Cluster Maritime de La Réunion

Bilan de la veille technologique de la décarbonation maritime au niveau national

Etude de navires côtiers zéro émission à La Réunion

Loïc Le Foulgoc
01/09/2023

Opération soutenue par l'Etat dans le cadre du Fonds d'Intervention Maritime (FIM) opéré par la Direction Générale des Affaires Maritimes, de la Pêche et de l'Aquaculture (DGAMPA)

MINISTÈRE DE LA MER

Table des matières

I. État des avancées réglementaires internationales en terme de transition écologique du maritime.....3
A. La réglementation OMI.....3
B. La réglementation européenne.....3
C. la stratégie nationale.....4
II. Les acteurs mobilisés au niveau national.....5
A. L'État.....5
B. Le Cluster Maritime Français.....5
C. Les régions.....6
D. Les événements.....6
III. L'état des technologies décarbonées.....6
A. L'utilisation de l'Hydrogène comme vecteur d'énergie : propulsion et production.....8
i) La Production d'Hydrogène vert : enjeu mondial.....8
1. Les innovations au service de la productivité.....9
B. Les carburants de synthèse.....10
C. Les biocarburants.....11
D. L'Hybridation électrique et le 100 % électrique.....12
E. La Propulsion vélique.....13
IV. Les projets de développement d'infrastructures portuaires.....14
V. L'efficience énergétique.....15
A. Le cycle de vie des navires.....15
B. Les auxiliaires d'aide à l'éco-conduite et à l'efficience énergétique.....15
VI. LE FINANCEMENT.....**Erreur ! Signet non défini.**
A. L'europe.....16
1. Horizon Europe.....16
2. FEAMPA.....16
B. Le SOUTIEN DE L'ÉTAT.....16
1. Le CORIMER.....16
2. Fonds d'Intervention Maritime.....17
3. l'ADEME.....**Erreur ! Signet non défini.**
C. Le SOUTIEN PRIVE.....17

INTRODUCTION

Le projet du Fond d'Intervention Maritime (FIM) sur l'étude [d'opportunités] de navires côtiers zéro émission à La Réunion porté par le Cluster Maritime de La Réunion a été approuvé par le Secrétariat d'État Chargé de la Mer lors de la 2eme vague du FIM. Mr Hervé Berville, secrétaire d'État chargé de la mer et Mr Sébastien Camus, président du Cluster Maritime de La Réunion, ont signé la convention de financement entre l'État et l'association, le 25 novembre 2022 en présence des acteurs, représentants de l'État, et membres du Cluster Maritime de La Réunion au siège de la Direction Maritime Sud Océan Indien (DMSOI).

RESUME EXECUTIF

Les travaux menés à l'échelle nationale sur le sujet de la décarbonation des ports et des navires doivent ouvrir une passerelle avec les enjeux des territoires ultra-marins. Notamment sur la thématique d'exploitation de navires côtiers zéro émission. De multiples usages sont appropriés pour un renouvellement de navires s'orientant vers la décarbonation : navires à passagers, navires de service portuaire, pêche côtière, navire de plaisance. Le projet s'inspire du modèle proposé par le Cluster Maritime Français et la coalition T2EM (Transition Eco-Energétique du Maritime) qui ont mené des réflexions et des pistes de travail autour de la transition écoénergétique des modèles économiques et de la chaîne de valeur dans le maritime pendant 2 années de réflexion. De ces travaux est née la mise en place de l'institut MEET 2050 en février 2022.

En posant les bases d'une coopération entre le national et les acteurs régionaux, entreprises, gestionnaires portuaires et institutions, le Cluster Maritime de La Réunion, en tant qu'animateur, souhaite à travers ce projet corréler les applications aux réalités du territoire pour développer le modèle stratégique et économique des navires propres à La Réunion.

Par le biais de groupe de travail, autour des thématiques, nous envisageons d'établir un livrable qui sera le fruit des réflexions et qui apportera une feuille de route pour les investisseurs, les institutionnels et les professionnels concernés.

OBJECTIF de ce document :

Synthèse (1er livrable) d'une veille actualisée des projets en cours sur la décarbonation maritime en lien avec notre étude en mettant l'accent sur les projets nationaux en lien avec les navires côtiers. Ce document de travail permet à l'ensemble des acteurs qui se réuniront lors de sessions de travail d'avoir le même niveau d'information.

I. État des avancées réglementaires internationales en termes de transition écologique du maritime

Plusieurs acteurs internationaux mènent les débats dans la lutte contre le réchauffement climatique en adoptant des mesures réglementaires pour le monde maritime. Les travaux menés par l'OMI (Organisation Maritime Internationale) et par l'UE (Union Européenne) ont abouti à définir des objectifs et des mesures règlementaires pour atteindre la neutralité carbone en 2050.

A. La réglementation OMI

Pour répondre aux objectifs de l'Accord de Paris (Voir encadré) sur la limitation de l'augmentation de température et pour répondre aux 13 objectifs de développement durable de l'ONU, l'OMI a fixé dans sa Stratégie Initiale[1] concernant la réduction des émissions de GES (Gaz à Effet de Serre) un objectif de réduire le volume total des émissions de GES annuelles d'au moins 50% en 2050. Lors de la session du 7 juillet 2023, le comité de protection de l'environnement marin (MEPC) de l'OMI a revu les objectifs de réduction des émissions du CO_2 :

- 20% à 30% au niveau des émissions globales en 2030 (supérieur au 40% fixés en 2018 car ceux-là prenaient en compte l'intensité carbone à la tonne transportée).
- 70% à 80% de réduction des émissions (référence 2008) en 2040.
- Objectif le net zéro carbone en 2050.

> L'Accord de Paris, adopté en 2015, a pour objectif de renforcer la réponse mondiale à la menace des changements climatiques et de limiter l'élévation des températures à 1,5 ºC par rapport aux niveaux préindustriels. L'Accord de Paris n'inclut pas le transport maritime international, mais l'OMI s'engage à réduire les émissions de GES (Gaz à Effet de Serre) provenant de ce secteur.

Plusieurs mesures ont été mises en place notamment sur le système de notation d'intensité carbone des navires (EEXI et CII). L'OMI met en place également des mesures techniques sur le même modèle que le Fuel EU maritime (appelé *GFS ou GHG fuel standard*) avec comme objectif l'application de 5% à 10% de combustibles et/ou sources d'énergie à GES nulles ou quasi nulles. Il est discuté également d'une mesure économique sur la tarification des émissions à GES (*carbon levy*). Une étude d'impact est lancée par l'ONU sur l'application d'une telle mesure.

B. La réglementation européenne

Le pacte vert de la Commission Européenne ambitionne une réduction de 55% des GES en 2030 (référence 1990) et atteindre la neutralité carbone en 2050. Concernant le monde maritime, plusieurs mesures et réglementations sont mises en place pour les navires dont la jauge brute est supérieure à 5000 UMS, comme réduire leurs émissions de GES à bord des navires en réduisant leur quantité d'énergie utilisée (de 2% à partir de 2025 à 80% à partir de 2050) et en mettant en place une Taxe Carbone sur le transport maritime qui permettra d'alimenter un fonds d'innovation dédié au maritime. Cela pourrait permettre de combler l'écart de prix des carburants propre, améliorer l'efficacité énergétique des navires, favoriser l'innovation et construire l'infrastructure portuaire. L'UE met en place également deux autres règlements. Pour réduire la pollution de l'air dans les ports, les porte-conteneurs et les navires à passagers seront obligés d'utiliser l'alimentation électrique pour tous les besoins en électricité lorsqu'ils seront amarrés à quai dans les principaux ports de l'UE à partir de 2030 (règlement AFIR). Le règlement Fuel EU maritime fixe comme objectif l'utilisation de 2% de carburants renouvelables (biocarburants et e-carburants) à partir de 2034. Des questions

[1] Source : Note by the International Maritime Organization to the UNFCCC Talanoa Dialogue-13 avril 2018

restent toutefois en suspens sur l'application de l'électrification des quais (entre opérateurs privés et publics) pour la réalisation de la réglementation.[2]

Concernant la décarbonation de la flotte de pêche européenne, le CESE (Comité économique et social européen) a émis un avis[3] auprès de la Commission Européenne le 12 juillet 2023 en s'appuyant sur les points suivants :

- Possibilité d'utiliser les systèmes hybrides en solution intermédiaire pour la décarbonation des navires de pêche ;
- Nécessité d'un accès (approvisionnement, coût) aux carburants de substitution ;
- Difficulté d'envisager l'électrique comme solution de décarbonation ;
- Nécessité mise en place d'un fond d'urgence (dotation FEAMPA limitée) ;
- Les nouvelles énergies intégrées nécessitent de revoir la réglementation de capacité ;
- Difficulté de mettre en place des taxes diesel pour la pêche tant que les technologies de propulsion ne sont pas disponibles ;
- Volonté d'encourager les projets pilotes ;
- Volonté de développer l'accès aux carburants renouvelables et bas carbone compatible avec les moteurs à combustion classiques, et les systèmes d'approvisionnement existants en privilégiant la production en local ;
- Besoin d'envisager un plan de renouvellement de flottille au niveau européen.

C. La stratégie nationale

La Stratégie nationale bas-carbone (SNBC) est la feuille de route de la France pour mener sa politique d'atténuation du changement climatique. Elle prévoit des réductions d'émissions de GES dans tous les secteurs d'activité émetteurs (transport, bâtiment, industrie, etc.) et donne en conséquence les orientations stratégiques sectorielles pour mettre en œuvre en France la transition vers une économie décarbonée durable. La SNBC en vigueur (SNBC-2) vise l'atteinte de la neutralité carbone à l'horizon 2050 et la réduction de l'empreinte carbone de la consommation des Français.
Elle prévoit en particulier un transport maritime et fluvial entièrement décarboné pour les émissions domestiques à horizon 2050 et décarboné à 50 % pour les soutages internationaux.

