

Maritime Energy and Environmental Transition *towards* 2050 Institute

MEET2050



V2.0 du 25 septembre 2022

Avec le soutien du



*Institut pour la Transition Énergétique et Environnementale du Maritime (MEET2050)
pour opérer un Programme national Navires et Ports Zéro Emissions*

Une démarche de filière soutenue par le Président de la République

Des Assises de l'Economie de la Mer en septembre 2021 au One Ocean Summit en février 2022, vers un Programme national



« [...] il faut être très clair, nos transitions ont un coût. Et donc c'est pour ça **qu'il faut assumer d'engager la puissance publique pour accompagner les acteurs industriels et le monde économique pour faire ces transitions et en porter une partie [...]. Dans ce contexte, je veux vraiment aussi féliciter la création d'un Institut pour la transition éco-énergétique du maritime [porté par le] CMF et ses partenaires pour la réussite du programme « navires et ports 0 émissions », c'est une mobilisation de toutes les parties prenantes et bravo à vous. Parce que c'est ce qui va nous permettre, à côté de ces grands investissements, des actions des Etats, de les décliner avec toutes les parties prenantes. [...] nous allons [...] vous aider à franchir l'étape supplémentaire qui est d'aller vers les navires zéro émission et donc cela suppose un investissement technologique en rupture. Vous avez très bien dit ce que permet de faire le GNL, nous devons vous aider à aller plus loin et donc, comme on le fait pour les voitures zéro émission, comme on le fait pour le projet avion zéro émission ; [...] ce sont des vrais projets de filières industrielles pour marquer ces ruptures. »**

Emmanuel Macron, Président de la République - One Ocean Summit, Brest, le 11 février 2022



« Il est dans la mission du CMF du sein de la filière maritime et de fixer des caps. La transition énergétique est un triple cap : celui des engagements de notre pays pour la Planète Bleue, celui de notre filière maritime avec la réindustrialisation du pays et la création d'emplois, celui enfin de notre influence en Europe et dans le monde. L'Institut sera ce phare et il est du devoir du CMF de fédérer toutes les énergies pour le créer au bénéfice de nos académiques, entreprises, scientifiques et territoires. »

Frédéric Moncagny Saint Aignan, Président du Cluster Maritime Français



« Les collaborations sont essentielles pour accélérer la transition énergétique. C'est pourquoi CMA CGM a décidé d'accueillir l'Institut maritime français de la décarbonation au Tangram, son centre de formation et d'innovation en construction à Marseille, qui aura pour mission de créer le transport et la logistique durables de demain. Ce lieu accueillera scientifiques, start-ups, collaborateurs, partenaires et grands groupes ; et j'espère que d'autres acteurs se joindront à nous. »

Rodolphe Saadé, Président Directeur général de CMA CGM



« Il était incontournable pour Chantiers de l'Atlantique de faire partie de la coalition d'entreprises formée autour de l'Institut T2EM. Depuis plus de dix ans, nous avons axé l'essentiel de notre programme de R&D sur l'amélioration de l'impact environnemental de nos navires, en enregistrant des progrès incontestables et reconnus. Dans cette perspective, la création de l'Institut pourra certainement nous permettre d'accélérer et de mieux partager cette démarche. »

Laurent Castaing, Directeur général des Chantiers de l'Atlantique



« Société de classification qui classe plus de 11.000 navires et collabore avec 150 pavillons, Bureau Veritas est convaincu qu'à l'instar d'autres exemples à l'étranger, la coopération intersectorielle au sein du milieu maritime est la clé du succès pour une transition énergétique efficace, fiable et innovante. Bureau Veritas renouvelle son engagement pour la construction de l'Institut T2EM. »

Matthieu de Tugny, Président du Bureau Veritas Marine & Offshore

Une mobilisation de l'ensemble de l'écosystème maritime

Contributeurs à la rédaction d'un programme national et au projet d'Institut pour la transition environnementale du maritime



Avec les soutiens :

Préface

La transition énergétique et écologique est, pour le domaine maritime, l'un des défis majeurs qu'il va devoir relever dans les dix à vingt prochaines années.

Les principales difficultés à surmonter seront :

- La **complexité est extrême** compte tenu des incertitudes sur le remplacement de l'énergie fossile qui va dépendre de plus du type de navire (puissance, autonomie, etc.) ;
- Elle nécessite une **collaboration et une coordination parfaite sur l'ensemble de la chaîne de valeur** : énergie, stockage, ingénierie, équipementiers, construction, armateurs, réglementation, financement ;
- La **transition va avoir un coût important pour la filière**, avec un impact majeur en termes de CAPEX (remplacement accéléré de navire, à des coûts supérieurs) et d'OPEX (prix très élevé des énergies alternatives) ;
- Avec une durée de vie de 20 à 25 ans, il ne reste que **10 ans pour avoir mis en œuvre les solutions qui seront en service en 2050**.

Mais ce défi va au-delà du maritime, car ce secteur représente la colonne vertébrale des échanges mondiaux de matière première, d'énergie, de nourriture, de marchandises et de bien de consommation. Sans investissement colossaux et des innovations de rupture, la réduction des émissions se fera par une baisse de la vitesse des navires, comme cela a été le cas depuis 2008 / 2010 permettant de contrôler les émissions du maritime depuis cette date. Cependant, une réduction de la vitesse des navires entraînera une réduction des flux et du trafic mondiale, et une réduction du rythme de l'économie mondiale. Il peut alors être perçue comme une **menace** qui va impacter l'activité de centaines d'entreprises françaises qui représentent un CA de l'ordre de 73 milliards d'euros et autour de 250 000 emplois directs, ou alors comme une **opportunité** unique de développer un transport maritime encore plus efficace par rapport aux autres moyens de transport, contribuant à créer ou renforcer des entreprises leaders sur de nouveaux marchés, autour de nouveaux modèles économiques.

La France dispose d'atouts très importants pour réussir la transition énergétique du maritime avec un écosystème académique et scientifique de premier plan (laboratoires, centres de recherche, etc.), des industriels leaders sur la majorité des secteurs industriels concernés (énergie, chantiers, armateurs, bureaux d'étude, etc.), sur la réglementation (société de classification), ou encore des équipementiers (stockage, batteries, piles à combustible, propulsion par le vent, etc.). Elle présente aussi la faiblesse d'être constituée en un tissu industriel fragmenté sur de nombreux segments de navires, de présenter un manque de continuité sur les étapes de maturation de la recherche à la commercialisation, de ne pas s'appuyer sur une coordination d'ensemble sur ce sujet transverse (énergie/construction/armateurs) et de ne pas bénéficier d'un soutien financier dédié afin d'orienter une stratégie pertinente.

Parce que nous ne pouvons et voulons pas laisser passer cette opportunité, parce que nous pensons pouvoir relever le défi au même titre que d'autres nations maritimes, l'écosystème industriel et académique a travaillé depuis plusieurs mois à la mise en place d'un programme national pour la transition énergétique et écologique du maritime, dans le but d'atteindre des objectifs incrémentaux en termes de complexité. Ce programme a été chiffré et planifié sur les dix prochaines années, avec des engagements industriels forts. Compte tenu des investissements importants qui devront être réalisés, nous demandons un soutien de l'Etat pour accompagner le financement du programme, et soutenir la mise en place d'une structure coordonnant l'ensemble des projets et portant la vision française au niveau international.

Frédéric Moncagny Saint Aignan, Président du Cluster Maritime Français

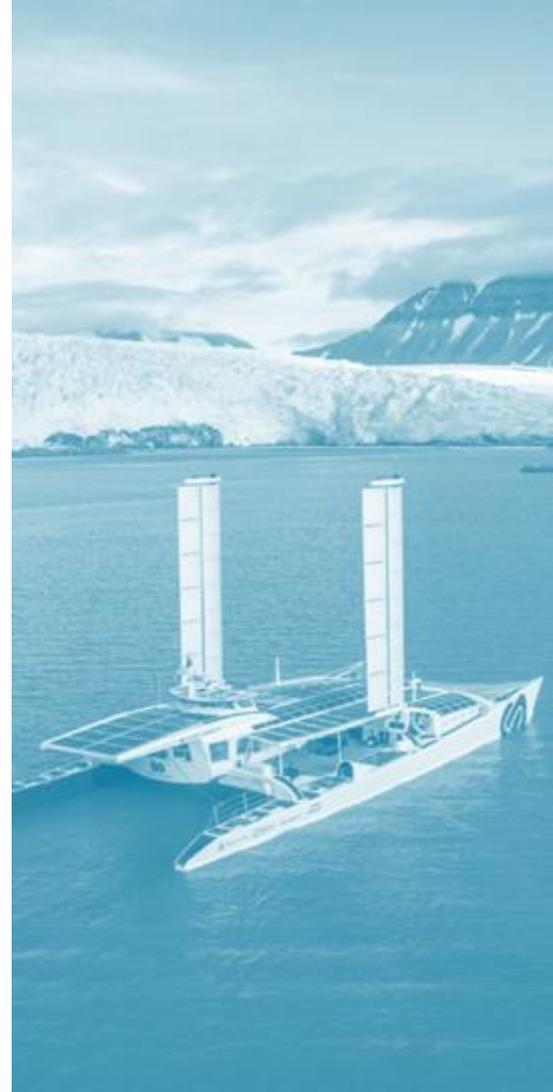


Sommaire

- 1 – Les éléments clés de la transition énergétique du maritime
- 2 – Les défis à relever
- 3 – La réponse de l'écosystème maritime national
- 4 – Un programme national Navires et Ports Zéro Emissions
- 5 – Un Institut pour coordonner initiatives nationales
- 6 – Annexes



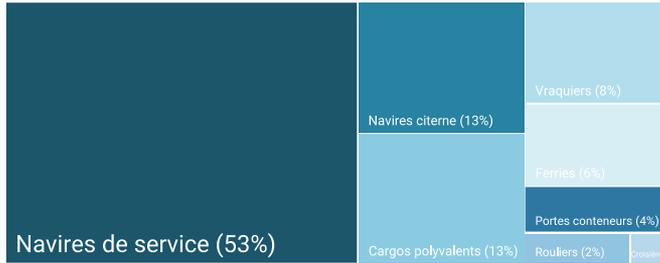
1 – Les éléments clefs de la transition énergétique du maritime



Le maritime en quelques chiffres clefs (1/2)

Un secteur-clef pour l'économie mondiale et française, avec un impact environnemental conséquent

Une flotte mondiale de plus de 150 000 navires...



Source : Perspective des transports, OCDE 2019

.. qui transportent l'essentiel des marchandises et matières premières dans le monde...



72% des importations françaises passent par le maritime

Source : TZEM, analyse des carburants alternatifs

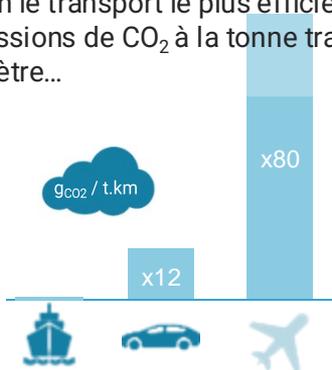


... avec une croissance significative prévue dans les prochaines années.

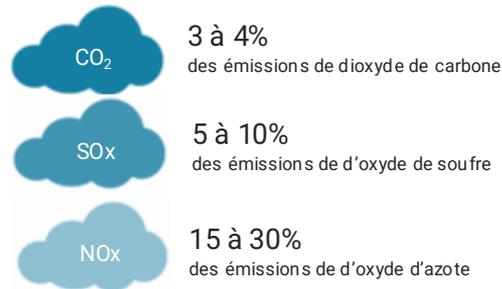


Source : Perspective des transports, OCDE 2019

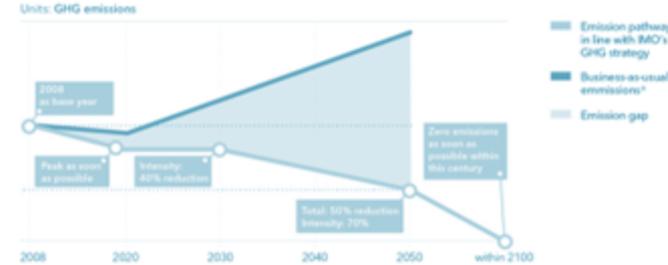
De loin le transport le plus efficace en termes d'émissions de CO₂ à la tonne transportée par kilomètre...



... mais un impact non négligeable sur l'environnement en termes d'émissions...



... qui risque de s'accroître dans les prochaines années sans changements majeurs.

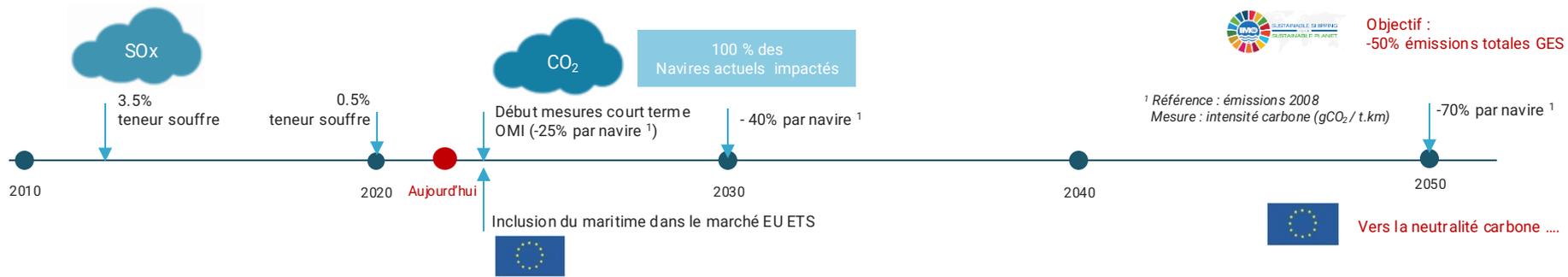


Source : DNVGL

Le maritime en quelques chiffres clefs (2/2)

Le cadre réglementaire du maritime évolue et pousse la filière à développer des solutions décarbonées

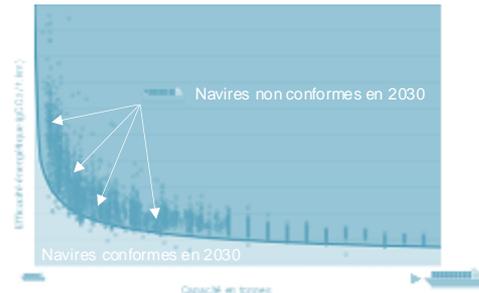
Un arsenal règlementaire, en application dès 2023, pour la réduction des émissions de CO2 et l'inclusion dans le dispositif de taxe carbone ETS...



... qui va impacter fortement le maritime...

... , nécessiter des investissements colossaux pour la production et distribution d'énergie et l'adaptation des navires...

... et développer en quelques années des solutions encore non disponibles et non matures.



2 400 milliards €

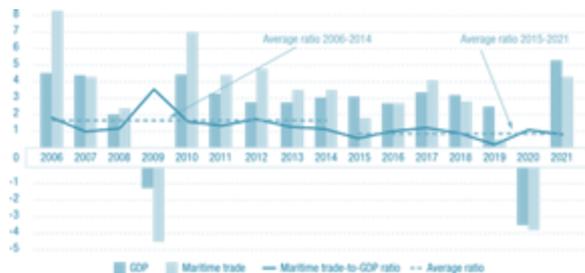
Estimation du coût de la décarbonation au niveau mondial

- 1 700 mrd € Energie
- 600 mrd € Efficacité technologique
- 100 mrd € Efficacité opérationnelle

Secteur	2020		2030		2040		2050	
	Émissions	Intensité	Émissions	Intensité	Émissions	Intensité	Émissions	Intensité
Industrie manufacturière	10.0	1.5	5.0	0.8	2.0	0.5	0.5	0.5
Énergie	15.0	1.0	10.0	0.7	5.0	0.4	0.4	0.4
Transport	5.0	1.2	3.0	0.9	2.0	0.6	0.6	0.6
Bâtiments	2.0	1.1	1.5	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8
Autres	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Total	29.0	1.1	19.5	0.8	10.5	0.6	0.6	0.6

Trois raisons qui rendent indispensable de décarboner le maritime

Impact sur l'économie mondiale, part importante du transport maritime dans les émissions mondiales et pourtant le moyen de transport le plus sobre

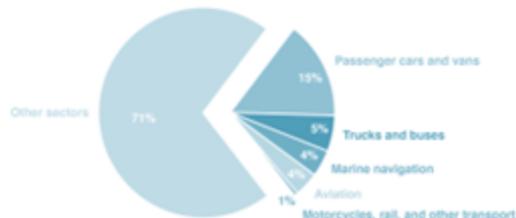


Un possible **dérèglement de l'économie mondiale**, avec 95% des biens et marchandises transportés par le maritime qui va devoir réduire la vitesse des navires et donc les capacités de transport d'ici 2025.

Le dérèglement du trafic maritime à cause de la **crise sanitaire** puis du **blocage du canal de Suez** ont eu un **impact majeur sur l'économie mondiale** : délais de livraison, rupture de chaînes de production, envolée des prix, inflation significative en Europe, etc. Sans être aussi visible que le transport terrestre ou aérien, avec ses flottes de camions sur les routes ou d'avions dans le ciel, le **transport maritime est cependant la colonne vertébrale de l'économie mondiale**.

Quel sera l'impact d'une baisse de vitesse des navires pour respecter la réglementation Internationale dès 2023-2025, puis à partir de 2025-2030, et les conséquences de ne plus pouvoir opérer sur certains lignes – quand 72% des importations françaises, par exemple, passent par le maritime ?

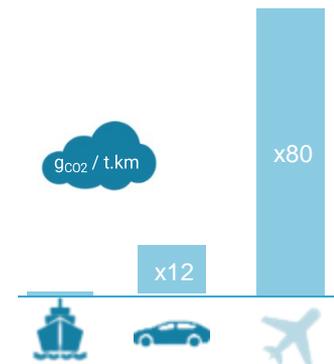
Greenhouse gas emissions in the EU
2018 total: 3.8 Gt CO₂e



Un impact majeur sur les émissions de CO₂ qui pourraient croître en valeur relative dans les prochaines années ou réduire les efforts d'autres secteurs.

De nombreuses études montrent que la non-décarbonation du transport maritime augmenterait sa contribution annuelle de 3% (actuellement) à plus de 10% dans les 10 prochaines années [Source : IMO], ou qu'elle réduirait largement les bénéfices obtenus sur les autres secteurs du transport.

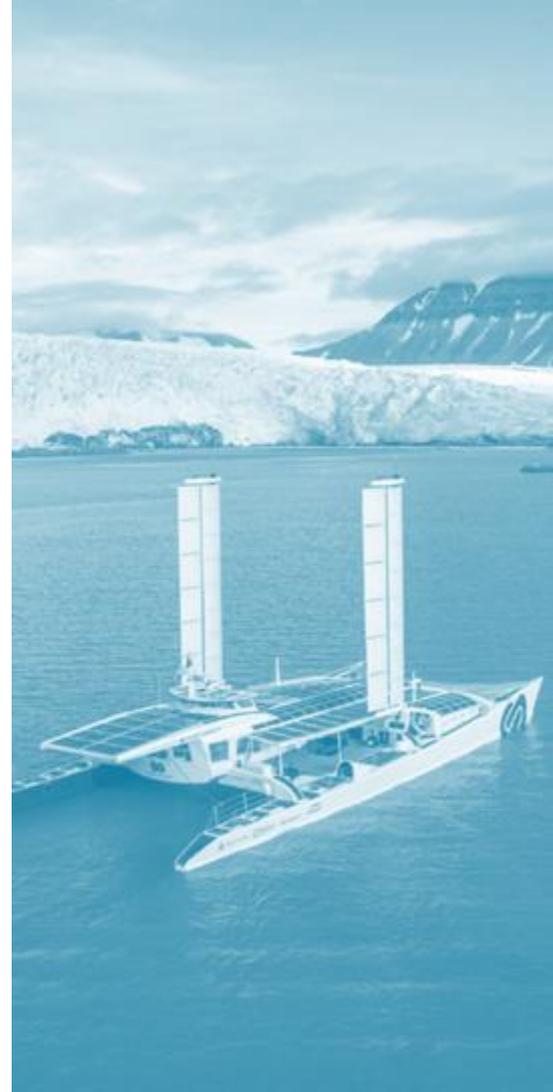
La France n'atteindra pas ses objectifs de décarbonation sans une réelle transition énergétique du maritime au niveau national.



La **sobriété énergétique** passe d'abord par l'utilisation du transport le plus efficace énergétiquement, alors que l'énergie primaire décarbonée va être une denrée précieuse.

