MEET2050 : AGIR ENSEMBLE POUR LA DECARBONATION DU MARITIME – A GLOBAL FLEET MODEL INCORPORATING FUEL VARIABILITY, TECHNOLOGICAL ADOPTION AND CARGO-LOSS COMPENSATION

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

MARITIME
ENERGY AND
ENVIRONMENTAL
TRANSITION 2050



Forum « Mers et Océans 2026 » – ENSTA, January, 13, 2026

MEET2050 : pourquoi et comment agir ensemble pour la décarbonation du maritime ?

MEET2050 : dix ans pour réussir collectivement la décarbonation du maritime

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**

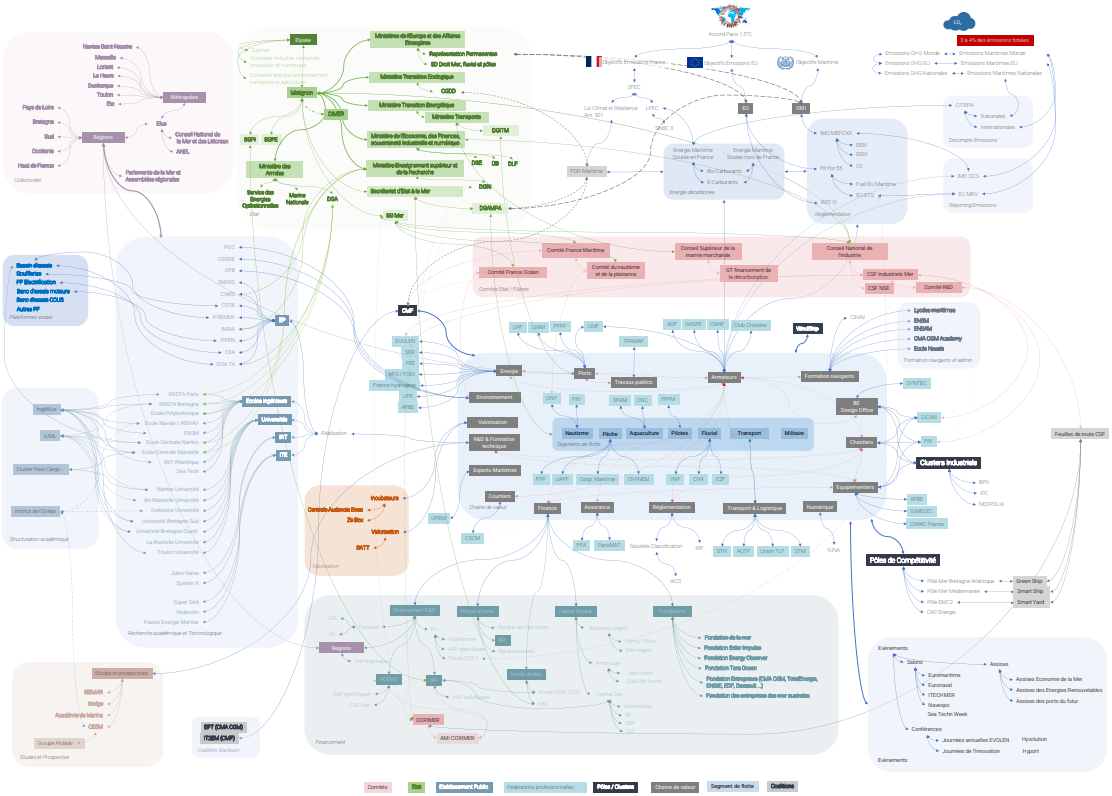
MARITIME ENERGY AND ENVIRONMENTAL TRANSITION 2050

- 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**



Un écosystème national très riche mais difficile à coordonner sur un sujet transverse

Plus d'une centaine de parties prenantes identifiées, hors entreprises, sans qu'il n'existe une instance représentative de l'ensemble des acteurs, disposant de moyens et d'une expertise transverse sur le sujet, pouvant apporter des services opérationnels aux acteurs du maritime pour les aider dans leurs transitions.



Mapping des acteurs (hors entreprises) en lien avec la décarbonation du maritime (travail en cours par MEET2050)

L'identification des acteurs clefs montre, au moins :

- 7 associations interprofessionnelles ou internationales
- 14 associations ou syndicat professionnels
- 21 fédérations professionnelles
- 4 Pôles de compétitivité
- 3 clusters industriels
- 2 Coalitions

- 9 écoles d'ingénieur
- 2 centres d'études économiques / école de commerce
- 11 établissements publics de recherche
- 7 Universités
- 2 IRT et 3 ITE
- 4 groupements académiques

- 10 plateformes d'essais pour l'évaluation de systèmes

- 1 fonds de Business Angels
- 2 fonds d'amorçage sectoriels
- 3 fonds d'investissement capital développement sectoriels
- 3 agences de financements publics
- 5 à 10 fondations (hors fondations d'entreprises)

- 8 Ministères ou secrétariats d'Etat
- 3 Secrétariats généraux rattachés au Premier ministre
- 6 Directions générales

- 5 instances de dialogue Etat / filière

- 5 grandes régions maritimes métropolitaines, sans compter les territoires d'outre-mer
- 10 métropoles maritimes

Typologie des Projets Internes portés par MEET2050

1 – Quatre types de Projets Internes portés par MEET2050

ETUDES TECHNICO-ECONOMIQUES

Visent à clarifier le cadre global de la décarbonation (modèles économiques, cadre juridique, etc.) et analyser les leviers (état des lieux, cartographies, pertinence, REX, conditions de mise en œuvre, etc.).

DONNEES & OUTILS D'AIDE A LA DECISION

Visent à capter et structurer des données et informations pour alimenter les décideurs et développer des outils de modélisation pour définir des trajectoires de décarbonation et comprendre le rôle des leviers.

PLATEFORMES & MOYENS D'ESSAIS

Visent à mettre à disposition des industriels des moyens d'essais pour accélérer la fiabilisation et la mise sur le marché des leviers identifiés et à proposer des outils en soutien à des démarches collectives.

PROJETS STRUCTURANTS

Visent à mettre en place des grands projets structurants avec des financements, pour accompagner le développement de leviers (R&D) et leur déploiement (échelle industrielle et soutien aux commandes), et consolider ainsi les savoir-faire français.

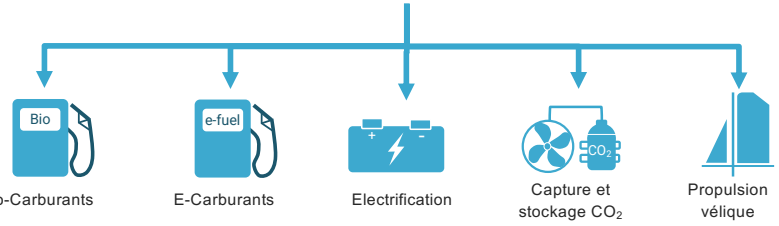
2 - Des projets pour accompagner la levée des freins et verrous sur les différents leviers de transition

$$\text{Emissions de } CO_2 = \frac{\text{Emissions de } CO_2}{\text{Energie consommée}} \times \frac{\text{Energie consommée}}{\text{Unité de transport}} \times \text{Unité de transport}$$

-50 à -100% d'ici 2050

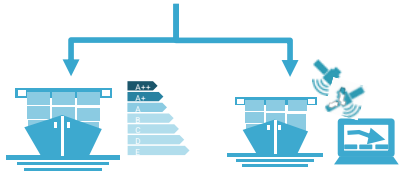


Contenu en CO_2 de l'énergie



Bio-Carburants | E-Carburants | Electrification | Capture et stockage CO_2 | Propulsion vélique

Efficacité énergétique



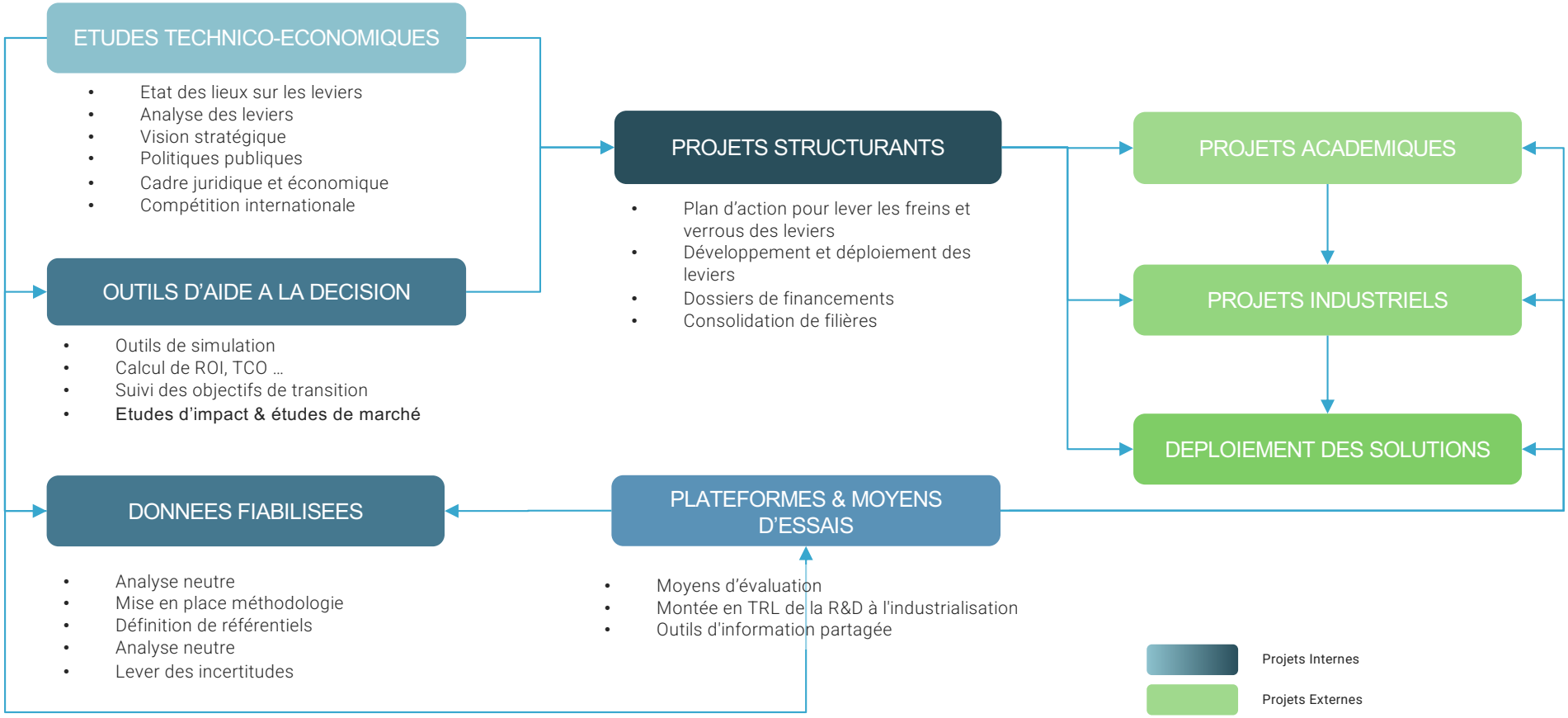
Design optimal & Technologies | Excellence opérationnelle

Sobriété



Réduction Vitesse forcée | Economie nationale/chiffre d'affaires filière

Des « projets internes » pour accompagner la mise en place des projets de transition



Une vision stratégique et des objectifs déjà définis par les parties prenantes

La Feuille de Route de la décarbonation du maritime, portée par l'Etat et les filières a été déclinée en un Plan Stratégique de Décarbonation du Maritime (PSDM) porté par ADF / GICAN / UPF, permettant de définir des objectifs en termes d'emplois, de réduction des besoins énergétiques et d'émissions.

