



MASTER 1 Biodiversité, Écologie, Évolution

Université de Lille, Faculté des Sciences et Technologies
Année 2024-2025

État des lieux des structures de recherches académiques impliquées dans l'éconavigation de plaisance en France

Emma LEMAITRE

Encadrée par : Pr. Loic Daridon

Organisme d'accueil : Laboratoire de Mécanique et Génie Civil



1 Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mon maître de stage, Loïc Daridon et toute l'équipe du programme *Éconaviguer dans les eaux françaises* (Gwenola de Roton, Vincent Lapinte, Gwenaël Le Maguer et Rachel Moreau) pour m'avoir permis de réaliser ce stage, pour leur accompagnement tout au long de celui-ci, ainsi que pour les cafés d'équipe qui ont largement facilité mon intégration.

Je remercie également le Laboratoire de Mécanique et Génie Civil pour son accueil chaleureux, ainsi que les stagiaires et doctorants du LMGC, en particulier Camille, sans qui mes pauses n'auraient pas eu la même saveur.

Je tiens aussi à remercier l'ensemble des chercheurs qui ont pris le temps de me répondre, dont je retiendrai la bienveillance lors de nos échanges.

Enfin, je remercie Madame Gentilhomme, ma tutrice pédagogique, pour son soutien constant, que ce soit durant la recherche de stage ou tout au long de celui-ci.

Table des matières

1	Remerciements	2
2	Introduction	5
3	Les enjeux scientifiques de l'éconavigation	5
3.1	Propulsion et énergies alternatives	6
3.2	Cycle de vie des bateaux	6
3.3	Pratiques et entretien	7
4	Démarche de recensement	9
5	Les structures	10
5.1	Cartographie actuelle	10
5.2	Analyse actuelle de la répartition	13
5.2.1	Répartition géographique actuelle des structures	13
5.2.2	Répartition actuelle des thématiques	13
5.3	Les équipements et expertises des structures	14
5.4	Autres structures potentiellement impliquées	15
6	Les projets de recherche	16
6.1	Projets de recherche en cours sur l'éconavigation de plaisance	16
6.1.1	Le cycle de vie des bateaux	16
6.1.2	Les pratiques et l'entretien	17
6.1.3	La propulsion et les énergies alternatives	17
6.2	Les projets passés	18
6.2.1	Le cycle de vie des bateaux	18
6.2.2	Les pratiques et l'entretien	19
6.2.3	La propulsion et les énergies alternatives	19
6.3	Les thèses	20
6.3.1	Le cycle de vie des bateaux	20
6.3.2	Les pratiques et l'entretien	21
6.3.3	Propulsion et énergies alternatives	22
6.4	Bilan des projets identifiés	23
7	Réseaux de coopération actuels	24
7.1	Analyse actuelle des dynamiques de recherche	25
8	Les projets hors plaisance	26

9	Conclusion générale et perspectives	27
10	Bibliographie éconavigation	29
10.1	Cycle de vie des bateaux	29
10.2	Propulsion et énergies alternatives	30
10.3	Les pratiques et l'entretien	31
11	Bibliographie	32
A	Annexes	34

2 Introduction

Dans le cadre du programme *Econaviguer dans les eaux françaises*, une analyse globale de la recherche académique en France a été lancée pour identifier les dynamiques en cours et favoriser le partage des connaissances concernant l'éconavigation de plaisance. Cette étude se structure autour de trois grands axes thématiques, alignés avec les priorités du domaine :

- La propulsion et les énergies alternatives, pour répondre aux enjeux liés aux émissions de gaz à effet de serre et à la pollution sonore sous-marine ;
- Le cycle de vie des bateaux de plaisance, pour intégrer l'éco-conception, la gestion des matériaux composites et la fin de vie dans une logique d'économie circulaire ;
- Les pratiques et l'entretien des bateaux, pour réduire les impacts des produits chimiques, des antifoulings, des eaux usées et des déchets sur les milieux marins.

Ces trois thématiques permettent de structurer la réflexion scientifique selon une approche systémique, couvrant le cycle de vie complet d'un bateau de plaisance, de sa conception à son usage, jusqu'à son traitement en fin de vie. Elles offrent également un cadre stratégique pour identifier les verrous technologiques, repérer les initiatives innovantes et favoriser l'interdisciplinarité entre chercheurs, industriels et gestionnaires d'espaces naturels.

Cette étude a pour objectif de dresser un panorama exhaustif de la recherche académique en éconavigation de plaisance en France, afin de favoriser, dans le futur, la collaboration entre les différents acteurs. En proposant une vue d'ensemble des initiatives en cours et des ressources disponibles, il s'agit d'identifier les thématiques actuellement explorées et de mieux comprendre la place qui leur est accordée.

Le projet se déploie autour de plusieurs objectifs majeurs visant à fournir une analyse approfondie des dynamiques actuelles de la recherche en France :

1. Identification des structures impliquées dans l'éconavigation de plaisance et les thématiques associées.
2. Identification des projets actuellement en cours dans le domaine de l'éconavigation de plaisance.
3. Identification des équipements et expertises de chaque structure
4. Conception d'une bibliographie des recherches effectuées

3 Les enjeux scientifiques de l'éconavigation

Avant de présenter les structures de recherche et les projets en cours, il convient d'examiner plus en détail les grands enjeux scientifiques qui structurent aujourd'hui la recherche en éconavigation de plaisance. Trois thématiques majeures se dégagent : la propulsion et les énergies alternatives, le cycle de vie des bateaux, et les pratiques et l'entretien. Ces axes, interdépendants, permettent d'appréhender de manière systémique l'impact environnemental du nautisme et les leviers disponibles pour accompagner sa transition écologique.