Le transport maritime et fluvial est le plus efficace d'un point de vue énergétique. Avec l'énergie d'un litre de carburant, un navire déplace une tonne sur 250 km, le train sur 210 km, le camion sur 35 km, et l'avion sur 10 km. Dit autrement, si le transport maritime et fluvial ne se décarbonne pas suffisamment et vite, on assistera à un report vers des transports ayant réussi leurs transitions : camion, voire avion. Avec des rendements énergétiques 10 à 50 fois moins bons, le besoin en énergie décarbonée (électricité verte), qui va devenir une denrée précieuse, sera décuplé. La congestion des axes routiers sera dans le même temps plus forte (un porte conteneur transportant l'équivalent de 1000 à 20 000 camions). La décarbonation du secteur maritime apparaît dans ce

2 – Les défis à relever



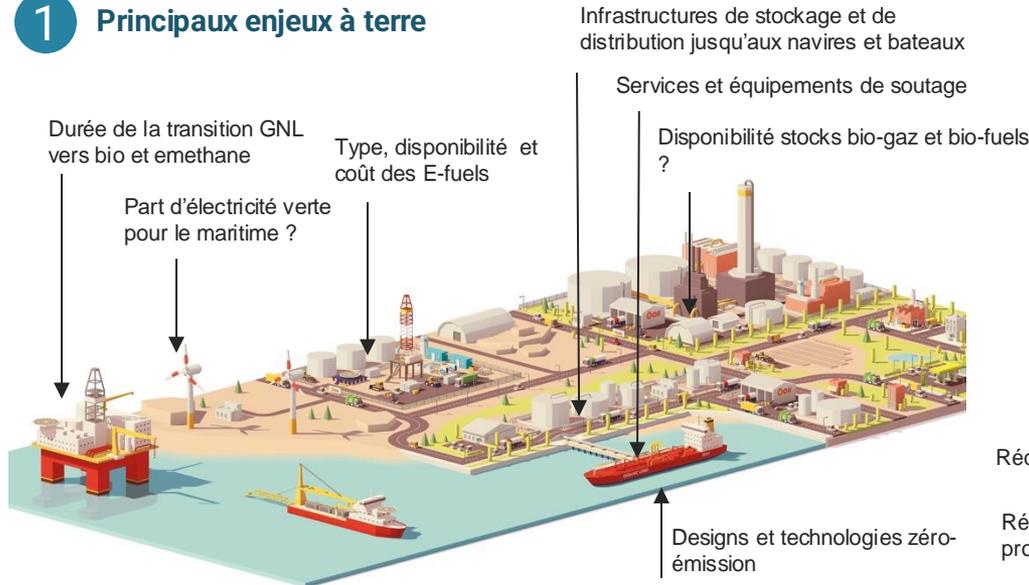
Une transition environnementale très complexe à terre et en mer

De la production d'énergies décarbonées à leurs utilisations par des navires et bateaux, en interface avec des ports

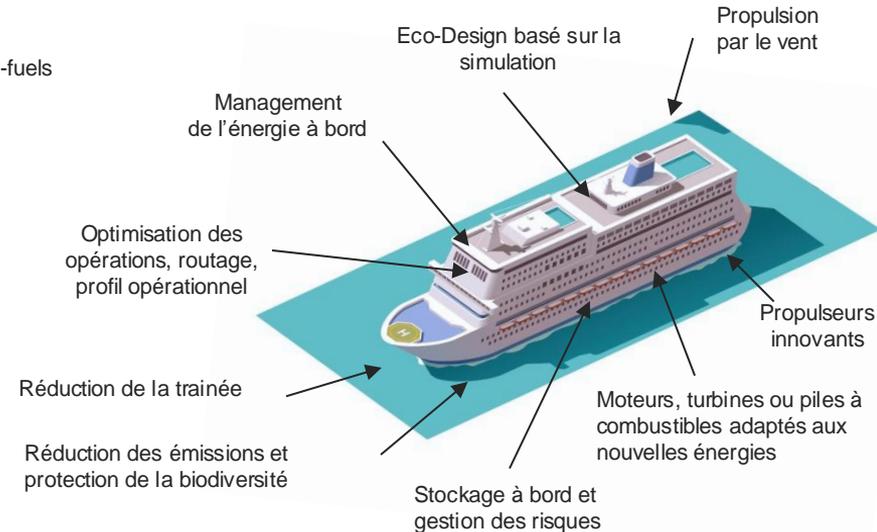
La complexité de la transition énergétique du maritime réside dans le fait que :

1. Les différentes composantes constituant la chaîne de valeur sont interdépendantes ;
2. La majorité des technologies sont sur des niveaux de maturité encore bas, ou à des capacités trop faibles pour les besoins du maritime ;
3. Les besoins en énergie et puissance embarquées sont très supérieurs à ceux de la mobilité terrestre et aérienne, rendant le problème spécifique au maritime.

1 Principaux enjeux à terre

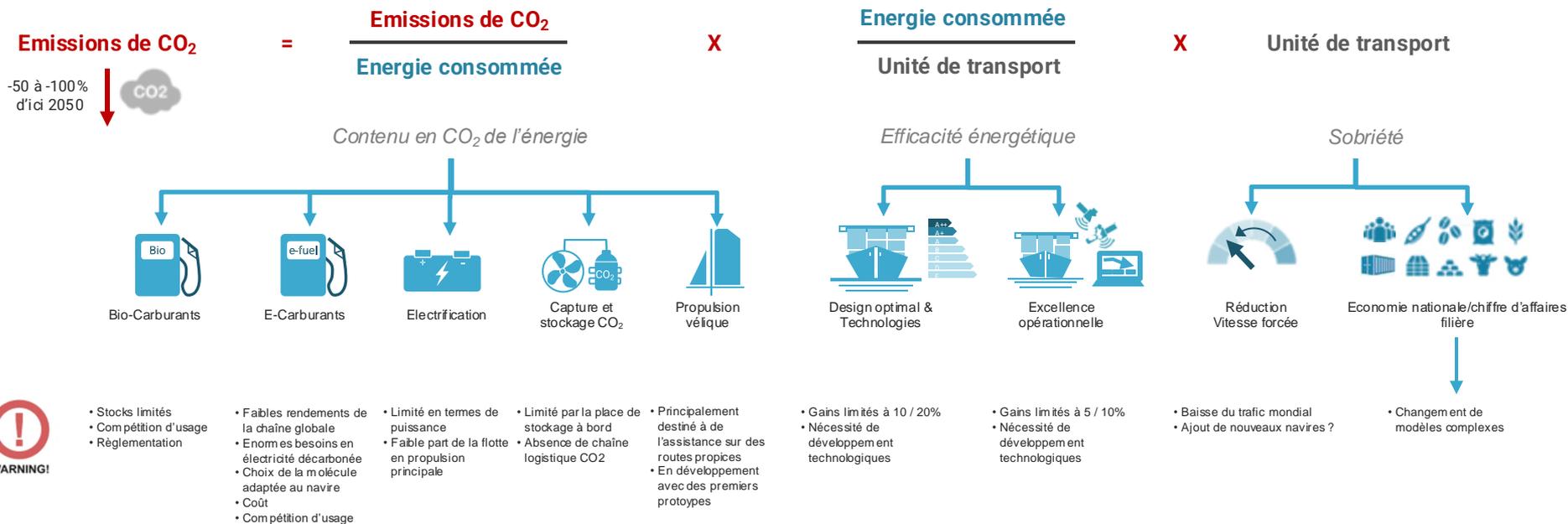


2 Principaux enjeux en mer



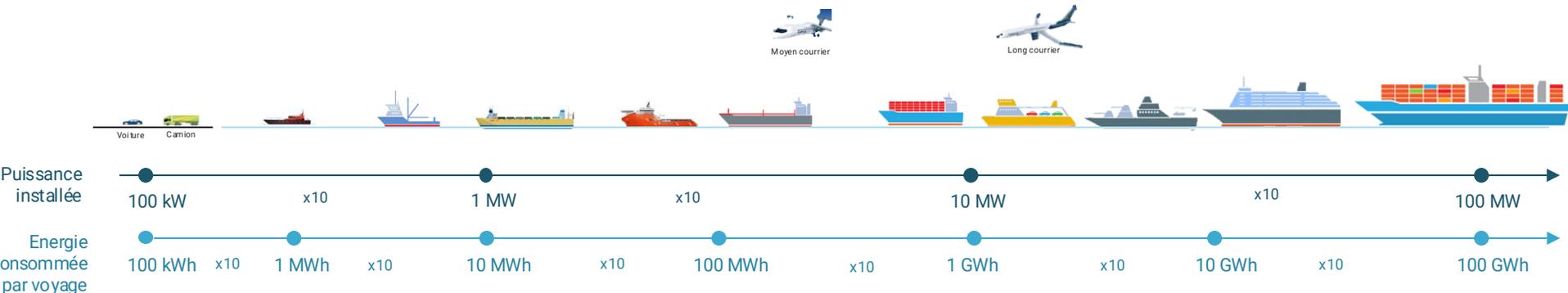
Des solutions identifiées mais des verrous difficiles à lever

L'égalité de Kaya adaptée au transport maritime exprime les émissions de CO2 du transport maritime comme une multiplication des principaux ratios énergétiques et d'activité. La baisse imposée des émissions (terme de gauche) doit être réalisée sur les trois termes de droite impliquant une combinaison de réduction du contenu en CO2 de l'énergie utilisée, de gain d'efficacité énergétique et enfin le recours à de la sobriété tout en prenant en compte les contraintes et enjeux économiques d'un transport maritime par lequel passe 85% des importations et exportations françaises



Forte complexité technologique, sans solution immédiate, scalable ou applicable à l'ensemble de la flotte, ce qui nécessite un changement de paradigme pour appréhender ce challenge

Des spécificités pour chaque segment de flotte



Principaux segments de flotte



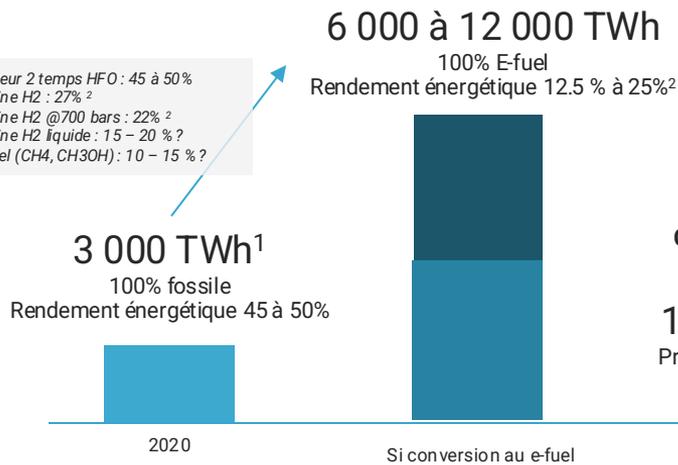
Un exemple pour comprendre l'ampleur du problème à surmonter

Le seul passage aux e-fuels nécessiterait une production d'énergie électrique décarbonée colossale au niveau mondiale

La flotte mondiale consomme aujourd'hui autour de 3000 TWh¹ d'énergie à travers des moteurs à combustion disposant de rendements énergétiques de l'ordre de 50%. Le passage aux e-fuels, solution probable de décarbonation de la mobilité lourde, s'accompagnera d'une perte de rendement sur la chaîne globale amenant à une multiplication par 2 à 4 des besoins énergétiques primaires (électricité verte).

Consommation énergétique mondiale du maritime fossile convertie au e-fuel

Rendement moteur 2 temps HFO : 45 à 50%
Rendement chaîne H2 : 27%²
Rendement chaîne H2 @700 bars : 22%²
Rendement chaîne H2 liquide : 15 - 20 % ?
Rendement E-fuel (CH4, CH3OH) : 10 - 15 % ?



12 000 TWh correspondent à...



+ 2 000 réacteurs nucléaires
(6 TWh/an⁵ par réacteur nucléaire de 1 GW à facteur de capacité de 70%)



+ 2 millions d'éoliennes
(6 GWh/an⁴ de production d'une éolienne de 3 MW à facteur de capacité de 22.5%)

Ordre de grandeur des productions d'éoliennes actuelles

1 390 TWh³
Production mondiale

40 TWh⁴
Production française

Productions actuelles annuelles d'éoliennes

¹ IMO Fourth GHG study 2020

² Rendement de la Chaîne Hydrogène, ADEME 2020

³ Global Wind Energy Council

⁴ EDF

⁵ Site Connaissance des énergies

⁴ EDF

Que font les autres pays et places maritimes ?

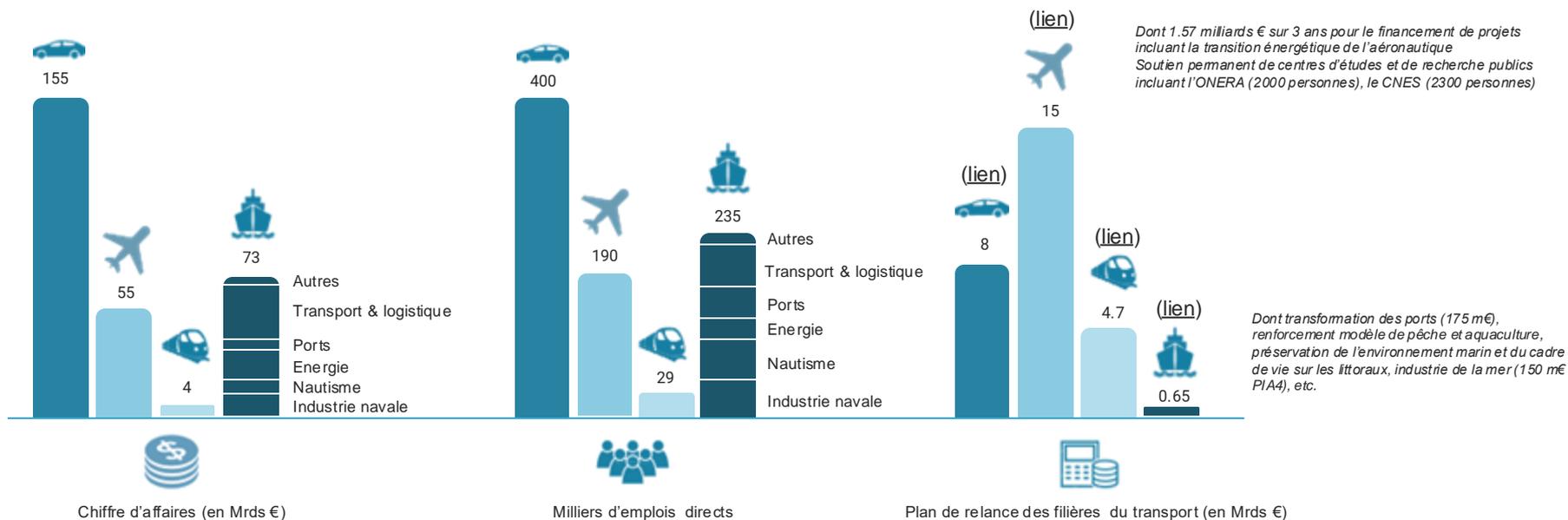
Les principales nations maritimes se sont organisées avec des programmes ambitieux opérés par des centres de R&D

	Partenaires fondateurs	Effectifs	Organisation & budget	Soutien Etat à la filière
 <p>2015</p>		50	Sorte d'IRT (SFI) dédié à la décarbonation du maritime 3 m€ / an (projets R&D uniquement)	1,9Mrd\$ NOK depuis 2015 dans la décarbonation Programme spécifique de 75M€/an sur du zéro-émission
 <p>2020</p>		100	60 m€ budget initial + financements sur projets (apport industriel, national et EU) Sélection de projets par un board Diffusion des résultats (fondation)	Co-lead mondial sur le programme GreenRoute porté au MEPC avec plusieurs pays et instances internationales
 <p>2010 & 2022</p>		50	Centre de recherche dédié dans le cadre des Fraunhofer - 3 à 5 m€ budget annuels projets Nouvel Institut DLR - TUHH	Programme global de décarbonation des transports de 360Mrd\$, dont un volet maritime de 45M€ sur le zéro-émission
 <p>2018</p>		350	Mutualisation de moyens académiques humains et physiques sur le maritime : recherche, formation, entreprise	"Clean Maritime Plan" création du MERAS: 1,6M€ pour définir le programme et une enveloppe de 25M€/an pour des projets sur le zéro-émission
 <p>20xx & 2021</p>		70	Coordination stratégie nationale et projets 100 m€ budget initial de fonctionnement public / privé + financements sur projets	Plan national porté par la MPA avec un soutien de l'autorité

MEET2050 ?

Un soutien limité de l'Etat comparé aux autres filières du transport

Le maritime représente un poids important en termes de chiffre d'affaires (dont export) et d'emplois directs et indirects,



- Filière représentée par de nombreuses fédérations professionnelles
- Pas un unique leader industriel, mais des entreprises leaders sur chacun des segments de la chaîne de valeur (énergie, chantiers, armateurs ...)
- Jusqu'à aujourd'hui, pas de dynamique collaborative forte autour d'un plan partagé (enjeux insuffisants pour mobiliser toute une filière hétérogène ...)

La filière doit se structurer à l'image d'autres filières de la mobilité pour bénéficier d'un soutien de l'Etat notamment sur la transition énergétique

Formidables opportunités de développement d'activités industrielles sur le territoire



Multifilières avec besoins spécifiques

Production d'énergie

Produit : Unités de production d'énergie décarbonées pour le maritime.

Industriels français : TotalEnergies, EDF, ENGIE, Air Liquide, etc.

Marché : taille, prix unitaire moyen ...

Maturité : Emergeant

Concurrents : xxxx

Commentaires :



Spécifique

Port hub énergétique

Produit : Distribution d'énergie décarbonée et attractivité pour des escales.

Industriels français : Ports

Marché : taille, prix unitaire moyen ...

Maturité : Emergeant

Concurrents : Ports Européens

Commentaires : Développement des escales et du trafic en lien avec la capacité de distribution d'énergie décarbonée. Ex : Rotterdam sur le Bio et le GNL



Multifilières avec besoins spécifiques

PAC & Batteries

Produit : Piles à combustibles et batteries de moyenne et forte puissance

Industriels Français : SAFT (Batterie), Symbio, Hélion (PAC)

Marché : taille, prix unitaire moyen ...

Maturité : faible au regard des puissances attendues pour le maritime mais qui va se développer fortement

Concurrents : xxxx

Commentaires : Développement nouvelles technologies supportées par le CEA Tech, mais qui doivent passer à l'échelle de l'industrialisation



Spécifique

Motorisation

Produit : moteurs à combustion interne adaptés aux carburants marins

Industriels Français : MAN-ES filiale GBR

Marché : taille, prix unitaire moyen ...

Maturité : En cours de développement

Concurrents : Wartsilä, WinGD

Commentaires :



Spécifique

Stockage / soutage

Produit : cuves de stockage d'énergie décarbonée (hydrogène liquéfié, méthane liquéfié, méthanol, ammoniac)

Industriels français : GTT (leader mondial des cuves LNG), Air Liquide (leader sur le stockage LH2 terrestre)

Marché : taille, prix unitaire moyen ...

Maturité : Emergeant, tout type de navires à horizon 3 à 5 ans

Concurrents : Lynde

Commentaires :



Spécifique

Propulsion Vélique

Produit : systèmes de propulsion vélique : Ailes, Kite, rotors

Industriels français : Ayro (aile), Airseas / Beyond the sea (Kite), Chantiers de l'Atlantique (Voile rigide), CRAIN (profil aspiré).

Marché :

Maturité : Emergeant, tout type de navires à horizon 3 à 5 ans, 20 à 30% de la flotte mondiale

Commentaires : premières levées de fond réalisées par Ayro (11m€) et Beyond the sea (Crowdfunding). Prototype échelle 1/2 pour CdA et Airseas en cours de tests respectivement à terre et en mer



Spécifique

Efficience énergétique et opérationnelle

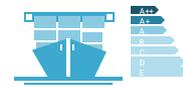
Produit et services : Systèmes de réduction de la consommation énergétique (ESD, Energy Management System), système de capture et stockage de CO₂, Récupération de chaleur / froid, optimisation de performances ...

Industriels français : Adrena (Routage), BVS (Services), Sofresid (CCS)

Marché : xxxx

Maturité : Existant mais qui va se renforcer avec la pression réglementaire croissante

Commentaires : Opportunité de développer un écosystème de solutions en produits et services associés.



Spécifique

Navires zéro émissions

Produit et services : Conception et fabrication de navires éco-efficents.

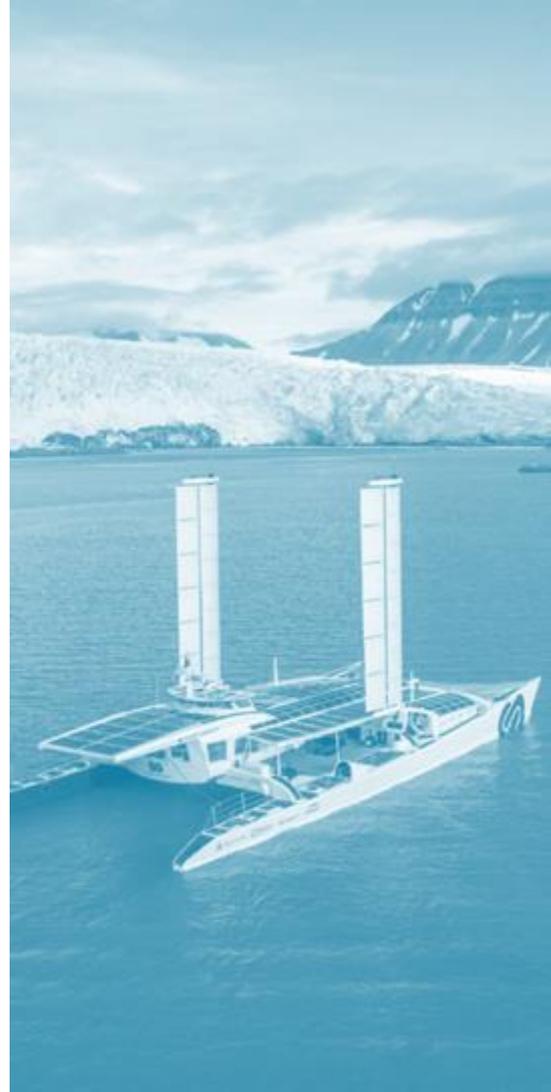
Industriels français : Chantiers de l'Atlantique, Naval Group, Pirio, CMN, Mauric, LMG Marin ...