Feuille de Route



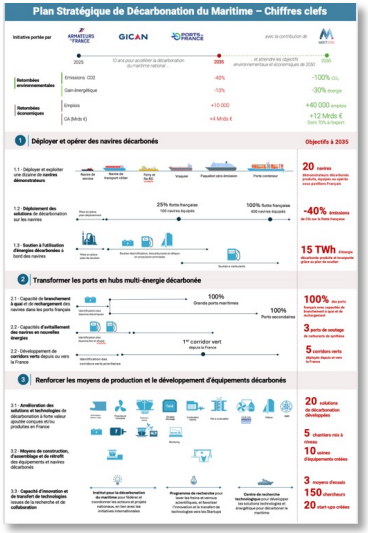
Vision stratégique portée par l'Etat et les industriels (2023-2024)

Plan Stratégique de Décarbonation du Maritime



Déclinaison opérationnelle de la feuille de route (2025)

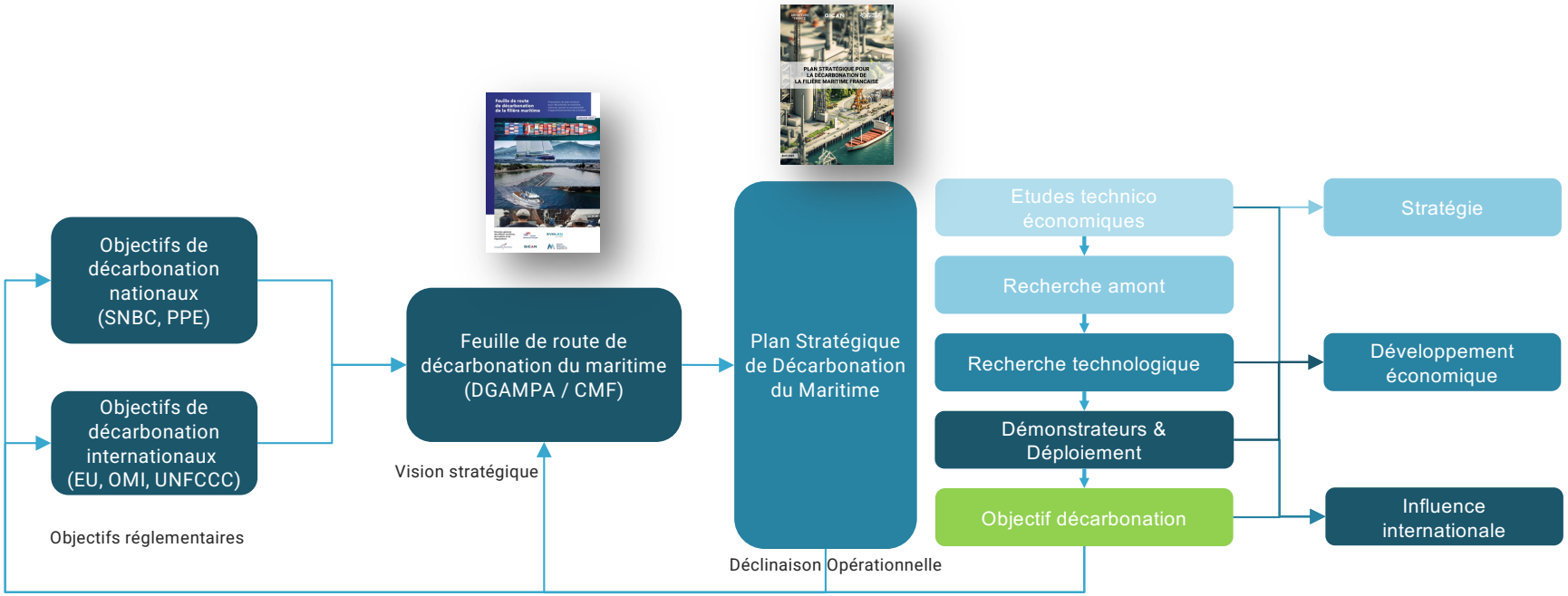
Objectifs et retombées



Objectifs économiques, énergétiques et environnementaux

De la « Feuille de route » au « Plan stratégique »

L'Institut MEET2050 s'inscrit dans la continuité des travaux réalisés ces dernières années pour définir les feuilles de route, regrouper des industriels autours de la transition environnementale et favoriser son financement (coalitions T2EM et EFT, CSF Industriels de la Mer, CORIMER, Instituts universitaires, groupements académiques, etc.). La Feuille de route de décarbonation du maritime national, coprésidée par le DGAMPA et le Cluster Maritime Français, synthétise l'ensemble de ces éléments et permet de quantifier les besoins énergétiques et financiers. Le Programme "Navires et Ports Zéro Emissions » doit être une déclinaison opérationnelle de cette feuille de route, constitué de projets structurants sur les principaux leviers de décarbonation.



Premiers « projets internes » portés par MEET2050

Etudes technico-économiques

- H2 as fuel – Place de l'hydrogène comme carburant marin
- Electrification des bateaux et navires, enjeux portuaires associés
- Rôle du maritime et impact de sa transition sur l'économie nationale, européenne et mondiale
- Méthode et identification de corridors verts en lien avec la France
- Place des Small Modular Reactors dans le maritime

Préparation de projets structurants sur les principaux leviers de décarbonation

- Rédaction du Programme national Navires et Ports Zéro Emission
- Projet VENFFRAIS – Propulsion par le vent
- Biocarburants durables par voie thermochimique

Données et outils d'aide à la décision

- CAP2050: trajectoires et scénarios de décarbonation
- Impact environnemental de la construction et déconstruction
- Impact environnemental navires à quai et en opération (hors CO_2)
- Clarification des émissions gCO2 et MJ / t.km et Passagers : maritime vs autres mobilités

Plateforme d'évaluation des différentes solutions de décarbonation

- Banc d'essais moteurs marins
- Navire d'essais des solutions de décarbonation
- Plateforme de formation

Contribution au projet VENFFRAIS – Propulsion par le vent

Contexte: Le Projet VENFFRAIS a pour objectif de favoriser le développement d'une filière française leader sur la propulsion par le vent par la mise en place d'actions sur les principaux freins et verrous auxquels font face les différents acteurs de la chaîne de valeur concernée. MEET2050 contribue depuis le début du projet, directement ou indirectement, à la mise en place de ce projet porté avec Windship et l'IRT Jules Vernes.

Objectifs : Mettre en place un projet structurant permettant l'accélération des développements et le déploiement des solutions de propulsion par le vent. Assurer un accompagnement des projets sur la phase R&D, démonstrateurs et permettre le soutien aux premières commandes pour initier un déploiement des solutions et une baisse des coûts de production. Faire émerger des équipementiers français leaders à l'international et assurer le développement d'usines de production sur les territoires.

Montage du projet :
- IRT Jules Verne, Windship et Equipe MEET2050
- Etude de faisabilité IRT / SGPI pour favoriser la mise en place d'un projet de qualité
- Une trentaine de partenaires industriels, ETI, PME, laboratoires
- Collectivités

Livrables principaux :
- Outil d'analyse de performance propulsion vélique de référence
- Prototypes et Démonstrateurs de plusieurs systèmes
- Structuration d'une filière

Budget étude : Etude faisabilité : 200 k€

Budget projet :
- R&D : 20 M€
- Démonstrateurs : 60 M€
- Soutien premières commandes : 50 M€

Financement privé et public : 50% public / 50% privé

Durée : 3 à 5 ans

Apport de l'Equipe projet MEET2050

MARITIME ENERGY AND ENVIRONMENTAL TRANSITION 2050

- Intégration du projet dans la première version du Programme N&PZE
- Présentation du Programme et de l'opportunité de ce projet au SGPI (mai 2022). Soutient à la démarche de prendre ce projet comme modèle (projet Premium)
- Mise en place avec Windship de trois réunions avec l'ensemble des acteurs de la chaine de valeur pour identifier les freins, verrous et opportunités
- Contribution à la rédaction de la présentation du projet avec Windship
- Présentation du projet pour une pré labélisation au Pôle Mer Bretagne Atlantique
- Présentation préliminaire au CORIMER dans le cadre de MEET2050 et du Programme
- Participation aux réunions avec le SGPI, Winship et l'IRT Jules Verves
- Rédaction de l'état des lieux et du Call for Action de l'étude de faisabilité, préalable au financement par le SGPI ou la BPI.
- Calcul des gains d'énergie au niveau national grâce au vélique avec l'outil de modélisation CAP2050 développé par MEET2050





H_2 as Fuel – Place de l'hydrogène comme carburant marin

Contexte :
L'utilisation de l'hydrogène (H2) dans la propulsion des navires offre une solution potentielle pour réduire les émissions de CO_2, améliorer l'efficacité énergétique et répondre aux objectifs de transition énergétique du secteur maritime. Mais son déploiement se heurte à plusieurs difficultés et de nombreuses questions restent en suspens : pour quels navires? Pour quelles puissances? Quelle autonomie? Pour quels OPEX et CAPEX? Quelle réglementation applicable? Quels risques? Quels besoins en infrastructure et possibilités de mutualisation avec le routier? …
Il est indispensable d'apporter une vision claire sur ces questions afin de permettre le développement des projets et acteurs de la filière.

Objectifs :
- Identifier les avantages et les défis de l'utilisation de l'H2 dans le transport maritime
- Évaluer la faisabilité technologique de l'intégration de l'H2 sur les navires
- Analyser les implications économiques de la transition vers l'H2 dans le secteur maritime

Consortium – Co-pilotage Equipe MEET2050 - Partenaires en cours de positionnement
- France Hydrogène
- Armateurs
- Centres de recherche
- Energie: producteurs et opérateurs de réseau
- Industrie navale: BE, chantiers et équipementiers
- Ports
- Acteurs de la normalisation et de la règlementation

Livrables principaux :
- Livre blanc sur le rôle de l'H2 en utilisation directe pour le maritime et le fluvial
- Pré-étude permettant de justifier le besoin d'accompagnement des acteurs sur le développement de l'H2 comme carburant marin
- Plan de travail d'un projet structurant d'accompagnement de la filière

Budget projet : 600 k€

Durée : 12 mois

Plan de travail préliminaire (à consolider avec les partenaires du projet):

WP1 – Revue de la littérature
A. État de l'art académique
B. Etat de l'art industriel : projets maritime H2
C. Comparatifs des technologies : stockage à terre & soutage, conversion (H2FC/ICE)
D. Retours d'expérience et leçons apprises

WP2 – Analyse technologique pour identifier les segments de flotte adaptés à l'H2
A. Types de navires concernés (Pêche, nautisme, passagers, servitudes, marchandises …)
B. Modélisation simplifiée à partir des spécifications des navires basée sur les limites physiques (besoin H2 vs temps entre 2 soutages)
C. Identification de l'évolution TRL des technologies H2 : calendrier d'entrée en service
D. Potentiel de réduction des émissions de gaz à effet de serre (H2 vert, gris, etc.)

WP3 – Analyse économique
A. Acteurs FR et positionnement international et perspectives de marché
B. Investissements nécessaires de la production à l'utilisation (CAPEX)
C. Coûts opérationnels comparatifs entre les carburants traditionnels et l'H2 vert (OPEX)
D. Incitations gouvernementales et politiques de soutien pour le maritime comparé aux autres mobilités

WP4 – Analyse réglementaire
A. Etat de l'art de la réglementation actuelle et à venir sur H2 dans différents secteurs
B. HAZID de cas d'usage : identification des risques liés à la sécurité et des mitigations

WP5 – Analyse opérationnelle
A. Modifications opérationnelles dues à l'utilisation de l'H2 (e.g. temps de soutage)
B. Besoin de formation des opérateurs

WP6 – Projet structurant pour le déploiement de l'H2 dans le maritime
A. Identification du contenu du projet
B. Chiffrage

Electrification des navires et bateaux; enjeux portuaires associés

Contexte :
L'électrification est un axe prioritaire de réduction des émissions pour le maritime, la plaisance et le fluvial. Quels segments de flotte sont les mieux adaptés ? Quels sont les besoins en électricité à fournir au niveau des ports qui font face aussi bien aux besoins pour le courant quai que pour les recharges de bateaux et navires dès à présent et plus encore demain ? Quelles sont les technologies à développer, tester et valider sur les différents segments, entre la propulsion et les usages à bord? Face à la compétition internationale, consolider une offre française est stratégique.