3.1 Propulsion et énergies alternatives

La question de la propulsion est un enjeu central pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et la pollution sonore sous-marine, deux problématiques majeures liées à la navigation de plaisance. La propulsion des bateaux de plaisance est historiquement dominée par des moteurs thermiques, qui génèrent des émissions atmosphériques (CO_2 , NO_x) et une pollution sonore sous-marine. Ces moteurs sont responsables de la dégradation de la qualité de l'air et de l'environnement marin. Par ailleurs, les moteurs hors-bord et moteurs in-bord génèrent des rejets d'hydrocarbures (eaux grasses) et contribuent à la pollution sonore sous-marine, ce qui perturbe fortement la faune marine, des poissons aux mammifères. Les bruits produits par ces moteurs ont été associés à divers effets négatifs sur les organismes marins, notamment des modifications du comportement, des lésions auditives ainsi que des altérations physiologiques (Peng *et al.*, 2015). Selon Moreau *et al.* (2009), la signature acoustique des bateaux varie en fonction de la taille, de la vitesse et du type de moteur, les moteurs hors-bord étant généralement plus bruyants. Ces nuisances sont particulièrement perturbatrices durant des périodes critiques pour la faune, telles que la reproduction des oiseaux marins ou la mise bas des phoques. Face à ces impacts, le développement de solutions alternatives aux moteurs thermiques est devenu une priorité. Les motorisations électriques, hybrides, vélifiques ou à hydrogène représentent des pistes prometteuses pour limiter l'empreinte écologique de la plaisance. La recherche sur l'impact du bruit sous-marin, comme le souligne Di Franco *et al.* (2020), met en évidence la nécessité de développer des technologies silencieuses, notamment pour protéger les zones maritimes sensibles.

Des innovations récentes incluent les ailes rigides automatisées, les propulsions vélifiques assistées ou encore les piles à combustible haute densité, actuellement en cours de développement ou de test sur différents prototypes.

Cependant, malgré leur potentiel, l'adoption de ces solutions reste freinée par plusieurs contraintes technico-économiques : coûts d'acquisition élevés, autonomie limitée des moteurs électriques, poids des batteries, ou encore insuffisance des infrastructures portuaires adaptées. Pour répondre à ces verrous, plusieurs laboratoires, en lien avec des acteurs industriels, mènent aujourd'hui des recherches appliquées visant à améliorer les performances de ces technologies et à favoriser leur intégration à bord des navires de plaisance.

L'enjeu est donc double : accompagner la transition énergétique du nautisme tout en limitant ses nuisances environnementales. Cette thématique, en pleine évolution, s'inscrit dans un cadre réglementaire international de plus en plus exigeant, et constitue un levier essentiel pour un nautisme plus sobre, plus propre et plus respectueux de la biodiversité marine.

3.2 Cycle de vie des bateaux

L'analyse du cycle de vie (ACV) des bateaux représente une démarche essentielle, permettant d'identifier et de réduire les impacts environnementaux à chaque étape de leur existence, de la conception jusqu'à leur gestion en fin de vie. Cette approche systémique permet de mieux comprendre les processus et de réduire l'empreinte écologique du nautisme, en intégrant notamment des stratégies visant à améliorer l'efficacité des ressources et à diminuer la production de déchets. Les matériaux composites, largement utilisés pour leur légèreté et leur performance, représentent un des principaux défis, car bien qu'ils soient idéaux pour la conception de bateaux

de plaisance, leur recyclabilité reste limitée. Ces matériaux, souvent constitués de résine époxy et de fibres de verre ou de carbone, peuvent persister dans l’environnement et contribuer à l’accumulation de déchets marins une fois les bateaux mis hors service (Crupi *et al.*, 2023).

Les recherches récentes sur des matériaux biosourcés ouvrent des pistes intéressantes pour réduire l’impact environnemental de la construction navale. L’utilisation de matériaux recyclables ou biodégradables, comme les composites à base de fibres naturelles ou les polymères thermoplastiques, pourraient réduire de manière significative la pollution générée à la fin de vie des embarcations (El Hawary *et al.*, 2023). De plus, plusieurs initiatives explorent des procédés de fabrication plus écologiques, par exemple l’intégration de techniques de fabrication additive (impression 3D) qui minimisent les déchets pendant la production.

En parallèle, la gestion en fin de vie des bateaux, souvent traitée de manière inefficace, soulève des préoccupations majeures en matière de recyclage et de valorisation des matériaux. Actuellement, une part importante des bateaux de plaisance en fin de vie est incinérée ou envoyée dans des décharges, ce qui limite les opportunités de réutilisation des matériaux. Des projets en cours cherchent à promouvoir des solutions de recyclage plus efficaces, notamment par la mise en place de filières de recyclage adaptées spécifiquement aux matériaux composites (Deloitte Développement Durable, 2016).

En intégrant ces avancées, l’industrie nautique pourrait progressivement s’orienter vers une approche d’économie circulaire, dans laquelle chaque étape du cycle de vie d’un bateau serait optimisée pour réduire les pertes et maximiser la réutilisation des matériaux. Cette approche ne se limite pas seulement à la construction des bateaux, mais inclut également leur usage, leur entretien et leur gestion en fin de vie. Ainsi, la transition vers des matériaux plus durables et une gestion plus responsable des ressources pourrait à terme réduire l’impact environnemental global du secteur, tout en répondant à des objectifs de durabilité plus larges.

3.3 Pratiques et entretien

Les pratiques d’entretien des bateaux de plaisance ont un impact direct sur l’environnement marin, notamment en raison des produits chimiques utilisés, tels que les peintures antifouling, les biocides et les rejets d’eaux usées. Ces substances peuvent avoir des effets toxiques sur la faune marine, perturber les écosystèmes côtiers et contribuer à la pollution des milieux marins (Mahmoodi *et al.*, 2023). En dépit des avancées environnementales dans d’autres secteurs, une grande proportion de plaisanciers continue d’utiliser des peintures antifouling à base de biocides, malgré leurs effets néfastes bien documentés sur la biodiversité marine et les écosystèmes littoraux.

Les peintures antifouling traditionnelles, bien qu’efficaces pour prévenir l’accumulation d’organismes marins sur les coques, libèrent des substances toxiques (biocides, métaux lourds comme le cuivre ou le zinc, ainsi que des composés organiques volatils) dans l’eau, polluant ainsi les zones sensibles et affectant la faune sous-marine, y compris les coraux et les poissons. Ces produits chimiques s’accumulent progressivement dans les écosystèmes marins, entraînant des conséquences dramatiques sur les cycles biologiques marins (Turner., 2021).