Marché : Adrena (Routage), BVS (Services),

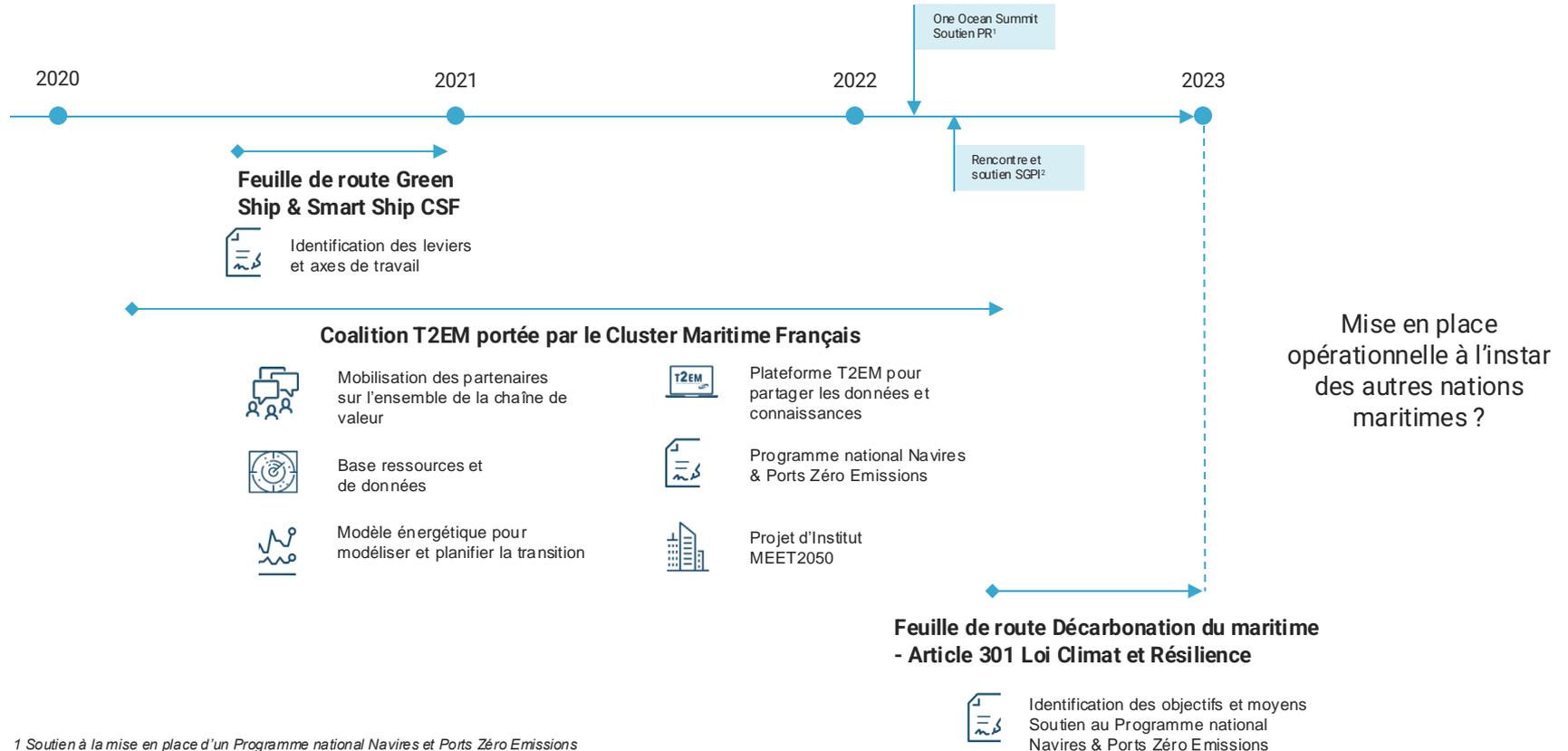
Maturité : Emergeant, tout type de navires à horizon 3 à 5 ans.

Commentaires : Opportunité de faire des chantiers français les pionniers sur les navires décarbonés et de relocaliser certains navires ou parties technologiques.

3 – La réponse de l'écosystème maritime national



Historique des initiatives nationales



1 Soutien à la mise en place d'un Programme national Navires et Ports Zéro Emissions

2 Soutien au financement de projet d'un Programme, sous réserve de la qualité des projets proposés

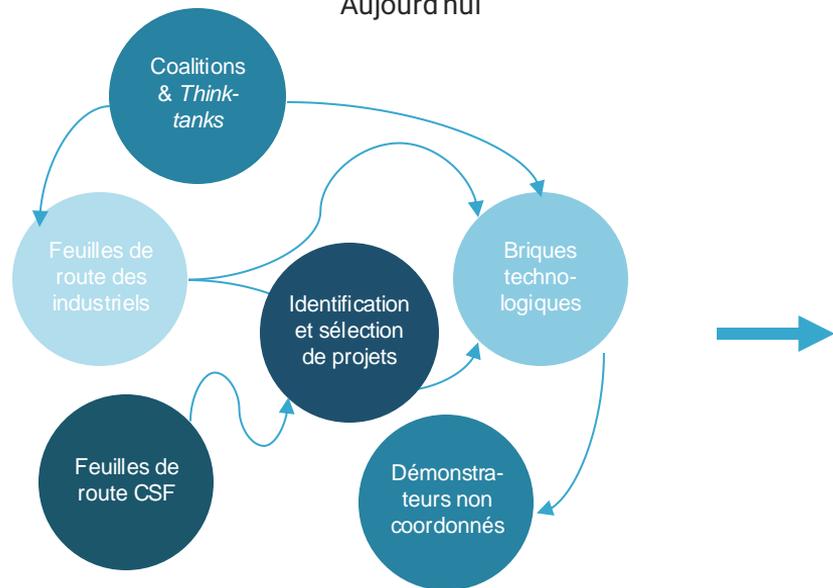
4 – Un programme national Navires et Ports Zéro Emissions



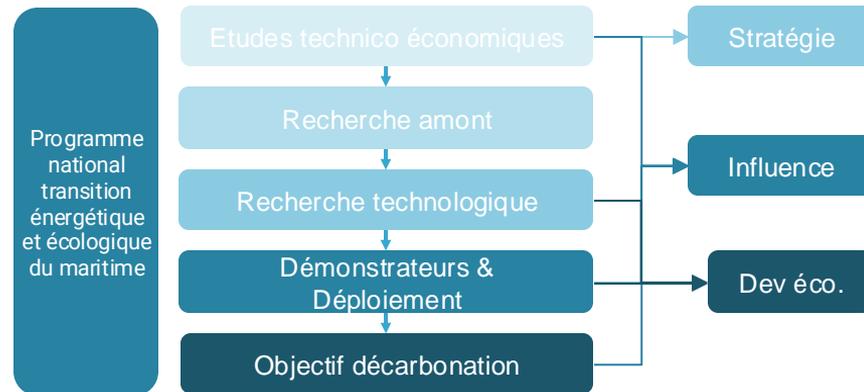
Des feuilles de route à un Programme national et des projets structurants

L'Institut MEET2050 s'inscrit dans la continuité des travaux réalisés ces dernières années pour définir les feuilles de route et regrouper des industriels autour de la transition environnementale, et favoriser son financement (CSF, CORIMER, T2EM ...)

Aujourd'hui



Objectifs de structuration de l'institut

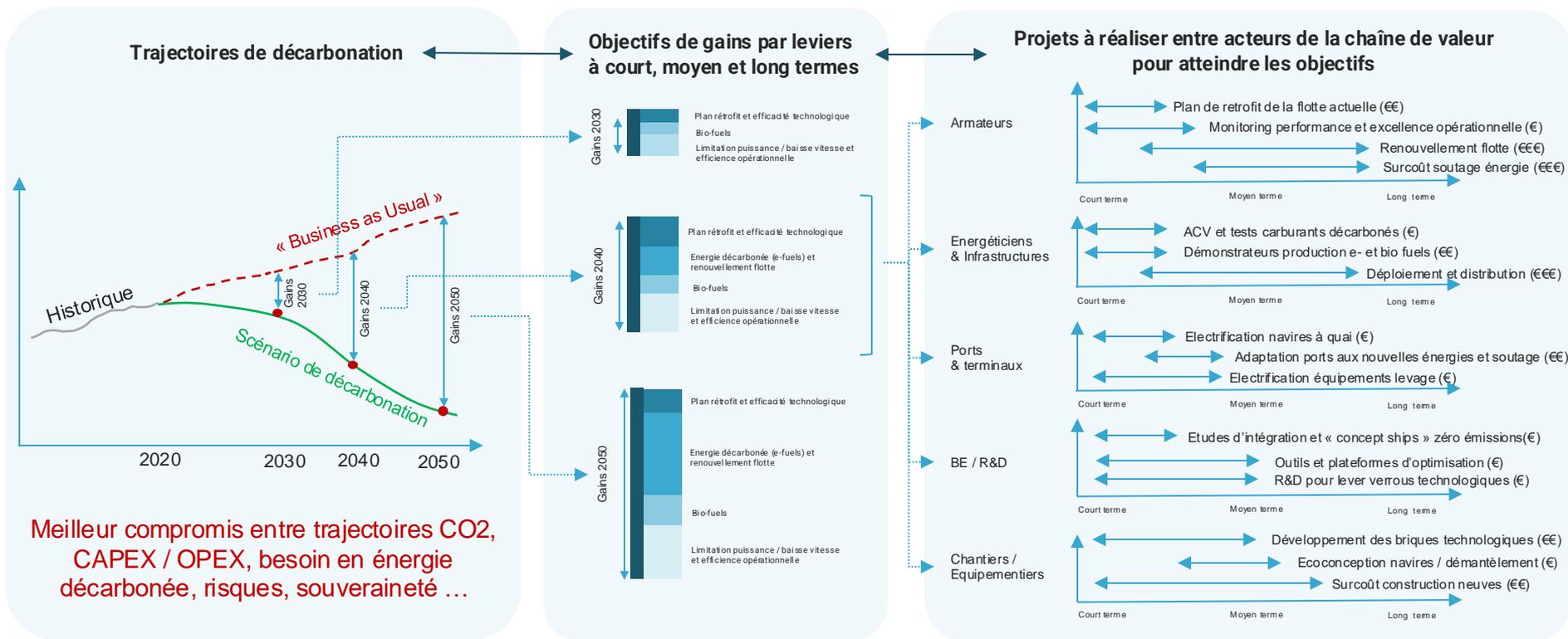


- Somme de petits projets
- Passage lent des feuilles de routes aux projets
- Sélection et financement long et aléatoire (AMI, AAP)
- Doublons de financement
- Manques sur certains domaines
- Pas d'objectifs et de trajectoire identifiées et partagées

- Un programme coordonnant des grands projets
- Continuité dans les développements de l'amont au marché
- Optimisation des financements privés et publics
- L'ensemble des thèmes et besoins couverts par des projets
- Objectifs et trajectoires identifiés et partagés par les filières concernées

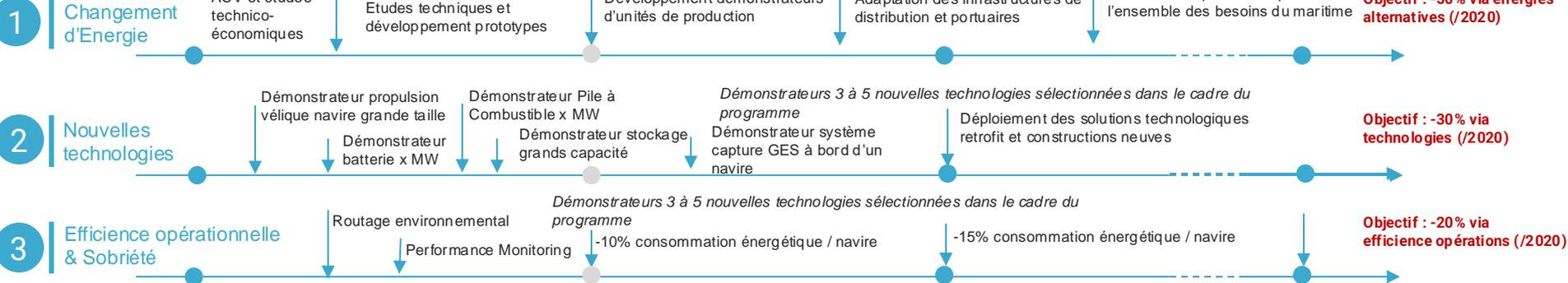
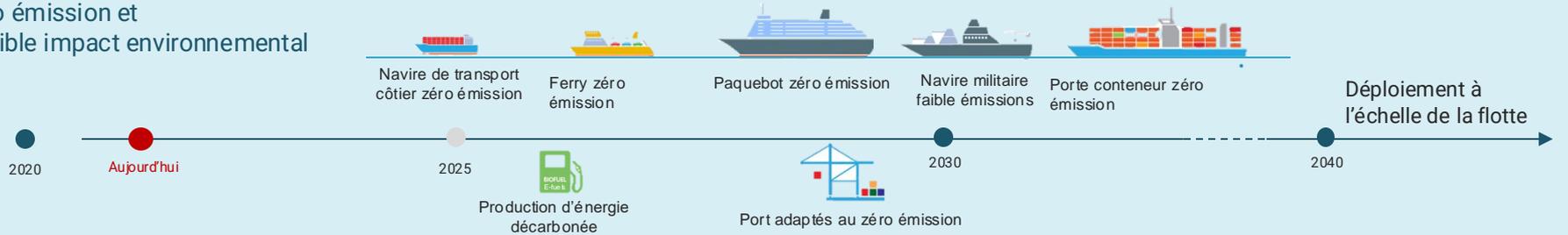
Une méthode pour atteindre les objectifs réglementaires et énergétiques

Des trajectoires à es objectifs et un plan industriel mobilisant l'ensemble des acteurs de la filière pour les atteindre



Un Programme national pour accélérer la transition du maritime et du fluvial

Premiers démonstrateurs
zéro émission et
à faible impact environnemental



Les 5 axes du Programme Navires et Ports Zéro Emissions

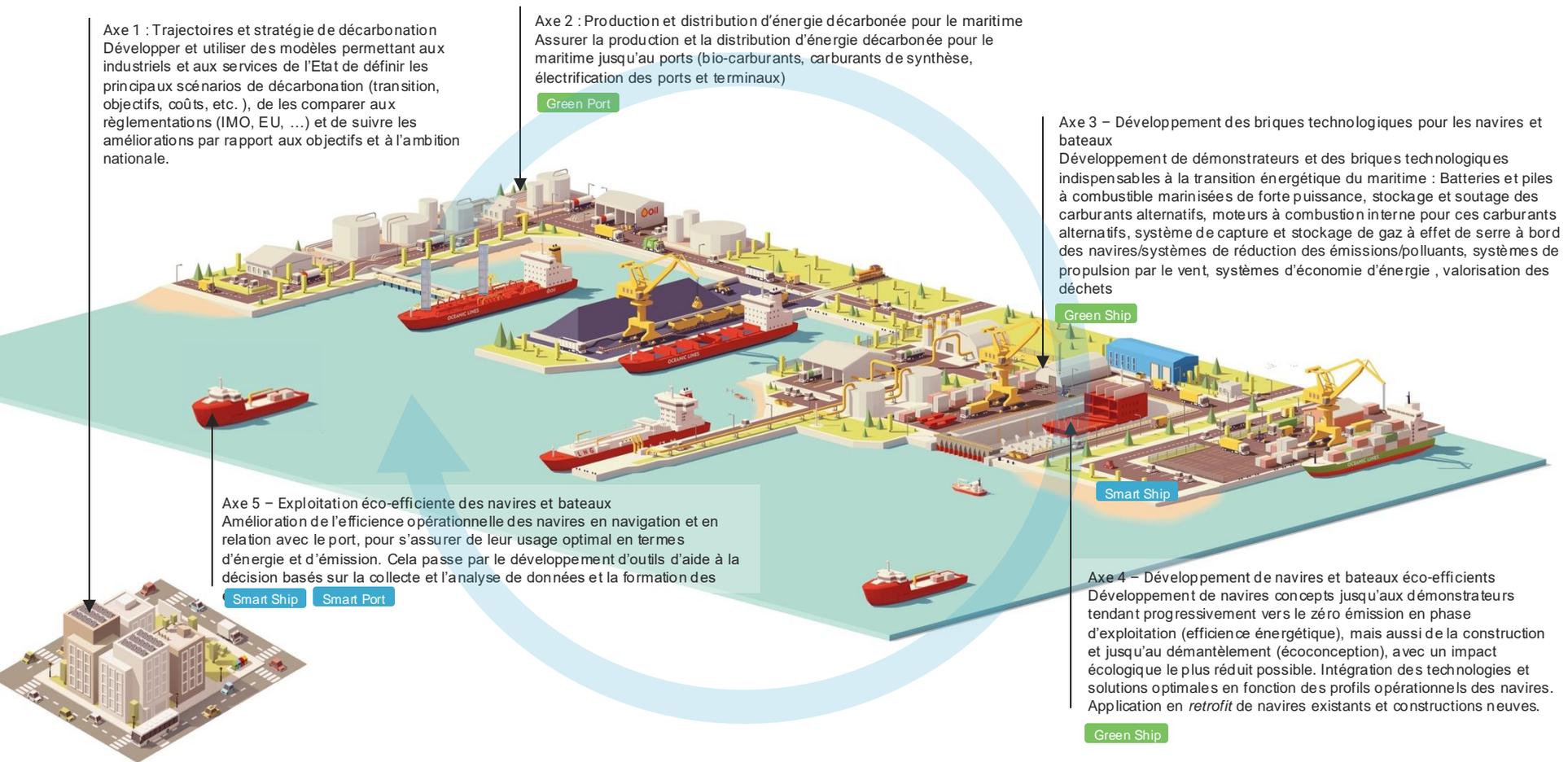
Axe 1 : Trajectoires et stratégie de décarbonation
Développer et utiliser des modèles permettant aux industriels et aux services de l'Etat de définir les principaux scénarios de décarbonation (transition, objectifs, coûts, etc.), de les comparer aux réglementations (IMO, EU, ...) et de suivre les améliorations par rapport aux objectifs et à l'ambition nationale.

Axe 2 : Production et distribution d'énergie décarbonée pour le maritime
Assurer la production et la distribution d'énergie décarbonée pour le maritime jusqu'au ports (bio-carburants, carburants de synthèse, électrification des ports et terminaux)

Axe 3 – Développement des briques technologiques pour les navires et bateaux
Développement de démonstrateurs et des briques technologiques indispensables à la transition énergétique du maritime : Batteries et piles à combustible marinisées de forte puissance, stockage et soutage des carburants alternatifs, moteurs à combustion interne pour ces carburants alternatifs, système de capture et stockage de gaz à effet de serre à bord des navires/systèmes de réduction des émissions/polluants, systèmes de propulsion par le vent, systèmes d'économie d'énergie, valorisation des déchets

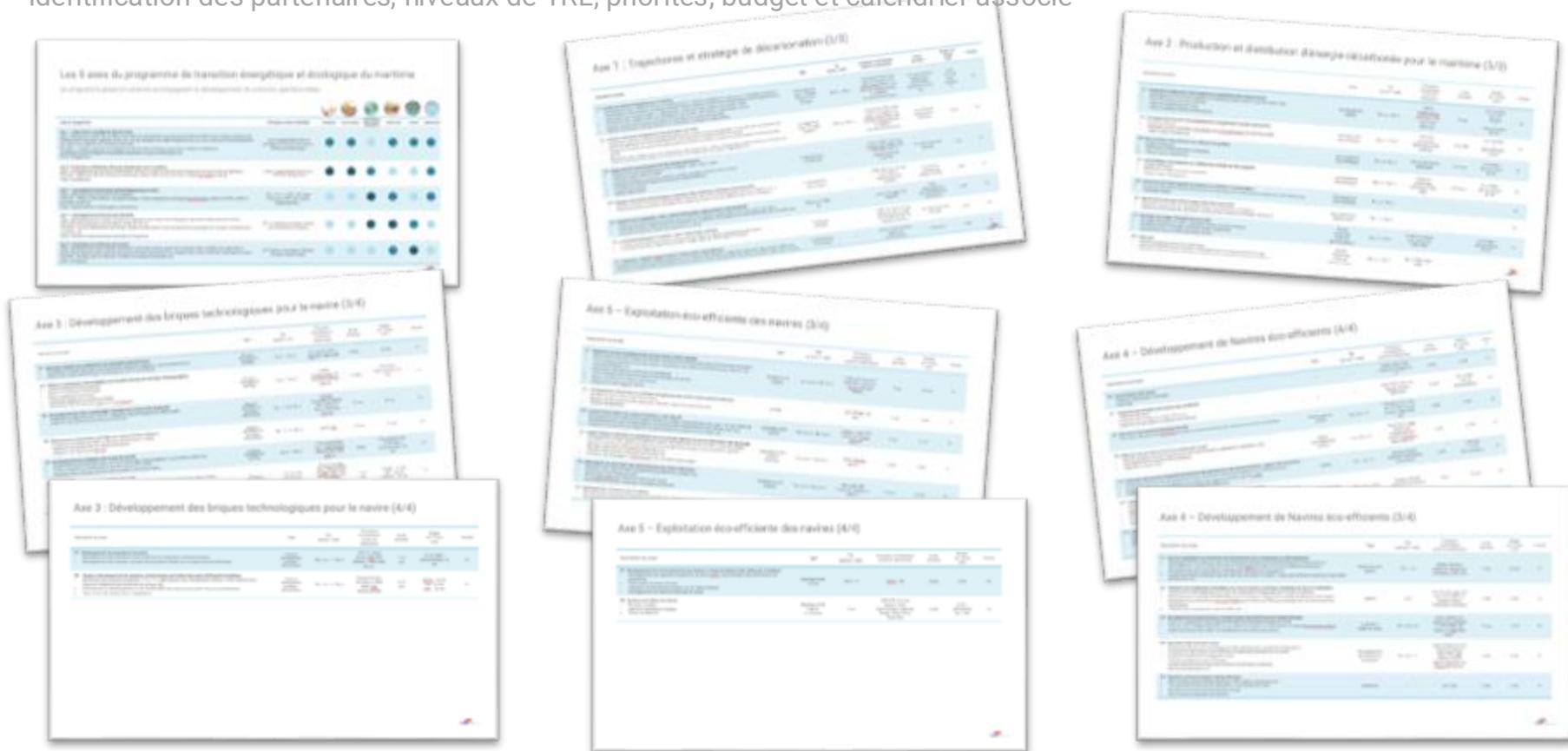
Axe 5 – Exploitation éco-efficace des navires et bateaux
Amélioration de l'efficacité opérationnelle des navires en navigation et en relation avec le port, pour s'assurer de leur usage optimal en termes d'énergie et d'émission. Cela passe par le développement d'outils d'aide à la décision basés sur la collecte et l'analyse de données et la formation des

Axe 4 – Développement de navires et bateaux éco-efficaces
Développement de navires concepts jusqu'aux démonstrateurs tendant progressivement vers le zéro émission en phase d'exploitation (efficacité énergétique), mais aussi de la construction et jusqu'au démantèlement (écoconception), avec un impact écologique le plus réduit possible. Intégration de technologies et solutions optimales en fonction de ses profils opérationnels des navires. Application en *retrofit* de navires existants et constructions neuves.