En conclusion : Le problème majeur est le coût « colossal » des investissements nécessaires dans le renouvellement des navires pour répondre à cette réduction des émissions de GES et atteindre les objectifs. Comme cité sur sa page internet (www.imo.org) La Stratégie initiale fixe les niveaux d'ambition pour le secteur des transports maritimes internationaux, sachant que les innovations technologiques et l'introduction à l'échelle mondiale de combustibles et/ou de sources d'énergie de substitution pour les transports maritimes internationaux seront des éléments essentiels à la réalisation de l'ambition globale, quelle sera la part appliquée pour les navires domestiques et côtiers sachant qu'aucun objectif règlementaire ne concernent les navires côtiers ?

[2] Source tirée du Le Marin, 12/07/2023

[3] Avis du CESE sur la Décarbonation de la flotte de pêche NAT/895-12 juillet 2023

II. Les acteurs mobilisés au niveau national

A. L'État

L'État est fortement engagé dans la transition énergétique et écologique. De part la SNBC qui donne la feuille de route et un budget, elle se donne les moyens d'accompagner tous les secteurs pour atteindre les objectifs de neutralité carbone à l'horizon 2050 (exemple : accompagnement du développement de la filière Hydrogène avec un budget de 9 M€). Le soutien du Secrétariat d'État Chargé de la Mer et des services de la DGAMPA pour accompagner les acteurs maritimes, dans la mise en place des financements et des évènements (les Jeudis de l'innovation), permet des échanges entre acteurs privés et publics. Un des moments importants de ce partenariat a été la remise de feuille de route de la décarbonation maritime le 07 avril 2023[4]. La DGAMPA collabore avec les acteurs maritimes dans les travaux relatifs à la décarbonation des filières. Avec le Cluster Maritime Français, il a collaboré aux groupes de travail pour définir la feuille de route, et avec le CNPMEM pour définir les trajectoires de décarbonation pour la filière pêche. L'État est notamment concerné par l'évolution nécessaire de la règlementation pour répondre aux enjeux technologiques et innovants des filières maritimes pour la transition vers les navires zéro émission.

B. Le Cluster Maritime Français

Le Cluster Maritime Français qui rassemble plus de 250 entreprises de toute la chaine de valeur du maritime a lancé des travaux depuis 2019 sur la thématique de la décarbonation maritime. En mettant en place la coalition pour la Transition Eco-Energétique du maritime (T2EM) pour définir une vision partagée des solutions répondants aux objectifs de 2050, l'association portée par ses membres a lancé le MEET2050 afin de définir la feuille de route de la décarbonation maritime et a établi un outil de modélisation d'aide à la décision sur les aspects technologies et financiers.

LE MEET 2050

Structure tel un centre d'expertise pour des réflexions communes entre industriels et État sur la planification et la stratégie de la décarbonation maritime. L'ensemble des acteurs de la chaine de valeur, des énergéticiens au chantiers navals, des armateurs aux bureaux d'études pour mener des pistes de réflexion sur les technologies, les réglementations, les besoins en énergies décarbonées, les financements.

Les acteurs de l'industrie maritime ont collaboré aux travaux du T2EM en partageant sa feuille de route GreenShip (Pilotage : Chantiers de l'Atlantique, co-pilotage : Pôle Mer Bretagne Atlantique) pour alimenter en solutions décarbonées le vaste chantier que doit opérer les filières de l'économie bleue.

<u>Présentation des conclusions des échanges du T2EM et de la Feuille de route décarbonation de la filière maritime :</u>

- Il n'existe pas une solution mais un mixte de solution entre technologie et efficience énergétique.
- Les solutions doivent être réfléchies sur l'ensemble de la chaîne de valeur (méthode systémique) et par filière.
- L'enjeu à long terme porte sur le développement des carburants alternatifs (biocarburants et e-carburants) pour les filières du transport maritime et pour la compétitivité des ports français.
- Il y a un besoin d'une électrification massive des usages soit comme propulsion principale ou auxiliaire, en particulier en hybridation pour des approches littorales et des manœuvres portuaires.
- L'électrification à quai est également un enjeu majeur.
- L'hydrogène va servir de nombreux usages dans le maritime, soit en énergie principale, soit en énergie auxiliaire, en mer ou dans des technologies stationnaires.
- La propulsion par le vent est une filière naissante et très prometteuse. En énergie principale ou auxiliaire, elle fait face aujourd'hui à des problèmes capitalistiques et de financements.

[4] https://www.mer.gouv.fr/decarbonation-du-maritime-remise-de-la-feuille-de-route

- L'efficience énergétique est tout aussi importante que le développement des solutions technologiques. L'efficience énergétique permet de limiter à moyen terme l'empreinte carbone des usages qui n'ont pas d'énergies décarbonées et d'améliorer le bilan énergétique des usages. En outre, elle permet d'optimiser le design complet des futurs navires, bateaux, engins et systèmes qui devront être économes de toute façon en énergies vertes plus chères à produire et utiliser.

C. Les régions

Les régions portent également le sujet de la décarbonation à travers le développement de l'Hydrogène vert comme un vecteur pour le développement économique, la réindustrialisation des territoires portée par des coalition d'entreprises et un écosystème favorable grâce à une situation géographique privilégiée et connectée aux filières maritimes. La Région Réunion a proposé également un travail autour état des lieux de l'Hydrogène (porté actuellement par la SPL Horizon et les instituts de recherche). Les régions soutiennent et sont porteuses de projet en lien avec la décarbonation maritime.

D. Les événements

Plusieurs événements annuels mettent en avant les avancées de la décarbonation maritime nationale avec les dates à venir :

- Les Assises de l'Economie de La Mer (Nantes/St Nazaire-27 & 28 novembre 2023)
- Euromaritime (Marseille-30 & 31 janvier 2024)
- Winds For Goods (Nantes-Juin 2024)
- Navexpo (Lorient -29 au 31 mai 2024)
- Hyports (Toulon- 27 et 28 mars 2024)
- Les expositions/salons nautiques (La Rochelle, Paris, Arcachon…)

En conclusion : Le coût de la décarbonation maritime va coûter cher (entre 2000 et 3000 Md€), entre 50 à 80 Md€ pour la France. Pour optimiser le coût, il semble nécessaire de s'appuyer sur les feuilles de route pour dérouler un programme cohérent entre les industriels de premiers rangs et l'État ayant collaboré au sujet.

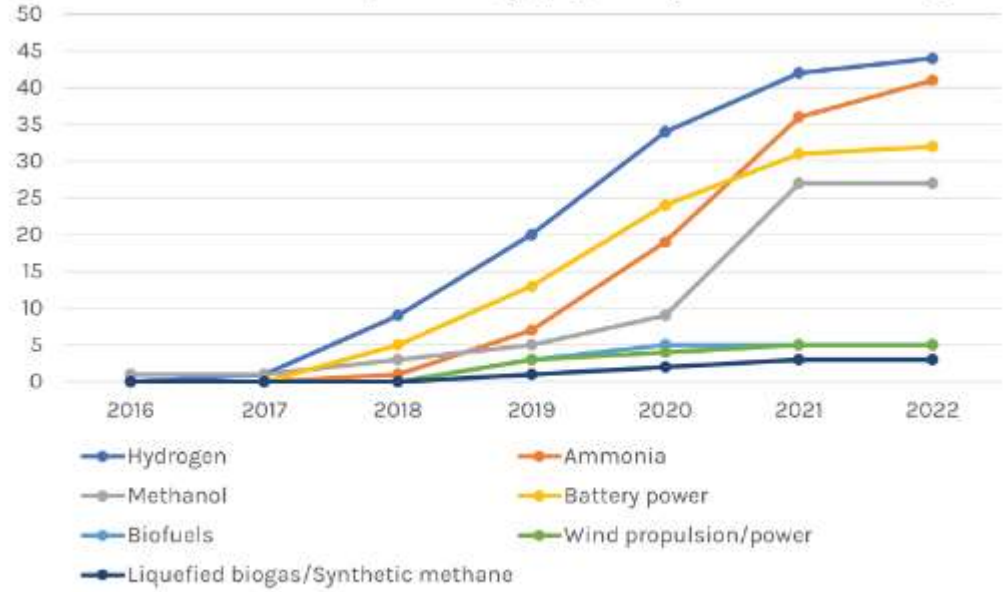
III. L'état des technologies décarbonées

Le Forum Maritime Global du Forum Économique Mondial a recensé les projets pilotes et démonstrateurs dans sa 3eme édition de la cartographie des projets Zéro Émission dans le maritime[5] en réalisant une mise à jour des projets décarbonés portés dans les domaines des technologies de navire, la production de carburants alternatifs et dans le développement des infrastructures. Ces projets sont essentiels pour accélérer la transition énergétique de l'industrie navale. Cette 3eme édition a recensé 203 projets dont 20% de projets passant d'une phase concept à une phase de démonstrateur. Bien que ce listing ne soit pas exhaustif, il permet de suivre les enseignements suivants :

- La décarbonation maritime touche aujourd'hui tout type de navires en utilisant différentes innovations technologiques et n'est plus réservée aux navires commerciaux ;
- Toute la chaîne de valeur est impliquée dans les projets de décarbonation (architectes, chantiers navals, intégrateurs, infrastructures, financiers) de l'étude concept au démonstrateur avec souvent des partenariats étendus et des financements diversifiés (recours aux fonds propres, aux subventions) ;
- Les études portées sur les carburants alternatifs (biocarburants, e-carburants, hydrogène) et l'utilisation des batteries électriques prédominent dans l'évolution des projets sur les 5 dernières années ;
- La plupart des projets sont portés par des acteurs européens.

