décarbonées, application de mesures de sobriété, etc.) ?
- Quelles sont les contributions des différents leviers de décarbonation à l'atteinte de ces objectifs ?
- Quels seraient les besoins en énergie du maritime qui permettraient de ces trajectoires ? Quels seraient les coûts associés ?

Un **outil de modélisation** permet d'apporter des réponses quantifiées à ce type de questions, en comparant différents scénarios qui explorent une variété d'hypothèses.

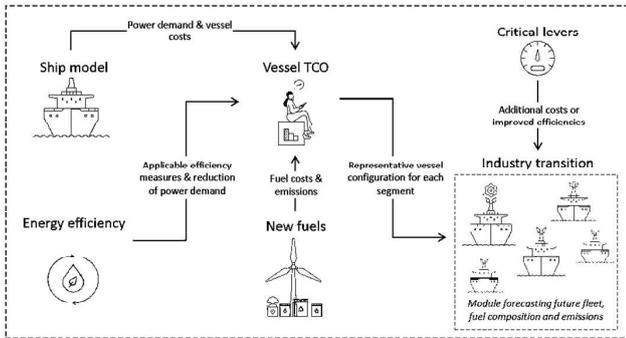


International Renewable Agency, 2022

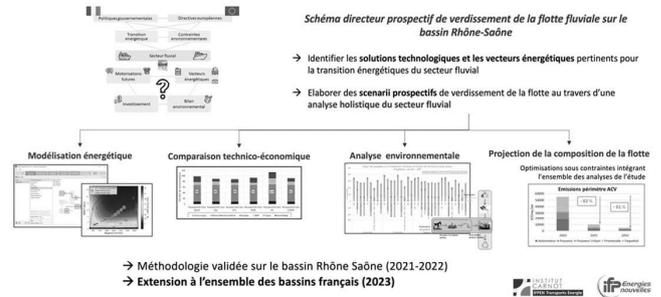
Les autres filières nationales disposent déjà de tels modèles

A l'international, le modèle *NavigaTe* est développé par le Maerks Mac-Kinney Center pour le maritime

Au niveau national, pour les filières du secteur des transports (aérien, automobile, fluvial) ou de l'énergie, développés par exemple par l'IFPEN ou l'ONERA

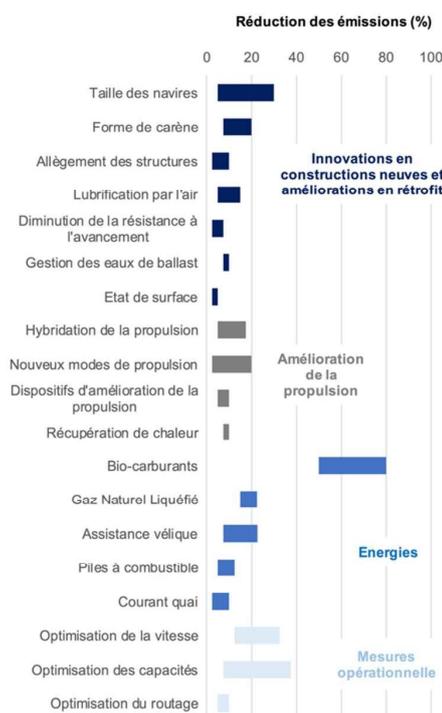


Maersk Mc-Kinney Decarbonation Center, 2021

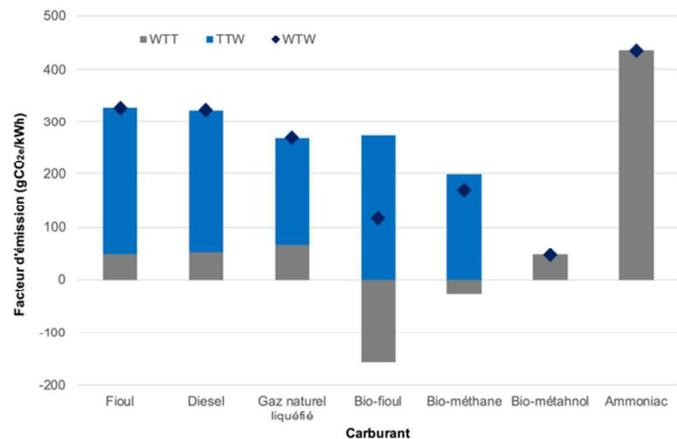


Il est donc pertinent pour la filière maritime nationale de se doter, à l'instar du transport aérien, routier ou fluvial, d'un outil de modélisation : c'est l'objectif du projet CAP 2050, parlé par l'équipe projet MEET 2050.

Consolider des données sur la transition du maritime



Les gains associés aux différents leviers de décarbonation restent encore à consolider : les technologies sont en émergence et les données disponibles en littérature ouverte présentent une grande variabilité – différents facteurs influençant les performances des technologies.