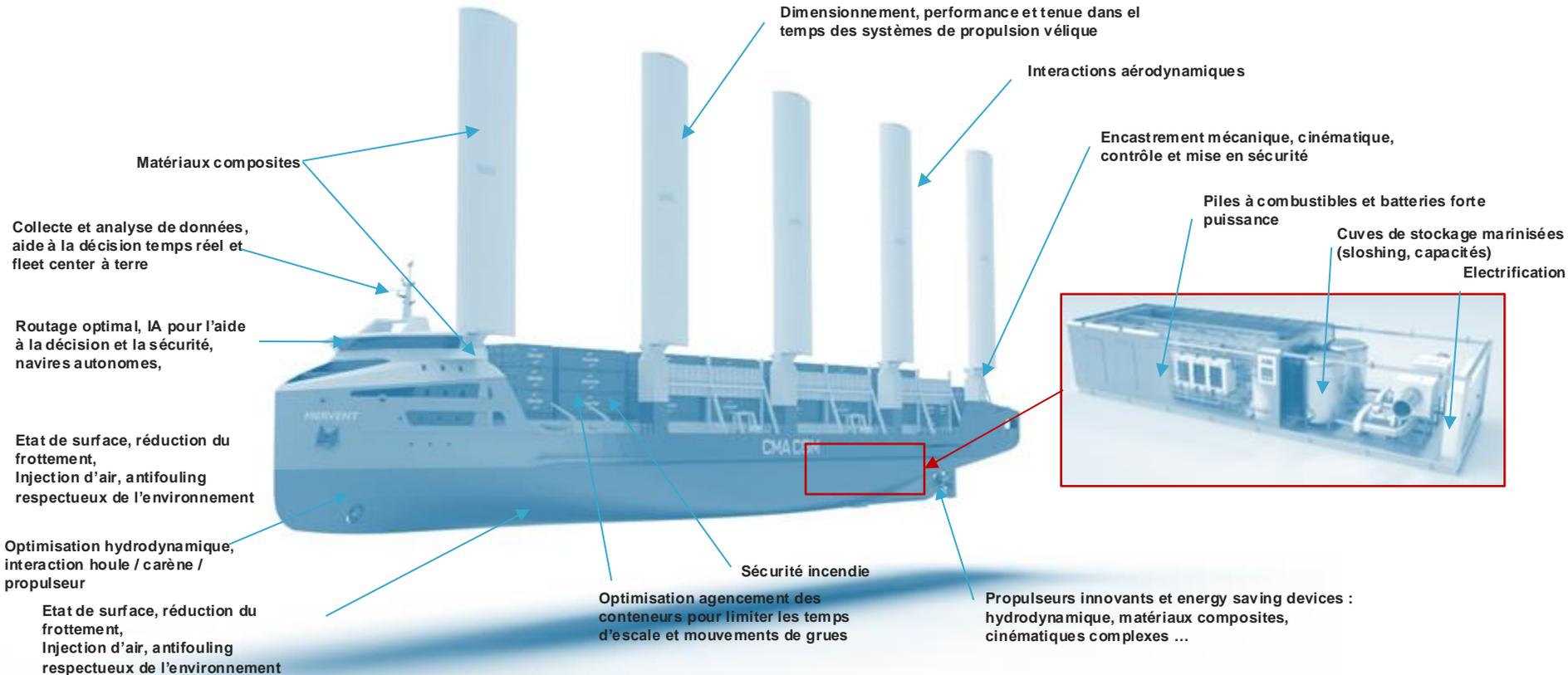
Première version du Programme présenté en annexe

Identification des partenaires, niveaux de TRL, priorités, budget et calendrier associé



Exemples d'innovations à intégrer sur les navires en quelques années

Le navire : un système de plus en plus complexe qui repose sur des approches multi-physiques



Dimensionnement, performance et tenue dans le temps des systèmes de propulsion vélique

Interactions aérodynamiques

Encastrement mécanique, cinématique, contrôle et mise en sécurité

Matériaux composites

Collecte et analyse de données, aide à la décision temps réel et centre de contrôle à terre

Routage optimal, IA pour l'aide à la décision et la sécurité, navires autonomes,

Optimisation aérodynamique

Optimisation hydrodynamique, interaction houle / carène / propulseur

Sécurité incendie

Etat de surface, réduction du frottement, Injection d'air, antifouling respectueux de l'environnement

Eco-conception
Recyclage

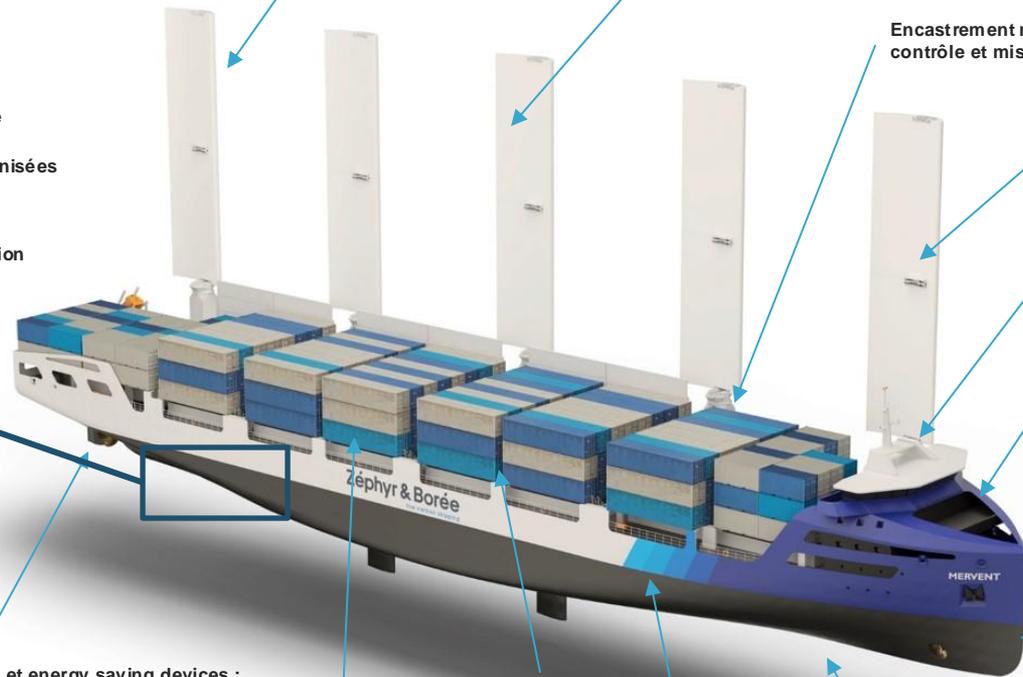
Optimisation agencement des conteneurs pour limiter les temps d'escale et mouvements de grues

Propulseurs innovants et energy saving devices : hydrodynamique, matériaux composites, cinématiques complexes ...

Electrification

Cuves de stockage marinisées (sloshing, capacités)

Piles à combustibles et batteries forte puissance



Exemple de besoins académiques sur de nombreuses thématiques

Thématiques



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



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



Economie et réglementation bleue : droit maritime, droit de l'environnement marin, économie maritime, réglementation internationale maritime, etc ...



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)



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, trainée / portance hydro-aérodynamique



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



Réseau électrique navire avec l'électrification des navires, courant DC forte puissance à bord, optimisation du réseau, Energy Management System intégrant de multiples contribution, ...

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 efficace les algorithmes d'optimisation et l'utilisation « temps réel »



Modèles de prévisions de l'environnement à un tour du navire (houle, vent, courant), saillures 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.



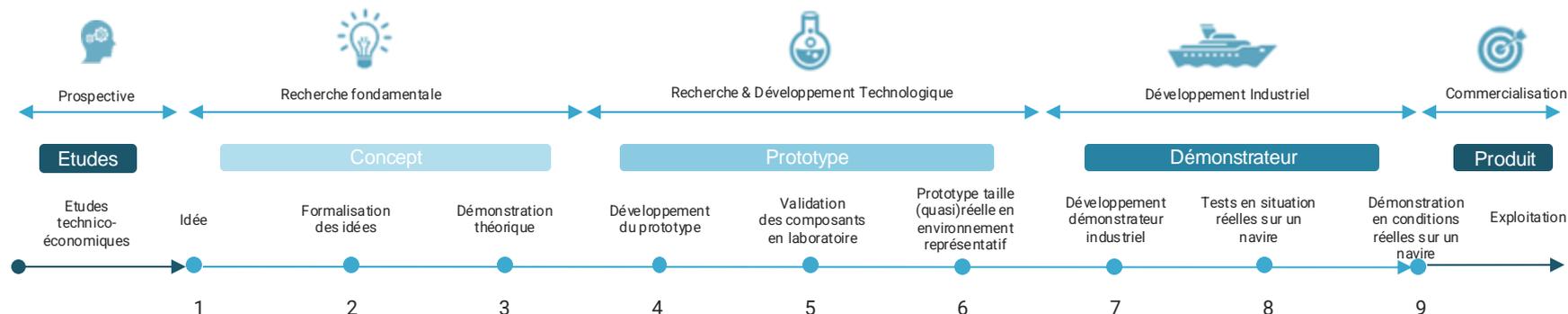
Optimisation multi-objectifs de systèmes : profils opérationnels, formes de carène / appendices / propulseurs, systèmes énergétiques, etc.



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, ...)

Structuration du Programme Navires et Ports Zéro Emissions

Des études technico-économiques au produit industriel en passant par les phases de concept, prototype et démonstrateur



Programme national de transition énergétique et écologique du maritime

Institut

Acteurs académiques

Centres de recherche Technologiques publics

Industriels, entreprises (PME, ETI, Grands Groupes, Startups)

Axe 1 :
Trajectoires
et stratégie
de
décarbonatio
n

Programme PEPR
Support académique aux
différents axes du
programme

Axe 2 – Production et distribution d'énergie décarbonée pour le maritime

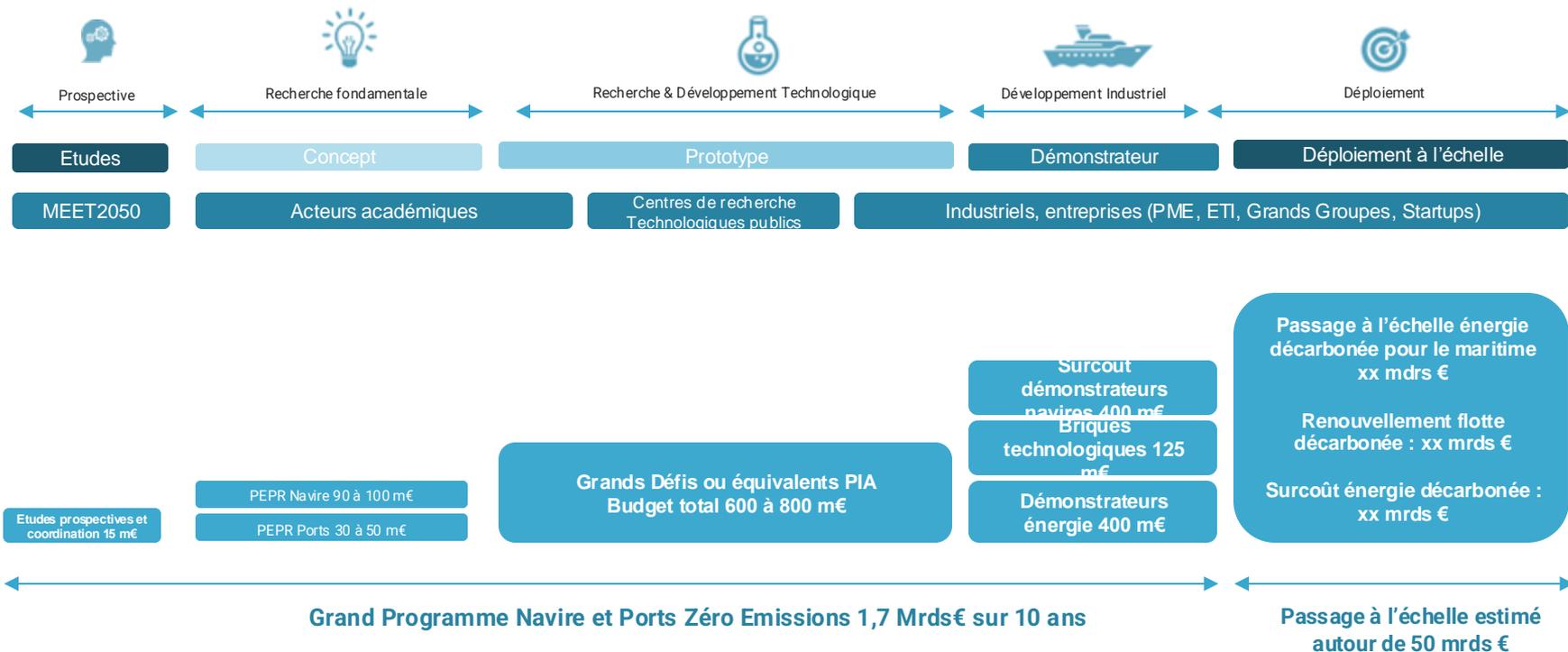
Axe 3 – Utilisation et conversion d'énergie décarbonée à bord des navires

Axe 4 – Développement et fabrication de Navires éco-efficient

Axe 5 – Exploitation éco-efficient des navires en opération

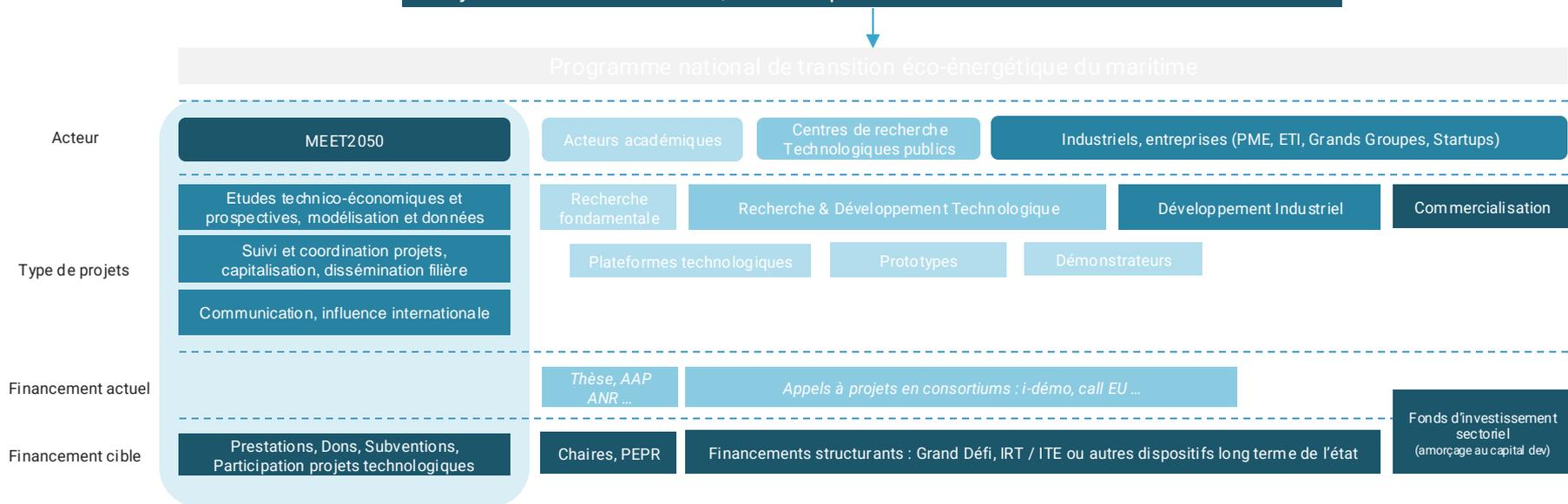
Budget du Programme Navires et Ports Zéro Emission

Des études technico-économiques au produit industriel en passant par les phases de concept, prototype et démonstrateur



La nécessité de coordination d'un programme composé de multiples projets

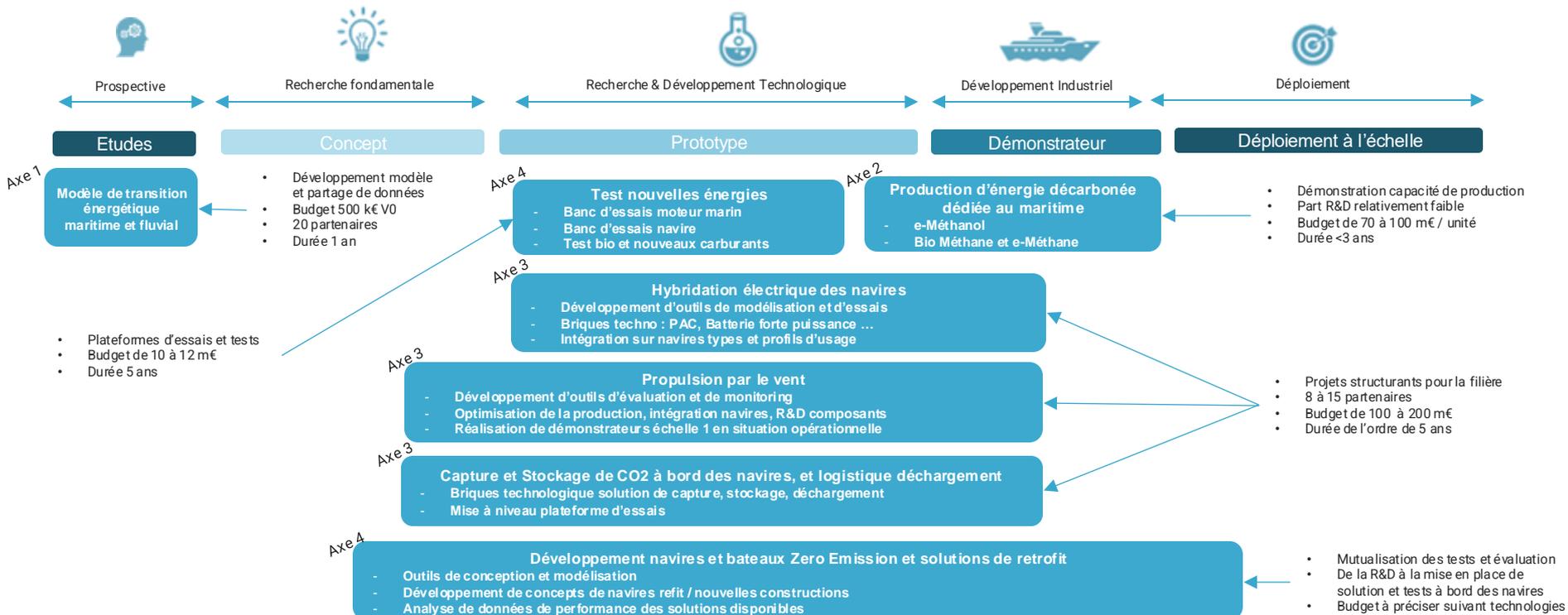
Objectifs environnementaux, économiques et de souveraineté en lien avec le maritime



Financement public/privé mobilisant les dispositifs de financement de l'Etat avec le CORIMER

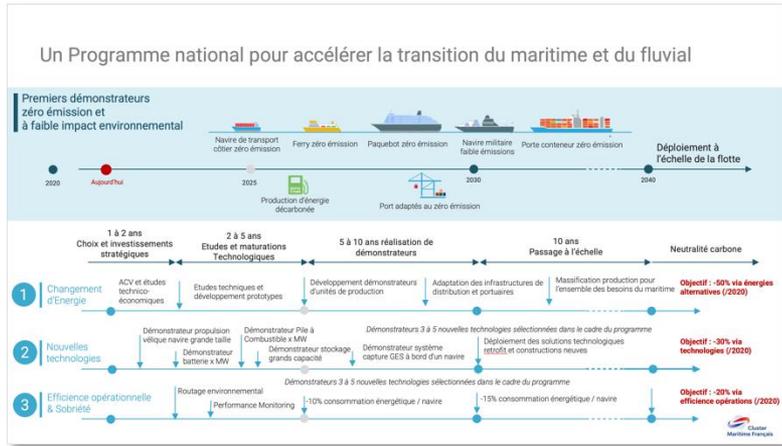
Projets prioritaires du Programme Navires et Ports Zéro Emissions

Identification des premiers projets suivant les critères suivants : Priorité 1, Impact court terme, Partenaires identifiés, Montage des projets avancés et en cours de rédaction



Deux piliers pour atteindre les objectifs

Programme National Navires & Ports Zéro Emissions



- Toute la chaîne de valeur industrielle et recherche, près d'une centaine d'acteurs
- Soutien de l'ensemble des fédérations, pôles, régions et institutionnels concernés
- Logique de co-investissement privés et publics sur des montants très significatifs
- Opportunité de développement économique, de souveraineté technologique et énergétique

Institut Transition Energétique et Environnementale du Maritime MEET2050

- Regroupement des acteurs nationaux de la transition dans un centre d'expertise
- Constitué de personnels en propre et mis à disposition (40 à 50 personnes)
- Financement privé avec soutien public à définir

Six grands services apportés par MEET2050 :

1. Apporter une **expertise transverse** sur les sujets de transition à l'ensemble des acteurs de la filière et en soutien aux politiques publiques,
2. **Accompagner la mise en place du Programme National Navires et Ports Zéro Émissions** de la définition des projets à leur réalisation,
3. **Réaliser des études de R&D et technico-économiques** pour contribuer à la **définition des stratégies d'entreprises** et apporter un **soutien aux politiques publiques**
4. Accélérer le **développement, le déploiement et la validation des solutions** de transition sur l'ensemble des leviers
5. **Collaborer** avec des centres nationaux en lien avec les sujets de transition
6. Mettre en place des **actions de communication et d'influence**

5 – Un Institut MEET2050 pour
coordonner les actions nationales
autour de la transition du maritime



Fiche signalétique de MEET2050

Juridique



- SAS à Mission avec réinvestissement d'éventuels profits dans les projets
- Objectif de création 1^{er} janvier 2023
- Associés fondateurs: grands groupes et leaders internationaux couvrant l'ensemble de la chaîne de valeur
- Partenaires : ensemble de l'écosystème PME, Startups, ETI, grands groupes, Laboratoires, centres de recherche, fédérations, pôles ...
- Gouvernance industrielle impliquant l'ensemble de l'écosystème, agile et transparente pour accélérer la transition

Financement



- Financement privé en phase d'amorçage assuré par les fondateurs et partenaires
- Services rémunérés de montage des projets du programme, de la définition au financement
- Prestations d'études technico-économiques et stratégiques pour le compte d'acteurs publics et privés
- Subventions publiques FR et EU par la participation à des projets
- Aide de l'Etat à définir au regard des services de soutien aux politiques publiques (statut type ITE ou équivalent à terme ?)