[5] Mapping of Zero Emission Pilots and Demonstration Projects-Third Edition-Getting to Zero Coalition-March 2022

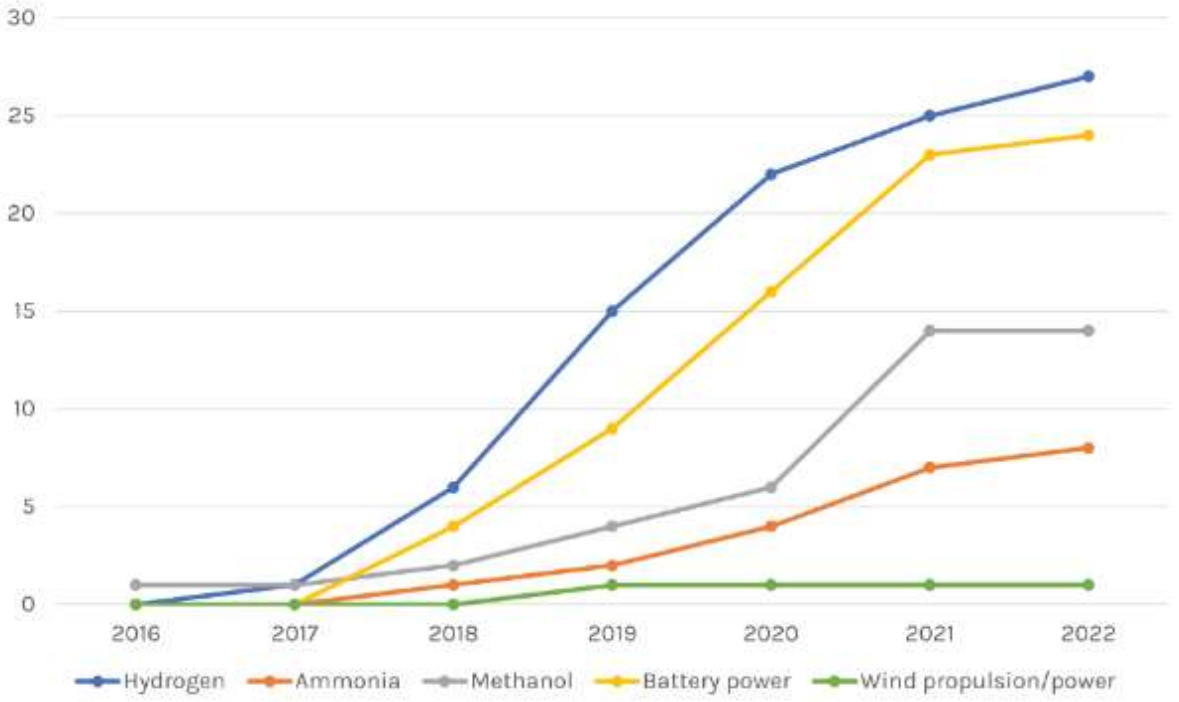
Figure 1: Total number of ship technology projects by fuel focus 2016 to Q1 2022



Getting to Zero Coalition Mapping of Zero Emission Pilots and Demonstration Projects | Third Edition

Parmi les projets sur les carburants alternatifs, les projets des secteurs des « petits » navires concernent davantage l'utilisation et la production de l'hydrogène par pile à combustible ou l'utilisation du méthanol et de l'hydrogène pour les moteurs thermiques ; ceux des secteurs des « grands » navires concernant davantage l'utilisation de l'ammoniac. Les projets de biocarburants et d'utilisation de la propulsion vélique restent encore limités. A noter également que plusieurs projets pour des « petits » navires portent sur l'utilisation des batteries et la motorisation électrique.

Figure 14: Fuel focus of ship technology projects for small vessels from 2016 to Q1 2022



1.Source : Mapping of zero emission pilots and demonstration projects-march 2022 (source Global Maritime Forum / World Economic Forum)

A. L'utilisation de l'Hydrogène comme vecteur d'énergie : propulsion et production

Plus souvent utilisé dans les projets de navires côtiers décarbonés comme combustible pour les piles à combustibles (60% des projets), l'hydrogène ou dihydrogène (H2) est une source complémentaire souvent couplé à des batteries électriques pour les motorisations électriques. Au niveau national, plusieurs filières tentent la conversion à l'Hydrogène vert. Le pionnier dans l'utilisation de l'hydrogène et zéro-émission dans le domaine est le démonstrateur de type catamaran Energy Observer, qui a parcouru 15 000 milles nautiques en 2021 à une vitesse moyenne de 5nds (max 12 nœuds). Energy Observer est considéré comme un laboratoire flottant pour tester tous les systèmes intégrés depuis 2013 mêlant propulsion électrique, utilisation de voiles motorisées type OceanWings® et utilisation de l'hydrogène pour réduire l'intermittence des énergies renouvelables et stocker le surplus d'énergie produite.

Principe de fonctionnement à bord : les batteries électriques sont régénérées grâce à l'apport des panneaux photovoltaïques, qui alimentent ensuite le moteur électrique. Le surplus d'énergie produit est converti en Hydrogène et stocké pour une utilisation ultérieure. L'hydrogène est produit à partir de l'électrolyse de l'eau de mer (passant d'abord par un dessalinisateur) stocké dans des bonbonnes d'hydrogène (grâce à l'utilisation d'un compresseur). L'hydrogène est utilisé pour la pile à combustible pour fournir de l'électricité (complémentaire aux batteries) pour l'utilisation du moteur électrique. L'utilisation du mix énergétique (panneaux solaires, force du vent, Hydrogène) est contrôlée à bord pour alimenter les besoins énergétiques du navire (consommation, propulsion).

De nombreux exemples d'utilisation de l'hydrogène dans le maritime sont recensés dans la presse, en voici quelques uns :

- Sea Change-Navire à passagers-United States (2023)
- MF Hydra, ferry hydrogène liquide pax300 et VL-Norvège (2023)
- Zulu 06-CFT-1er transporteur Hydrogène fluvial-France*(2024)
- Deux ferries à hydrogène en construction-Norvège (entrée en service octobre 2025)
- Vraquier à Hydrogène With Orca-Norvège (début 2024)
- Bateau pousseur hybride zéro émission-Allemagne (2022)
- Remorqueur à hydrogène CMB.TECH-Belgique (2022)
- Samana 59 catamaran de plaisance de Fountaine Pajot -France (2023)
- Navires de plaisance HYNOVA -France (2021)
- Navire de formation Lycée de Bastia-France (En construction) *
- Navette à passager Neptech -France (2024) *
- Energy Observer II-France (2026-2027) *
- Première drague alimentée à l'H2 -France (fin 2023) *
- Baliseur pour les phares et balises (Socarenam)-France (fin 2023) *
- Projet Hylias-France (2024) *

Les descriptif des projets * nationaux sur les navires côtiers décarbonés sont décrits en annexe 1

1. La Production d'Hydrogène vert : enjeu mondial

Le problème majeur de la production d'hydrogène vert est son rendement énergétique. Pour fabriquer de l'hydrogène vert, il est nécessaire de développer les énergies renouvelables comme source afin de transformer

l'eau en hydrogène. Aujourd'hui, l'hydrogène vert ne représente que 1% de la production totale d'hydrogène sur les 116 millions de tonnes produits par an. Des pays comme l'Arabie Saoudite prévoit de devenir leader dans la production d'hydrogène vert (projet de construction d'usine d'hydrogène vert pour produire jusqu'à 600 tonnes d'hydrogène vert par jour d'ici fin 2026). Oman se positionne également avec des objectifs d'au moins un million de tonnes d'hydrogène vert par an d'ici 2030 et jusqu'à 8,5 millions de tonnes par an d'ici 2050 (supérieur à la demande totale d'hydrogène en Europe aujourd'hui). (Source : connaissancedesenergies.com-AFP 17 août 2023)

La France a adopté sa stratégie nationale en 2020 pour le développement de l'hydrogène décarboné avec des investissements massifs dans la structuration de la filière. Avec un budget de 9 milliards d'euros la stratégie France 2030 permet de fixer des objectifs sur l'installation d'électrolyseurs, sur le développement de mobilités propres, construire une filière industrielle. Les orientations concernent prioritairement l'industrie et les mobilités lourdes. Les objectifs de France 2030 ne fixent pas de cadre pour le maritime.

2. Les innovations au service de la productivité

La recherche et développement dans le secteur de la production, l'utilisation ou le stockage de l'hydrogène réalise des travaux qui créent des ruptures technologiques sur certaines chaînes de valeur. Même si de nombreux freins technologiques restent à résoudre, les études sont prometteuses.

Notion d'Ordre de grandeur :
Avec H_2 on produit 5 fois plus d'énergie pour 4 fois mois de poids par rapport à la batterie.
Le volume de stockage est 6-7 fois supérieur que le diesel.
La densité énergétique de l'Hydrogène est 3 fois celle du diesel.