Objectifs :

1. Identifier le rôle et le potentiel de l'électrique pour décarboner les bateaux et navires
2. Caractériser les besoins technologiques et énergétiques avec les infras et services portuaires associés
3. Présenter un plan de développement de l'électrique pour la décarbonation du transport fluvial et maritime et consolider la filière électrique française
4. Proposer un projet structurant pour accompagner le développement des technologies, de la réglementation et le déploiement des solutions

Consortium – Copilotage MEET2050 -'AFBE / Autres partenaires en cours de positionnement

- Armateurs: fluvial et maritime en incluant la plaisance
- Centres de recherche
- Collectivités
- Energie: producteurs et opérateurs de réseau
- Industrie navale: BE, chantiers et équipementiers
- Ports
- Services (en particulier certification, assurance)

Livrables principaux :

- Etat des lieux sur l'électrification des bateaux et navires et des enjeux associés
- Plan de développement de la filière française
- Mise en place d'un grand programme structurant couvrant l'ensemble des TRL

Budget projet : 300 k€ (200k€ privés et 100k€ publics)

Durée : 12 mois

Plan de travail préliminaire (à consolider avec les partenaires du projet):

WP1 – Etat des lieux / Partie navires et bateaux

A. Cartographie des bateaux et navires en opération / en commande: par segments de flotte avec exemples de bateaux et navires étrangers en fonctionnement
B. Cartographie des besoins en énergie des bateaux et navires (opération et à quai): analyse par segments de flotte principaux (en lien avec données CAP2050)

WP1bis – Etat des lieux / Partie ports et énergies

A. Cartographie des installations actuelles et projetées en courant quai
B. Cartographie des installations actuelles et projetées des infras de recharge
C. Recensement des besoins des armateurs et analyse du rex courant quai/recharge
D. Analyse des besoins énergétiques et infras associées vus par les énergéticiens

WP2 – Analyse technologique

A. Cartographie des technologies clés d'électrification (propulsion, EMS, usages à bord, …) avec les atouts des acteurs FR et les principaux concurrents étrangers
B. Mise en avant des spécificités fluviales et maritimes des technologies électriques
C. Recensement des verrous technologiques: architectures, intégration à bord, niveaux de puissance, etc.
D. Analyse de retours d'expérience emblématiques positifs/négatifs
E. Analyse croisée des technologies par niveaux de puissance et besoins en consos: par segments de flotte et à une échelle de temps 5/10 ans

WP3 – Analyse du contexte

A. Analyse règlementaire avec propositions d'évolutions/adaptations
B. Analyse des risques en termes de sécurité
C. Analyse économique de l'électrification des navires + infras portuaires et énergétiques associées

WP5 – Proposition d'un projet structurant

A. Synthèse globale du travail avec proposition d'actions
B. Identification des technologies à développer / besoins en plateforme de tests, et projets prioritaires par segment de flotte (démonstrateurs / soutien aux commandes)
C. Montage du grand programme structurant « électrification »

CAP2050 – Trajectoires et scénarios de décarbonation

Contexte : La transition énergétique maritime est entravée par des lacunes en données partagées. Les acteurs manquent d'outils crédibles. La feuille de route (DGAMPA / CMF) nécessite des données solides. Les scénarios actuels négligent les limites énergétiques et les besoins émergents. Le projet vise à identifier ces éléments clés pour guider efficacement la transition énergétique du secteur.

Objectifs :

1.**Fiabiliser et partager les données** liées à la transition énergétique : techniques, économiques, financières, environnementales, énergétiques, règlementaires.

2.**Développer un modèle de scénarios et trajectoires** accessible aux partenaires permettant de quantifier des scénarios et intégrant l'ensemble de ces données ;

3.**Définir, quantifier et comparer des solutions et scénarios** de transition énergétique pour le maritime et fluvial à différentes échelles (flottes aux niveaux FR, UE et international) ;

4.**Assurer une communication des résultats** du projet auprès de l'ensemble de la filière, des pouvoirs publics et à l'international.

Consortium

- Pilotage Equipe MEET2050
- Une vingtaine d'acteur industriels contributeurs au financement du projet: armateurs, BE, chantiers, énergéticiens, ports, services et acteurs publics
- Académiques/centres d'expertise : École Centrale de Nantes, Carbone4, CEA, IFPEN, IRT System-X, ISEMAR

Livrables principaux

- Logiciel de modélisation de trajectoires et de transitions accessible aux partenaires
- Base des données fiabilisée associées à la transition énergétique maritime,
- Documents d'analyse de scénarios et publications diverses

Budget projet : mini 750 k€, idéalement 1.5 M€

Financements : 400 k€ privé sécurisé et 350 k€ public, attente nouveaux partenaires

Durée : 18-24 mois

Plan de travail :

WP1 – Définition des cas d'usage et spécifications

L'objectif de ce WP est de définir les cas d'usage du modèle CAP 2050 et d'établir sa spécification fonctionnelle. Il permettra de définir précisément les livrables attendus par les partenaires et d'orienter les travaux des autres WP.

WP2 – Fiabilisation des données liés à la transition

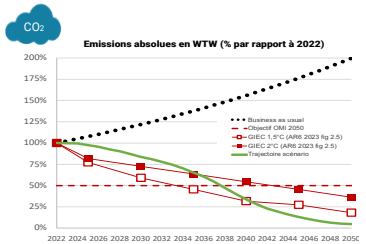
L'objectif de ce WP est de rassembler et fiabiliser les données de transition du maritime nécessaires à l'alimentation du modèle.

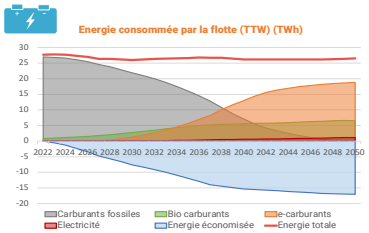
WP3 et 4 – Développement des modèles (WP3) et du logiciel CAP 2050 (WP4)

L'objectif de ces WP est de développer un logiciel basé sur plusieurs modèles élémentaires permettant de représenter les différentes composantes à prendre en compte pour obtenir des scénarios crédibles de transition. Il permettra de surpasser les limites de l'outil Excel disponible actuellement.

WP5 – Réalisation de scénarios, communication et dissémination

L'objectif de ce WP est d'utiliser les développements et données des WP précédents pour réaliser des scénarios et trajectoires.





Biocarburants durables par voie thermochimique

Contexte
Participer au développement de nouvelles chaines de valeur intégrées pour la production, à l'échelle nationale, de carburants durables destinés au secteur maritime et en synergie avec le secteur aérien, en valorisant des déchets et/ou des ressources biogéniques.

Objectifs :
1. Contribuer à une intégration entre les différents acteurs (amont / aval)
2. Faire émerger les meilleures adéquations entre les charges / les procédés de conversion thermochimiques / les produits visés selon une approche multicritères (performances technico-économiques, ACV, risques HSE, cadre réglementaire ..)
3. Identifier les conditions nécessaires au déploiement industriel de ces filières (notamment enjeux / validation R&D avec pilote, unité de démonstration..., industrialisation, gestion des risques)

Consortium
- Co-portage Total Energies et Equipe MEET2050
- Partenaires attendus: Acteurs académiques et scientifiques, armateurs, chantiers, énergéticiens (productions et services), équipementiers, ports, sociétés de classification

Livrables principaux de la première phase:
- Phase 1: qualification des filières les plus pertinentes sur base d'études & tests
- Phase 2: déploiement des solutions

Budget étude faisabilité : à définir en fonction de la prise en charge des tests.

Durée : 12 mois

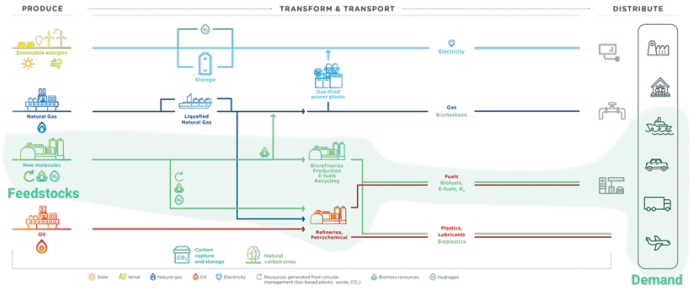
Plan de travail préliminaire (à consolider avec les partenaires du projet):

WP1 – Etat de marché et analyse de la demande
A. Analyse du potentiel de la demande
B. Etude des acteurs potentiels

WP2 – Analyse de l'offre et des capacités de production
A – Identification des fournisseurs potentiels
B – Analyse de la viabilité économique

WP3 – Aspects réglementaire et environnementaux
A. Cadre réglementaire et normatif
B. Impact environnemental

WP4 – Stratégie de développement
A. Etablissement de partenariats et de collaboration
B. Stratégie de transition et de déploiement



Une offre intégrée répondant aux enjeux de connaissance, d'innovation technologique, de développement industriel, de formation et d'influence

Face aux défis technologiques, économiques et environnementaux de la décarbonation du maritime, les acteurs académiques, centres de recherche et instituts français se sont fédérés pour proposer une offre de service complète, structurée et ambitieuse. Elle vise à transformer la recherche française en puissance industrielle et d'influence, en dotant la France d'outils, de moyens et de compétences souverains.



AXE 1 : Analyser, anticiper et décider

Objectif : Donner aux industriels et pouvoir publics une vision claire, fiable et neutre leur permettant de comprendre, d'anticiper et de décider.

Contenu :

1.1 Développer d'une **suite d'outils d'aide à la décision** au service des entreprises et pouvoirs publics

1.2 **Réaliser des études technico-économiques indépendantes** et produire de rapports, feuilles de route, analyses et propositions réglementaires, etc.

1.3 Constituer une **base de données nationale fiabilisée** sur la décarbonation

Livrables clés :

- *1 base nationale de données fiabilisées et accessibles*
- *6 outils souverains d'aide à la décision*
- *10+ Études technico-économiques indépendantes*
- *5+ analyses et benchmark internationaux*
- *1 Rapport annuel sur les avancées*
- *Mise à jour des feuilles de route nationales*



AXE 2 : Rechercher, expérimenter et industrialiser

Objectif : Définir et mettre en place un programme de recherche, d'innovation et de transfert de technologie vers l'industrie et la création d'activités économiques

Contenu :

2.1 Définir et mettre en place **un programme de recherche mutualisé**

2.2 Identifier et déployer les **moyens d'essais nécessaires pour faire monter en TRL** les solutions vers leur industrialisation

2.3 **Mise en place de projets structurants & accélération du transfert vers l'industrie**

Livrables clés :

- *1 programme national de recherche & innovation*
- *30+ thèses & 20+ brevets et licences logiciel*
- *5+ moyens d'essais mutualisés (dont 1 navire test)*
- *5+ projets industriels structurants*
- *10+ Startups deeptech créées et passées à l'échelle*
- *30% financements couverts par fonds EU*



AXE 3 : Former, diffuser et influencer

Objectif : Former les ingénieurs, marins et décideurs sur la décarbonation, diffuser les connaissances et influencer en France et à l'international.