La recherche dans ce domaine se concentre sur l’élaboration et la promotion d’alternatives écologiques plus sûres pour les produits d’entretien. Parmi ces solutions innovantes, on trouve

les peintures antifouling sans biocide (fouling-release), qui limitent l'accumulation d'organismes marins tout en étant moins nocives pour l'environnement (Silva *et al.*, 2019). En outre, les technologies "fouling-release", qui rendent les surfaces des coques plus lisses et moins propices à l'adhérence des organismes marins, sont des pistes prometteuses pour minimiser l'impact environnemental tout en maintenant l'efficacité du nettoyage de la coque.

Une autre solution émergente est le développement de systèmes de filtration et de traitement des eaux usées à bord des embarcations. Ces technologies visent à réduire les rejets polluants dans les milieux marins, un enjeu particulièrement crucial dans les zones à forte fréquentation nautique. Les dispositifs d'aspiration et de gestion des eaux grises, par exemple, contribuent à réduire les effets des déversements d'eaux usées non traitées, qui sont souvent responsables de la contamination des écosystèmes côtiers.

Des études récentes, comme celle menée par Muller-Karanassos *et al.* (2021), ont souligné l'impact direct des particules de peintures antifouling sur les organismes marins, notamment les coquillages et les crustacés, qui jouent un rôle clé dans la chaîne alimentaire marine. Ces recherches appellent à la nécessité de développer des matériaux et des pratiques de maintenance qui intègrent davantage les enjeux écologiques.

Cette thématique est donc essentielle pour préserver les écosystèmes marins fragiles, notamment les herbiers marins, les récifs coralliens et les zones de reproduction des espèces marines. Elle nécessite un changement de paradigme dans les pratiques d'entretien des bateaux de plaisance, en favorisant des pratiques plus responsables, durables et respectueuses des milieux marins. En parallèle, la sensibilisation des plaisanciers et la réglementation stricte sur les produits chimiques utilisés dans le nautisme sont des leviers indispensables pour réduire ces impacts et favoriser une transition écologique dans le secteur.

En résumé, la transition vers une plaisance plus durable repose sur trois axes stratégiques essentiels :

- La réduction des impacts liés à la propulsion,
- La gestion du cycle de vie des bateaux,
- L'adoption de pratiques d'entretien plus respectueuses de l'environnement.

Ces thématiques sont interconnectées et nécessitent une approche systémique pour être réellement efficaces. Les solutions émergentes dans chacun de ces domaines (moteurs électriques, matériaux biosourcés, peintures antifouling écologiques, systèmes de gestion des eaux usées...) ouvrent de nouvelles perspectives pour réduire l'empreinte écologique du nautisme tout en préservant la biodiversité marine.

Cependant, pour qu'elles puissent se déployer à grande échelle, il est crucial de surmonter les défis technologiques, économiques et réglementaires qui freinent leur adoption. La collaboration entre chercheurs, industriels et gestionnaires d'espaces naturels sera fondamentale pour accélérer la mise en œuvre de ces solutions et assurer une transition efficace et harmonieuse vers une plaisance plus propre et plus respectueuse de l'environnement.

4 Démarche de recensement

Les structures de recherche constituent le pilier central de l'écosystème scientifique en matière d'éconavigation en France. Diversifiées par leurs approches, leurs domaines d'expertise et leurs statuts (laboratoires académiques, centres techniques, instituts, etc.), elles jouent un rôle majeur dans le développement des connaissances, l'innovation technologique ainsi que la mise en œuvre de solutions concrètes pour une navigation plus durable.

N'étant pas initialement familiarisée avec les enjeux spécifiques à ce domaine, j'ai d'abord dû m'appropriier les grands axes de recherche afin de mieux comprendre les contours de l'éconavigation à travers les trois thématiques identifiées ainsi que leurs différentes implications.

Pour identifier les structures pertinentes, le moyen le plus efficace a été d'analyser les publications scientifiques liées à ces thématiques et d'en recenser les auteurs. Le choix s'est porté en priorité sur HAL (Hyper Articles en Ligne), une archive ouverte pluridisciplinaire française qui centralise les publications issues de la recherche publique, principalement en raison de l'état des lieux effectué à l'échelle nationale.

Pour cibler les publications scientifiques en lien avec l'éconavigation, des mots-clés spécifiques ont été définis (Annexe) en détaillant les thématiques ainsi que leur champ d'application :

- Propulsion et énergies alternatives : moteurs in-bord, moteurs hors-bord, propulsion électrique, propulsion vélique, propulsion hybride, propulsion solaire, biocarburants, batteries lithium
- Le cycle de vie des bateaux : matériaux biosourcés (lin, chanvre, carbone), biodégradabilité des matériaux, recyclage composites, fin de vie des bateaux
- Les pratiques et l'entretien : peintures antifouling, eaux grises, eaux noires, pollution chimique, filtres à air

TABLE 1 – Mots-clés par thématique ayant donné des résultats

Thématiques	Mots-clés
Propulsion et énergie alternative	Internal combustion marine engines, Electric boat motor, Marine electric propulsion, Hybrid boat propulsion, Sail marine propulsion, Marine lithium battery, Marine energy management system, Marine hydrogen propulsion, Fuel consumption boat, Marine biofuel, Electric sailboat
Cycle de vie	Marine biodegradation, Flax fiber marine, Carbon fiber marine, Bio composite marine, Durability of marine materials, Recycled composites for marine use, sandwich material marine
Pratiques et entretien	Eco-friendly antifouling, Antifouling paint, Non-toxic antifouling coatings, Marine biocide, Silicone-based coatings, Chemical pollution boat, Green antifouling

Seuls quelques mots-clés ont donné des résultats pertinents (Tableau 1). Une fois les acteurs ainsi identifiés, une vérification de leur implication réelle a été effectuée par l'analyse de leur site internet, afin de confirmer qu'ils travaillaient effectivement sur les thématiques visées. Si la confirmation était établie, un premier contact par e-mail était effectué auprès des personnes