En voici quelques exemples :

- Méthode d'amélioration de production d'hydrogène en utilisant les ultrasons pour réduire l'accumulation de bulles au niveau des électrodes (facteur x14 en production). (Source : Université RMIT, Australie),
- Evolution des piles à combustible permettant d'obtenir un gain de 30% de production d'énergie pour une réduction de 30 % de son poids. (Source : Eodev)
- Sur le stockage et le transport, la transformation en hydrogène liquide par refroidissement (-252,87°C) permet de gagner en volume de stockage (réservés à l'aérospatial). Possibilité de lier l'hydrogène à des molécules organiques type LOHC (Liquid Organic Hydrogen Carrier). Ces liaisons améliorent de fait la sécurité et la manipulation de l'hydrogène tout en conservant des densités volumétriques en hydrogène comparables à celles des stockages traditionnels. Les usages actuels sont réservés aux premiers pilotes avant de développer une phase d'industrialisation.

3. Avis d'un expert rencontré sur le développement de l'Hydrogène :

Source : Groupe EODEV-16 mars 2023

« *Les ports sont des terrains de jeux idéaux pour la production d'hydrogène vert et pour leur application qui en font des Hubs importants pour le développement de la filière hydrogène* »

EODEV propose depuis 2019 des solutions de productions d'électricité à base d'hydrogène. EODEV propose la commercialisation d'un générateur d'électricité à pile à hydrogène pour des systèmes non connectés au réseau (GEH_2 version 3). Diverses applications envisageables pour le maritime : (i) Electrification à quai pour de solutions temporaires (escales, terminaux de recharge pour véhicules électriques), (ii) Besoin ponctuel dans la réparation navale pour une sur demande d'énergie, (iii) Remplacement du GE à bord des navires et combiné avec des batteries pour la propulsion et la vie à bord des navires. Ces systèmes sont équipés d'une pile à combustible, convertisseur, filtration, contrôleur…).

- Avantage : sans émission, rendement 45% (supérieur au diesel 30%), faible niveau sonore, coût entretien, politique RSE.
- Inconvénient : coût à l'achat, stockage externe d'Hydrogène sous pression, volume de stockage gazeux de H2, besoin d'un fournisseur d'H_2 et de stockage
- Application : HYNOVA 40 mai 2021 Marseille, Fountaine Pajot Samana 59 (catamaran à passager), HYNOVA 48, Tender America's Cup avec Bluegame, Navire de formation du Lycée Professionnel de Bastia, Navettes à passagers, Energy Observer 2 (2026-2027)
- Variable : coût de l'Hydrogène
- Faiblesse : manque d'un réseau de distributeur

Bilan de l'entretien : Les évolutions technologiques en matière d'utilisation de l'Hydrogène à bord des navires commerciaux, de grande plaisance, transports à passagers démontrent que nous sommes sur le point de bascule d'une industrialisation de navires de série. La conviction des acteurs consommateurs souhaitant décarboner leurs usages en font des pionniers pour massifier la production et réduire le coût. A La Réunion, se pose donc la question de la production d'hydrogène vert ou de la logistique de transport de l'hydrogène. Les financements publics pour les ZNI pourraient apporter une part de la solution dans la production des énergies renouvelables. Véritable intérêt pour les navires côtiers (poids, puissance). Notamment pour les navires de transport à passagers.

B. Les carburants de synthèse

Les carburants de synthèse (ou e-carburant ou électro-carburants) sont des voies prometteuses pour la décarbonation maritime et aérienne. Le processus consiste en l'hydrolyse de l'eau (H_20) à partir d'énergies renouvelables pour obtenir de l'hydrogène, mélangé avec du CO2 (par captage), pour une production de e-carburant à l'état liquide. Le dioxyde de carbone et l'hydrogène combiné par raffinage peuvent produire des carburants comme de l e-ammoniac, de e-essence, e-diesel, e-kérosène, e-méthanol.
Selon l'International Council on Clean Transportation (ICCT) organisme de recherche indépendant, il estime que 48% de l'électricité renouvelable utilisée pour convertir les e-carburants en liquide est perdue au cours du processus, tandis que jusqu'à 70% de l'énergie du carburant est perdue lors de la combustion. Le rendement est donc de 16% (par exemple le rendement de l'électrique est de 72%). Cette solution peut être envisager dans les secteurs n'ayant pas d'autres solutions (électrique, pile à combustibles, biocarburants) dans le maritime et l'aviation.

Avantages	Inconvénients
• Peu carboné et compensé par la décarbonation liée à sa fabrication (captage de $C0^2$) = neutre en émission • Utilisation d'un moteur thermique • Stockage et transport des e-carburants à température ambiante • Inclus dans la politique de décarbonation des Véhicules routiers UE (2035) • Envisageable pour des secteurs n'ayant peu de solutions de décarbonation (maritime, aviation) • Technologie naissante • Création de centre de production dans les pays du Sud (fort potentiel en Energie Renouvelable)	• Rendement énergétique • Potentiel commercial et environnemental à prouver • Conditionné à la production d'H^2 vert (actuellement 96% H^2 gris) =gaz naturel • Technologies de capture du carbone encore balbutiante malgré des décennies de technologie • Prix élevé de production=marché niche • Risque d'écoblanchiment (mélange de carburants fossiles et e-carburants) • Dépendance aux e-carburants importés • Utilisation importante de foncier et d'eau en concurrence avec agriculture

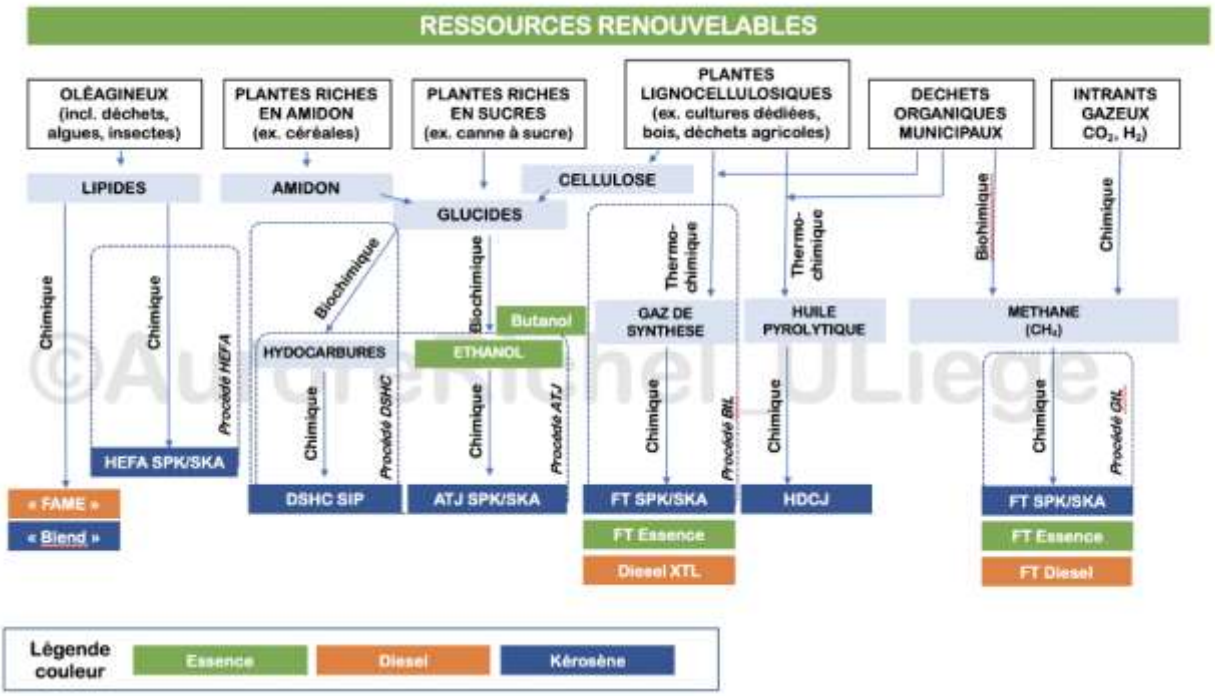
Les scenarii du mix énergétique pour la décarbonation envisagent à long terme l'utilisation des e-carburants à l'horizon 2050 (première production en 2030) et donc une production électrique « verte » accrue.
La stratégie est portée sur une approche des flottes selon leur typologie comme le souligne la feuille de route de la décarbonation maritime.
Le développement de la production des e-carburants ne se fera qu'avec un appui des politiques pour que l'innovation permette l'amélioration du rendement énergétique sur toute la chaîne de production pour l'obtention d'un ou des e-carburants accessible à grande échelle. Néanmoins, la priorisation sur les usages passent en premier lieu par la décarbonation du transport maritime avec l'utilisation des e-carburants.

Exemple de productions au niveau national :

- Projet Reuze (Dunkerque) vise à transformer et valoriser 300kt de CO^2 à partir des émissions des installations de sidérurgie d'ArcelorMittal avec un objectif de plus de 100kt de carburants et naphta produits à terme.
- Projet Hynovi (Montalieu-Vercieu) implanté sur le site de la cimenterie Vicat pour valoriser une partie de ses émissions de CO_2, vise à produire 125 Kt/an d'e-méthanol dès 2025 grâce à l'installation sur site d'un électrolyseur Hynamics d'une puissance de 180 MW soit près de 1,6 TWh/ an

C. Les biocarburants

Les biocarburants sont des carburants de synthèse alternatifs produits au départ de la biomasse, issue de ressources végétales à vocation alimentaire (canne à sucre, maïs, blé) ou non alimentaire (déchets agricoles, bois) pour produire du bioéthanol. Ces carburants alternatifs au départ de ressources renouvelables sont largement diversifiés de part les sources et les méthodes de production (voir schéma). A noter également que l'utilisation d'algues est envisageable pour sa production. A noter aussi que l'usage de carburants gazeux actuellement tel que le GNL (d'origine fossile) pourrait conduire à la production de bio-GNL ou e-GNL.