Contenu :

3.1 Définir et mettre en place un **programme national de formation**

3.2 **Diffuser** largement **les résultats de la recherche et les connaissances**

3.3 Renforcer les c**ollaborations et l'influence à l'international**

Livrables clés :

- *1 GPEC avec 1 programme national*
- *1 plateforme de partage de connaissance*
- *1 bulletin de veille transverse*
- *10+ publications internationales / an*
- *5+ événements techniques de haut niveau*
- *3 partenariats avec centres étrangers*

Des thèmes de recherche variés qui illustrent la multiplicité des compétences nationales mobilisables

Ingénierie, conception et matériaux, énergie

Ingénierie et conception maritime permettant de développer les méthodes de conception (CAO, PLM, …) basées sur la simulation et les données (navires, équipements …)

Matériaux composites idéalement biosourcés pour la fabrication des systèmes de propulsion vélique, les réservoirs de stockage et autres systèmes de réduction d'énergie, collage multi-structures, etc.

Vibro-acoustique et Hydroacoustique : évaluation de la performance au stade du design, réduction de bruits et vibrations sous-marins

Chimie et procédés pour le développement d'unités de production d'énergie décarbonée pour le maritime, de moyens de transport et de stockage

Mécanique des fluides hydrodynamique et aérodynamique: simulation numérique des performances navire sur houle, de systèmes de propulsion véliques en interaction; sloshing, dispersion de gaz, traînée / portance hydro-aérodynamique

Structure et couplages fluide/structure permettant la simulation de systèmes complexes : mats composites, jonctions métallique / composite, cuves de stockage de carburant en sloshing, biomécanique, impact de houle, etc.

Systèmes énergétiques multi-échelles: flotte, port et de son intégration au réseau, du navire en construction / opération / démantèlement (quasi-statique), des sous-systèmes et composants du navire (dynamique)

Bio-mimétisme
Propulsion biomécanique, formes adaptatives, réduction de frottement, cinématiques complexes et déformation

Réseau électrique navire et systèmes énergétiques muti-échelle avec l'électrification des navires, courant DC forte puissance à bord, optimisation du réseau, Energy Management System, au niveau navire et ports …

Etat de surfaces immergées : modèles de développement de salissures de coque et impact sur la trainée, remplacement des antifoulings, microrugosité et réduction de traînée, modèles de corrosion, solutions de suivi en service (drones autonomes), etc.

Données et modèles

Collecte de données spécifiques au navire en mer : capteurs embarqués, smart structure, mesures, transmission, stockage de données multi sources, etc.

Modèles de performance énergétique du navire basés sur des techniques d'apprentissage à partir de modèles physiques, des données et des résultats de simulations.

Analyse des données (1000 capteurs par navire, ms à minute en fonction des grandeurs mesurées), données partielles, etc.

Réduction de modèles intégrant les incertitudes permettant de limiter les plans d'expérience, de rendre efficient les algorithmes d'optimisation et l'utilisation « temps réel »

Modèles de prévisions de l'environnement autour du navire (houle, vent, courant), salissures de coques, modèles de défaillances d'équipements, etc.

Algorithmes et Optimisation

Recherche Opérationnelle pour l'optimisation des routes maritimes, réduction des temps d'escale, routage environnemental, etc.

Optimisation multi-objectifs de systèmes : profils opérationnels, formes de carène / appendices / propulseurs, systèmes énergétiques, etc.

Automatisme et contrôle pour l'optimisation du pilotage du navires et de ses équipements en dynamique afin de réduire les besoins énergétiques (injection, propulsion vélique, …)

Des thèmes de recherche variés avec des compétences nationales

Sciences humaines & sociales



Facteurs humains & ergonomie, permettant l'étude des interactions humain–systèmes (H_2, batteries, automatisation, propulsion vélique). Optimisation de la sécurité, de la charge cognitive, de l'ergonomie des postes, des procédures.



Gouvernance, dynamiques territoriales & politiques maritimes
Étude des modèles de gouvernance portuaire et maritime, rôle des collectivités, stratégies régionales.
Transformation des chaînes de valeur et effets socio-économiques sur les territoires.



Sociologie des organisations et des métiers, incluant l'analyse des impacts de la transition sur les pratiques professionnelles, compétences, identités de métiers, attractivité. Accompagnement des transformations dans les entreprises maritimes.



Anthropologie du risque & sécurité, portant sur l'analyse des représentations du risque, de la confiance dans la technologie, des facteurs sociaux dans les incidents.



Acceptabilité sociale & transitions comportementales, compréhension des freins et motivations à l'adoption de nouvelles technologies. Études d'acceptabilité du nucléaire maritime, des carburants alternatifs, de l'automatisation

Economie, droit et gouvernance



Économie maritime & modèles de transition Analyse des modèles économiques des carburants alternatifs, propulsion vélique, électrification, efficacité énergétique.
Évaluation TCO, ROI, chaînes de valeur, compétitivité et souveraineté.



Régulation internationale & droit maritime
Études des cadres OMI, UE, EMSA, normes environnementales, règles de sécurité, certification. Analyse des impacts du CII, ETS, FuelEU Maritime, réglementations H_2.



Fiscalité, financement & mécanismes de soutien Analyse des incitations financières, aides publiques, ETS, fonds européens, modèles d'assurance pour technologies nouvelles.
Structuration des modèles économiques des démonstrateurs et corridors verts.

Economie, droit et gouvernance



Impacts environnementaux des navires et du changement climatique sur les navires et ports. Évaluation des émissions atmosphériques (NOx, SOx, PM, BC), bruit sous-marin, rejets liquides, antifoulings. Analyse des impacts des nouvelles énergies (H_2, e-fuels, batteries). Évolution des houles, vents, courants, risques climatiques, nouvelles routes. Impacts sur la sécurité, la navigabilité et les infrastructures portuaires.



Modélisation écosystémique & biodiversité
Étude des interactions navires–écosystèmes : mammifères marins, habitats benthiques, migration des espèces.
Modélisation des impacts des routes, vitesses, infrastructures.



Analyse cycle de vie & empreinte environnementale
ACV des navires, carburants, batteries, matériaux composites.
Analyse des externalités environnementales et sociales.

A Global Fleet Model Incorporating Fuel Variability, Technological Adoption and Cargo-Loss Compensation

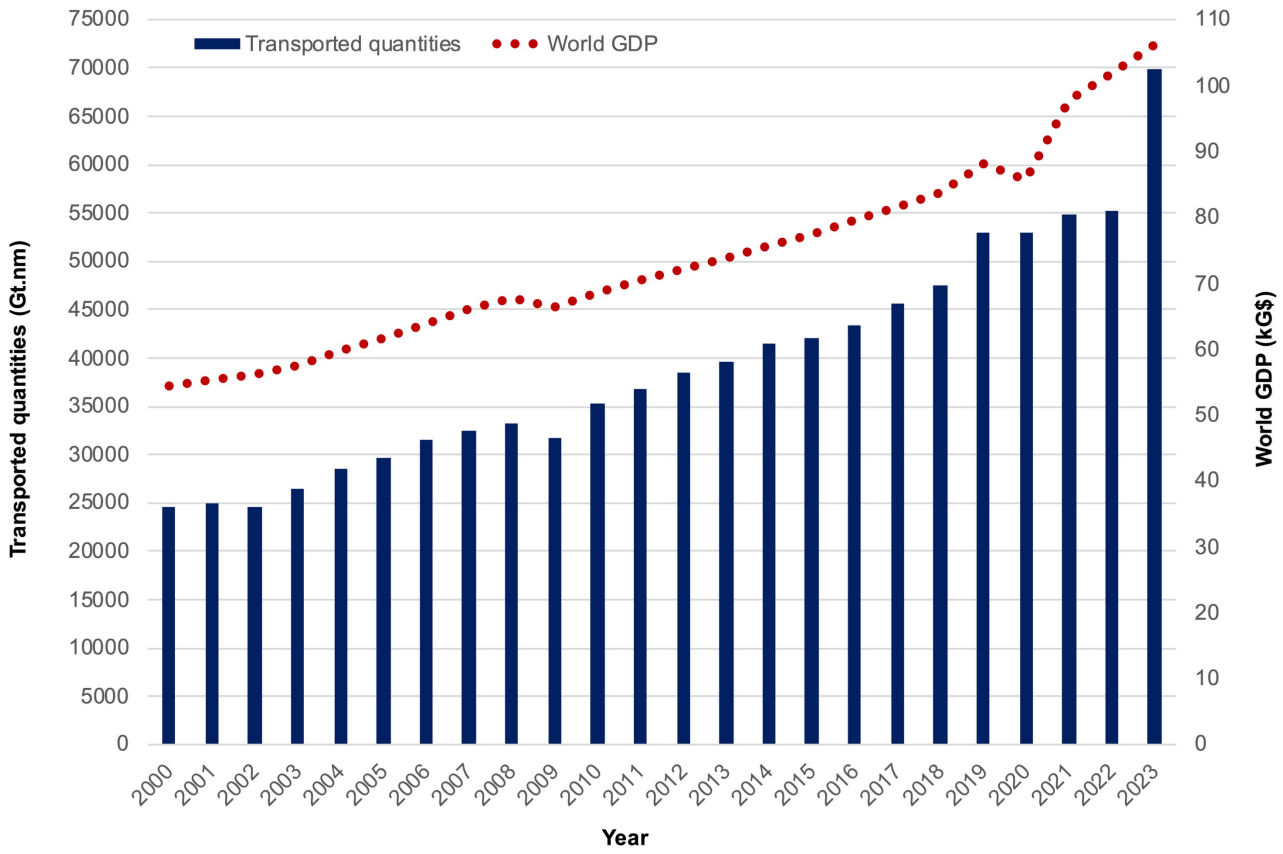
Context – *Economical and ecological impact of maritime transport*

Maritime transport is the backbone of our economy

- Maritime transport : **90% of global trade volumes**
- **3–4% of global GHG emissions**
- Expected growth of maritime transport: **+25% to +250% by 2050**
- **Risk of absolute emission increase** without structural change

Regulatory pressure

- **IMO GHG Strategy (2023–2024):** *net-zero WTW emissions by 2050 with intermediate goals: −20% (−30%) by 2030 and −70% (−80%) by 2040 (vs 2008)*
- **FuelEU Maritime (EU)**: WTW-based carbon intensity constraint
- Key shift: **TTW → WTW**



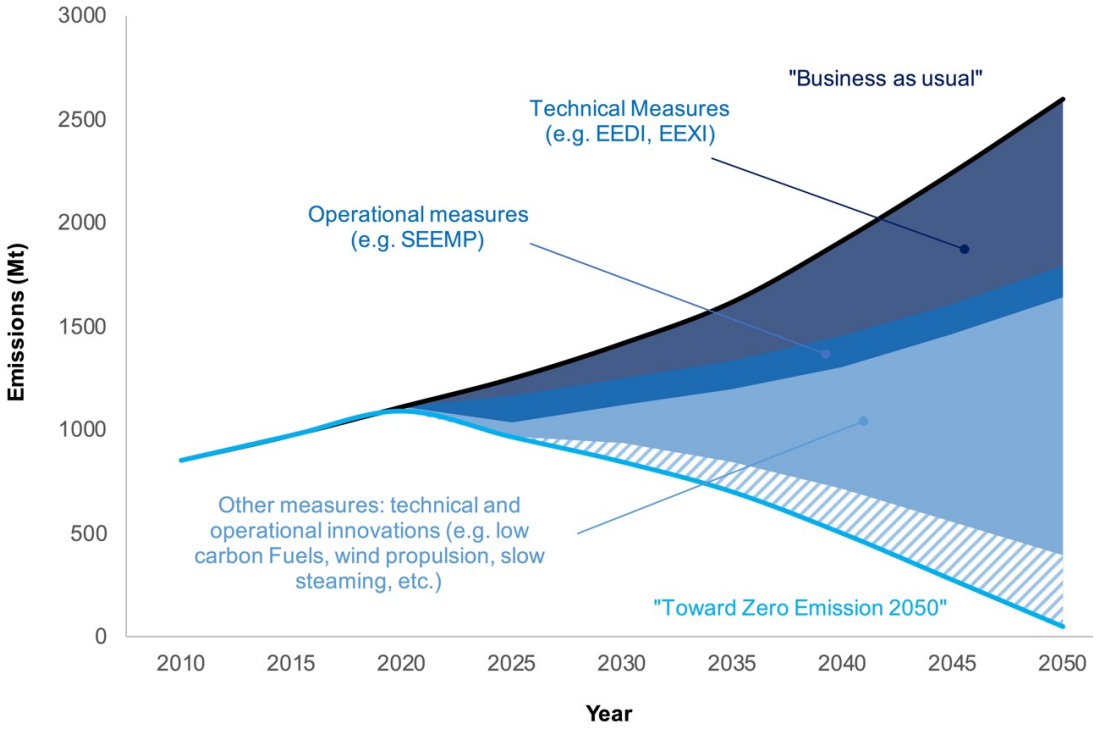
Context – *Modelling maritime decarbonisation*

Maritime, a "hard-to-abate" sector

- **High diversity** of fleet segments, ship types, and operational profiles
- **Numerous technological options**, but uncertain maturity, performance, and costs
- **Strong operational constraints**: regulatory, economic, and technical – sometimes conflicting

A need for modelling tools geared toward stakeholders (States, shipowners, shipyards, solution developers, researchers, etc.)