Equipe



- Une quarantaine de collaborateurs, dont la moitié d'experts mis à disposition par les fondateurs et partenaires
- Expertise transverse unique autour du maritime : scientifique, technologies, énergétique, réglementaire, économique, social ...

Localisation



- Nantes pour les éléments technologiques en lien avec les chantiers, bureaux d'étude et d'architecture, société de classification, laboratoires et centres de recherche
- Marseille pour les éléments liés aux opérations maritimes et de logistique en lien avec les armateurs et les ports
- Paris en lien avec les institutionnels, politiques et sièges des grands groupes notamment énergétiques
- Localisation à terme en lien avec les autres centres homologues à l'international

Les domaines d'action de MEET2050

Prérequis indispensables pour réussir la transition du maritime



Collaboration

La collaboration entre acteurs de la chaîne de valeur, sur l'ensemble des TRL est indispensable pour à la fois développer les solutions, mais aussi les mettre rapidement sur le marché.



Innovation technologique

Les gains attendus en termes de performance énergétique, d'efficacité opérationnelle, de capacité à produire de l'énergie décarbonée avec des rendements élevés, la capacité à les maîtriser en sécurité, etc ... nécessitent des innovations technologiques majeures.



Règlementation et politiques publiques

La réglementation et les politiques publiques sont donc cruciales pour favoriser l'émergence de solutions innovantes mais peu compétitives, ou pour définir une politique nationale permettant l'usage des moyens de transport les plus efficaces.



Marché / offre & demande

Le coût important des solutions de décarbonation limite aujourd'hui leur déploiement à l'échelle, car elles sont en compétition avec des solutions carbonées. Régler le problème de l'offre et de la demande est un axe prioritaire pour permettre le développement de solutions.



Financement

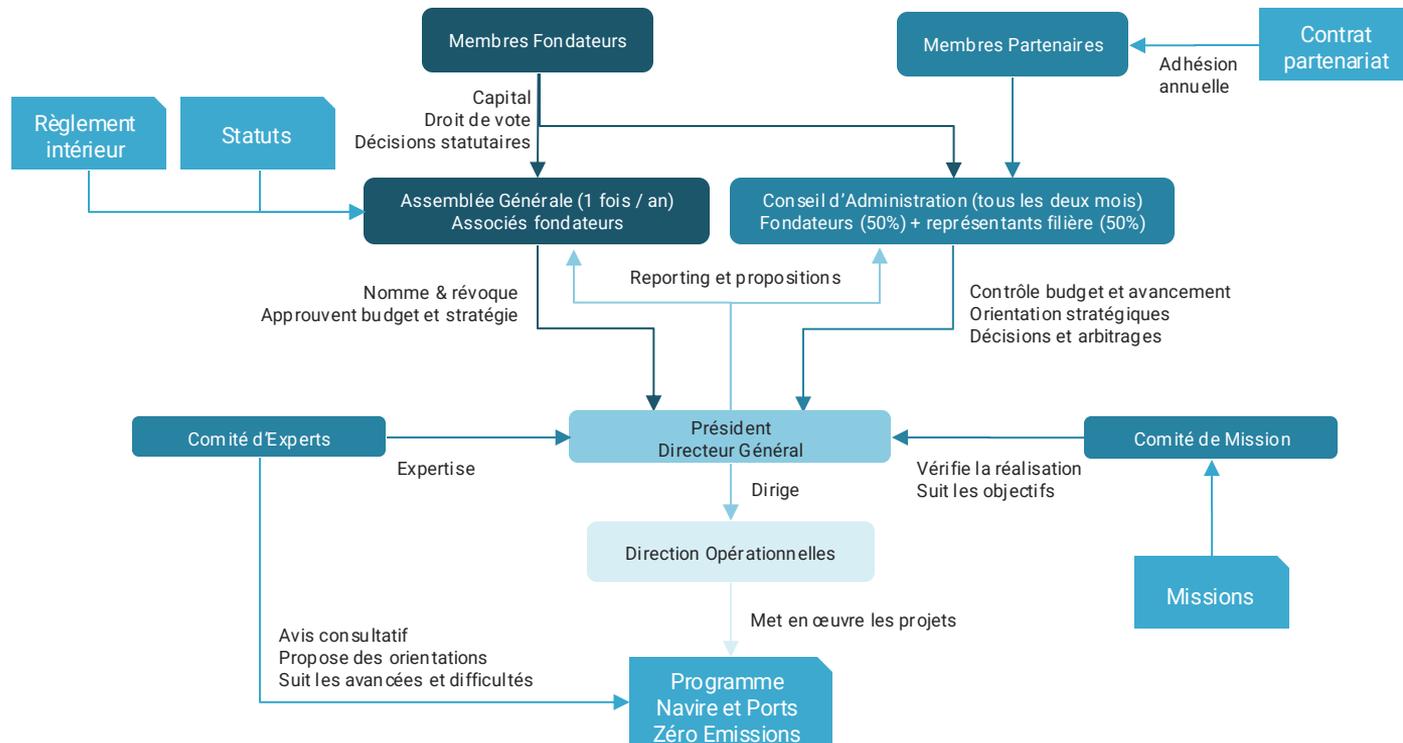
Le financement et l'investissement public ou privée joue donc un rôle clé, en permettant à la fois de soutenir la recherche fondamentale et l'innovation, en favorisant le déploiement de prototypes et démonstrateurs, et en permettant de soutenir des solutions de décarbonation encore peu compétitives.



Compétences et Formation

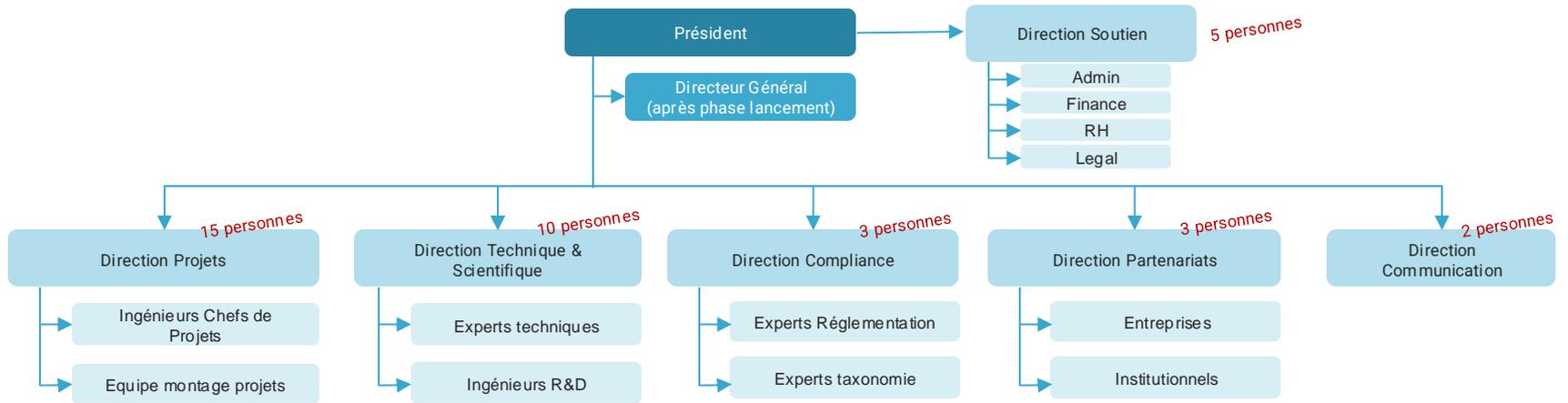
Le changement de technologies en très peu de temps, la recherche de solutions jusqu'alors non mises en œuvre, va nécessiter de disposer de ressources compétentes et formées sur les nouveaux défis.

Gouvernance



Organigramme opérationnel de MEET2050

Une organisation pour réaliser les services attendus avec une quarantaine de personnes, dont la moitié mise à disposition des partenaires.



Mécanisme de Success Fees

Une organisation pour réaliser les services attendus avec une quarantaine de personnes, dont la moitié mise à disposition des partenaires.



Un Institut pour fédérer, collabore et influencer sur l'Europe et le monde

Être forts et coordonnés au niveau national pour mieux collaborer et influencer au niveau international

1 - Fédérer



Les enjeux au niveau national :

- 1 - Fédérer les acteurs industriels et académiques sur un programme de décarbonation
- 2 – Cofinancer des projets d'innovation, des études technico-économiques
- 3 – Regrouper l'ensemble des compétences transverses et partager les informations stratégiques

2 – Pour collaborer



La nécessité d'une collaboration Européenne :

- 1 – Permettre à des acteurs majeurs Européen de collaborer sur des projets identifiés
- 2 – Participer aux projets Européens majeurs sur le maritime
- 3 – Faire porter la voix de la France dans les instances Européennes, avec par exemple des résultats d'études
- 4 – Accéder à des financements Européens

3 – Puis influencer



Influencer et collaborer au niveau mondial :

- 1 – Collaborer avec les centres d'innovation et de décarbonation au niveau international (Ex : Fondation de Singapour, Marin ...)
- 2 – Apporter des résultats d'études et projets permettant à la France et à ses industries de soutenir leurs politiques et stratégies
- 3 – Influencer la réglementation vers les besoins de la filière

Points de contact – Phase préparatoire du projet



Erwan JACQUIN

Responsable du projet

e.jacquin@meet2050.org

Tel : 06 88 70 01 82

- Directeur R&D CMA CGM (2020 / mi-2021)
- CEO Bureau Veritas Solution M&O (mi-2015 / fin 2020)
- Fondateur & CEO HydrOcean (Acquisition BV M&O en 2015)
- Fondateur & CEO Nextflow (Acquisition SIEMENS en 2021)
- Expert Résistance & Propulsion DGA Techniques Hydrodynamiques
- Ingénieur Ecole Centrale Nantes et Docteur ingénierie marine et simulation numérique



Jean-François SIGRIST

Responsable Scientifique et Projets

jf.sigrist@meet2050.org

Tel : 06 84 18 44 08

- Expert technique et consultant domaine maritime
- Responsable équipe technique chef Naval Group
- Chef de projet IRT Jules Vernes
- Auteur de six livres scientifiques et de vulgarisation
- Ingénieur ENSTA Paris Master et PhD Ecole Centrale de Nantes
- Habilité à Diriger les Recherches



Emmanuel-Marie PETON

En charge des relations institutionnelles

em.peton@meet2050.org

Tel : 06 24 74 08 63

- Directeur du projet T2EM
- Responsable Innovation et Transformation Cluster Maritime Français (2013 / 2022)
- Chargé de mission GICAN (2012-2013)
- Chargé d'étude Ministère de la Défense (2008-2012)

Avec les soutiens actifs de :



Frederic MONCANY de St-AIGNAN

Président Cluster Maritime Français
Président ENSM



Stéphane CASSEREAU

Directeur IRT Jules Vernes
Secrétaire général FIT

Conclusions et perspectives

1. Transition énergétique est un **sujet majeur pour la filière maritime**, mais au-delà **pour toute l'économie nationale** dont elle dépend.
2. **Les principaux pays maritimes se sont organisés** pour répondre à ces enjeux par la mise en place de moyens humains et financiers dédiés, parfois très significatifs.
3. Travail préparatoire majeur a été réalisé par l'ensemble des acteurs du maritime national autour du Cluster Maritime Français afin de répondre à la demande du Président de la République exprimée lors du One Ocean Summit et de relever les défis à venir :
 - **Création de l'Institut de MEET2050** dans une démarche de collaboration public / privé
 - **Mise en place et réalisation du Programme Navires et Ports Zéro Emissions**
4. Besoin de **formaliser le soutien de l'Etat à la démarche** et au co-financement de ce projet pour mobiliser définitivement les acteurs industriels
5. Opportunité de mise en place d'un évènement symbolique officialisant le lancement avant la fin de l'année en présence de l'Etat (Secrétaire d'Etat à la Mer, SGPI, DGE ...) et des CEO des partenaires fondateurs.



Annexe : Programme et projets initiaux

Notes :

1 - Le programme est en cours de définition avec l'ensemble des partenaires et acteurs. Il ne présente qu'une première vision qui doit être complétée et affiné (partenaires, budget, ressources ...) de façon incrémentale.

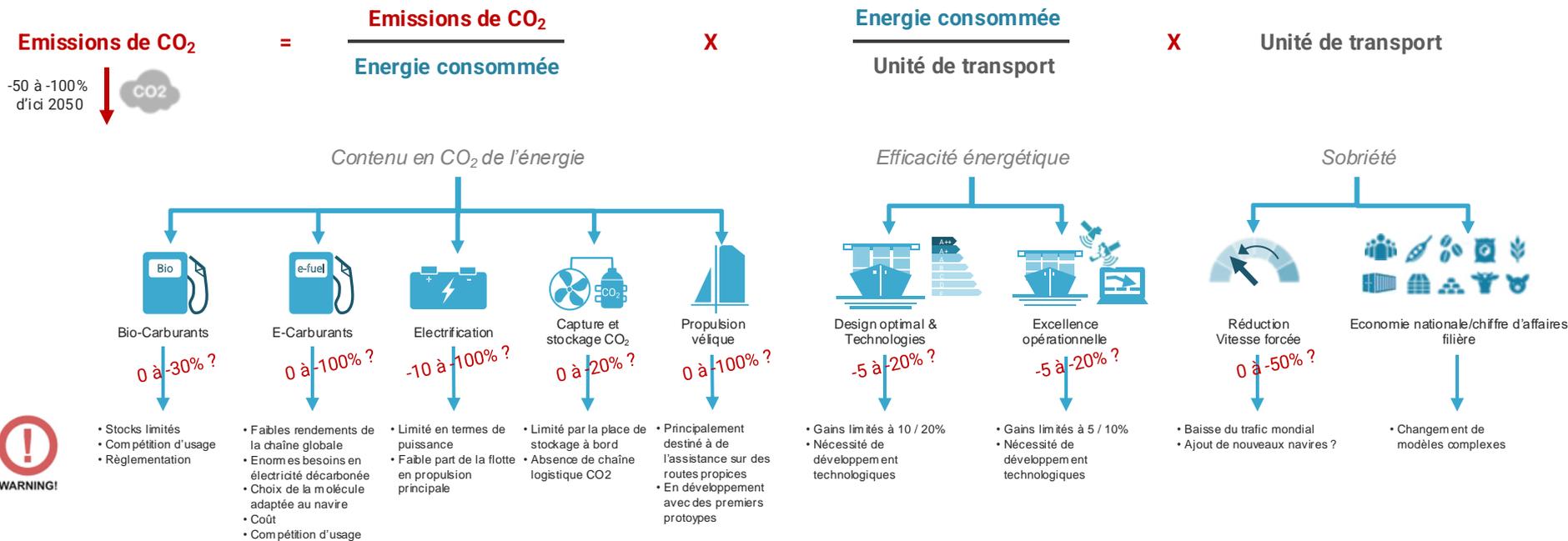
2 - L'objectif est de regrouper les initiatives afin d'éviter les doublons, de s'assurer que l'ensemble des solutions et briques technologiques seront bien développées ou évaluées dans le cadre de MEET2050

3 - Les engagements industriels ne seront formalisés qu'après confirmation d'un soutien financier de l'Etat sur le programme, dans des conditions compatibles avec les attentes des partenaires.



Des solutions identifiées mais des verrous difficiles à lever

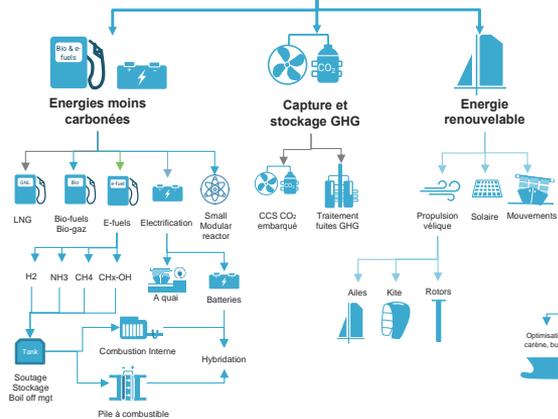
L'égalité de Kaya adaptée au transport maritime exprime les émissions de CO₂ du transport maritime comme une multiplication des principaux ratios énergétiques et d'activité. La baisse imposée des émissions (terme de gauche) doit être réalisée sur les trois termes de droite impliquant une combinaison de réduction du contenu en CO₂ de l'énergie utilisée, de gain d'efficacité énergétique et enfin le recours à de la sobriété tout en prenant en compte les contraintes et enjeux économiques d'un transport maritime par lequel passe 85% des importations et exportations françaises



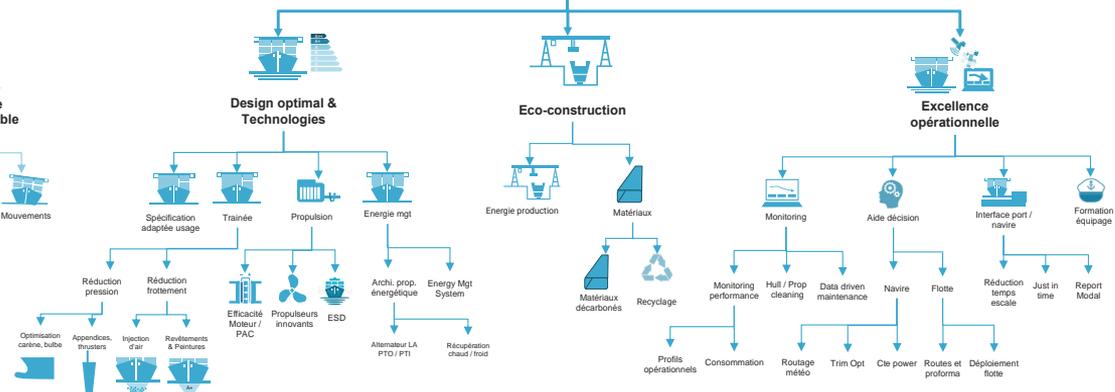
Forte complexité technologique, sans solution immédiate, scalable ou applicable à l'ensemble de la flotte, ce qui nécessite un changement de paradigme pour appréhender ce challenge

Les principaux leviers de la décarbonation des navires

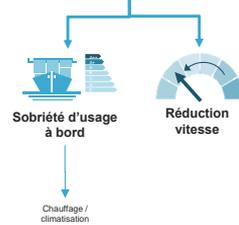
Energie moins carbonée



Efficacité énergétique



Sobriété



Les 5 axes du Programme Navires et Ports Zéro Emission

Axe 1 : Trajectoires et stratégie de décarbonation
Développer et utiliser des modèles permettant aux industriels et aux services de l'Etat de définir les principaux scénarios de décarbonation (transition, objectifs, coûts, etc.), de les comparer aux réglementations (IMO, EU, ...) et de suivre les améliorations par rapport aux objectifs et à l'ambition nationale.