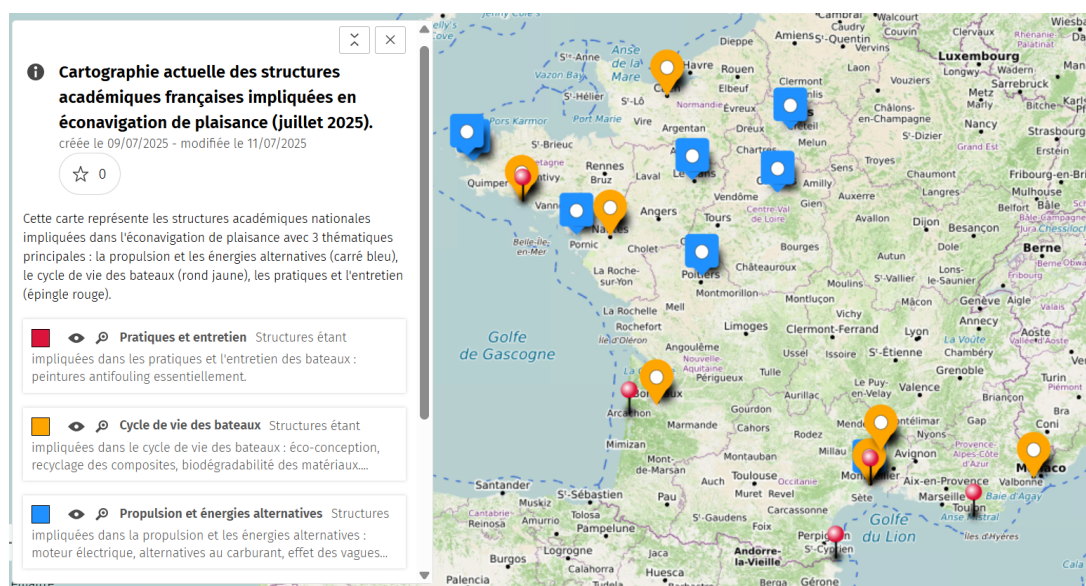


FIGURE 1 – Cartographie des structures académiques françaises impliquées en éconavigation de plaisance (juillet 2025)

recensées, suivi, le cas échéant, de relances. Des entretiens semi-directifs ont été réalisés avec les structures ayant accepté de participer, afin de recueillir des informations détaillées concernant :

- Les projets actuels et passés,
- Les thèses potentielles liées aux projets,
- Les équipements et expertises de la structures,
- Les collaborations établies.

L'ensemble des données ainsi collectées a permis de constituer une base de données structurée, servant de support à la cartographie des acteurs de la recherche en éconavigation.

Parallèlement, d'autres techniques d'approche ont été mises en œuvre, notamment :

- La consultation des sites internet de tous les laboratoires associés aux universités marines ;
- L'identification des Groupes de Recherche (GDR) du CNRS ;
- La prise de contact avec l'ensemble des acteurs cités au cours des entretiens.

5 Les structures

5.1 Cartographie actuelle

Cette sous-section présente la cartographie actuelle des structures académiques françaises impliquées dans la recherche en éconavigation de plaisance. Elle repose sur une analyse territoriale et thématique des acteurs identifiés en juillet 2025.

À ce jour, 20 structures académiques ont été recensées (Figure 1). Celles-ci se concentrent majoritairement sur les façades Atlantique et Méditerranéenne.

Carte interactive disponible en ligne : structures-econavigation.fr

La répartition actuelle des structures académiques de recherche identifiées (Tableau 2) révèle une forte inégalité territoriale. L'Occitanie se distingue par le plus grand nombre de structures

TABLE 2 – Répartition des structures académiques par région (juillet 2025)

Régions	Nombre de structures
Bretagne	4
Centre-Val de Loire	1
Ile-de-France	1
Normandie	1
Nouvelle-Aquitaine	3
Occitanie	5
Pays de la Loire	3
Provence-Alpes-Côte d’Azur	2

engagées dans l’éconavigation de plaisance, ainsi qu’une diversité thématique notable. À l’inverse, certaines régions comme les Hauts-de-France ou le Grand Est apparaissent peu représentées, voire absentes.

Cependant, si l’on considère la proportion d’acteurs impliqués au sein de ces structures (Tableau 3), un contraste important se dessine : bien que très présente en nombre d’unités, l’Occitanie affiche le taux d’implication le plus faible (3%). À l’opposé, les Pays de la Loire regroupent une part importante des acteurs académiques engagés (19,7%), malgré un nombre de structures plus limité.

La taille moyenne des structures de recherche appuie cette lecture. Par exemple, la Nouvelle-Aquitaine, bien que peu représentée en proportion d’acteurs (3,4%), présente les structures les plus importantes en nombre de permanents (126,7), ce qui laisse penser à la présence de grands laboratoires ou d’instituts de recherche fortement mobilisés. En revanche, la région Provence-Alpes-Côte d’Azur, avec une proportion élevée d’acteurs (18%), affiche une taille moyenne nettement inférieure (30,5), indiquant un tissu académique plus fragmenté, composé de petites unités ou de départements spécialisés.

L’analyse croisée de ces indicateurs met ainsi en lumière des dynamiques territoriales contrastées : certaines régions sont structurées autour de grands pôles académiques centralisés, tandis que d’autres s’appuient sur un réseau plus diffus de petites unités. Cette hétérogénéité peut refléter des stratégies régionales différentes en matière d’organisation de la recherche dans le domaine de l’éconavigation.

Après l’analyse de la répartition territoriale, l’étude des thématiques couvertes par ces structures permet d’identifier les domaines scientifiques les plus investis.

Actuellement, les différentes thématiques sont abordées de manière relativement équilibrée (Tableau 4), avec une légère prédominance pour la propulsion et les énergies alternatives.

La thématique de la propulsion et des énergies alternatives apparaît particulièrement dynamique : elle regroupe le plus grand nombre de structures et couvre un large éventail de sujets (propulsion électrique, vélique, impacts hydrodynamiques, biocarburants, ammoniac). Elle est également la seule thématique représentée hors littoral, avec des structures implantées en Île-de-France et en Centre-Val de Loire. Elle réunit par ailleurs la plus forte proportion d’acteurs impliqués (9,3%) (Tableau 5).