Il est à noter que l'utilisation des biocarburants se feront de manière progressive en complément des énergies fossiles. Les biocarburants seront également utilisés avant la mise sur le marché des e-carburants pour répondre aux objectifs. La répartition se lissera ensuite aux usages.

L'utilisation de biocarburants est prometteuse. En exemple, la société Sogestran Logistics (Seine) dans le transport fluvial utilise le HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) pour réduire les émissions de CO^2 de 90%. (Voir l'annexe 1). Le biocarburant permet de répondre comme solution transitoire en termes de diminution d'émission de GES avant l'essor des e-carburants. A La Réunion, la question de la production des e-carburants et biocarburants passe par les sujets autour du foncier pour développer des usines de production, de l'accessibilité et l'approvisionnement en eau et de la production en électricité vert avec le développement des Energies Renouvelables. La question de l'utilisation des « biocarburants » ou e-carburants reposent notamment sur la possibilité d'obtenir la matière première accessible. Quelques acteurs locaux collectent aujourd'hui des huiles usagées pour convertir en biocarburant. (Voir https://arsycle.re/)

Avantage	Inconvénients
Pas de modification motrice profonde Déjà utilisé par le transport routier	Ressources locales en concurrence avec d'autre marché (auto, nourriture…) Ressources limitées
Utilisation des matières premières renouvelables	Coût et dépendance des intrants, transports par bateau

D. L'Hybridation électrique et le 100 % électrique

L'utilisation d'un moteur électrique couplé à des batteries ion-lithium soit comme propulsion auxiliaire ou en propulsion principale est une voie de décarbonation pour les usages côtiers notamment dans la plaisance ou dans le transport à passager et les navires de servitude n'ayant pas besoin d'autonomie élevée. De nombreux acteurs (voir schéma) développent des moteurs électriques.



Dans les projets de plus grande envergure, le transport maritime transmanche peut bénéficier de cette conversion. Exemple : L'armement DFDS avec la conversion de navires transmanche, grâce à l'appui de l'électrification à quai avec la volonté de mise en place de batterie de 300 tonnes par navire et un temps de charge de 45 min pour une vitesse de navigation de 20 nœuds. (Source : Le Marin 15/03/2023). A La Réunion, la société BATO PEI a équipé un de ses navires de moteurs auxiliaires électriques (BlueNav).

Avis d'un expert rencontré sur l'hybridation électrique (Source : Barillec Marine-17 mars 2023)

Barillec Marine est un intégrateur en système électrique pour les navires neufs ou en rétrofit. Barillec Marine développe son expertise en propulsion électrique, système hybride diesel /électrique avec des projets entre une 100_{aine} KW à 5MW (offshore, patrouilleur polonais). La société travaille également sur la propulsion auxiliaire pour les navires océaniques ou le transport à passager fluviale. Intégrée à pile à combustible, la batterie permet de pallier la puissance nominale de la pile à combustible. La batterie peut répondre au pic de charge à la demande ou à la production, sert de tampon (« écrêtage »). Le marché des navires tout électrique reste un marché niche sur les petits navires type bac à passager, les catamarans de plaisance électrique avec panneaux solaires et un génois ou le démonstrateur de Pilotine électrique réalisée par MGH Energy en 2021 (projet Green Pilot dans l'encadré). A La Réunion, le Syndicat des Pilotes Professionnels Maritimes de La Réunion réfléchit à l'opportunité d'une pilotine électrique. A ce jour, le SPPMR lance un diagnostic des émissions de la pilotine pour établir un cahier des charges des besoins en matière de décarbonation. Le diagnostic permet de générer un mode d'exploitation opérationnel pour réduire les émissions et permet de dimensionner un futur projet de pilotine électrique sur le territoire.

> Le projet Green Pilot porté par MGH : mettre en œuvre une solution technique opérationnelle permettant de réduire les émissions polluantes (pollution atmosphérique et sonore) des ports. Les équipes de la société héraultaise ont alors choisi de développer la première pilotine 100% électrique, à partir de la conversion de la pilotine Maguelonne, initialement équipée d'une propulsion diesel.

E. La Propulsion vélique

Le vent comme propulsion auxiliaire est à comptabiliser dans le mix énergétique de la décarbonation. Le vent est une source énergétique non taxable, souvent disponible. De multiples acteurs de la technologie éolienne pour les navires de toutes tailles conçoivent des modèles variés répondant aux besoins des objectifs de la décarbonation du transport maritime mais également aux usages de navigation côtière. Dans son Livre blanc[6] sur la propulsion des navires par le vent, l'association Windship dresse un tableau complet des solutions envisageables dès maintenant. Le développement des projets ne rencontre pas les mêmes contraintes que les solutions alternatives du fait de la maturité technologique et règlementaire de la propulsion vélique. Pour convaincre les usagers de la pertinence des solutions, il faut proposer des aides au financement adaptées pour les armateurs. Néanmoins, l'utilisation d'une « voile » prend de la place sur le pont et ne peut répondre à toutes les configurations d'usage. A La Réunion, le sujet n'est pas nouveau et a été traité de manière sérieuse auprès de la filière pêche palangrière au début des années 2010. Le projet d'équiper un palangrier de 22 m avec une voile de Kitesurf avait abouti à la constitution du dossier de demande de subvention. En amont de la maturité technologique d'aujourd'hui, le projet n'avait pas passé le cap de la réalisation. Le Cluster Maritime de La Réunion a réalisé un webinaire à destination des membres pour présenter le livre blanc de Windship avec les acteurs mobilisés dans la décarbonation par la technologie vélique (webinaire du mardi 29 mars 2022) et créer des prises de contacts et des synergies.

Avis des experts sur la technologie vélique (source : Entretien visioconférence-VPLP- 23 février 2023)

VPLP travaille sur les concepts d'ailes automatiques et autoportées. Son produit est l'OceanWings®, une voile automatisée et dont la surface de l'aile est réglable et pilotable. Aujourd'hui le développement, la production des ailes OceanWings® est assurée par la société Ayro. Le système a équipé un navire de pêche en méditerranée dans le projet Ecofishing boat (labellisé par le Pôle Mer Méditerranée en 2017) et a équipé Energy Observer en 2019 (voir Annexe 1). Le navire Canopée, premier cargo pour le transport d'éléments de la fusée Ariane 6 de Zephyr et Borée, est équipé de 4 mats de 37 mètres. Les essais en mer des ailes ont été effectués en juillet 2023.

Avis des experts sur la technologie vélique (source: Entretien audio-ADD technologie -15 mars 2023)

[6] Livre blanc de la propulsion par le vent. Windship 2022.

Le concept simple est celui de rajouter un carénage sur les voiles pour obtenir un produit avec moins de trainée et d'accessoires véliques. Même si le poids est augmenté par rapport à une voile classique, elle reste légère à naviguer. Elle est résistante à l'usure (pas de faséiement), adaptable quelque soit la dimension souhaitée, simple d'utilisation et d'entretien. Elle permet également d'avoir une meilleure stabilité et un confort ajouté au roulis. Testé sur mini-transat et sur navire de pêche comme tapecul, ADD technologie a des projets sur des palangriers hauturiers ou sur du rétrofit de cargos. *« Quelques soit le mât, la baume, même un câble, il est possible d'envisager le produit d'ADD Technologies pour le rétrofit de navires. »*

IV. Les projets de développement d'infrastructures portuaires

Pour accompagner la transition énergétique du maritime, les ports jouent un rôle central dans la fourniture de l'énergie, la logistique et l'industrialisation pour la production de la chaine de valeur d'une technologie décarbonée. Elle est également support pour développer les Energies Renouvelables et le transport de l'énergie verte. Dans l'Hexagone, les ports maritimes sont connectés à l'ensemble des réseaux électriques, les réseaux de transports maritimes, terrestres et fluviaux, et aux réseaux de transports des carburants. Les écosystèmes d'entreprises sont regroupés à proximité de ces pôles pour la transition énergétique. Les projets de décarbonation portuaire se développent au niveau des Grands Ports Maritimes (Haropa, Dunkerque, Marseille, Nantes…). On peut citer notamment le port de Dunkerque qui a débuté son projet d'électrification à quai début 2020 (source : Le Marin 15/03/2023). Les projets du Grand Port Maritime de Marseille pour accélérer la transition écologique et les infrastructures industrielles du port sont accompagnés par un financement de 75 millions d'euros par l'État (Source : Le Marin 13 juillet 2023-Dossier Le Marin). Nantes-Saint-Nazaire (4eme port labellisé zone industrielle bas carbone) a l'objectif de créer un hub d'énergies décarbonées massives pour atteindre la neutralité carbone sur la zone portuaire à horizon 2050 grâce à une aide de l'État de 4,1 millions d'euros sur le programme France 2030, soit 50 % de l'enveloppe-(Source Le Marin 11 août 2023). Les projets se tournent vers l'électrification à quai, le développement de pôle CO2 avec projet de captage, le développement de Hub hydrogène, de Hub gaz vert et de développement de pôles de production d'énergies décarbonées (bio GNL, biofuels…), mise en place de boucles électriques locales produites à partir d'énergies renouvelables, développement de la biomasse.