- **Anticipate the impact of regulations** at short-, mid-, and long-term horizons
- **Support evidence-based public policies** with robust data
- **Assess the feasibility and conditions** for meeting GHG reduction targets
- **Guide investment decisions** towards optimal cost-performance trade-offs
- **Plan the needs** for energy, capital, technology, and skills for the transition



Context – *Challenges and objectives in modelling maritime decarbosation*

Scientific challenges

- **Multiple decarbonisation levers**: energy efficiency, alternative fuels, operational measures, sufficiency
- **High uncertainty**: WTT emission factors, technology deployment rates
- **Limitations of existing models**: limited combination of levers, few stochastic treatment, modelling of capacity loss

Objectives of the study

- Develop **a global fleet-scale model**
- Integrate **all major decarbonisation levers**
- Quantify **deterministic and stochastic trajectories**
- Analyse **a reference scenario**
- Perform **a sensitivity analysis to key assumptions**
- Provide **a decision-support tool**

Overview of the CAP2050 model

- **Bottom-up**, fleet-scale model
- Time horizon: **2025–2050**
- Fleet segments: **bulkers, tankers, containers, others**
- Approaches: **deterministic/stochastic, forecasting**



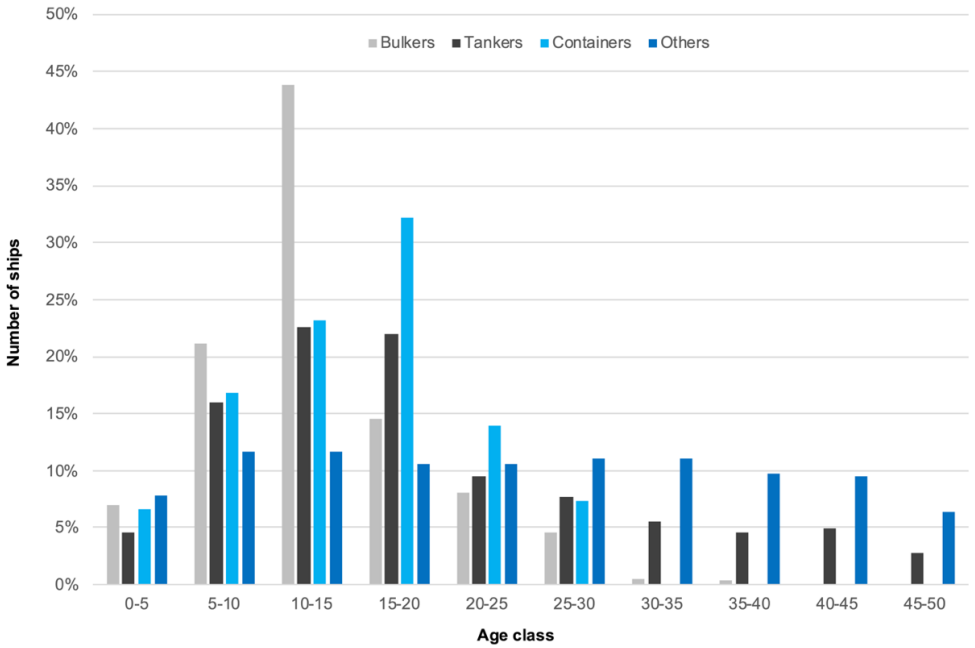
CAP2050 Model – *Modelling principles and assumptions*

Fleet modelling

- Fleet described by age, vessel type, initial technology, retrofit status
- Annual renewal driven by ship obsolescence, growth and capacity compensation
- Progressive introduction of new technologies

Technological levers

- Newbuilds: energy efficiency improvements, wind-assisted propulsion, onboard carbon capture
- Retrofits: hydrodynamic improvement, wind propulsion systems, drop-in fuel compatibility
- Effects combined multiplicatively, not additively



Type	Number of ships		Transport work	
	-	%	kGt.nm	%
Bulkers	12,500	28.9%	29.0	41.5%
Tankers	10,000	23.1%	20.3	29.0%
Containers	5,750	13.3%	13.9	19.8%
Others	15,000	34.7%	6.8	9.7%

Technology group	Bulkers	Tankers	Containers	Others
Energy	1.42%	1.77%	1.10%	1.47%
Wind propulsion	16.8%	20.9%	12.6%	16.8%
Propulsion and hull	39.4%	41.1%	39.2%	38.2%
Machinery	37.7%	43.3%	44.3%	32.6%
Operations	35.3%	34.8%	35.7%	35.6%

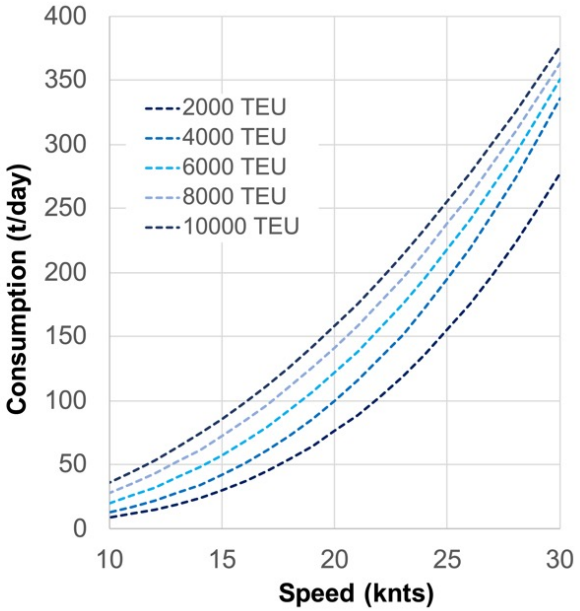
CAP2050 Model – *Modelling principles and assumptions*

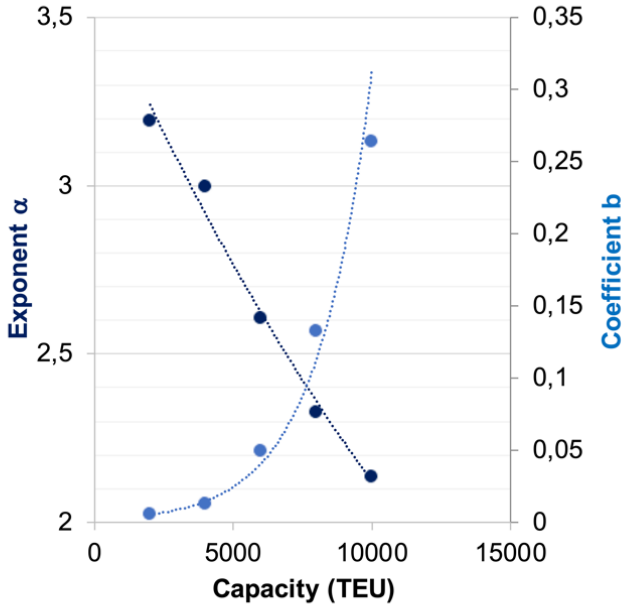
Operational levers

- Optimisation of weather routing, trim and speed
- Power-law relationship $C = bV^{\alpha}$
- Progressive application to a fraction of the fleet

Energy consumption modelling

- Initial consumption ≈ 2550 TWh/year
- Engine efficiency depends on fuel type
- Time-evolving energy mix (fossil fuels, biofuels, e-fuels, electricity)





Type	Consumption		Energy mix			
	TWh	%	Fuel oil	Diesel	Gas	Methanol
Bulkers	750	28,0%	92,5%	7,5%	0,0%	0,0%
Tankers	550	23,4%	82,5%	17,5%	0,0%	0,0%
Containers	725	27,1%	78,5%	15,0%	5,0%	1,5%
Others	575	21,5%	85,0%	15,0%	0,0%	0,0%

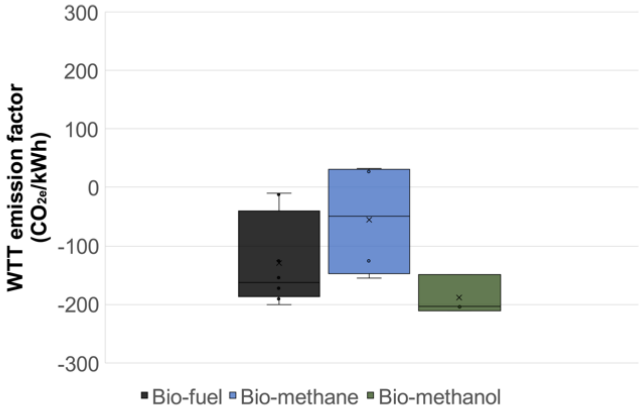
CAP2050 Model – *Modelling principles and assumptions*

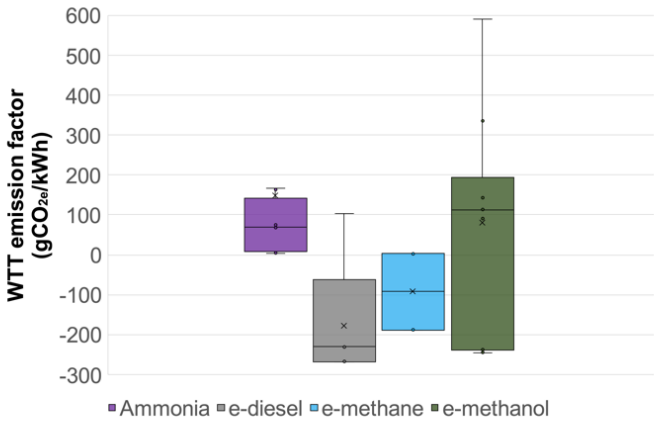
Emissions modelling

- Emissions calculated as TTW, WTT and WTW
- Extensive emission-factor database (systematic review): high variability of WTT emission factors
- Median values and time-dependent trajectories

Uncertainty integration

- Two main **uncertainty sources**: emission factors (WTT, TTW) and technology efficiency/deployment rates
- **Stochastic simulations**: statistical distributions of inputs and uncertainty propagation to output