La thématique du cycle de vie, quant à elle, couvre presque toutes les régions littorales impliquées (à l’exception des Hauts-de-France). Elle rassemble des travaux sur la biodégradabilité

TABLE 3 – Proportion d’acteurs académiques impliqués par région au sein des structures identifiées (juillet 2025)

Régions	Pourcentage (%) d’acteurs	Taille moyenne des structures (nb de permanents)
Bretagne	8,8	53
Centre-Val de Loire	4,2	95
Normandie	4	51
Nouvelle-Aquitaine	3,4	126,7
Occitanie	3	66
Pays de la Loire	19,7	61
Provence-Alpes-Côte d’Azur	18	30,5

** L’Ifremer et l’ENSTA ne sont pas comptés dans ces pourcentages, en raison de leur organisation particulière (réseau multi-sites pour Ifremer ; projet porté par des étudiants pour l’ENSTA).*

TABLE 4 – Nombre de structures impliquées par thématique (juillet 2025)

Thématiques	Nombre de structures
Propulsion et énergies alternatives	8
Cycle de vie des bateaux	7
Pratiques et entretien	5

des matériaux, l’éco-conception ou encore le recyclage des composites. Elle demeure pourtant la moins représentée en proportion d’acteurs impliqués (4,7%).

Enfin, la thématique des pratiques et de l’entretien reste principalement centrée sur les peintures antifouling. Bien que plus restreinte, elle regroupe tout de même 7,5% des acteurs identifiés.

Les pourcentages d’acteurs ont été calculés uniquement sur les structures pour lesquelles les effectifs totaux et les effectifs impliqués étaient disponibles. Ces résultats ne reflètent donc pas l’ensemble du paysage académique français, mais offrent une indication sur l’implication relative des équipes dans chaque domaine au sein de l’échantillon exploitable.

TABLE 5 – Proportion d’acteurs impliqués par thématique (juillet 2025)

Thématiques	Pourcentage (%) d’acteurs	Taille moyenne des structures (nb de permanents)
Propulsion et énergies alternatives	9,3	88
Cycle de vie des bateaux	4,7	60,1
Pratiques et entretien	7,5	56

** L’Ifremer et l’ENSTA ne sont pas comptés dans ces pourcentages pour les raisons évoquées précédemment.*

5.2 Analyse actuelle de la répartition

5.2.1 Répartition géographique actuelle des structures

Il est important de noter que la répartition apparente des structures sur le territoire ne reflète pas nécessairement la réalité. En effet, à ce jour, sur 100 structures contactées, seules 43 ont répondu (soit 43%). Ce taux de réponse partiel limite la portée statistique des observations et implique de lire les résultats avec prudence. Néanmoins, les tendances dégagées offrent un premier aperçu pertinent des dynamiques territoriales de l'éconavigation.

Les disparités observées dans la répartition géographique des structures académiques impliquées dans l'éconavigation s'expliquent à la fois par des logiques économiques régionales, le poids du nautisme local, et des facteurs structurels propres aux établissements de recherche.

Les régions littorales historiquement tournées vers le nautisme, comme la Bretagne ou les Pays de la Loire, concentrent un nombre significatif d'acteurs. Ces derniers sont souvent intégrés dans des structures de taille modeste ou intermédiaire (en moyenne 53 permanents pour les Pays de la Loire et 64,5 pour la Bretagne), ce qui accroît mécaniquement leur taux d'implication apparent dans les projets liés à l'éconavigation.

Perspective globale Ainsi, la géographie de l'éconavigation reflète à la fois l'héritage maritime des territoires, leur poids économique dans la filière nautique, et les caractéristiques des structures académiques locales. Certaines structures paraissent moins visibles au niveau national car elles sont intégrées dans des dynamiques de coopération européenne ou internationale, ce qui ne signifie pas nécessairement un désengagement. L'interprétation des données doit donc tenir compte de ces effets de structure et de contexte socio-économique régional.

5.2.2 Répartition actuelle des thématiques

La thématique du cycle de vie des bateaux, bien que représentée dans 7 structures, affiche un taux d'implication relativement faible (4,7%). Cela peut s'expliquer par plusieurs facteurs. Ce domaine, déjà bien structuré et soutenu institutionnellement (économie circulaire, transition écologique), est aussi largement investi par les industriels, ce qui peut détourner une partie des chercheurs académiques vers des partenariats privés. Les structures impliquées présentent une taille moyenne de 60,1 permanents, ce qui suggère une capacité à intégrer ces sujets, sans pour autant qu'ils soient toujours centraux dans leur activité.

À l'inverse, la propulsion et les énergies alternatives, identifiée dans 8 structures, bénéficie d'un fort intérêt académique. Le taux d'implication élevé (9,3%) s'explique par l'interdisciplinarité du sujet, qui dépasse largement le cadre du nautisme. Les structures engagées sont en moyenne plus grandes (88 permanents), ce qui reflète des moyens humains et techniques plus importants, propices au développement de solutions complexes (électrique, hydrogène, hybride).

Concernant les pratiques et l'entretien, cette thématique, bien que recensée dans un nombre encore limité de structures (5), est en pleine émergence à l'échelle nationale. Elle suscite un intérêt grandissant, notamment grâce aux collaborations avec des entreprises, des parcs marins, et des gestionnaires d'infrastructures portuaires. Le taux d'implication (7,5%) est significatif, d'autant plus que les structures concernées, souvent de taille modeste (56 permanents en moyenne),

TABLE 6 – Équipements et expertises des différentes structures (juillet 2025)