Avis d'un expert sur le sujet de la stratégie de décarbonation des Ports (source : Entretien avec Alex Lavergne, ASC 13 Conseils, 28 février 2023)

Consultant qui accompagne depuis 2 ans le Port de Sète sur l'Innovation et Energie, ASC 13 Conseils anime le Pôle Mer Méditerranée sur les sujets de Stratégie Ports, logistique, transport maritime. Le Port de Sète porte une dynamique intéressante par son emplacement géographique (connectivité par des canaux fluviaux, voies ferroviaires) pour convertir la transition du transport routier en d'autres modalités décarbonés (transport sur barge, par train…). Un des points forts réside en la mise en place depuis 2019 de panneaux photovoltaïques sur 64000m² de toitures qui a permis d'augmenter la production électrique à un équivalent supérieur à la consommation portuaire (rapport : 2.5). Le rachat de l'électricité par la CRE a permis notamment d'investir dans la restauration des toitures (désamiantage, rénovation…). La revente permet un allègement pour les amodiataires sur leur loyer et a permis la rénovation des toitures. Un projet d'autoconsommation par la production d'ombrières équipées de panneaux photovoltaïques protégeant le parc automobile (Parking Roll-on, Roll-off) avec une production de crête de 3MW est en cours.

Le développement des branchements à quai se fait de manière progressive (feuille de route 2019 →2030) avec un démarrage par le port de plaisance et l'alimentation électrique de la grande plaisance en période d'hivernage. Le projet est étendu sur le port de commerce pour DFDS (trafic roulier). Les orientations prises ne sont pas axées en faveur du développement de l'hydrogène pour le stockage de la surproduction. Pourtant le projet d'alimentation électrique par barge avait été pensé avec une pile à combustible. Le Port de Sète a des projets d'extension (Terre plein gagné sur la mer de 30 Ha pour le stockage de véhicules et l'installation d'ombrières photovoltaïques).

En conclusion, l'orientation stratégique de développement de Port Réunion est un point essentiel aux développements de la décarbonation maritime. Les orientations des ports de plaisance sont également un sujet prédominant pour le développement des usages des navires côtiers décarbonés.

V. L'efficience énergétique

A. Le cycle de vie des navires

Un des enjeux pour décarboner les navires consiste à l'amélioration de l'efficacité énergétique. Dès la première étape de la vie d'un projet, il y a des économies d'énergie à concevoir. L'utilisation de matériaux biosourcés, recyclables ou valorisables pour la conception du navire en fait partie. La plaisance a recours notamment à la fibre de lin et à la résine recyclable. Comme exemple, on peut citer le projet We Explore, pont de catamaran construite en lin (source : Ouest-France, le 15/02/2022). Les avantages de l'utilisation de la fibre de lin permettent une production en circuit court, moins énergivore que la fibre de verre, et ayant des caractéristiques mécaniques proches. D'autres exemples de construction d'embarcations en fibre de lin : Planche à voile, trimaran Gwalaz, toit du bac électrique de Concarneau, construction d'un Mojito 8,88 (IDB Marine). L'utilisation de la résine recyclable permet en fin de vie du navire de séparer la fibre de verre de l'âme de la résine. La résine est alors recyclée pour la production d'un nouveau navire. Exemple : La résine thermoplastique ELIUM utilisée sur le First 44 de Bénéteau. A La Réunion, l'enjeu de la déconstruction de navires sur notre territoire est primordial. L'INEMA, en partenariat avec le Cluster Maritime de La Réunion, a mené une étude préliminaire en juin 2022 sur la mise en place d'une filière de démantèlement de navires à La Réunion. Sur une flottille de 5 000 unités, environ 50% des navires de plaisance et professionnels ont plus de 30 ans. 64% des unités sont en polyester stratifié ou en époxy. Le Territoire de l'Ouest en partenariat avec l'APER et une entreprise de valorisation des déchets lancent la première expérimentation portant sur la déconstruction sur site d'une dizaine d'unités de plaisance. A ce jour, l'opération reste suspendue à l'autorisation d'une ICPE provisoire pour lancer l'opération qui pourrait être répétée à d'autres moments et sur d'autres sites portuaires. Pour les navires professionnels, aucun accompagnement à ce jour n'est identifié sur le territoire.

Sur la construction de navires, l'écosystème de la filière construction navale est assez complet avec un chantier naval reconnu et de nombreux partenaires de la maintenance navale. La volonté des acteurs de se mobiliser pour une construction sur le territoire réunionnais se concentre autour du renouvellement de la flottille de pêche. Les contraintes aujourd'hui portent sur les coûts des matériaux et le manque de soutien financier pour accompagner le renouvellement.

B. Les auxiliaires d'aide à l'écoconduite et à l'efficience énergétique

L'installation d'économètres comme dans le projet AMAREE (voir Annexe I) avec un accompagnement d'analyses des données et une formation spécifique par navire et par capitaine est primordiale et permet d'ajuster l'utilisation du navire dans des conditions optimales. Il est nécessaire de rappeler qu'une des voies de la décarbonation simple et applicable aujourd'hui est la réduction de vitesse des navires selon les différentes typologies d'usage. A La Réunion, un projet mené par l'armement Enez et l'ARDA, le projet Energie (voir Annexe I) entre 2012 et 2015 a permis d'équiper 6 navires palangriers et de suivre les consommations d'énergie selon les usages, les conditions environnementales, les changements techniques ou les habitudes. L'utilisation de cartes océanographiques opérationnelles a également permis d'optimiser les routes de navigation du port à la zone de pêche assurant des économies de carburant et un gain de temps pour la recherche des zones de pêche. L'amélioration du rendement propulsif et de la consommation à bord des navires peuvent également être proposées par l'ajout de panneaux solaires, l'amélioration des systèmes de prise de force (PTI/PTO), le rétrofit (ajout de bulbe, modification de la jupe), l'utilisation d'antifouling au silicone, l'injection d'air sous la coque. Toutes ces solutions d'optimisation ou d'efficience énergétique doivent être réfléchies. Ces solutions intégrées à bord des navires permettent de faire des économies d'énergies.

VI. Le Financement

A. L'Europe

1. Horizon Europe

Horizon Europe soutient le développement des énergies décarbonés (Cluster 5-Climat, Energie, Mobilité) sur des appels à projet grâce à une dotation d'un budget de 95,5 milliards d'euros et couvrant la période 2021-2027. Bien que ces appels à projet soient très en amont de nos besoins d'usager final, le fonds accompagne la recherche et l'innovation pour concevoir des procédés ou des produits de biocarburants, e-carburants, carburants de synthèse à partir d'algues ou des projets de captage du CO2 qui seront à destination de l'usage maritime (et de l'aviation) :

- Demonstration of advanced biofuel technologies for aviation and/or shipping[7] ;
- Demonstration of synthetic renewable fuel for aviation and/or shipping[8] ;
- Development of microalgae and/or direct solar fuel production and purification technologies for advanced aviation and /or shipping fuels[9] ;
- Development of CO2 transport and storage demo projects[10].

2. FEAMPA

L'enveloppe FEAMPA de 6,1 milliards d'euros sur 2021-2027 semble insuffisante pour réaliser les investissements nécessaires à la transition énergétique pour l'ensemble des flottilles de pêche européennes (71000 navires avec un âge moyen de 30 ans). Toutefois, un appel à Manifestation d'intérêt a été lancé en 2023 sur les projets de décarbonation des navires de pêche et aquacoles. Il s'agit d'identifier l'état des technologies, les innovations envisagées et leurs potentialités, les verrous à lever, le niveau de maturité des projets. L'objectif est d'ouvrir un appel à projet courant 2023 qui soit conforme aux attentes des acteurs pour s'engager dans la décarbonation.

B. Le soutien de l'État

1. Le CORIMER

Le Conseil d'Orientation pour la Recherche et l'Innovation des Industriels de la Mer (CORIMER) oriente les projets portés par les industriels autour de 4 axes autour des dernières évolutions technologiques et leurs perspectives de marché, en lien avec les évolutions réglementaires et les objectifs de la transition écologique dont notamment l'axe « décarbonation et navires écologiques » (GreenShip).

Depuis 2018, le CORIMER constitue l'enceinte de dialogue État-filière, de pilotage et d'optimisation du soutien à l'innovation et de fléchage des projets de la filière vers les dispositifs d'aide publics, en particulier ceux de France 2030.

En 2022, 4 projets autour de cet axe ont été lauréats :

- Le projet FIN150 (FinX) pour une propulsion électrique ;
- Le projet KiWin (Beyond the Sea) solution aéro-tractée ;
- Le projet Wisamo 100 (groupe Michelin) aile gonflable, rigide, pilotable ;
- Le projet Mervent 2025 (Zephyr & Borée) propulsion hybride ailes / carburant de synthèse.