Axe 2 : Production et distribution d'énergie décarbonée pour le maritime
Assurer la production et la distribution d'énergie décarbonée pour le maritime jusqu'au ports (bio-carburants, carburants de synthèse, électrification des ports et terminaux)

Green Port

Axe 3 – Développement des briques technologiques pour les navires et bateaux
Développement de démonstrateurs et des briques technologiques indispensables à la transition énergétique du maritime : Batteries et piles à combustible marinisées de forte puissance, stockage et soutage des carburants alternatifs, moteurs à combustion interne pour ces carburants alternatifs, système de capture et stockage de gaz à effet de serre à bord des navires/systèmes de réduction des émissions/polluants, systèmes de propulsion par le vent, systèmes d'économie d'énergie, valorisation des déchets

Green Ship

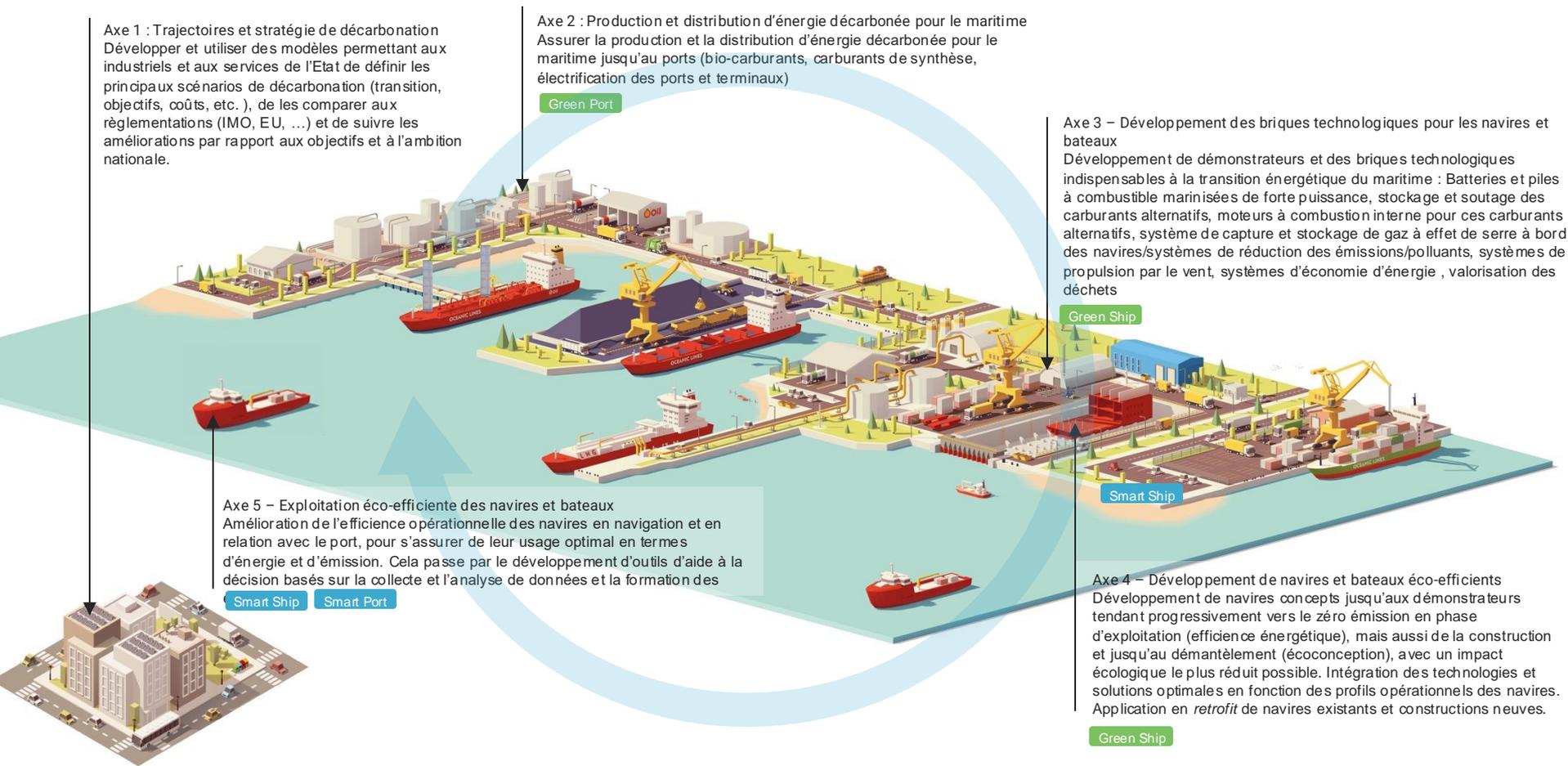
Axe 5 – Exploitation éco-efficace des navires et bateaux
Amélioration de l'efficacité opérationnelle des navires en navigation et en relation avec le port, pour s'assurer de leur usage optimal en termes d'énergie et d'émission. Cela passe par le développement d'outils d'aide à la décision basés sur la collecte et l'analyse de données et la formation des

Smart Ship Smart Port

Smart Ship

Axe 4 – Développement de navires et bateaux éco-efficaces
Développement de navires concepts jusqu'aux démonstrateurs tendant progressivement vers le zéro émission en phase d'exploitation (efficacité énergétique), mais aussi de la construction et jusqu'au démantèlement (écoconception), avec un impact écologique le plus réduit possible. Intégration de technologies et solutions optimales en fonction de ses profils opérationnels des navires. Application en *retrofit* de navires existants et constructions neuves.

Green Ship



Les 5 axes du programme de transition énergétique et écologique du maritime

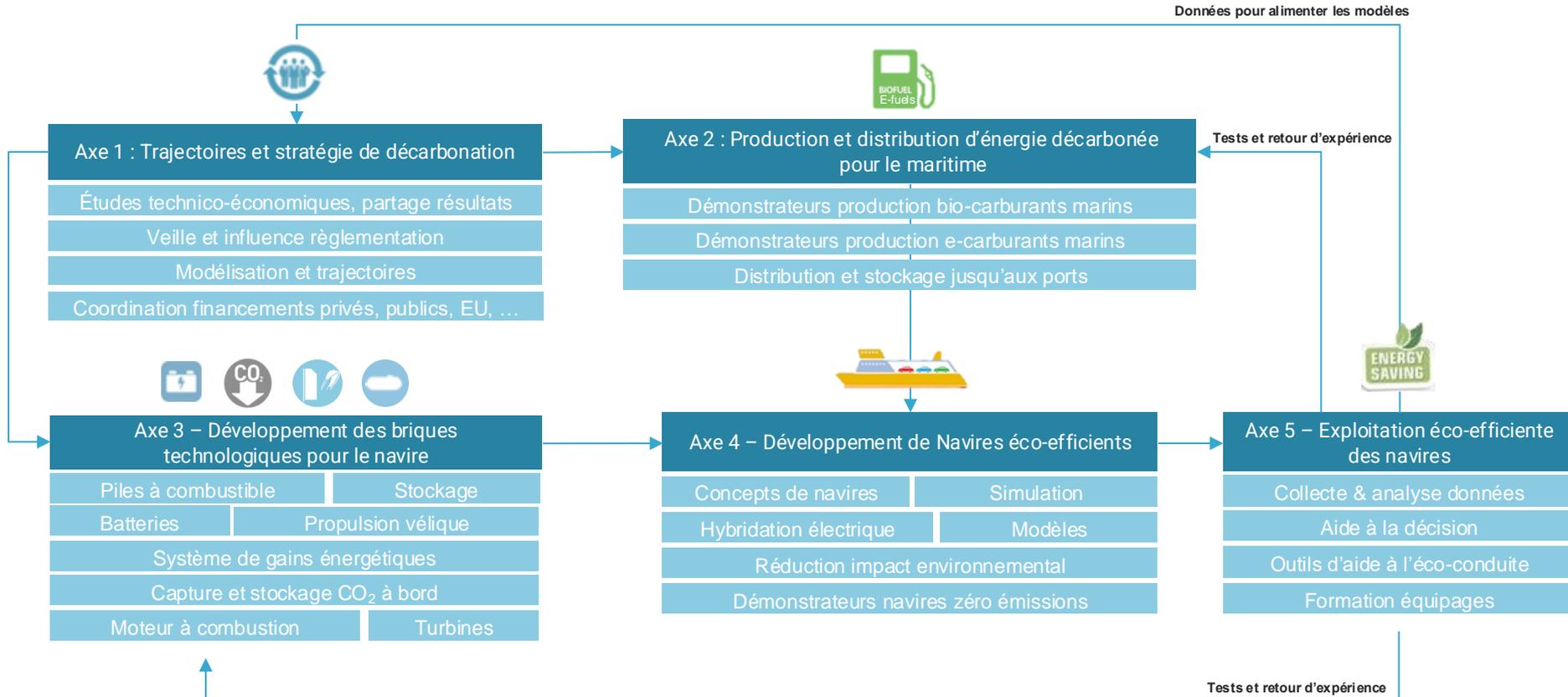
Un programme global et cohérent accompagnant le développement de solutions opérationnelles



Axes du programme	Principaux acteurs identifiés	Energéticiens	Ports et terminaux	Équipementiers, Bureau d'étude et d'architecture	Chantiers Naval	Armateur	Réglementation
<p>Axe 1 : Trajectoires et stratégie de décarbonation <i>Objet</i> : Développer et utiliser de modèles permettant aux industriels et aux services de l'état de définir les principaux scénarios de décarbonation (transition, objectifs, coûts, etc.), de les comparer aux réglementations (IMO, EU, etc.) et de suivre les améliorations par rapport aux objectifs et à l'ambition nationale. <i>Périmètre</i> : modèles, trajectoire et stratégies de décarbonation, études prospectives, analyses stratégiques, orientations/recommandations de politiques publiques, de choix technologies, etc. <i>Pilote</i> : Energéticiens</p>	<p>Tous les partenaires avec un pilotage par l'Institut, et le support d'acteurs académiques</p>	●	●	●	●	●	●
<p>Axe 2 : Production et distribution d'énergie décarbonée pour le maritime <i>Objet</i> : Développement de solutions de production de bio et e-fuels, et test sur banc d'essais et sur des navires en opération <i>Périmètre</i> : Méthane (LNG, bio-méthane, e-méthane), méthanol (bio- et e-), ammoniac, Diesel (bio-diesel, e-diesel) <i>Pilote</i> : Energéticiens</p>	<p>IFPEN, TotalEnergies, ENGIE, EDF ... GTT, Air Liquide, Ports</p>	●	●	●	●	●	●
<p>Axe 3 – Développement des briques technologiques pour le navire <i>Objet</i> : développement de briques technologiques <i>Périmètre</i> : Vélisque, PAC, batteries, stockage/soutage, moteurs adaptés aux énergies décarbonées, capture de CO2 ou CGH à bord des navires, etc. <i>Pilote</i> : Equipementiers et développeurs de solutions</p>	<p>CEA / IRT JV, SAFT, GE Power Conversion, GTT, Air Liquide, équipementiers ...</p>	●	●	●	●	●	●
<p>Axe 4 – Développement de Navires éco-efficents <i>Objet</i> : développement de concepts de navires, intégration des briques technologiques, hybridation électrique des navires, optimisation énergétique, écoconception, durée de vie, etc. <i>Périmètre</i> : Navires représentatifs de la flotte : barge fluviale/côtière, navire de pêche, ferry, paquebot de croisière, corvette, porte-conteneur, etc. <i>Pilote</i> : Chantiers navals et bureaux de design et d'ingénierie</p>	<p>IRT JV, Chantiers, bureaux d'étude et d'architecture, Amateurs</p>	●	●	●	●	●	●
<p>Axe 5 – Exploitation éco-efficente des navires <i>Objet</i> : développement d'outils d'aide à la décision à bord des navires, apport de la donnée et des modèles pour optimiser la performance opérationnelle, réduction des temps d'escale, optimisation du routage et des routes maritimes, nettoyage de coque, <i>Périmètre</i> : Routage, aide à la décision, modèles et analyses de données, etc. <i>Pilote</i> : Amateurs</p>	<p>IRT System X, Armateurs, Startups provider solutions data</p>	●	●	●	●	●	●

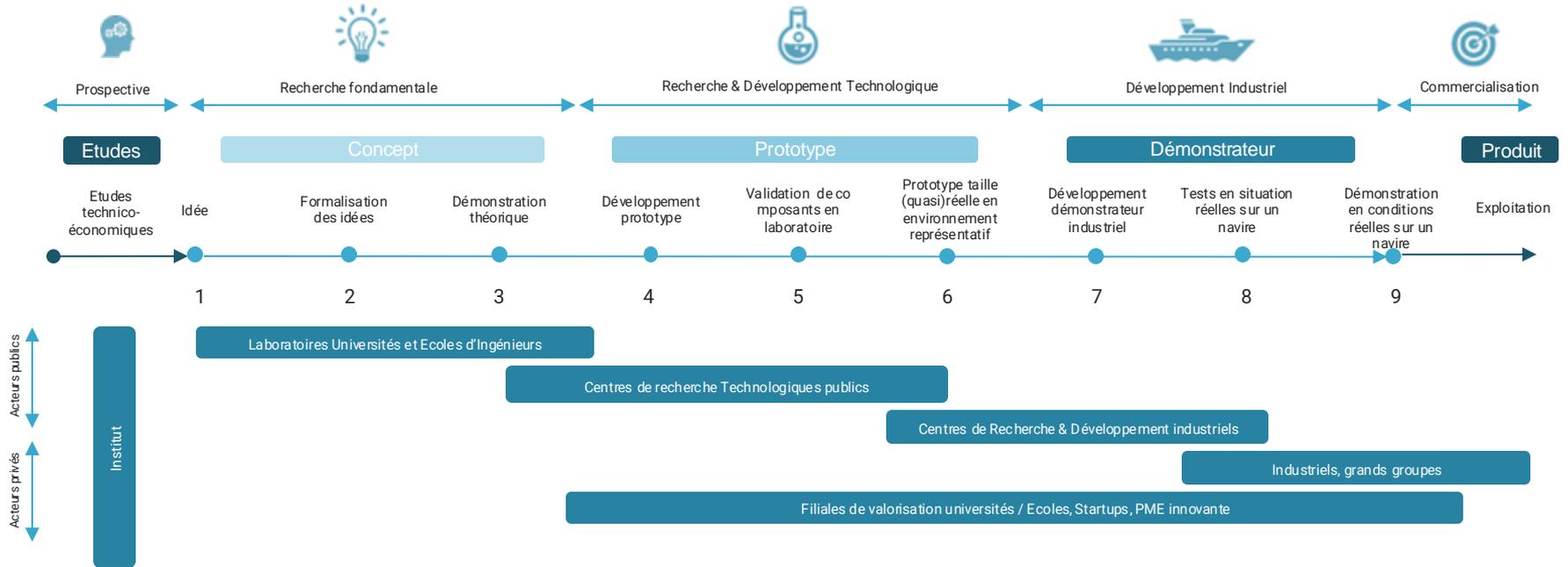
Coordination des axes du Programme Navires et Ports Zéro Emission

Pour garantir une synchronisation du développement des solutions



Définition des étapes clés du programme et rôle des partenaires

Des études technico-économiques au produit industriel en passant par les phases de concept, prototype et démonstrateur



Premier cercle d'acteurs contribuant à la mise en place de MEET2050



Energéticiens



Centres de Recherche & Académiques



Bureaux d'ingénierie & Architecture



Equipementiers



Chantiers Navals



Classification



Armateurs



Ports



Banques & Investisseurs



Membres actifs
En discussion

Axe 1 : Trajectoires et stratégie de décarbonation (1/3)

Disposer de modèles permettant aux industriels et aux services de l'état de définir les principaux scénarios de décarbonation (transition, objectifs, coûts, etc.), de les comparer aux réglementations (IMO, EU, etc.) et de suivre les améliorations par rapport aux objectifs et à l'ambition nationale



Enjeux et objectifs :

Orienter et opérer la transition énergétique et environnementale du maritime demande de s'appuyer sur une méthodologie et des outils de prospective, des résultats d'études technico-économiques ou réglementaires et enfin de définir des stratégies et scénarios en intégrant une vision complète des enjeux et contraintes. L'axe 1 vise donc à la fois à développer les outils de modélisation, mais aussi à disposer des données permettant de les alimenter avec précision.

Les principaux objectifs de l'axe sont :

- Développer un modèle de transition énergétique pour le maritime, incluant les leviers de décarbonation, l'impact CAPEX/OPEX, la disponibilité des énergies, le besoin en électricité décarbonée, etc. ;
- Réaliser les études d'Analyses de Cycle de Vie et les études technico-économique des solutions de décarbonation permettant d'alimenter les modèles avec des données fiables ;
- Développer des jumeaux numériques énergétiques des ports et flottes permettant de simuler les transitions à des échelles locales et plus fine
- Assurer la communication et l'influence auprès de la filière, des acteurs politiques, des citoyens des instances réglementaires, etc.



Verrous :

Les principaux verrous qu'il est proposé de lever sont :

- Modélisation de systèmes complexes de mix-énergétiques, de flottes de navires et de solutions hétérogènes sur des profils d'usages variés; Intégration de données partielles incluant des probabilités et incertitudes.
- Disponibilité de données technico-économiques fiables, partagées et certifiées par les experts concernés de la filière
- Collaboration et partage d'information au sein de la filière permettant de construire des stratégies réalistes et une influence coordonnée au niveau international.



Etat de l'art international :

- Plusieurs centres et institut se sont développés dans les dernières années pour répondre aux enjeux de la transition environnementale du maritime, au rythme des prises de consciences de l'impact majeur de ce sujet (Europe du Nord : [Maersk Mc-Kinney Moller Center for Zero Carbon Shipping](#), [Smart Maritime](#), ..., Asie du Sud Est : [Singapore Global decarbonation Center](#))
- Plusieurs modèles de transition énergétiques sont en développement et seront la base de l'influence politique et réglementaire internationale :
 - celui du centre de décarbonation de l'armateur Maersk ([Lien](#)), leur permettant de publier des notes d'influence ([Lien](#)) et d'orienter les analyses vers ses propres intérêts ou stratégies;
 - Celui du [Maritime Research Institute](#) (MARIN, NL) qui propose un portail sur l'utilisation et l'évaluation de choix et trajectoires énergétiques du maritime ([Lien](#))



Etat des lieux au niveau national :

- Les autres filières du transport au niveau national se sont dotées de moyens (outils, modèles, ressources, programme, objectifs, ambition industrielle, etc ..) pour atteindre des objectifs chiffrés et partagés avec l'Etat ;
- Il n'existe pas de modèle énergétique permettant de modéliser les trajectoires de décarbonation du maritime et de fixer des objectifs par leviers, ... outil qui serait exploitable par les acteurs de la filière et les services de l'état ;
- Il n'existe pas à l'échelle nationale de données fiables et indépendantes sur les différentes énergies et technologies de décarbonation du maritime, rendant la mise en place de stratégies hasardeuses et risquées
- Les parties prenantes n'ont pas des outils et bases de connaissances communes pour modéliser les scénarios possibles, incluant les besoins dans les différentes énergies, les gains demandés sur chaque levier de décarbonation, etc.

Axe 1 : Trajectoires et stratégie de décarbonation (2/3)

Disposer de modèles permettant aux industriels et aux services de l'état de définir les principaux scénarios de décarbonation (transition, objectifs, coûts, etc.), de les comparer aux réglementations (IMO, EU, etc.) et de suivre les améliorations par rapport aux objectifs et à l'ambition nationale



Projets initiaux :

- P1 : Modèle de transition énergétique pour le maritime
- P2 : Jumeaux numériques énergétiques de hubs portuaires et de flottes
- P3 : Études technico-économiques et ACV des énergies alternatives
- P4 : Evaluation des solutions technologiques. et opérationnelles de réduction de l'impact environnemental
- P5 : Plateforme de mutualisation, veille et analyse technologique, réglementaire et de financement
- P6 : La sobriété énergétique et le maritime : report modal, routes maritimes
- P7 : Publications annuelles : *Maritime Energy Transition Outlook*, notes d'influence



Principaux livrables :

- L1 : Modèle de transition énergétique du transport maritime au niveau macroscopique (macro)
- L2 : Modèle énergétiques de flottes et de hubs portuaires (micro)
- L3 : Scénarios de décarbonation et besoins énergétiques associés
- L4 : Etudes technico-économiques, ACV et analyse de risques des principales énergies alternatives
- L5 : Etudes technico-économiques des différentes solutions de décarbonation
- L6 : Plateforme de mutualisation de connaissance
- L7 : Publications scientifiques, techniques, grand public à vocation de partage, d'influence et de vulgarisation



Besoins en plateformes technologiques/plateformes logiciels :

Plateformes de modélisation disponibles (IRT System X, IFPEN ...) et à développer spécifiquement pour le maritime



Partenaires :

- MEET2050
- Industriels :
 - Energéticiens (TotalEnergies, ENGIE, EDF, ...)
 - Chantiers
 - Armateurs
 - Equipementiers
 - Bureaux d'étude et d'architecture
 - Réglementation : BV
- Centres de Recherche Technologique : IRT System-X, CEA Tech, IFPEN
- Académiques : Centrale Nantes, ENSM, etc.



Budget estimé sur 10 ans : 27 m€

- Plateformes technologiques, modèles et logiciels jumeaux numériques : 11 m€
- Etudes technico-économiques : 13 m€
- Sous-traitance IT : 2 m€
- Répartition :
 - 40% ITEM
 - 50% financement académique et industriels experts
 - 10% sous-traitance externe

Axe 1 : Trajectoires et stratégie de décarbonation (3/3)

Description du projet	Type	TRL (actuel / visé)	Principaux Contributeurs (Liste non exhaustive)	Durée (Années)	Budget sur 10 ans (m€)	Priorité
P1 - Modèle de transition énergétique pour le maritime <ul style="list-style-type: none"> Développement d'un modèle de transition énergétique pour le maritime modélisant l'évolution du mix énergétique (volumes, disponibilités) et des émissions par énergie, par type d'usage, intégration d'hypothèses d'améliorations technologiques (gains, disponibilité, type et profils d'usage ...), intégration des contraintes réglementaires, des CAPEX / OPEX Alimentation des modèles à partir des référentiels et des résultats des projets ou de données publiques Etude de scénarios de transition pour définir des stratégies de changement d'énergie Définition d'indicateurs, suivi des évolutions et comparaison aux objectifs réglementaires 	Développement d'outil / modèle, Scénarios de transition	TRL 3 -> TRL 9	MEET2050, ECN, IFPEN, CEA Tech, IRT System X, IO, TotalEnergies, ENGIE, EDF, ECN, NU, équipementiers et chantiers Prestataire informatique	1 an pour première version puis améliorations continues sur 3 à 5 ans	2 m€ + 0.5 m€ sous-traitance IT	P1
P2 - Jumeaux numériques énergétiques de hub portuaires et de flottes <ul style="list-style-type: none"> Développer un jumeau numérique énergétique générique au niveau d'une flotte gérée par un armateur avec la projection des besoins énergétiques, des renouvellements de navires, des gains en <i>rétrofit</i>, de la taxonomie, etc. Développer un jumeau numérique énergétique générique d'un écosystème portuaire connecté au réseau et alimentant des navires Alimentation des modèles à partir des référentiels et des résultats des projets ou de données publiques, étude de scénarios de transition, définition d'indicateurs, suivi des évolutions et comparaison aux objectifs réglementaires 	Développement d'outil / modèle, Scénarios	TRL 3 -> TRL 9	MEET2050, ECN, IFPEN, CEA Tech, IRT System X, IO, TotalEnergies, ENGIE, EDF, ECN, NU, équipementiers et chantiers Prestataire informatique	2 à 3 ans puis améliorations continues	4 m€	P2
P3 - Études technico-économiques et ACV des énergies alternatives <ul style="list-style-type: none"> Réaliser les études d'Analyses de Cycle de Vie <i>Well to Tank et Tank to Wake</i> Analyse de risque HAZID et HAZOP Faisabilité technique : production, transport, soutage, stockage, conversion de puissance Estimation CAPEX/OPEX, capacité de production, disponibilité, etc. Acceptabilité sociétale Analyse réglementaire 	Etudes technico-économique	/	MEET2050, IFPEN, CEA Tech, TotalEnergies, ENGIE, EDF, BV, CMA CGM, IO, équipementiers et chantiers	1 an puis mise à jour annuelle	7 m€	P1
P4 - Evaluation des solutions technologiques et opérationnelles de réduction de l'impact environnemental <ul style="list-style-type: none"> Définition et mise en place de la méthodologie d'évaluation des solutions technologiques (techno, maturité, TCO ...) Analyse des solutions, synthèse et partage des résultats des projets issus des différents axes et de la littérature 	Etudes technico-économique	/	MEET2050, CEA Tech, IRT, BV, CMA CGM, IO, équipementiers et chantiers	6 mois pour méthode puis analyse continue	3 m€	P1
P5 - Plateforme de mutualisation, veille et analyse technologique, réglementaire et de financement <ul style="list-style-type: none"> Mise en place de services mutualisés pour la veille technologique, réglementaire et de financement de projets Etude des évolutions réglementaires et modélisation de l'impact pour les armateurs et solutions techniques, et contribution aux propositions d'évolution auprès des organismes concernés 	Plateforme T2EM V2	/	Institut, BV, AdF, CMA CGM, NU	2 ans développement puis alimentation et maintenance	2 m€	P2
P6 - La sobriété énergétique et le maritime : report modal, routes maritimes <ul style="list-style-type: none"> Le report vers le maritime et fluvial comme moyen de réduire les dépenses énergétiques du transport Les routes maritimes au regard de la sobriété : usages, tailles de navires, apport du vélique 	Prospective, stratégie	/	MEET2050, CEA Tech, IRT, BV, Sorbonne, NU, IO, CMA CGM, équipementiers et chantiers	1 an puis mise à jour annuelle	2 m€	P3
P7 - Publications : Maritime Energy Transition Outlook annuel, notes d'influence Production d'une synthèse annuelle présentant sur les résultats des différents modèles et à destination des pouvoirs publics, des industriels ou du grand public permettant de mettre en avant au niveau international la vision et les réalisations des acteurs français	Etudes technico-économique	/	Institut et ses membres Agence de communication	1 fois par an	2 m€	P1

Axe 2 : Production et distribution d'énergie décarbonée pour le maritime (1/3)

Assurer la production et la distribution d'énergie décarbonée pour le maritime en intégrant ses besoins et contraintes spécifiques



Enjeux et objectifs :

Assurer la production et la distribution de carburant et d'électricité décarbonés pour le maritime en intégrant ses spécificités. Construire et adapter les ports comme véritable hub énergétique, lien entre la production d'énergie et le soutage à bord.