Structure	Équipements et expertises
BIA	Caractérisation des fibres : propriétés mécaniques, composition, mouillabilité.
CIMAP	Plateforme de caractérisation : Dualbeam HELIOS, diffractomètre RX, SIMS, spectromètre EELS, microscopes électroniques, salle de préparation d'échantillons.
ENSTA Paris	Équipements acquis par achat et par le biais de sponsors industriels (détail non précisé).
EPOC	Voir site officiel : epoc.fr
GEPEA	Plateforme Algosolis : culture de microalgues (photobioréacteurs), systèmes de filtration, extraction, spectrométrie, infrarouge.
ICGM	Voir site officiel : icgm.fr
ICN	Plateforme technologique : RMN, spectrométrie de masse, modélisation et imagerie moléculaire.
IES	Pas d'information.
IFREMER	Équipements pour l'étude des matériaux en environnement marin, dont plateformes expérimentales, barges, robots sous-marins, etc. Voir : ifremer.fr
I2M	Pas d'information.
IMMM	Voir site officiel : immm.univ-lemans.fr
Institut P'	Approche terrain (mesures hydrodynamiques), simulation numérique (mécanique des fluides), bassins de carènes pour maquettes de navire.
IRENav	Plateforme d'énergie navale : modélisation et expérimentation sur les systèmes de propulsion.
IRDL	Immersion de matériaux à grande profondeur (1000–2000 m) via robots/bateaux IFREMER, étude des effets mécaniques, chimiques, biologiques.
LBBM	Incubations en eau de mer, séquençage ADN environnemental, HPLC/UHPLC-HRMS/MS, analyses microbiologiques et écotoxicologiques.
LBCM	Plateformes : antifouling/antibiofilm, biofilms et microbiomes, éco-toxicologie, analytique, EXALTER (LabCom SAFER).
LMGC	Essais mécaniques, chambres climatiques, MEB, tomographie RX, logiciels de modélisation/simulation.
MAPIEM	Barge expérimentale (statique/dynamique) pour immersion de dispositifs, synthèse de polymères, caractérisation physico-chimique de revêtements.
PCH	Plateforme MOCABIO : extrusion, moulage injection, thermocompression, impression 3D, tests mécaniques, analyses thermiques, caractérisation de surface.
PRISME	Bancs d'essai : mesures de pression, température, rendement, émissions.

**Les Acronymes des structures sont tous indiqués dans la Figure 1.*

développent des travaux très spécifiques au nautisme.

Ces éléments confirment que les dynamiques de recherche varient fortement selon les thématiques abordées, en lien avec la nature des compétences requises, le degré de spécialisation, et les opportunités de financement ou de partenariats.

5.3 Les équipements et expertises des structures

Afin de mieux comprendre les différentes structures, il est également important d'identifier les équipements et expertises mobilisés dans le cadre des recherches sur l'éconavigation de plaisance.

Ce tableau recense de manière synthétique les équipements et plateformes technologiques disponibles au sein des différentes structures. Il illustre la diversité des expertises mobilisées, allant de la synthèse de matériaux à l'analyse des biofilms, en passant par la modélisation hydrodynamique et la caractérisation des revêtements. Cette richesse instrumentale constitue un

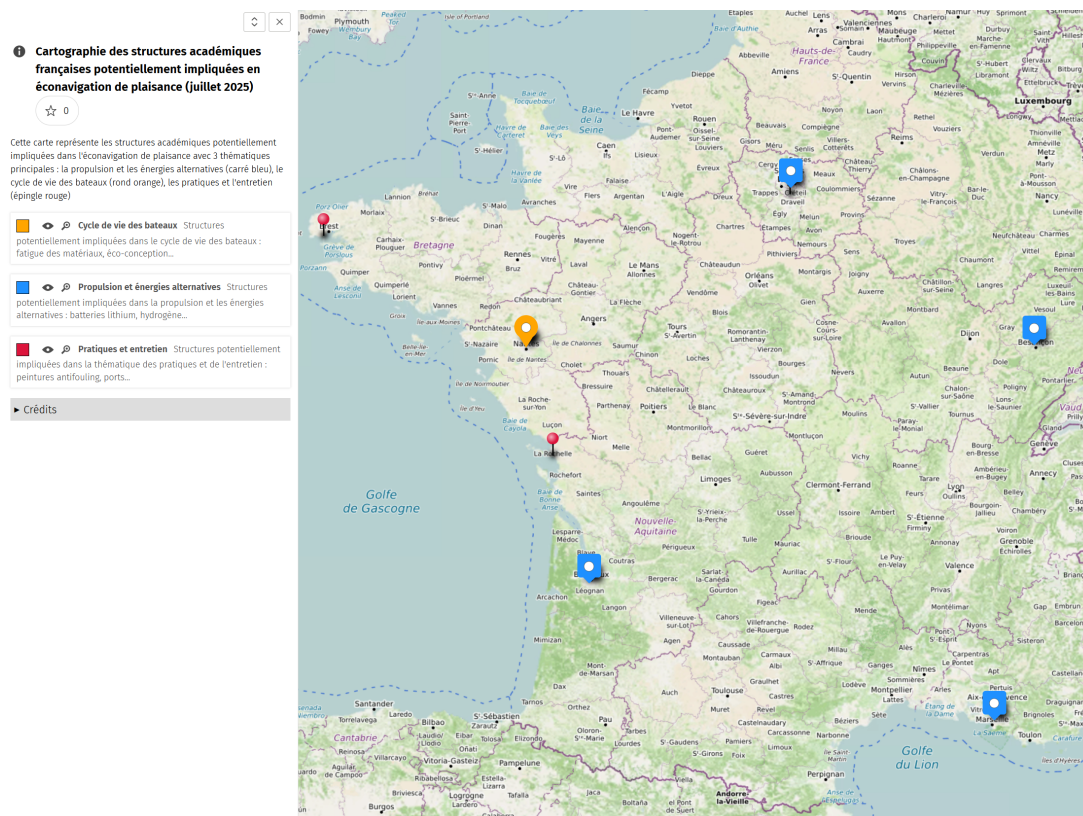


FIGURE 2 – Cartographie des structures académiques françaises potentiellement impliquées en éconavigation de plaisance (juillet 2025)

véritable atout pour aborder les différentes problématiques liées à l'éconavigation de plaisance.

5.4 Autres structures potentiellement impliquées

Malgré un taux de réponse relativement élevé, certaines structures académiques apparaissent comme potentiellement impliquées dans l'éconavigation de plaisance, sans que cette implication ait pu être confirmée. Ces établissements n'ont, à ce jour, pas donné suite aux sollicitations effectuées dans le cadre de ce travail (Figure 2).

Carte interactive disponible en ligne : structures-potentielles.fr

Cette carte ne permet donc pas de conclure sur l'implication effective de ces structures, mais constitue un repère utile pour identifier des pistes de contact ou d'approfondissement dans le futur.