Q	Bio-sourced Fuel		Synthetic Diesel		Bio-sourced CH_3OH		Synthetic CH_3OH		NH_3
	WTT	TTW	WTT	TTW	WTT	TTW	WTT	TTW	WTT
Literature data – emission factors gCO_{2e}/kWh									
0%	-200.5	244.7	-268.7	265.3	-211.3	248.2	-245.5	248.4	3.6
25%	-177.5	251.8	-267.6	265.3	-207.4	248.5	-155.7	248.6	10.3
50%	-163.3	255.9	-230.4	266.4	-203.4	248.8	113.2	248.8	70.2
75%	-97.5	268.4	-230.4	288.4	-176.4	250.9	146.7	252.8	97.5
100%	-10.7	300.6	104.0	288.4	-149.4	253.1	590.0	510.0	869.0
Generated data – emission factors gCO_{2e}/kWh									
0%	-198.8	229.1	-313.6	255.9	-209.0	272.0	-235.4	286.3	-103.5
25%	-145.7	255.1	-210.9	269.8	-193.3	276.2	2.2	295.8	114.2
50%	-132.5	263.2	-183.3	273.5	-188.8	277.3	69.4	297.7	180.4
75%	-118.1	271.5	-155.2	277.8	-184.4	278.4	125.6	299.8	246.6
100%	-55.2	306.6	-20.3	296.9	-171.3	283.0	401.6	307.9	500.1

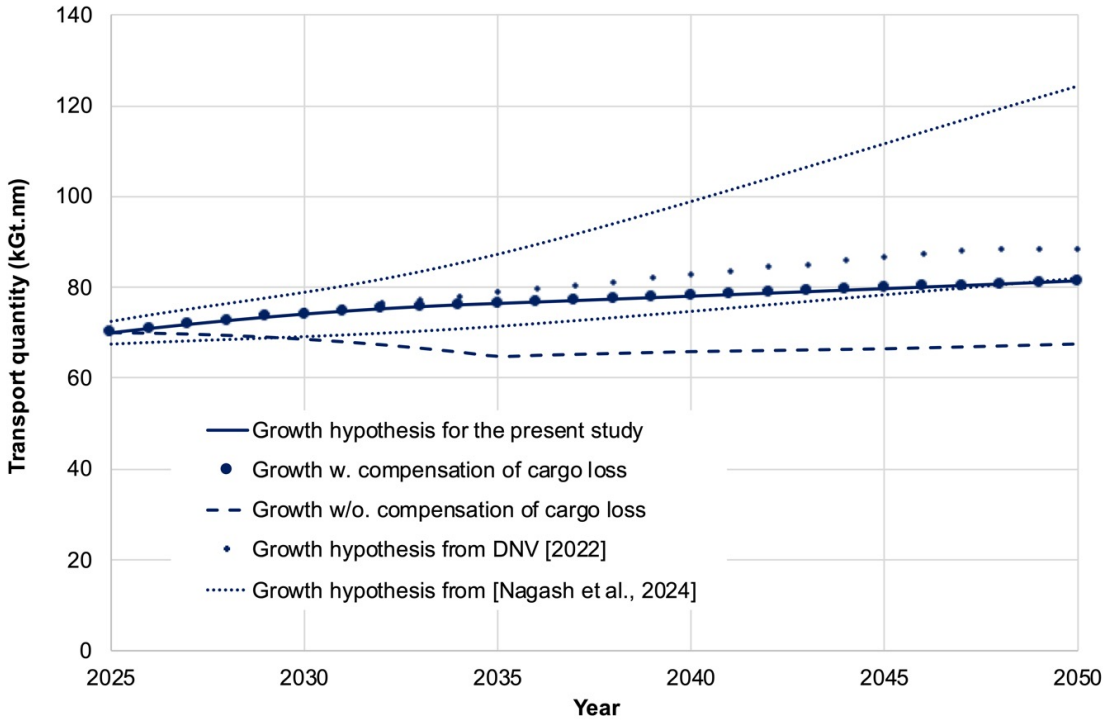
CAP2050 Model – *Modelling principles and assumptions*

Capacity loss and compensation

- Speed reduction → reduced transport capacity
- Energy/technology shifts → mass and volume penalties
- Compensation through additional vessel and fleet growth

$$\alpha_n = \frac{1 + q_n}{q_n \frac{\Omega_n}{\omega_n} + (1 + p_n)\left(\frac{\Omega_n(A)}{\omega_n} - \frac{v_n(A)}{v_n} + 1\right)} - 1$$

- A rarely explicit modelling feature



Segment	Bulkers	Tankers	Containers	Others
2025-2035 annual growth	1.00%	1.95%	2.40%	1.00%
2035-2050 annual growth	0.35%	0.20%	1.00%	0.75%
2050 transport work (kGt.nm)	32.58	23.07	18.97	8.25
2025-2050 transport work growth	12.34%	13.65%	36.47%	22.19%

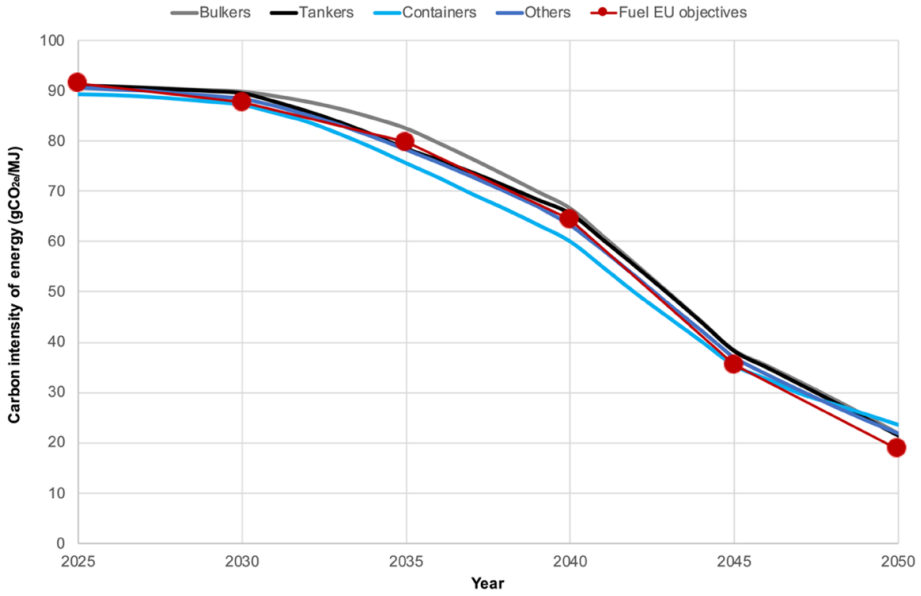
« Reference scenario » – General *assumptions*

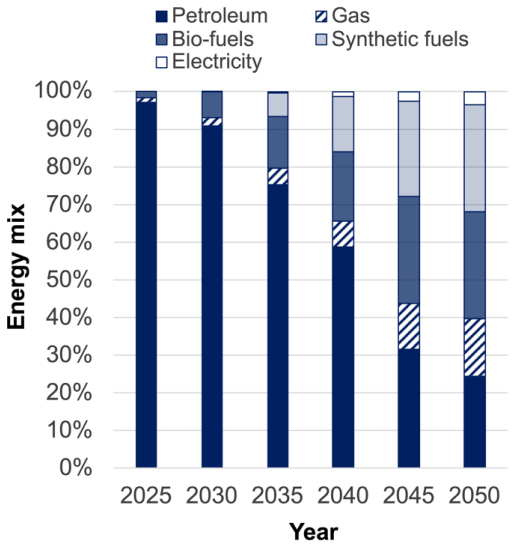
Reference scenario assumptions

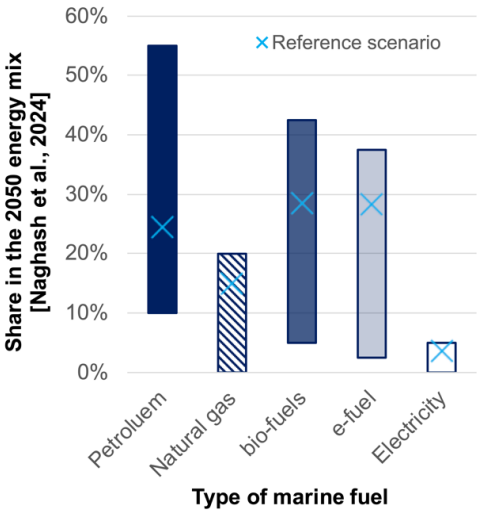
- Alignment with FuelEU Maritime
- Transport growth: +1% to +2.4%/year depending on segment
- Deployment assumptions: 75% of newbuilds more energy-efficient, 50% wind-assisted propulsion, 50% onboard carbon capture
- Progressive retrofits from 2025 to 2050

Energy mix evolution

- Fossil fuels: ~100% → ~42% (2050)
- Biofuels: ~28%
- E-fuels: ~26%
- Electricity: ~3%
- Consistent with DNV and literature scenarios



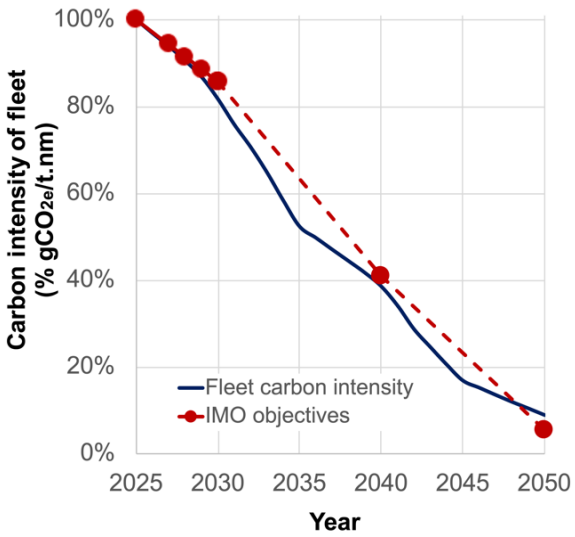


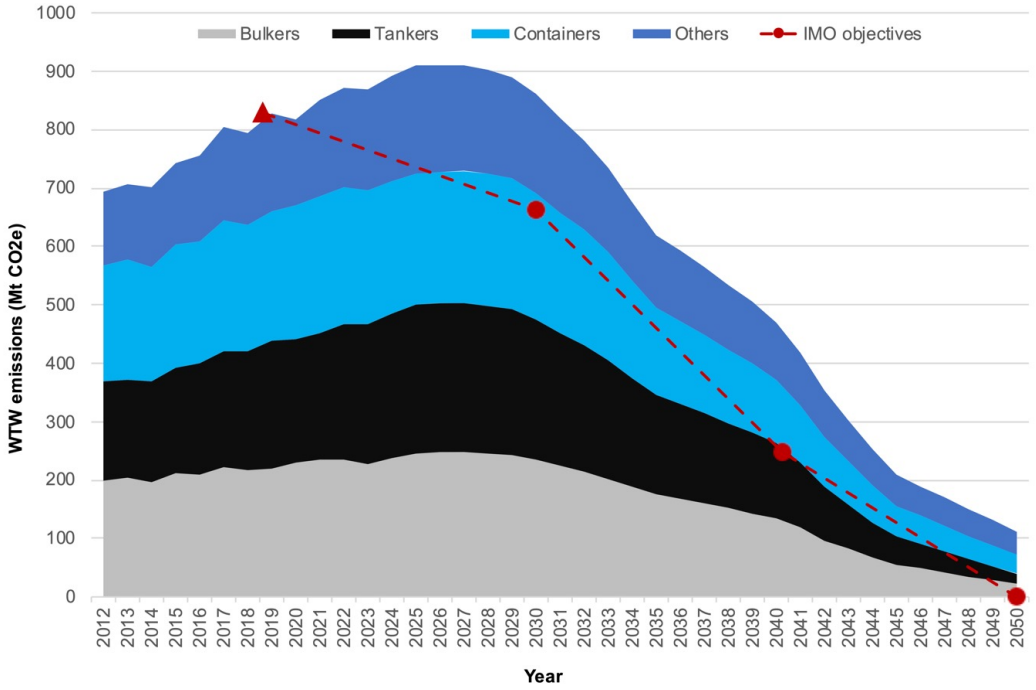


« Reference scenario » – Global results

Emission results (WTW)