Réf : dp-corimer-ami-2022-ami-2023.pdf

[7] HORIZON-CL5-2023-D3-01-06-dotation 9M€
[8] HORIZON-CL5-2023-D3-01-07 dotation 9 M€
[9] HORIZON-CL5-2023-D3-02-08 dotation 4 M€
[10] HORIZON-CL5-2023-D3-01-17 dotation 20 M€

2. Fonds d'Intervention Maritime

Le Fonds d'Intervention Maritime est un outil pour développer les activités maritimes. L'objectif consiste à mieux ancrer l'action territoriale maritime de l'État en accompagnant les projets des partenaires locaux (collectivités, associations, établissements publics, chambres de commerce, entreprises ou groupements d'entreprises…) tout en concrétisant les actions identifiées par les travaux de planification maritime à l'échelle des façades ou des bassins ultramarins. Dans la thématique n°1, une sous- thématique prioritaire concerne Point 4 : Les Navires côtiers propres. Le FIM peut permettre le financement d'études et de projets de navires côtiers propres exploités par des armateurs ou des collectivités : transport de passagers, travaux et services côtiers, services portuaires. En 2022, 06 projets ont été lauréats sur cette thématique :

3 projets lauréat sur la 1ere vague :

- Test de nouvelles propulsions décarbonées, Projet Vedzeama, Nantes-Saint-Nazaire (400k€, financement FIM 50%). Le projet piloté par la DIRM NAMO est de réaliser une étude technico-commerciale sur dix mois pour définir la future plateforme (vedette d'une quinzaine de mètres et son exploitation) par l'utilisation d'un outil de démonstration à qualifier des nouveaux systèmes zéro émission (3,5 millions d'euros) -(Point presse : Le Marin 24/05/2023) ;
- Navire transrade dit « Bateau Bus » à motorisation hydrogène vert, Lorient ;
- Achat de deux navettes électriques qui assureront la desserte du centre-ville de Sète, en répondant aux enjeux environnementaux et touristiques Sète (250 K€ par Sète Croisières).

3 projets sur la 2eme vague :

- Station de recherche océanographique avec motorisation hybride- Stareso (375 k€) ;
- Accélérer l'évolution d'une flottille moins polluante et moins bruyante-Parc des Calanques (700k€) ;
- Etude de navires côtiers zéro émission-Cluster Maritime de La Réunion (70k€).

Source : https://www.mer.gouv.fr/fonds-dintervention-maritime Cadre d'intervention FIM 2023

3. L'ADEME

Les dispositifs d'accompagnement des projets ADEME pour le développement des projets Hydrogène dans les ZNI-Océan Indien portent sur deux Appels à Projet :

- AAP PIA Briques technologiques et démonstrateurs hydrogène ;
- AAP Ecosystèmes territoriaux hydrogène.

Source : https://bilans-ges.ademe.fr/

C. Le soutien privé

CMA-CGM contribue à la décarbonation maritime en attribuant 200 M€ dans un fond géré par BPI France. Dont 20 M€ sont attribués au secteur de la pêche pour le rétrofit ou les innovations. (Source : Le Marin 12 mai 2023). La mise en place de ce fonds est en cours.

VII. ANNEXE I : Cartographie de projets français sur les navires côtiers zéro émission

PROGRAMME ENERGIE

projet Efficience énergétique
catégorie: étude
filière: pêche

01 Portage et partenaires

Portage : ARDA , ENEZ

Partenaires: PESCAVEL

02 Objectif

Suivi des consommations d'énergie de 6 palangriers réunionnais

03 Financement et budget

Financement: FEP et FEAMP

04 Planning et Durée

durée 4 ans. De 2012 à 2015

05 Méthodolgie

Suivi des consommations par marée et par navire
Etude de modéilisation pour modifications d'étrave

06 Détail du projet

Accompagner les marins sur les économies d'énergies. Informer via base de données; Fourniture d'économètres; accompagnement financier; volet pédagogique à l'éco-conduite

07 Problématiques identifiées

08 Livrables et attendus

6 navires de pêche équipés d'économètres avec indicateur précis lié au GPS

SOURCES: Archive personnelle-ARDA

AMAREE

projet Efficience énergétique
catégorie: étude
filière: pêche

AMARREE

01 Portage et partenaires

Portage : Coopérative maritime

Partenaires: A

02 Objectif

Projet d'éco-conduite sur les navires de pêche

03 Financement et budget

Budget : 2 à 3 fois supérieur qu'un navire conventionnel au diesel

04 Planning et Durée

durée 3 ans

05 Méthodolgie

Etude de suivis de consommations pour optimiser le rendement énergétique.
Formation à l'éco-conduite

06 Détail du projet

Accompagner les marins sur les économies d'énergies. Informer via base de données; Fourniture d'économètres; accompagnement financier; volet pédagogique à l'éco-conduite

07 Problématiques identifiées

08 Livrables et attendus

184 navires de pêche équipés d'économètres avec indicateur précis lié au GPS

SOURCES: Jeudis de l'innovation, 28 fevrier 23

DRAGUE



projet Hydrogène
catégorie: commercialisation
filière: servitude

01 Portage et partenaires

Portage : Région Occitanie

Partenaires: Helion (filiale Alstom), Piriou, LMG Marin

02 Objectif

Construction du 1er drague à hydrogène (piles à combustible)

03 Financement et budget

04 Planning et Durée

05 Méthodolgie

Etude de performance par simulations numériques
Construction

06 Détail du projet

Pile à combustible de 200kWJ

07 Problématiques identifiées

08 Livrables et attendus

SOURCES: communiqué de presse Helion hydrogen Power (Alstom)

HYLIAS



projet Hydrogène
catégorie: démonstrateur
filière: transport à passager

01 Portage et partenaires

Portage : Région Bretagne, Europe
Tecghnologies CIAM, Morbihan Energies

Partenaires: AMO Facili, Alca torda, L2Onaval, Buereau Veritas solutions, EMCA, Seiya Consulting

02 Objectif

Mise en service du 1er navire à passager à propulsion hydrogène électrique dans le golfe du Morbihan.
Conception du navire et de sa station d'avitaillement

03 Financement et budget

Budget : 2 à 3 fois supérieur qu'un navire conventionnel au diesel

04 Planning et Durée

durée 3 ans



SOURCES: communiqué de presse Helion hydrogen Power (Alstom)

05 Méthodolgie

Etude de modéilisation, conception architecture et intégration systèmes développement de scenarii d'avitaillement

06 Détail du projet

navire à passagers de 24 m, 150 -200 pax
puissance 300 kW (deux lignes d'arbres
Projet global de logique de la production d'Hydrogène vert à l'usage.

07 Problématiques identifiées

08 Livrables et attendus

livrable: 2024,mise en service du navire zéro émission sur la liasion entre Vannes et l'île d'Arz

BALISEUR



projet Hydrogène
catégorie: commercialisation
filière: servitude

01 Portage et partenaires

Portage : DGAMPA, SOCARENAM- LMG MARIN FRANCE

Partenaires:

02 Objectif

Construction du 1er balsieur équipée d'une propulsion dual-fuel

03 Financement et budget

04 Planning et Durée



SOURCES: communiqué de presse Socarenam-sept. 22

05 Méthodolgie

Etude de performance par simulations numériques
Construction

06 Détail du projet

propuslion électrique
alimenté par groupe électrogène et batteries
pile à combustible
installation de panneaux photovoltaiques
baiseur de 54 m de long / 20 personnes / 13 J

07 Problématiques identifiées

08 Livrables et attendus

Réduction des émissions de 80 % des émissions d'oxyde d'azote (NOx) et 33% des émissions de gaz à effet de serre.

BATEAU ECOLE

projet Hydrogène
catégorie: construction
filière: formation

01 Portage et partenaires

IPortage :Lycée professionnel Bastia, Cabinet Maruic

Partenaires : Mauric, Eodev, Chantier naval Gatto, Alternative Energies

02 Objectif

cRéalisation d'une vedette de formation à la pêche Zéro Emission

03 Financement et budget

Financement : Projet France Agrimer
Montant : 4 M€

04 Planning et Durée

Construction de la coque début 2023
Livrable 2024



SOURCES:
Jeudis de l'innovation-février 2022

05 Méthodolgie

Construction

06 Détail du projet

Navire en matériaux composites de 19 m de longueur
Machine : H² embarqué : 8,4 kg x 9 soit 76 kg à 350 b
PAC 2x REXH2 : 70 kW soit 140 kW
Batteries 8 modules de 44 kW à 614 V
Moteurs électriques 2 x 200 kW
1 propulseur d'étrave. V max : 13 nds
Autonomie= 1 journée de formation en mer.

07 Problématiques identifiées

QValidation et intégration des systèmes embarqués par la société de classe (BV), le pavillonnage par les affaires maritimes.

08 Livrables et attendus

1er navire professionnel à Hydrogène et à batteries sous pavillon français

BLUE WAVE

projet Diesel-Electrique
catégorie: Construction
filière: Pêche

01 Portage et partenaires

Portage : Jean-Baptiste Goulard (armateur)

Partenaires: Architecte naval Marcel Stagnol , Bopp, Barillec, Thomas Froid

02 Objectif

refit d'un chalutier en propulsion hybride
Réduction de la consommation de carburant et amélioration de la qualité de vie à bord.

03 Financement et budget

Financement : Fonds propre
Montant : 2,7 M€

04 Planning et Durée

7 ans en co-portage. 2 ans de construction



05 Méthodolgie

Construction

06 Détail du projet

1er navire chalutier français en diesel électrique de 22m de long et 6,90 m de large

07 Problématiques identifiées

Investissement compliqué sur de nouveaux projets à cause de la conjoncture et du coût associé au projet

08 Livrables et attendus

En exploitation
Après de 2 ans d'exploitation, 25% d'économie d'énergie constatée.

SOURCES:
6 septembre 2021-Le Parisien
28 février 2023-Les jeudis de l'innovation

ENERGY OBSERVER



projet Hydrogène
catégorie: Prototype
filière: R & D



01 Portage et partenaires

Multi-partenaires
Partenaires : Barillec Marine, Piriou Ingénierie, Coprexma (cabinet d'architecture navales), Meca Diesel (motoriste), Semim (atelier de mécanique), Marinelec Technologies (Electronicien)

02 Objectif

premier navire à hydrogène autonome en énergie grâce à un mix d'énergies renouvelables

03 Financement et budget

Financement : RMécenat et sponsoring
Montant : + de 2 millions d'euros

04 Planning et Durée

lancement en 2017
Toujours en expédition depuis !