La catégorie des « structures potentiellement impliquées » regroupe des entités pour lesquelles un lien avec l'éconavigation a été supposé, sur la base de thématiques de recherche proches, mais qui reste à confirmer en l'absence d'activités identifiées ou de réponse claire. Elle ne comporte que six structures.

Sur les 100 structures initialement contactées, environ 40 ne figurent dans aucune des catégories présentées. Cela s'explique par le fait qu'il ne s'agissait pas toujours de structures académiques, ou bien qu'aucun lien concret avec l'éconavigation n'a pu être établi suite à plusieurs recherches complémentaires. Ces structures ont donc été écartées des représentations cartographiques, afin de ne pas induire une surestimation de leur implication.

Dans le prolongement du recensement des structures, l'analyse des projets de recherche fournit un autre niveau de lecture : celui des actions scientifiques effectivement mises en œuvre. Ces projets permettent d'illustrer comment les thématiques identifiées se traduisent concrètement sur le terrain de la recherche.

6 Les projets de recherche

Après avoir identifié les structures académiques impliquées dans l'éconavigation, il est désormais essentiel d'examiner comment cette implication se traduit concrètement sur le terrain.

Dans le monde de la recherche, les dynamiques scientifiques se matérialisent principalement à travers des projets, qu'ils soient ponctuels ou pluriannuels. L'analyse de ces travaux, en particulier ceux actuellement en cours, permet de dégager les grandes tendances qui orientent aujourd'hui la recherche académique en matière d'éconavigation.

Les projets présentés ici ont été recensés à partir des entretiens menés avec les acteurs du secteur, complétés par des recherches dans des bases de données, publications et rapports institutionnels. Ils offrent une illustration directe des priorités scientifiques et technologiques actuelles.

Il convient toutefois de rappeler que ces initiatives sont largement conditionnées par les opportunités de financement. Qu'ils soient soutenus par des agences nationales (ANR, ADEME), des collectivités territoriales ou des programmes européens (FEDER, Horizon Europe), ces financements orientent les thématiques traitées et favorisent certaines approches telles que l'écoconception, la transition énergétique ou la circularité des matériaux.

6.1 Projets de recherche en cours sur l'éconavigation de plaisance

Plusieurs initiatives de recherche sont actuellement en cours dans le domaine de l'éconavigation. Portés par des laboratoires universitaires, des groupes collaboratifs ou réalisés en partenariat avec des industriels, ces travaux mettent en lumière les axes prioritaires explorés par la recherche académique.

Sur le territoire national, une diversité de projets a ainsi été identifiée (voir Tableau 7). Ils sont regroupés ici selon trois grandes thématiques : le cycle de vie des bateaux, les pratiques et l'entretien, et la propulsion et les énergies alternatives

6.1.1 Le cycle de vie des bateaux

Projet RECYCOMP (2023–) Coordonné par le CNRS Aquitaine, en partenariat avec le Laboratoire de Mécanique et Génie Civil (LMGC), le laboratoire Polymères Composites Hybrides (PCH), l'unité BIA, l'IRDL et l'Institut de Mécanique et d'Ingénierie (I2M), ce projet vise à développer des composites recyclables et éco-conçus. Il répond aux difficultés de séparation des fibres dans les composites polymères renforcés de fibres continues (CFRP).

Projet SUSPENS (2022–) Porté par l'Institut de Chimie de Nice (ICN), ce projet a pour objectif de créer une résine 100% biosourcée et non toxique, adaptée aux applications nautiques. Le projet travaille également sur la recyclabilité de cette résine.

TABLE 7 – Synthèse des projets de recherche en cours liés à l'éconavigation de plaisance.

Thématique	Nom du projet	Structure(s)
Cycle de vie	RECYCOMP (2023–)	CNRS Aquitaine, LMGC, PCH, BIA, IRDL, I2M
	SUSPENS (2022–)	ICN
Pratiques et entretien	CLEANSEA (2022–)	LBCM
	ECO-SMARTAF (2024–) Projet EPOC	MAPIEM EPOC
Propulsion / Énergies alternatives	ALGADVANCE (2023–)	GEPEA
	ADONIS (2022–) INFLUE (2024–) TAMEO / Monaco Energy Boat Challenge	PRISME Institut P' ENSTA Paris

6.1.2 Les pratiques et l'entretien

Projet CLEANSEA (2022–) Le Laboratoire de Biotechnologie et Chimie Marine (LBCM) est partenaire de ce projet qui vise à concevoir des revêtements marins innovants capables de prévenir la formation de biofilms, selon une approche écologique et durable.

Projet ECO-SMARTAF (2024–) Conduit par le laboratoire Matériaux Polymères Interfaces Environnement Marin (MAPIEM), ce projet cherche à créer des revêtements intelligents, alliant activité de contact et chimie de surface amphiphile.

Projet EPOC-LBCM Un nouveau projet de recherche va prochainement être lancé, en collaboration entre le laboratoire EPOC et le LBCM. Il vise à évaluer l'efficacité de revêtements antisalissures sans biocide, tout en étudiant leur impact environnemental.

6.1.3 La propulsion et les énergies alternatives

Projet ALGADVANCE (2023–) Mené par le laboratoire Génie des Procédés Environnement – Agroalimentaire (GEPEA), ce projet développe des biocarburants à base de microalgues génétiquement modifiées. Il s'inscrit dans une démarche de propulsion alternative durable.

Projet ADONIS (2022–) Porté par le laboratoire PRISME, ce projet étudie la combustion de l'ammoniac dans des microturbines, dans une optique de propulsion alternative. Le laboratoire PRISME porte également de nombreux projets complémentaires, décrits sur leur site prisme-projets.fr.

SAWASP (2024–) Porté par l'ENSTA, l'École Navale (IRENav) et l'Ifremer, ce projet vise le développement, la fabrication, la mise au point et l'exploitation d'un démonstrateur de navire intelligent et autonome. Celui-ci sera propulsé par des propulseurs à axe vertical entièrement électriques, et équipé de deux rotors Flettner servant de système de propulsion vélique auxiliaire.