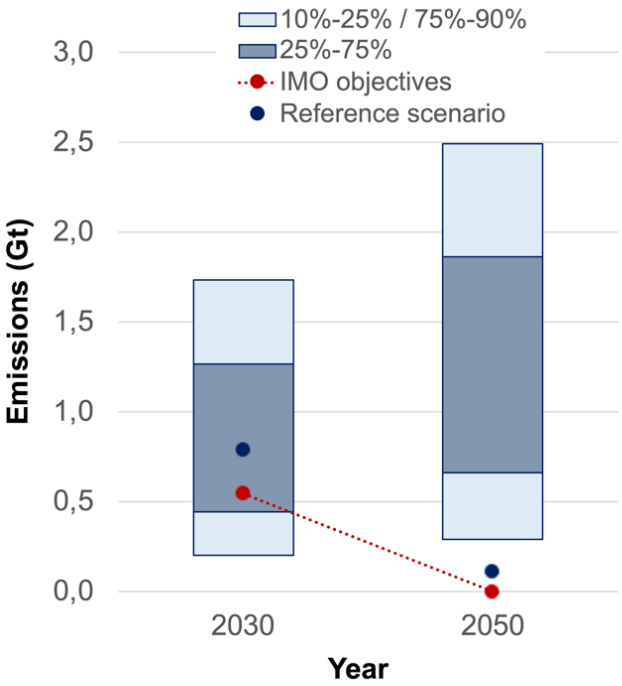
- Strong reduction in total emissions by 2050
- Comparable contributions from efficiency improvements, operational measures, alternative fuels
- WTT emissions play a decisive role in outcomes

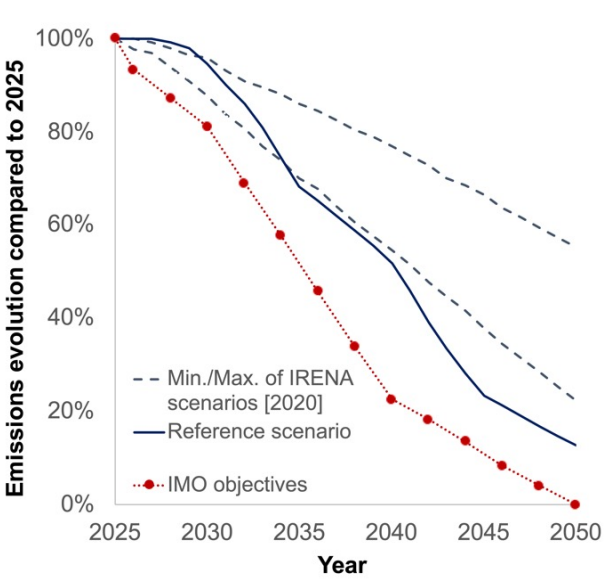


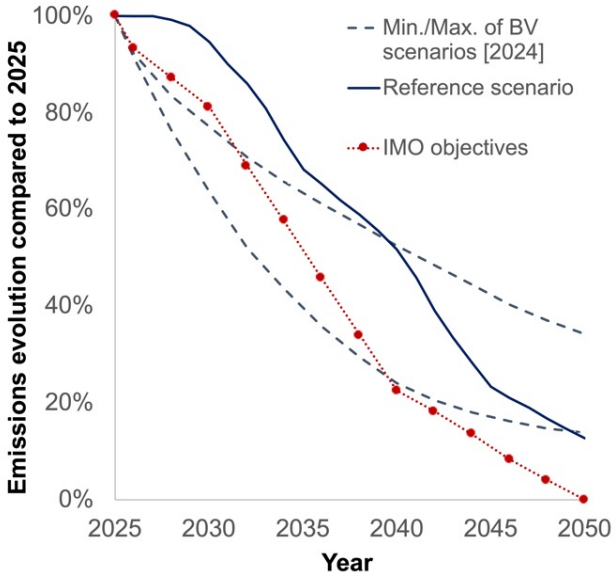


Scenario	IMO 2018	IMO 2023 strategy	IMO 2023 strive	GIEC 1.5°C
12,44 Gt	18,50 Gt	10,25 Gt	9,00 Gt	5,72 Gt

« Reference scenario » – Global results

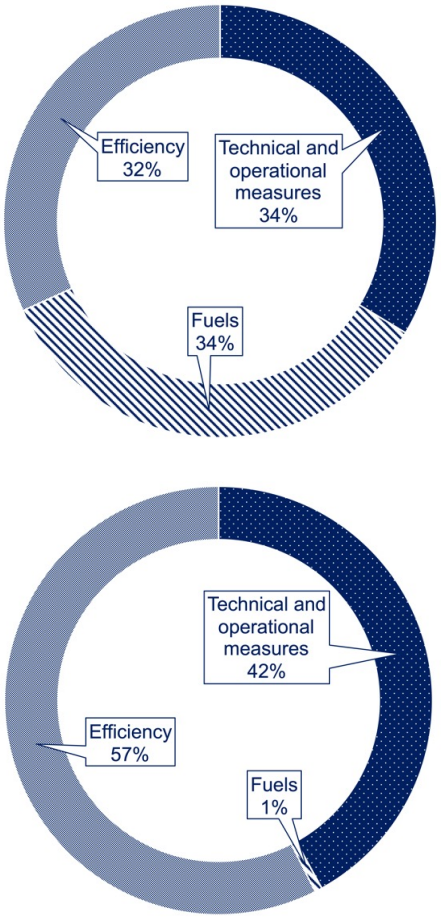




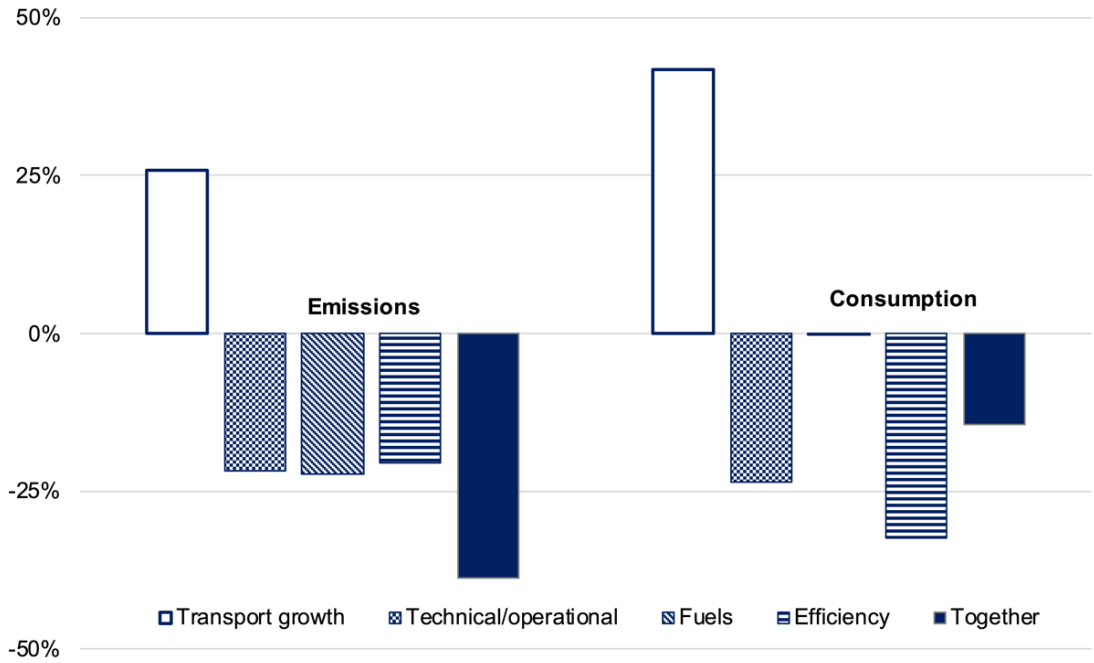


The CAP2050 « Reference scenario » is consistent with existing studies. It falls within the range of IRENA scenarios in the short term and aligns with Bureau Veritas projections in the long term. Overall, it represents an ambitious yet realistic pathway, neither overly optimistic nor conservative compared to recent literature.

« Reference scenario » – Global results



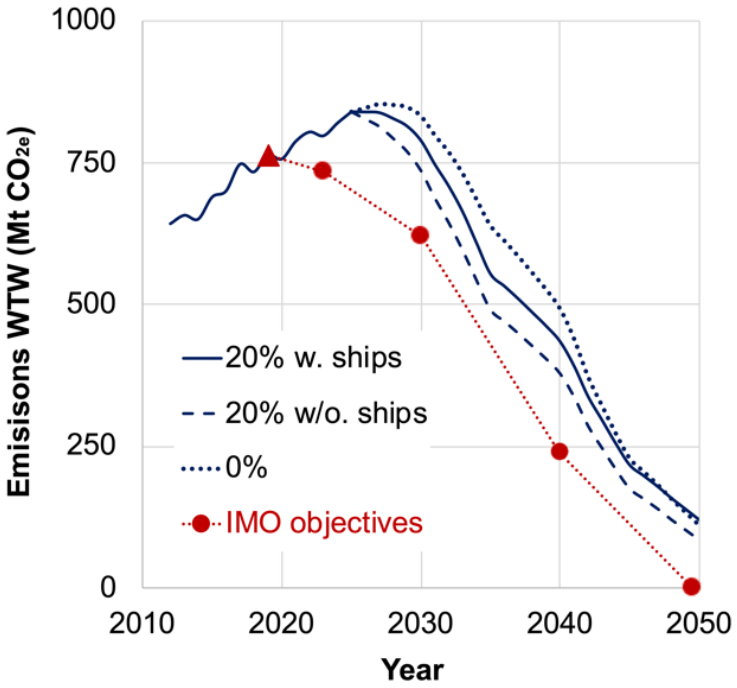
Emission reductions are evenly shared between energy, efficiency, and technical/operational measures, each contributing roughly one third of the total reduction. In contrast, energy demand reductions are mainly driven by efficiency and operational measures, while fuel switching has a limited impact on consumption but a decisive effect on emissions through WTT and WTW factors.