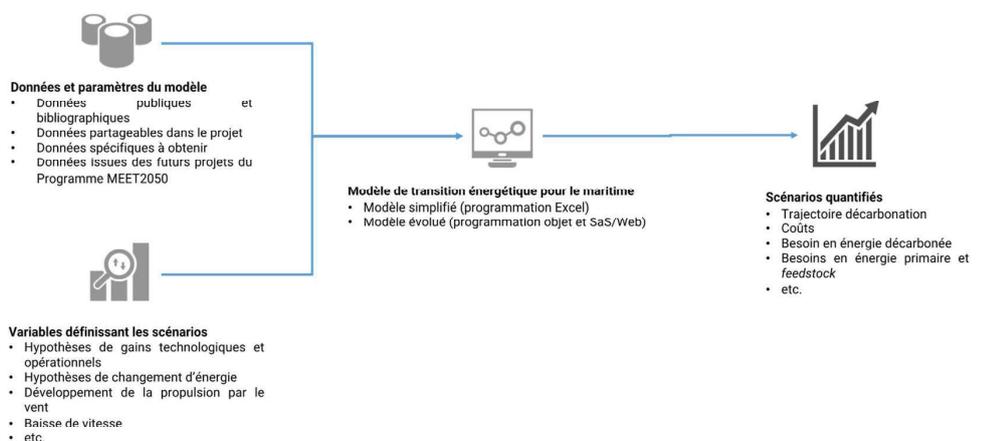
Bouman et al., 2017

Fule EU MARitime

Une première modélisation pour la transition du maritime national : le modèle « global » de CAP 2050

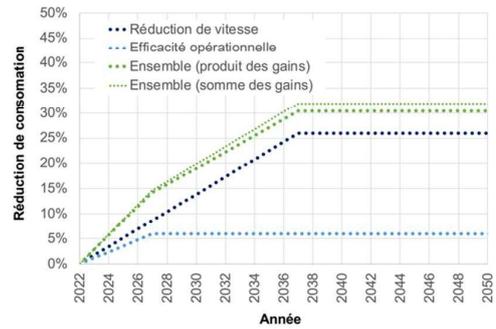
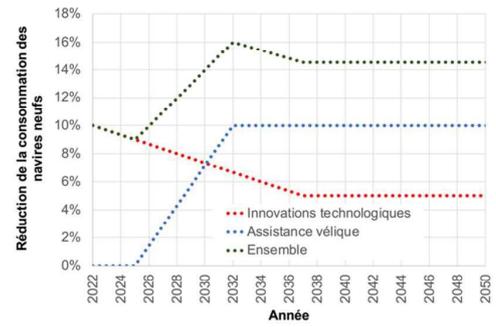
CAP 2050 : un modèle de transition du maritime

- **Partager et fiabiliser des données** liées à la transition énergétique, qu'elles soient techniques, économiques, environnementales, réglementaires
- **Développer un modèle** permettant de quantifier des scénarios et intégrant l'ensemble de ces données (ce modèle sera accessible aux partenaires du projet qui pourront l'utiliser pour leurs besoins propres)
- Définir, quantifier et **comparer des scénarios de transition énergétique** pour le maritime, dans le cadre des travaux de la feuille de route e décarbonation. Du maritime



Modélisation des leviers de transition

- **Modélisation de la flotte de référence** : énergie consommée, nombre de navires, durée d'exploitation, croissance, etc.
- **Modélisations des innovations technologiques** : performance (gains en consommation, en émission) en construction neuves et rétrofit, disponibilité, maturité, adoption, etc.
- **Modélisation des mesures opérationnelles** : fraction de flotte concernée, niveau de réduction de vitesse, date de déploiement, gains en efficacité opérationnelle, etc.
- **Modélisation d'un rétrofit** : date de mise en place, âge des navires concernée, fraction de la flotte visée etc.



Des données validées avec les experts de la filière

- **Données sur les énergies** : facteurs d'émission WTT et TTW, maturité, vitesse de déploiement, rendement de production, etc.
- **Données sur les coûts** : coûts de constructions, (par type de navires) de rétrofit (par type de rétrofit), coûts des innovations (systèmes véliques, système de navigation, etc.), coûts des énergies, coûts de la taxe carbone, etc.
- **Données sur la réglementation** : réduction des émissions et de l'intensité carbone de la flotte (OMI), réduction des émissions (GIECC), réduction du contenu carbone des énergies (EU), etc.

Nombre de navires		Énergie		Émissions	
Nombre de navires flotte initiale	52000	Fuel	80%	CO2	80%
Nombre de navires par type d'énergie		Fuel	2%	CO2	2%
		Hydrogène	0%	CO2	0%
		Méthanol	0%	CO2	0%
Donnée d'exploitation	25 ans				
Consommation de la flotte	3 427 000 GWh				
Consommation de référence	65 GWh				

Facteurs d'émission (base Fuel Oil - OMI GMR)		CO2		Méthanol	
Fuel	236,9	236,9	15,0		
Hydrogène	32,5	175,0	0,0		
Méthanol	254,4	60,0	15,0		

Coût de l'énergie (€/MWh)		CO2		Méthanol	
CO2 de l'énergie (€/MWh)	50,4	50,4	50,4		
Régulation initiale	0%	0%	0%		
Régulation cible	10%	10%	10%		
Quelle période fiscale à appliquer la base	10	10	10		
Donnée en année ... sur la base du scénario actuel	10	10	10		

Valeurs transportées		Taux de réduction	
Consommation de référence	65 GWh	Taux de réduction annuel	2,00%
Consommation de référence	65 GWh	Consommation des volumes transportés	0,01

Type d'énergie pour la propulsion principale des navires		Fuel Oil		Hydrogène		Méthanol	
Nombre d'années avant disponibilité	0	0	0	0	0	0	0
Facteur de réduction en année cible	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Année cible pour l'objectif	2032	2032	2032	2032	2032	2032	2032

Part d'énergie transférée en construction neuves		CO2		Méthanol	
Part d'énergie transférée en construction neuves	30%	30%	30%		
Part d'énergie transférée en construction neuves	0%	0%	0%		
Part d'énergie transférée en construction neuves	0%	0%	0%		
Part d'énergie transférée en construction neuves	10%	10%	10%		
Part d'énergie transférée en construction neuves	100%	100%	100%		