05 Méthodolgie

Construction, Démonstrateur, Expédition
retour d'informations:
2021- 15 000 milles nautiques, 5 nds moy. Max 12 nds
32 305 kWh produit par 38 % solaire, 44% Voile, 17% Hydrogène

06 Détail du projet

202 m² de Panneaux solaires
2 ailes type Oceanwings®
batteries lithium-ion: 106 kWh
Pile à combustible: 22 kWh
Stockage Hydrogène: 62 kg H2 (365bars)
2 moteurs électriques (41 kW chacun)

07 Problématiques identifiées

ensemble de la chaîne hydrogène a un rendement d'environ 30 % contre 90 % pour la batterie.
Batterie utilisée sur du stockage court terme et Hydrogène pour prolonger l'autonomie.

08 Livrables et attendus

Développement d'un cargo zéro émission : Energy Observer 2

SOURCES:
https://www.energy-observer.org/fr

ESTEBAM



projet Hydrogène
catégorie: Etude faisabilité
filière: AQUACULTURE

01 Portage et partenaires

IPortage : Francis Gasnier, Cluster Hydrogène CCI 22

Partenaires : CCI 22, Alca Torda

Cluster d'acteurs (200 entreprises locales) pour lancer des débouchés dans le domaine privé.

02 Objectif

conversion de 60 barges myticoles à l'hydrogène vert.
Projet plus global à l'échelle du territoire.
Industrialisation de la filière , informer, former et développer des usages.

03 Financement et budget

Financement : Région Bretagne (AAP) 50%
Montant : 600 k€

04 Planning et Durée

.. mois, jusqu'à fin sept. 2023



SOURCES:
6 janvier2023-Communiqué Ouest France3

05 Méthodolgie

Etude de faisabilité

06 Détail du projet

Mariniser la technologie des piles à combustibles utilisées pour des véhicules utilitaires, à les adapter pour les embarquer sur des engins myticoles, ainsi que les bateaux de pêche ou de transport de passagers.

07 Problématiques identifiées

Question de l'approvisionnement et distribution à déterminer
La partie réglementaire reste à approfondir

08 Livrables et attendus

Livrable
1eres remotorisations envisagées début 2024

HELIODIVE

projet electrosolaire
catégorie: prototype
filière: plongée

01 Portage et partenaires

Portage : Heliodive-Alexis Synodinos

Partenaires: Naviwatt

02 Objectif

Prototype d'un catamaran multiservice en aluminium et à propulsion élecrtrique

03 Financement et budget

04 Planning et Durée

réalisé en 2017



SOURCES: madeinmarseille.net

05 Méthodolgie

Construction

06 Détail du projet

catamaran en aluminium de 11,7m (largeur 5,7 m). 30 Pax
Motorisation électrique (Deep blue-2x80 cv) alimentée par 8 batteries 100 KW et recharge par panneaux solaires ou à quai (3 à 6h de temps de charge)
Poids total 6 tonnes
Vitesse max: 20nds
autonomie: 16h à 5nds, 2h à 14 nds

07 Problématiques identifiées

Des améliorations à prévoir sur les aménagements (transports de matériel)

08 Livrables et attendus

En exploitation
Version 2 à venir

CATAMARAN NEPTECH



projet Hydrogène
catégorie: commercialisation
filière: transport passager

01 Portage et partenaires

Portage : NEPTECH

Partenaires:

02 Objectif

développement d'un catamaran à propulsion hydrogène capable de transporter jusqu'à 200 passagers.

03 Financement et budget

Financement : LEVEE DE FONDS
Montant :1,2 M€ total
Fonds privés 800 k€

04 Planning et Durée

livrable 2024 (pour les JO)



SOURCES: madeinmarseille.net

05 Méthodolgie

Construction

06 Détail du projet

conception coque allégée, biosourcée, recyclable,
système d'injection d'air sous la coque
Motorisation électrique, pile à combustible

07 Problématiques identifiées

08 Livrables et attendus

PECHYB

projet Diesel-Electrique
catégorie: Construction
filière: Pêche

01 Portage et partenaires

Portage : Armateur APAK

Partenaires: CMN, Groupe Saft, Barillec, LMG Marin France, Neuman

02 Objectif

refit d'un senneur en propulsion hybride
Réduction de 15 à 20% en navigation côtière et 100% à quai.

03 Financement et budget

budget: 4,4 m€
Soutien ADEME 200 K€, Pole Mer Bretagne

04 Planning et Durée

05 Méthodolgie

Construction

06 Détail du projet

refit d'un senneur en propulsion hybride
25 m de long, cale de 77m3
parc de batteries de 200kWh

07 Problématiques identifiées

08 Livrables et attendus

0% emission au port
20% d'économie de carburant

SOURCES:

28 février 2023-Les jeudis de l'innovation

PEGAZ

projet étude du GNC
catégorie: étude
filière: Pêche

01 Portage et partenaires

Portage : association France pêche durable et responsable

Partenaires: CT-Arco, armement Acanor

02 Objectif

étude de la faisabilité de l'emploi d'un biogaz naturel comprimé.

03 Financement et budget

04 Planning et Durée

démarrage juillet 2022

05 Méthodolgie

étude

06 Détail du projet

établissement de cahier des charges par segments de taille, entre 12 et 24 mètres
Identification des besoisn et analyse des risque

07 Problématiques identifiées

La règlementation sur la jauge brute doit évoluer pour répondre au besoin d'installations des nouveaux systèmes

08 Livrables et attendus

SOURCES:
13 juillet 2023-Le Marin

GOP BIO 30

projet biocarburant
catégorie: expérimentation
filière: servitude, sauvetage

01 Portage et partenaires

Portage : TOTAL ENERGIES

Fournisseur: SNSM

02 Objectif

mesurer l'impact du biocarburant sur le fonctionnement du moteur thermique et ses effets en GES

03 Financement et budget

mesurer l'impact du biocarburant sur le fonctionnement du moteur thermique et ses effets en GES

04 Planning et Durée

Démarrage août 2023
durée 3 mois



SOURCES:
Le Marin-07 août 2023

05 Méthodolgie

Avitaillement

06 Détail du projet

Installation de capteurs
vidange du moteur
Resoutage avec un gasoil + 30 % biocarburant
Additif (anti-bactérien)
90h de tests:
analyse des GES, et autres paramètres moteurs

07 Problématiques identifiées

08 Livrables et attendus

Réduction des émissions de GES de 18 % attendue

PILOTHY

projet Hydrogène
catégorie: Etude faisabilité
filière: PECHE

01 Portage et partenaires

Interprofession du Port de Concarneau (IPC)

Partenaires : Barillec Marine, Piriou Ingénierie, Coprexma (cabinet d'architecture navales), Meca Diesel (motoriste), Semim (atelier de mécanique), Marinelec Technologies (Electronicien)

02 Objectif

Faisabilité technique et financière de l'intégration d'une pile à combustible pour les besoins électriques du bord, indépendamment de la propulsion.

03 Financement et budget

Financement : Région Bretagne (AAP)
Montant : 87 k€

04 Planning et Durée

12 mois, jusqu'à fin 2023



05 Méthodolgie

Groupe de Travail
Etude de faisabilité

06 Détail du projet

Etude des projets de stations pour le maritime
Intégration d'une pile à combustible
Retrofit d'un chalutier (marées courtes)
Pile à combustible: 1200 kWh
Stockage Hydrogène: 9 x 10kg H2 (500 bars)

07 Problématiques identifiées

Stockage H^2 à bord qui impacte la place en cale (moins 30% de place)
Rentabilité économique
Acceptation
Contrainte réglementaire pour rallonger le navire

08 Livrables et attendus

Concept design et 2eme phase retrofit navire hybride gazole-hydrogène.

SOURCES:
Le Télégramme-19 décembre 2022
Le Marin-04 août 2023

SO BLUE

projet biocarburant
catégorie: commercialisation
filière: transport fluvial

01 Portage et partenaires

IPortage : Société Sogestran Logistics

Fournisseur: Altens

02 Objectif

1er avitaillement en biocarburant HVO pour un automoteur de 135 m

03 Financement et budget

04 Planning et Durée

Démarrage mars 2023



SOURCES:
Communiqué de presse Sogestran

05 Méthodolgie

Avitaillement

06 Détail du projet

bbarge de 135 m
capacité 270 EVP

07 Problématiques identifiées

08 Livrables et attendus

Réduction des émissions de CO2 de 90 %

ZULU 06



projet Hydrogène
catégorie: commercialisation
filière: transport fluvial

01 Portage et partenaires

IPortage : Société Sogestran Logistics

Partenaires: ABB et Ballard, Piriou ATG Romania

02 Objectif

1ere unité fluviale Hydrogène, dédiée à la logistique urbaine en région parisienne

03 Financement et budget

budget : 4 M€

04 Planning et Durée

Construction hiver 2022
Retour mars 2023 au Havre
Démarrage fin 2023



SOURCES:
Le Parisien, Piriou, Sogestran,

05 Méthodolgie

Construction

06 Détail du projet

barge de 55 m de long
capacité d'emport: 450 tonnes
Installation de 2 piles à combustibles 200kW
Stockage Hydrogène: 350 kg à (300 bars)
motorisation Hydrogène-Diesle-Electrique 528kW

07 Problématiques identifiées

La règlementation est actuellement inexistante

08 Livrables et attendus

1ere unité fluviale Hydrogène, dédiée à la logistique urbaine en région parisienne