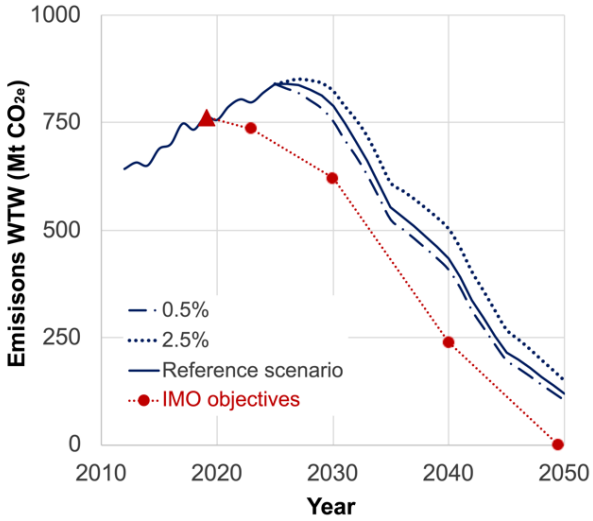


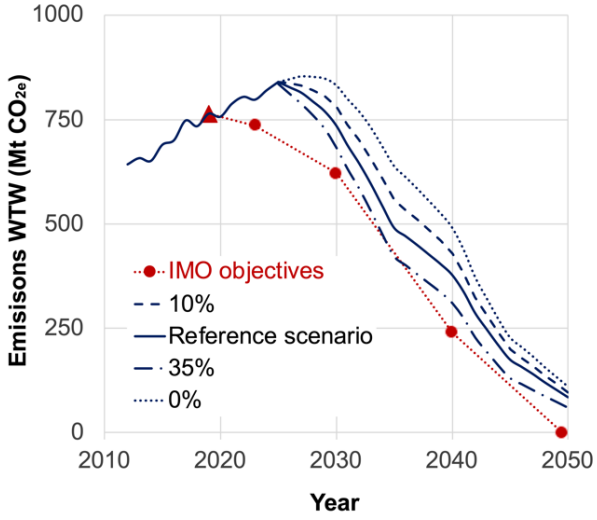
Sensitivity analysis

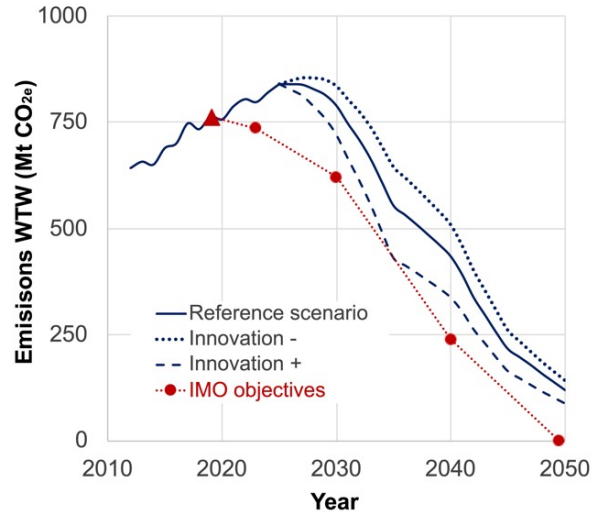
Sensitivity to levers

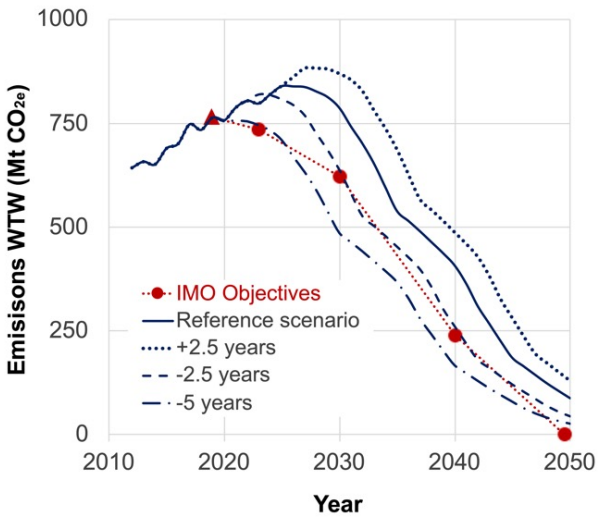
- No sufficiency measures → high residual emissions
- No alternative fuels → targets not achievable
- No retrofitting → excessive fleet inertia
- No single lever is sufficient on its own



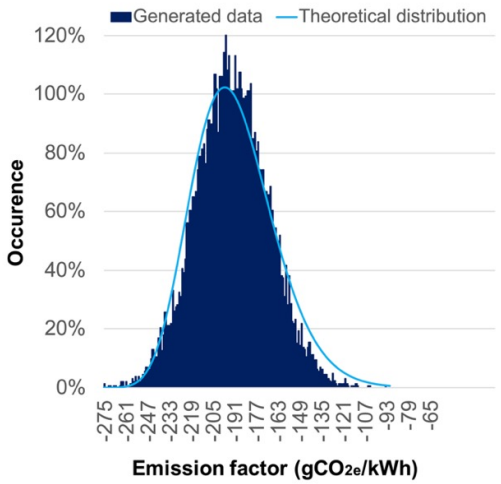






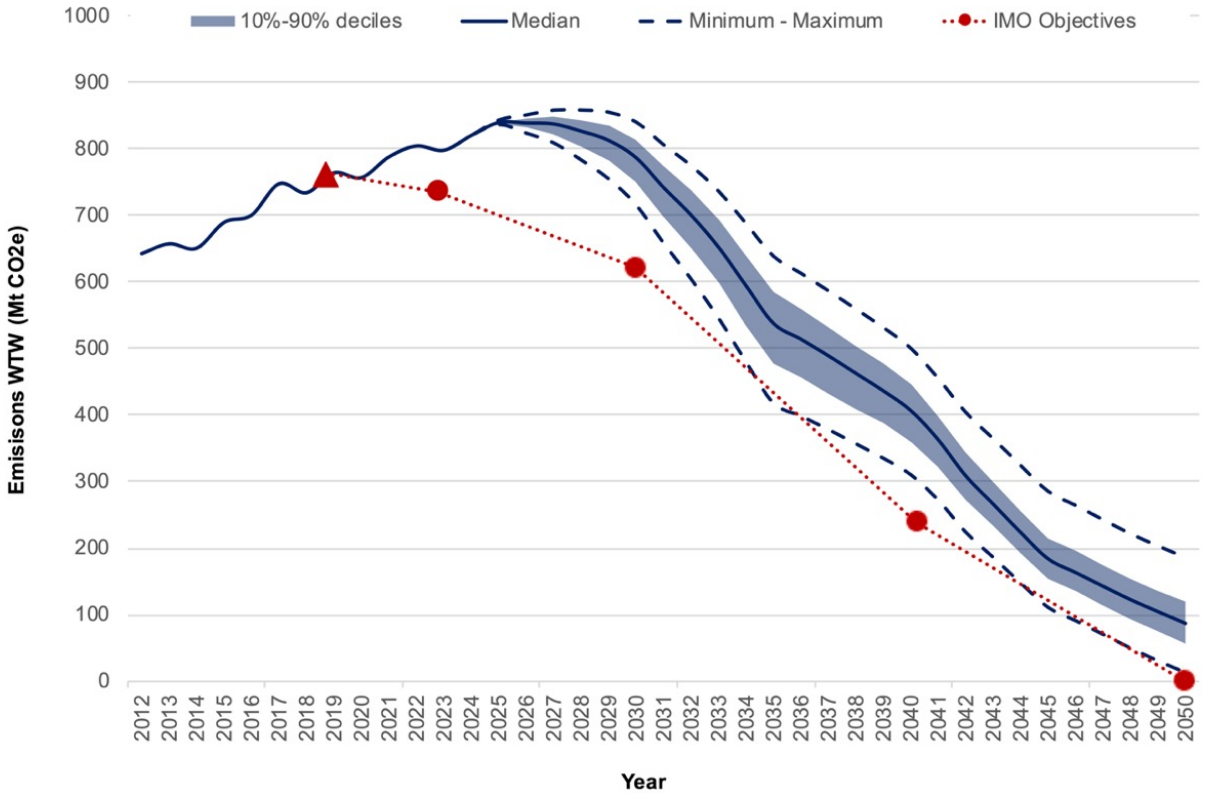


Sensitivity analysis



Sensitivity to uncertainty

- Significant spread of WTW emissions in 2050
- Orders of magnitude remain stable
- Qualitative conclusions are robust
- Strong dependence on upstream energy assumptions



	Quartiles of scenarios				
	0%	10%	50%	90%	100%
Carbon budget (Gt)	10,41	11,49	12,41	13,27	14,49
Total consumption (PWh)	45,27	49,61	53,84	57,15	60,45

Conclusion and outlook

Current limitations of the model

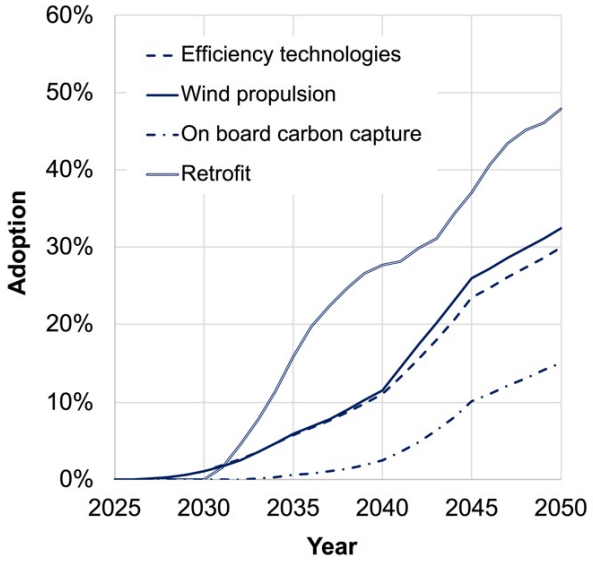
- "Average fleet" representation: no fine size segmentation
- Linear deployment assumptions
- No endogenous economic optimisation
- Remaining data uncertainty on: onboard carbon capture, large-scale e-fuel availability

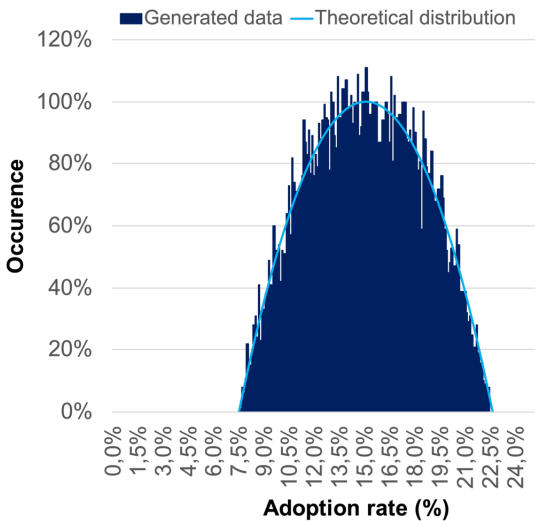
Conclusions

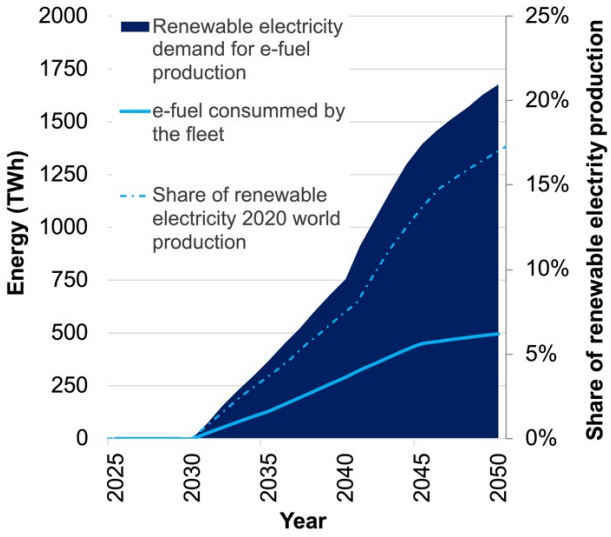
- Maritime decarbonisation requires a combination of levers
- Alternative fuels alone are insufficient
- WTT uncertainties are structurally important

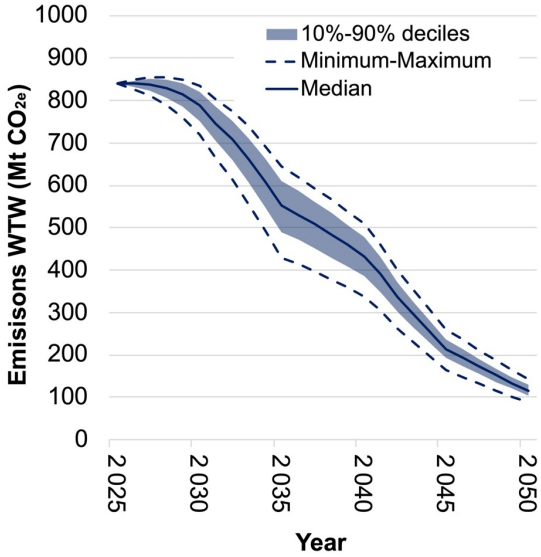
Perspectives

- Integration of CAPEX/OPEX
- Multi-criteria optimisation
- Coupling with port and energy infrastructures
- Regional/national-scale applications











MARITIME ENERGY AND ENVIRONMENTAL TRANSITION 2050

MEET 2050

Working together to accelerate energy and environmental transitions in the maritime sector

www.meet2050.org