Les principaux objectifs de cet axe sont :

- La production de bio fuel adapté aux moteurs marins ;
- La production de e-fuels adaptés aux besoins du maritime (e-méthanol, e-ammoniac, e-méthane) ;
- L'amélioration de la symbiose/écologie industrielle portuaire ;
- L'électrification et les *smart-grids* des hubs portuaires ;
- Le stockage à terre et soutage sur le navire en sécurité des énergies alternatives.



Verrous :

Les principaux verrous qu'il est proposé de lever sont :

- L'incertitude entre les besoins en type d'énergie alternative du maritime, et les capacités de production des énergéticiens dans les années à venir ;
- Les faibles niveaux de production de bio-fuels / biogaz actuellement disponibles pour le maritime ;
- Les coûts élevés associés à la production d'énergie décarbonée (bio et e-) ;
- La non-disponibilité actuelle de e-fuels, et lorsqu'ils seront disponibles leur approvisionnement dans les lieux de soutage du maritime ;
- L'adaptation de la réglementation pour accompagner les développements technologiques et les besoins d'usage pour le maritime au niveau national et international : bio-carburants pour le maritime ; utilisation des nouvelles molécules, etc.



Etat de l'art international :

- Diverses études technico-économiques et d'ACV sur les carburants alternatifs réalisées au niveau international, avec des conclusions variées ne permettant pas de tirer des conclusions simples ;
- Des projets d'unités de production d'énergies décarbonées pour le maritime sont en développement dans plusieurs pays.
- Des recherches académiques sont réalisées sur le développement de nouvelles énergies, afin d'évaluer l'ensemble de leurs performances (verrous, gains, coûts, etc.) par exemple les travaux du de *Smart Maritime* (Norvège) ([lien](#)) ([lien](#))

Etat des lieux au niveau national :

- Projet Jupiter 1000 à Fos-sur-Mer prototype de production de e-méthane ([lien](#))
- Projets d'électrification des quais des terminaux de :
 - Dunkerque ([lien](#)) ;
 - Marseille ([lien](#)) ;
 - Toulon ([lien](#)).



Axe 2 : Production et distribution d'énergie décarbonée pour le maritime (2/3)

Assurer la production et la distribution d'énergie décarbonée pour le maritime en intégrant ses besoins et contraintes spécifiques



Projets initiaux :

- P1 : Production et test de bio-fuels adaptés aux spécificités des moteurs marins
- P2 : Prototype de production de biométhane seconde génération (projet Salamandre)
- P3 : Démonstrateur de production de méthanol de synthèse
- P3 : Prototype de production de biométhane 2G
- P4 : Démonstrateur de production de méthane de synthèse, suite Jupiter 1000 ?
- P5 : Production de e-fuels adaptés aux besoins du maritime ? Autres projets ?
- P6 : Electrification des quais des principaux terminaux portuaires
- P7 : Stockage et soutage d'énergies décarbonées
- P8 : *Green port*



Principaux livrables :

Rapports d'étude :

- L1 : Analyse et retour d'expérience sur les bio-carburants
- L2 : Analyse et retour d'expérience des démonstrateurs de production d'énergie décarbonée (performance, bilan énergétique, coût, sécurité, etc.)
- L2 : Audit énergétique des Ports et Terminaux

Prototypes et démonstrateurs :

- L1 : Démonstrateur de production de biométhane de deuxième génération
- L2 : Démonstrateur de production de e-méthanol
- L3 : Démonstrateur de production de e-méthane



Besoins en plateformes technologiques / plateformes logiciels :

- Banc d'essais moteur énergie conventionnelle (bio, e-fuel, e-méthane)
- Banc d'essais moteur énergies alternatives
- Navires test pour l'utilisation des énergies alternatives



Partenaires :

- Industriels :
 - Energéticiens : TotalEnergies, ENGIE, EDF
 - Equipementiers : motoriste, stockage, soutage
- Centres de Recherche Technologique : IFPEN, CEA Tech
- Académiques : ECN, Sorbonne, NU ...



Budget estimé sur 10 ans : 100 m€

- Répartition :
 - 10% financement académique,
 - 90% centres R&D technologiques et industriels, dont 50 % prototypes et plateformes

Budget Démonstrateurs : 400 m€ démonstrateurs

Axe 2 : Production et distribution d'énergie décarbonée pour le maritime (3/3)

Description du projet	Type	TRL (actuel / visé)	Principaux Contributeurs (Liste non exhaustive)	Durée (Années)	Budget sur 10 ans (m€)	Priorité
P1 - Production et tests de bio-fuels adaptés aux spécificités des moteurs marins <ul style="list-style-type: none"> • Développement de bio-fuels adaptés à la combustion deux temps ou quatre temps marin • Tests d'émissions sur bancs d'essais • Tests de durabilité des bio-fuels • Tests en condition réelles sur des navires 	Développement énergie	TRL 6 -> TRL 9	IFPEN, TotalEnergies, Armateurs, NU, CMA CGM, Motoriste	10 ans	28.5 m€ R&D, tests, PF mesure + Démonstrateur 40 m€	P1
P2 - Prototype de production de biométhane seconde génération (projet Salamandre) <ul style="list-style-type: none"> • Etudes techniques • Réalisation du démonstrateur biométhane par pyrogazéification de déchets solides • Tests et retour d'expérience 	Développement démonstrateur	TRL 5 -> TRL 9	ENGIE et partenaires techniques, CMA CGM, NU	3 à 5 ans	2 à 4 m€ R&D + Démonstrateur 175 m€	P1
P3 - Démonstrateur de production de méthanol de synthèse <ul style="list-style-type: none"> • Etudes techniques • Réalisation du démonstrateur e-méthanol • Tests et retour d'expérience 	Développement démonstrateur	TRL 4 -> TRL 9	EDF et partenaires techniques	3 à 5 ans	10 m€ R&D + Démonstrateur 60 m€	P1
P4 - Démonstrateur de production de méthane de synthèse de forte capacité <ul style="list-style-type: none"> • Etudes techniques • Réalisation du démonstrateur e-méthane • Tests et retour d'expérience 	Développement démonstrateur	TRL 4 -> TRL 9	ENGIE et partenaires techniques, CMA CGM	3 à 5 ans	20 m€ R&D + Démonstrateur 80 m€	P1
P5 - Production de e-fuels adaptés aux besoins du maritime ? Autres projets ? <ul style="list-style-type: none"> • Etudes de faisabilité et études technico-économiques pour la production industrielle de e-fuels Ammoniac, Hydrogène liquide ... 	Développement démonstrateur	TRL 4 -> TRL 9				P2
P6 - Electrification des quais des principaux terminaux portuaires <ul style="list-style-type: none"> • Générateur de courbes de charge des bateaux sur lequel nous travaillons • Solutions systémiques de valorisation les flux perdus via des technologies innovantes 	Démonstrateurs / Déploiement	TRL 7 -> TRL 9				P1
P7 - Stockage et soutage d'énergies décarbonnées <ul style="list-style-type: none"> • Stockage d'énergie sur le port : hydrogène liquide, nouvelles énergies • Soutage incluant le soutage hydrogène liquide cryogénique • Récupération du CO2 capté à bord des navires 	Etudes techniques jusqu'aux démonstrateurs	TRL 4 -> TRL 9	IFPEN, Air Liquide, GTT, Ports, NU, CMA CGM		15 m€ R&D + Démonstrateur 50 m€	P1
P8 - Green port <ul style="list-style-type: none"> • Audits énergétiques des ports et terminaux • Hybridation/électrification/utilisation d'hydrogène pour les équipements de levage • Solutions systémiques de valorisation les flux perdus via des technologies innovantes 	Etudes techniques jusqu'aux démonstrateurs	TRL 4 -> TRL 9	EDF, IFPEN, CMA-CGM			P2

Axe 3 – Développement des briques technologiques pour les navires et bateaux (1/4)

Améliorer l'efficacité énergétique des navires existant pour limiter l'impact commercial de la réglementation IMO 2023-2050 et développer des solutions technologiques permettant de réduire de 5 à 30% la consommation énergétique des nouveaux navires



Enjeux et objectifs :

Le développement de navires décarbonés repose sur l'intégration de briques technologiques constituant les sous-systèmes du navire. Ces briques sont donc fondamentales pour atteindre les objectifs de décarbonation des navires. Elles sont cependant à des niveaux de maturité parfois faibles, ou à des niveaux de performance encore loin des besoins (puissance, capacité, sécurité, etc.), et non disponibles sur le marché. Il existe donc des opportunités industrielles majeures sous réserve de développer les bons produits au bon moment.

Les principaux objectifs de l'axe sont :

- Le développement de démonstrateurs des principales briques technologiques de décarbonation basés sur des technologies nationales : solutions de propulsion par le vent, de batteries de forte puissance adaptées à la propulsion de petits navires, Piles A Combustibles de forte puissance, adaptés aux carburants alternatifs, moteurs à combustion interne ou turbines adaptés aux carburants alternatifs, système de Capture et Stockage de CO₂ à bord d'un navire ;
- Le test de ces briques technologiques sur des prototypes (échelle ou capacité réduite, test du sous-système unitaire). Le test sur des démonstrateurs est prévu dans l'axe 4 du programme.



Verrous :

Les principaux verrous qu'il est proposé de lever sont :

- Divers verrous technologiques qui dépendent des solutions technologiques comme les matériaux, le couplage fluide structure, l'automatisme, la modélisation énergétique, la cryogénie, etc. ;
- La faisabilité technico-économique du produit final (en termes de rendements, coûts de développement, prix de vente, gains en efficacité énergétique, passage à l'échelle, "marinisation" de certains systèmes terrestres, etc.) ;
- L'évaluation des performances à une échelle représentative sur des prototypes de ces systèmes ;
- L'identification ou la mise en place de capacités de production de ces systèmes en France ;
- Les évolutions réglementaire associé à la mise en œuvre de ces technologies.



Etat de l'art international :

Des technologies sont en développement à l'étranger sur l'ensemble de ces solutions. On peut citer Ballard qui développe des piles à combustible, *** qui développent des batteries marinisées, **** qui développent des systèmes de propulsion vélique, **** qui développent des cuves de stockage de carburants alternatifs, etc.

Par ailleurs, les centres de décarbonation travaillent, dans le cadre de leurs programmes, au développement de ces technologies. On peut citer :

- En Norvège, par *Smart Maritime*, sur les technologies de propulsion hybride, des nouveaux procédés de production, de récupération et de gestion d'énergie ;
- Aux Pays-Bas, au *Maritime Research Institute/MARIN*, sur des systèmes de propulsion innovants (e.g. vélique) et de démonstrateurs associés.



Etat des lieux au niveau national:

La France dispose de compétences académiques et industrielles majeures sur l'ensemble de ces solutions technologiques, et la filière maritime pourrait de plus bénéficier des apports en développement engagés dans les autres filières tout en offrant des débouchés significatifs.

La France a une place de leader ou dispose d'une avance technologique sur :

- La propulsion par le vent¹, qu'elle pourrait perdre sans passage rapide à l'échelle de démonstrateurs échelle 1 et l'amélioration continue des solutions sur les prochaines années ;
- La capture et le stockage de CO₂ à bord avec la capacité à mariner des solutions terrestres.

La France est légèrement en retard - mais peut prendre une place de leader - sur :

- Les batteries pour le maritime avec SAFT, sous réserve de développements spécifiques et de tests sur des navires afin d'en améliorer les fonctionnalités ;
- Les piles à combustibles avec Symbio ou Hélion, et le soutien de centres techniques comme le CEA-Tech
- Les moteurs à combustion pour les carburants alternatifs décarbonés.

¹ grâce à la filière du nautisme qui a développé un écosystème de sociétés d'ingénierie très compétent, et la coordination par l'association Windtrip

Axe 3 – Développement des briques technologiques pour les navires et bateaux (2/4)

Améliorer l'efficacité énergétique des navires existant pour limiter l'impact commercial de la réglementation IMO 2023-2050 et développer des solutions technologiques permettant de réduire de 5 à 30% la consommation énergétique des nouveaux navires



Projets initiaux :

- P1 : Stockage et gestion de la distribution de carburants alternatif à bord
- P2 : Moteurs à combustion interne adaptés aux nouvelles énergies
- P3 : Développement de Piles A Combustible marinisées moyenne à forte puissance
- P4 : Développement de batteries marinisées de moyenne à forte puissance
- P5 : Développement d'un prototype CCS à bord des navires
- P6 : Développement de solutions de propulsion par le vent
- P7 : Développement de propulseurs innovants
- P8 : Contribution à l'étude et au développement technologies permettant des gains d'efficacité énergétique



Principaux livrables, prototypes et démonstrateurs :

- L1 : Piles A Combustible marinisées moyenne à forte puissance
- L2 : Batteries marinisées de moyenne à forte puissance
- L3 : Solutions de Stockage et gestion de la distribution des carburants alternatifs à bord
- L4 : Système de Capture et Stockage de CO₂ à bord des navires
- L5 : Solutions de propulsion vélique adapté à chaque type de navire
- L6 : Propulseur innovant à haut rendement



Besoins en plateformes technologiques / plateformes logiciels:

- Banc d'essais hydrodynamique
- Moyens de calculs massifs pour simulations CFD, Structure et IFS
- Banc d'essais systèmes hybride électrique
- Banc d'essais moteur pour combustion carburants alternatifs
- Banc d'essais de *slashing* pour systèmes de stockage
- Navires tests pour essais des technologies et mesures précises des gains obtenus



Partenaires :

- Industriels :
 - Chantiers pour études d'intégration et développements de concepts: CdA, Naval Group, Piriou, etc.
 - Armateur pour navire tests et spécification : CMA CGM, Ponant, etc.
 - Equipementiers : SAFT, GTT, AirLiquide, Symbio, etc.
 - Propulsion Vélique : CdA, Airseas, Michelin, etc .
- Centres de Recherche Technologique : IRT Jules Verne, CEA Tech, DGA/Th
- Académiques : Centrale Nantes, ENSTA Bretagne, IRENAV,



Budget estimé sur 10 ans : 175 m€

- Etudes et développements technologiques : 100 m€
- Répartition :
 - 10% financement académique,
 - 90% centres R&D technologiques et industriels, dont 50 % prototypes et plateformes

Budget Démonstrateurs : 125 m€ démonstrateurs

Axe 3 : Développement des briques technologiques pour les navires et bateaux (3/4)

Description du projet	Type	TRL (actuel / visé)	Principaux Contributeurs (Liste non exhaustive)	Durée (Années)	Budget sur 10 ans (m€)	Priorité
P1 - Stockage et gestion de la distribution de carburants alternatif à bord <ul style="list-style-type: none"> Stockage de l'énergie dans des cuves de grandes capacités adaptées à l'environnement marin Gestion des chaînes de distribution de l'énergie à bord du navire (GHS) 	Etudes et développement prototype	TRL 5 -> TRL 9	Air Liquide ? GTT ?, CdA, NU, CMA CGM	8 ans	20 m€	P1
P2 - Moteurs à combustion interne adaptés aux nouvelles énergies et électrique forte puissance <ul style="list-style-type: none"> Moteur électrique forte puissance, Moteur à combustion à hydrogène Moteurs Méthanol, ammoniac Lubrifiants adaptés aux nouvelles énergies Optimisation des flux entrants, pre et post combustion 	Etudes et développement prototype	TRL 2 -> TRL 9	IFPEN, TotalEnergies, GE PC., ECN, MAN ES, CdA, Nu	10 ans	15 m€ R&D + Démonstrateur 20 m€	P1
P3 - Développement de Piles A Combustible marinisées moyenne à forte puissance <ul style="list-style-type: none"> Programme à détailler avec le CEA et l'intégration des développeurs de technologies Adaptation des puissances aux besoins maritimes 	Etudes et développement prototype / démonstrateur	TRL 2 / 7-> TRL 9	Symbio ALSTOM H2, Helion, Hydrogène de France, GENVIA CdA, NU	10 ans	35 m€	P1
P4 - Développement de batteries marinisées de moyenne à forte puissance <ul style="list-style-type: none"> Programme à détailler par SAFT en fonction des besoins et usages Adaptation des puissances aux besoins maritimes Intégration des besoins en décurité 	Etudes et développement prototype / démonstrateur	TRL 2 / 7 -> TRL 9	SAFT, CdA	10 ans	15 m€	P1
P5 - Développement d'un prototype CCS à bord des navires <ul style="list-style-type: none"> Etudes technico-économique (coût, volume de stockage, chaîne logistique CO₂, business model, etc.) Etudes d'ingénierie et d'intégration à bord de navires HFO et GNL Réalisation d'un prototype puis d'un démonstrateur à bord d'un navire 	Etudes et développement prototype	TRL 2 -> TRL 9	IFPEN, SOFRESID, EDF, TotalEnergies, ENGIE, CMA CGM, CdA etc.	3 ans	Pré-étude 0.5 m€ 15 m€ R&D + Démonstrateur 25 m€	P1
P6 - Développement de solutions de propulsion par le vent <ul style="list-style-type: none"> Outils de prédiction de performance mixte voile et moteur, études technico-économique et réglementaires Utilisation de matériaux composites écoproduits pour les structures et voiles Développement de prototypes et démonstrateurs à différentes échelles et sur les différentes solutions : propulsion vélique, kite, profils aspirés, rotor, etc. Sélection progressive des meilleures technologies par cas d'usage en relation avec les besoins des armateurs Etudes d'intégration sur des navires en retrofit et en construction neuve 	Etudes et développement prototype / démonstrateur	TRL 3 à 7 en fonction des technologies -> TRL 9	BVS, ECN, NU, CdA, Ayro, AIRSEAS, Beyond the Sea, CRAIN, OWS, Wisamo, Matoric, ADD Technologies Armateurs, CMA CGM, Chantiers, Institut, Windship	1 à 3 ans	Etudes : 11 m€ Dév. : 20 m€ Démonstr. : 50 m€	P1

Axe 3 : Développement des briques technologiques pour les navires et bateaux (4/4)

Description du projet	Type	TRL (actuel / visé)	Principaux Contributeurs (Liste non exhaustive)	Durée (Années)	Budget sur 10 ans (m€)	Priorité
P7 - Développement de propulseurs innovants <ul style="list-style-type: none"> Développement de propulseurs haut rendement et intégration carène/propulseur Développement de nouveaux concepts de propulseurs basés sur une approche biomécanique 	Etudes et développement prototype / démonstrateur	TRL 1 à 7 -> TRL 9	DGA Th, Naval Group, CdA, BVS, IRENAV, CMA CGM, IO, etc.	1 à 3 ans	15 m€ R&D + Démonstrateur 10 m€	P1
P8 - Etudes et développement de solutions et technologies permettant des gains d'efficacité énergétique <ul style="list-style-type: none"> Benchmark des solutions existantes : PTO / PTI, optimisation, ESD, Récupération chaleur / froid, injection d'air, réduction frottement par traitement de surface, etc ... Financement du développement ou de l'amélioration de cinq solutions parmi les plus prometteuses Tests à bord de navires, retour d'expérience 	Etudes et développement prototype / démonstrateur	TRL 1 à 7 -> TRL 9	Equipementiers Armateurs, CMA CGM, CdA, Bureau d'étude	3 à 5 ans	Bench : 10 m€ Dev : 20 m€ Dem. : 20 m€	P1

Axe 4 – Développement de navires et bateaux éco-efficients (1/4)

Développer les concepts de navires et démonstrateurs à faible besoins énergétiques allant progressivement vers le zéro émissions, sur l'ensemble des segments de flotte



Enjeux et objectifs :

La réduction de l'impact environnemental passera par la mise à l'eau de navires démonstrateurs intégrant les briques technologiques développées dans l'Axe 3 du programme, alimentés par l'énergie décarbonée produite à partir des démonstrateurs de l'Axe 2, en accord avec les trajectoires et la stratégie définie dans l'Axe 1. Pour cela, des concepts basés sur la modélisation énergétique seront développés sur une dizaine de type de navires. Les démonstrateurs à l'échelle seront alors développés et construits. Ces navires intégreront une approche globale de l'écoconception (analyse complète du cycle de vie, études d'impact environnementales, etc.)

Les objectifs de cet axe sont :

- De permettre l'intégrer des contraintes environnementales dès la conception des navires et la réduction de leurs émissions de polluants (dans l'air, dans la mer) de nature chimique (résidus gazeux, solides) ou acoustique ;
- De développer des *concept-ships* et des navires démonstrateurs zéro émissions basés sur la réduction des besoins en énergie et l'utilisation d'énergies décarbonées ou renouvelables directement à bord (vélique).



Verrous :

Les principaux verrous qu'il est proposé de lever sont :

- Pas de viabilité commerciale d'un navire zéro émission (coûts de développement, de fabrication, d'intégration et d'exploitation largement supérieurs aux solutions carbonées et au bénéfices attendus) ;
- Pas de possibilité de financer un démonstrateur sans qu'il ne soit exploité commercialement (pas de notion de prototype puis d'une série à grande échelle comme dans l'automobile ou dans l'aéronautique) ;
- Pas de disponibilité actuelle des carburants décarbonés (Axe2) et des solutions technologiques (Axe 3) ;
- Pas de cadre réglementaire et fiscal suffisamment établi pour permettre une visibilité sur un business model et sécuriser / susciter des investissements.



Etat de l'art international :

De nombreux projets de navires décarbonés sont en cours d'étude voire de développement dans plusieurs pays. Ces développements sont réalisés dans le cadre de projets structurants et multipartenaires, avec un soutien significatif et incitatif des pays concernés. On peut citer les projets les plus avancés suivants :

- Construction de 3 petits et 8 grands ([lien](#)) porte-conteneurs au méthanol par MAERSK
- Etc

L'expérience acquise sur ces projets sera déterminante pour atteindre des objectifs de décarbonation, influencer la réglementation et les stratégies industrielles et développer l'activité économique des pays concernés.

En amont de ces navires démonstrateurs, des projets de R&D ont permis de mettre en place les méthodes de conception de navires efficients. On peut citer par exemple :

- Les travaux du WP3 (*Power System & Fuels*) et WP4 (*Ship System Integration & Validation*) de *Smart Maritime* (Norvège) ;
- Les travaux du programme "0-emissions" ([lien](#)) du *Maritime Research Institute/MARIN* (Pays Bas) ;
- Les thèmes de recherche "Vessel design & performance" de l'Université de Southampton (Royaume Uni).



Etat des lieux au niveau national :

- Les projets portés au niveau national sont aujourd'hui limités à des navires de très faible puissance ou autonomie, et ne sont donc pas représentatifs des besoins industriels.
- Des projets sont en développement dans les chantiers avec le soutien d'armateurs sans que l'équation économique ne soit aujourd'hui résolue.

Axe 4 – Développement de navires et bateaux éco-efficients (2/4)

Développer les concepts de navires et démonstrateurs à faible besoins énergétiques allant progressivement vers le zéro émissions, sur l'ensemble des segments de flotte



Projets initiaux :

- P1 : Outil de modélisation de l'empreinte environnementale de la construction au démantèlement
- P2 : Plateforme de modélisation énergétique d'un navire (jumeau numérique énergétique du navire en opération)
- P3 : Développement d'outils d'analyse et d'optimisation des performances hydrodynamiques
- P4 : Hybridation électrique des navires
- P5 : Plateforme de test propulsion hybride électrique
- P6 : Ecoconception des navires
- P7 : Traitement des émissions de fumées, eaux et déchets
- P8 : Elimination des peintures antifouling biocides
- P9 : Réduction des émissions du bruit acoustique
- P10 : Evaluation des solutions existantes de réduction des émissions sur les navires en service : objectif OMI 2023-2025
- P11 : Développement de concepts de navires à faible besoin énergétique vers le zéro émissions
- P12 : Réalisation des démonstrateurs de X navires vers le zéro émissions



Principaux livrables :

Rapports d'étude :

- L1 : Outils de simulation et de modélisation permettant la conception de navires éco-efficients
- L2 : *Concept-ships* par segments de navires permettant d'identifier les meilleures solutions techniques et économiques (mise à jour régulière)
- L3 : Etudes d'impact sur la réduction de l'empreinte environnementale du maritime des technologies développées dans les projets
- L4 : Recommandations de solutions permettant de réduire l'impact de la réglementation OMI 2023 sur les navires existants (campagne de *retrofit*)

Prototypes et démonstrateurs :

- L1 : Développement et fabrication de X navires démonstrateurs représentatifs de la flotte française permettant l'implémentation incrémentale des différentes solutions et briques technologiques



Besoins en plateformes technologiques / plateformes logicielles :

- Plateformes de simulation et de conception existantes et développées dans le programme



Partenaires :

- Industriels :
 - Bureaux d'étude et d'architecture :
 - Chantiers de construction : CdA, Naval Group, Piriou, etc.
 - Equipementiers en fonction des choix technologiques
 - Armateur pour spécification : CMA CGM, Ponant, etc.
 - Editeurs logiciels : 3DS, SIEMENS, etc.
- Centres de Recherche Technologique : IRT Jules Verne, CEA Tech, DGA/Th
- Académiques : Centrale Nantes, ENSTA Bretagne, IRENAV



Budget estimé sur 10 ans : 320 m€

- Répartition :
 - 13% financement académique,
 - 87% centres R&D technologiques et industriels, dont 40 % prototypes

Budget Démonstrateurs : 400 m€ démonstrateurs

Axe 4 – Développement de navires et bateaux éco-efficients (3/4)

Description du projet	Type	TRL (actuel / visé)	Principaux Contributeurs (Liste non exhaustive)	Durée (Années)	Budget sur 10 ans (m€)	Priorité
P1 - Outil de modélisation de l'empreinte environnementale de la construction au démantèlement <ul style="list-style-type: none"> Développement du modèle de calcul de l'empreinte carbone et environnementale de la construction au démantèlement, mise en place de l'outil en mode SaaS permettant un accès à différents partenaires Développement des composants et identification des données nécessaires Etudes permettant de disposer des données pour alimenter le modèle : impact des différents matériaux et procédés de fabrication, etc. 	Développement logiciel	TRL 1 -> 9	ENSM, Chantiers, Institut de l'Océan, NU, Armateurs, CMA CGM	5 ans	3.5 m€	P1
P2 - Plateforme de modélisation énergétique d'un navire (jumeau numérique énergétique du navire en opération) <ul style="list-style-type: none"> Amélioration et développement d'un outil de modélisation énergétique des navires en opération Développement et partage de bibliothèques de composants intégrant les nouvelles énergies et technologies Développement et accès à un <i>framework</i> SaaS pour en faire une référence partagée avec les fournisseurs de technologies Validation par comparaison à des données mer 	Logiciel	2 à 4	ECN, NU, BV, CdA, CEA Tech, IRT, IFPEN, IO, Equipementiers, motoristes, Armateurs,	5 ans	5 m€	P2
P3 - Développement d'outils d'analyse et d'optimisation des performances hydrodynamiques <ul style="list-style-type: none"> Outil CFD / potentiel de calcul des performances de résistance ajoutée sur houle Outil de calcul maillage adaptatif pour simulations propulsion et cinématique complexe (<i>immersed boundary</i>) Outils de réduction de modèle, de modélisations de surfaces de réponse 	Logiciels et codes de calcul	TRL 3 à 4 -> 9	ECN, X, ENSTA, IO, IRENAV, BV, SIEMENS IS, 3DS, INRIA, IRT System X, CdA, CMA CGM ...	10 ans	15 m€	P2
P4 - Hybridation électrique des navires <ul style="list-style-type: none"> Analyse des besoins par cas d'usages (profils opérationnels, contraintes d'intégration) Evaluation et optimisation d'architectures énergétiques hybrides par simulation Etudes de faisabilité et d'intégration à bord Test de prototypes sur bancs d'essais Etudes technico-économiques des solutions d'hybridation électrique Bilan environnemental ACV 	Développement de solutions et prototypes	TRL 3 à 5 -> 7	Naval Group, EDF, BV, Nantes Université, CMA CGM, CdA, Brittany Ferries, Mauric, socomex, GE, Corsica Ferries, etc.	5 ans	8 m€	P1
P5 - Plateforme de test propulsion hybride électrique <ul style="list-style-type: none"> Banc d'essais solution hybride électrique : PAC, batterie, distribution, etc. Test des performances et de l'adéquation à l'environnement marin Montée en puissance des équipements actuels Navire test pour évaluation de solutions 	Plateforme	/	CEA Tech	5 ans	6 m€	P1

Axe 4 – Développement de navires et bateaux éco-efficients (4/4)

Description du projet	Type	TRL (actuel / visé)	Principaux Contributeurs (Liste non exhaustive)	Durée (Années)	Budget sur 10 ans (m€)	Priorité
P6 - Ecoconception des navires <ul style="list-style-type: none"> - Matériaux biosourcés et recyclage - Recyclage 	?	?	ENSM, CMA CGM, Institut de l'Océan, IRT JV	8 ans	15 m€	P1
P7 - Traitement des émissions de fumées, eaux et déchets <ul style="list-style-type: none"> - Traitement des eaux - Traitement des fumées (scrubbers, FAP, etc.) - Traitement et valorisation énergétique des déchets 	?	?	CMA CGM, Institut de l'Océan, Nantes Université	10 ans	25 m€ R&D + 25 m€ Démonstrateur.	P1
P8 - Elimination des peintures antifouling biocides <ul style="list-style-type: none"> - Elimination des peintures antifouling biocides et remplacement par des solutions bio- et éco-comptables 	Développement produit	TRL 3 à 6 -> 9	IFREMER, EDF, IUML, NU, IO, Fabricant de peinture, CMA CGM, CdA	8 ans	4 m€	P2
P9 - Réduction des émissions du bruit acoustique (air et eau) <ul style="list-style-type: none"> • Outil de simulation du bruit rayonné sous-marin (améliorations, adaptations, exploitation, etc.) • Développement de solutions technologiques • Intégration et tests in-situ 	Etudes Développement produit	TRL 3 à 6 -> 9	Naval Group, CdA, DGA th, IO, Equipementiers, Dassault Systems, CMA CGM, etc..	5 ans	7.5 m€	P2
P10 - Evaluation des solutions existantes de réduction des émissions sur les navires en service : objectif OMI 2023-2025 <ul style="list-style-type: none"> • Analyse des solutions technologiques permettant d'améliorer l'efficacité énergétique sur la flotte existante • Etudes de performance et d'intégration de solutions par segment de flotte, plan de <i>retrofit</i> • Modélisation des impacts opérationnels (CII, baisse de vitesse, etc.) 	Etudes	TRL 7 / 8 -> 9	Bureaux d'étude, chantiers, fournisseurs de solutions	3 ans	7 m€ R&D + 15 m€ Démonstrateur.	P1
P11 - Développement de concepts de navires à faible besoin énergétique vers le zéro émissions <ul style="list-style-type: none"> • Développement de concepts de navires sur une d'une dizaine profils d'usage représentatifs (navire de pêche, ferry, paquebot, vraquier, porte-conteneur, navire militaire, etc.) • Développement des modèles énergétiques sur les profils d'usage • Pré-études Basic Design et d'intégrations des solutions • Recommandation des meilleurs intégrations technologiques 	Développement concepts	TRL 1 à 3 -> 5 à 6	Bureaux d'étude, chantiers et armateurs	5 ans	12 m€	P1
P12 - Réalisation de 10 navires démonstrateurs vers le zéro émissions <ul style="list-style-type: none"> • Développement de N démonstrateurs permettant une implémentation progressive des briques technologiques et leurs tests en situation réelle de navigation • Retour d'expérience et comparaison aux modèles de simulation 	Développement Démonstrateurs	TRL 7 -> 9	Bureaux d'étude, chantiers, équipementiers, armateurs	5 ans	200 m€ R&D / développement + Surcout vert démonstrateurs 300 m€ (/ 2 mds €)	P1

Axe 5 – Exploitation éco-efficace des navires et bateaux (1/4)

Améliorer l'efficacité opérationnelle des navires en exploitation par une meilleure connaissance de leur usage, la formation des équipages, le développement d'outils d'aide à la décision et une meilleure interaction avec l'environnement et les ports



Enjeux et objectifs :

L'exploitation éco-efficace des navires est source de gains de consommation énergétique significatifs et relativement facile à implémenter (pas de modification significative des navires), tout en permettant un meilleur respect de l'environnement. Les principaux leviers à activer sont : le monitoring de performance, la gestion optimisée des routes et escales (profils d'usage), le routage environnemental, l'aide à la décision en navigation, l'interaction entre le navire et le port (réduction des temps d'escale, arrivée *just in time* ...), etc.

Les principaux objectifs de l'axe sont :

- Le développement d'outils d'analyse temps réel de la performance énergétique des navires, d'aide à la conduite optimale des navires et d'optimisation des interactions en lien avec le port ;
- La formation des équipages et gestionnaires de flottes à l'écoconduite des navires
- Les développements de solutions permettant le suivi en service et les inspections des navires



Verrous :

Les principaux verrous qu'il est proposé de lever sont :

- Faible volume de données actuellement disponibles pour analyser la performance des navires en conditions réelles d'exploitation
- Complexité de prise en compte de l'environnement qui influence la performance du navire
- Hétérogénéité des données issues de plusieurs sous-systèmes du navire, et gestion des droits d'accès (accès aux géométries, aux données opérationnelles ...)
- Développement de modèles de prévision de performance basés sur les données mesurées, des données de prévision et les résultats de modèles de simulation (jumeaux numériques)
- Déploiement des solutions à une grande échelle, au-delà des tests élémentaires
- Intégrer le facteur humain dans le déploiement des solutions (procédures, ergonomie, acceptabilité, etc.) et impliquer les acteurs du transport (équipages, armateurs, etc.).



Etat de l'art international :

L'amélioration de l'efficacité opérationnelle des navires est un axe de développement important pour plusieurs centres de R&D et armateurs. Plusieurs solutions sont développées dans le domaine du monitoring de performance, avec un besoin d'adaptation fort à chaque type de navire ou d'usage.

Différents travaux sont entrepris dans le sens d'une optimisation de la logistique navale (navires, flottes, ports, etc.) - en particulier au sein du *Franhofer Center for Maritime Logistics & Services* (Allemagne), où sont développées de nombreuses applications des sciences du numérique (digitalisation de la filière, gestion optimisée de l'activité - recherche opérationnelle, automatique, data-science - réduction des impacts environnementaux de l'activité).



Etat des lieux au niveau national :

Dans le domaine du routage, les développements réalisés dans la course au large ont été adaptés au maritime (société Adrena) mais elles manquent de précision par manque de données suffisamment précises sur l'environnement du navire (houle, vent ...).

Des sociétés développent des solutions de *monitoring* et de suivi en conditions opérationnelles des navires (PREDICT, Principia, etc.)

Il n'existe pas solution d'analyse de performance développé par une société Française.

Axe 5 – Exploitation éco-efficiente des navires et bateaux (2/4)

Améliorer l'efficacité opérationnelle des navires en exploitation par une meilleure connaissance de leur usage, la formation des équipages, le développement d'outils d'aide à la décision et une meilleure interaction avec l'environnement et les ports



Projets initiaux :

- P1 : Plateforme de suivi opérationnel des navires et de la flotte mondiale
- P2 : Développement des jumeaux numériques énergétiques des navires suivis opérationnellement
- P3 : Logiciel d'optimisation de routage énergétique multi-objectifs
- P4 : Logiciel d'aide à la décision à la passerelle pour la conduite optimale du navire et formation des équipages
- P5 : Optimisation du navire dans ses interactions avec les ports et terminaux
- P6 : Développement d'outils de suivi en service
- P7 : Développement d'un drone autonome pour évaluer le niveau de salissure des carènes et propulseurs
- P8 : Système anticollision de cétaqués



Principaux livrables :

Outils logiciels et plateformes numériques :

- L1 : Plateforme de suivi opérationnelle du transport maritime - incluant :
 - moyens de collecte et de stockage des données de navires tests;
 - outils et logiciels d'analyse et d'exploitation des données ;
 - méthodes de diagnostic des flottes/des navires.
- L2 : Jumeaux numériques énergétiques de navires
- L3 : Logiciel d'optimisation du routage de navires
- L4 : Logiciel d'aide à l'éco-conduite des navires

Prototypes et démonstrateurs :

- L1 : Outil de monitoring d'installations
- L2 : Drone d'inspection de carènes/propulseurs
- L3 : Détecteur de collision de la faune marine



Besoins en plateformes technologiques / plateformes logiciels:

- Plateforme de collecte/stockage de données d'opérations
- Navires équipés pour le monitoring de performance



Partenaires :

- Industriels : Armateurs, bureaux d'étude, Editeurs logiciels ...
- Centres de Recherche Technologique : IRT System X, INRIA ...
- Académiques : AMU, NU, ECN, ENSM



Budget estimé sur 10 ans : 80 m€

- Répartition :
 - 18% financement académique,
 - 82% centres R&D technologiques et industriels, dont 24 % plateformes et logiciels

Budget Démonstrateurs : 2 m€ démonstrateurs

Axe 5 – Exploitation éco-efficente des navires et bateaux (3/4)

Description du projet	Type	TRL (actuel / visé)	Principaux Contributeurs (Liste non exhaustive)	Durée (Années)	Budget sur 10 ans (m€)	Priorité
P1 - Plateforme de suivi opérationnel des navires et de la flotte mondiale <ul style="list-style-type: none"> Mise en place outils de collecte de données mesurées à bord des navires (base de données normalisée) Outil d'analyse de performance des navires, comparaison aux performances théoriques, détection des surconsommations, etc. Outil de suivi de flotte d'un point de vue énergétique Outils d'analyse de la flotte mondiale via les données AIS et MRV Moyens hardware et software spécifiques Équipement smart ship de navires 	Plateforme et logiciel	TRL 2 à 4 -> TRL 8 à 9	MEET2050, IRT System X, CEALIST, Institut de l'Océan, ECN, NU, ENSM, ...	5 ans	35 m€	P1
P2 - Développement des jumeaux numériques énergétiques des navires suivis opérationnellement <ul style="list-style-type: none"> Modèles de performance hydrodynamiques Modèles de développement de salissures et de leur impact sur la performance Modèles énergétiques 	Données	/	BVS, IRENAV, NU, ECN ...	2 ans	5 m€	P1
P3 - Logiciel d'optimisation de routage énergétique multi-objectifs <ul style="list-style-type: none"> Développement d'un logiciel de routage intégrant le modèle énergie/émission du navire, etc., le modèle de comportement du navire en opérations et les données d'environnement du navire (houle, vent, etc.) Intégration de capacité multi-objectifs ; vitesse variable, émissions/consommation, etc. 	Développement logiciel	TRL 2 à 5 -> TRL 8 à 9	Adrena, D-Ice, AMU, Institut de l'Océan, CdA, NU	5 ans	3 m€	P1
P4 - Logiciel d'aide à la décision à la passerelle pour la conduite optimale du navire et formation des équipages <ul style="list-style-type: none"> Développement de type <i>Energy Management System</i> permettant de fournir au bord un outil de pilotage optimal du navire par rapport à ses performances énergétiques (charge moteur/auxiliaires, assiette optimale, usage du mix énergétique disponible, etc.) Utilisation des jumeaux numériques de navires (P2) Formation des équipages à l'écoconduite et aux nouvelles technologies 	Développement Logiciel Formation	TRL 2 à 5 -> TRL 8 à 9	ENSM, Barillec Marine, ...	8 ans	9 m€	P1
P5 - Optimisation du navire dans ses interactions avec les ports et terminaux <ul style="list-style-type: none"> Réduction des temps d'escale (chargement/déchargement, soutage, etc.) Optimisation du passage portuaire Arrivée <i>just-in-time</i> pour réduire les vitesses de transit Développement d'outils numériques de gestion de l'activité 	Développement Logiciel	TRL 2 à 5 -> TRL 8 à 9	CMA CGM, IBM France, IRT System X, INRIA ?	10 ans	20 m€	P1
P6 - Développement d'outils de suivi en service <ul style="list-style-type: none"> Monitoring des structures et équipements associés aux changements d'énergie Développement d'algorithmes spécifiques associés aux risques en exploitation 	Développement d'outils	TRL 2 à 5 -> TRL 8 à 9				

Axe 5 – Exploitation éco-efficace des navires et bateaux (4/4)

Description du projet	Type	TRL (actuel / visé)	Principaux Contributeurs (Liste non exhaustive)	Durée (Années)	Budget sur 10 ans (m€)	Priorité
P7 - Développement d'un drone autonome pour évaluer le niveau de salissure des carènes et propulseurs <ul style="list-style-type: none"> • Développement des capacités d'autonomie du drone <i>Notiio+</i> et amélioration des performances et autonomies • Tests à partir du navire et à quai • Intégration d'outils d'analyse basées sur de l'apprentissage • Développement de règles de nettoyage de coque 	Développement produit	TRL6 -> 9	Notiio+, NU	2 ans	3 m€	P2
P8 - Système anti collision de cétacés <ul style="list-style-type: none"> • Données, modèles • Approche statistique et routage • Sonars de détection 	Développement Logiciel et produits	1 à 3	IFREMER, Centrale Nantes, Ecole Polytechnique / Banyuls Design, Naval Group, CMA CGM	5 ans	3 m€ + démonstrateur 2 m€	P2