Projet INFLUE (2024–) Porté par l’Institut P’, ce projet vise à analyser l’impact de la navigation fluviale (notamment la formation de vagues induites par les moteurs) sur les berges et les écosystèmes. Il s’intéresse aux conséquences physiques de la navigation sur l’environnement.

Projet TAMEO ENSTA / Monaco Energy Boat Challenge L’ENSTA Paris, à travers l’association étudiante TAMEO ENSTA, participe chaque année au *Monaco Energy Boat Challenge*, un événement international où des écoles conçoivent et testent des bateaux écologiques (solaire, hydrogène...). Cela constitue un projet d’innovation concret et formateur autour de la propulsion économe et durable.

6.2 Les projets passés

Au-delà des projets en cours, il est également pertinent de s’intéresser aux projets passés, qui offrent un recul sur l’évolution de la recherche française en matière d’éconavigation.

6.2.1 Le cycle de vie des bateaux

Projet THANA’BOAT (2021–2024) Porté par le Groupe Tubert Environnement avec IMT Mines Alès (laboratoires LMGC et PCH) et Alpha Recyclage Composites, ce projet visait à développer une filière de valorisation matière des bateaux de plaisance hors d’usage (BPHU), en combinant recyclage mécanique et chimique. L’un de ses apports majeurs est l’identification de débouchés pour les matériaux issus du démantèlement, notamment leur utilisation comme substitut partiel du sable dans la fabrication du ciment.

Projet FLOWERS (2019-2022) Porté par l’Institut de Recherche Dupuy de Lôme (IRDL) et l’unité Biopolymères Interactions Assemblages (BIA), ce projet visait à développer des renforts en fibre de lin destinés à l’industrie des composites, largement utilisés en nautisme.

Projet POLYWOOD (2012-2015) Ce projet était destiné à remplacer les sels de chrome (très toxiques) qui servent à protéger les coques des bateaux en bois des attaques des micro-organismes (vieillessement de la coque et antifouling). Ce projet s’est effectué en collaboration avec la société Kebon.

Projet GREENBOAT (2009–2011) Mené par le chantier Dubourdieu et le laboratoire I2M, ce projet visait à éco-concevoir un bateau sur l’ensemble de son cycle de vie. Il a abouti à un prototype de 6 mètres, réalisé en bois déroulé, fibre de verre et résine biosourcée. Bien que non viable économiquement, il reste une référence en innovation environnementale navale.

CIMAP Aucun nom de projet n’a été évoqué lors de l’entretien mais la Normandie étant une région productrice de lin, le CIMAP est régulièrement amené à travailler sur le lin et notamment la composition de ces structures.

6.2.2 Les pratiques et l'entretien

Projet PAINTBIO (2022– 2024) Porté par le Laboratoire Biodiversité et Biotechnologie Microbienne (LBBM), ce projet développait des peintures antifouling autopolissantes écoresponsables.

Getting to the bottom (2022-2024) Le laboratoire EPOC participe à ce projet dont l'objectif est d'évaluer la toxicité des peintures antisalissures, afin de déterminer la dose minimale de biocide nécessaire à leur efficacité dans l'environnement marin.

Projet PAINTS (2020–2024) Coordonné par le MAPIEM avec le LBCM, l'OFB et l'UQAR-ISMER, ce projet visait à développer des revêtements antifouling “verts” sans biocide. Il combinait innovation technologique, tests en conditions réelles (France–Québec) et analyse des enjeux socio-écologiques liés à leur adoption.

Le laboratoire MAPIEM mène depuis plusieurs années des travaux sur les peintures antifouling. La liste complète de leurs projets est disponible sur leur site officiel : projets-mapiem.fr.

Projet LabCom SAFER (2016-2019) Ce projet commun entre le LBCM et l'entreprise Nautix visait à étudier les revêtements antifouling, de leur formulation à leur évaluation, en intégrant les aspects de performance et de toxicité. Il illustre une collaboration étroite entre recherche académique et industrie pour développer des alternatives plus respectueuses de l'environnement.

L'ICGM L'ICGM collabore régulièrement avec le LBCM sur les peintures et revêtements antifouling.

6.2.3 La propulsion et les énergies alternatives

Projet MASYNBIOZ (2022-2023) Le projet, porté par le laboratoire PRISME, explore la combustion de mélanges ammoniac/syngaz et ammoniac/biogaz afin de mieux comprendre leur comportement et leur potentiel comme vecteurs énergétiques alternatifs.

Projet DIESALG (2012–2015) Conduit entre 2012 et 2015 par le laboratoire GEPEA, ce projet s'inscrit dans la dynamique de développement de carburants alternatifs. Il a contribué à une meilleure compréhension et à l'optimisation des procédés de production de biocarburants à base de micro-algues, en évaluant notamment les rendements, les coûts énergétiques et les impacts environnementaux. Bien que ce type de carburant reste peu utilisé dans le secteur nautique, il constitue une alternative prometteuse aux énergies fossiles à moyen terme.

Projet MASCARET (2011–2015) Ce projet porté par l'institut P' portait sur les phénomènes de batillage, de ressac et de vagues dans les canaux et rivières. Il combinait modélisation, simulations hydrauliques et observations pour comprendre l'interaction entre ondes, courant et topographie.

TABLE 8 – Synthèse du nombre de thèses liés à l'éconavigation de plaisance.

Thématique	Structures	Nombre de thèses
Cycle de vie	IRDL	4
	ICN	2
	LMGC/PCH	5
	I2M	1
	CIMAP	1
	Total	13
Pratiques et entretien	MAPIEM	6
	LBBM	2
	LBCM	3
	Total	11
Propulsion / Énergies alternatives	IES	1
	IRENav	3
	IMMM	1
	Institut P'	2
	GEPEA	1
	PRISME	3
	Total	11

IES Aucun projet spécifique n'a été évoqué mais l'IES travaille sur la propulsion électrique à l'aide de cahiers des charges fournis. Toutes les avancées peuvent s'appliquer au domaine de la navigation de plaisance.

IRENav Aucun projet n'a été évoqué mais l'IRENav travaille sur plusieurs aspects de la propulsion : propulsion hybride, l'optimisation de la gestion d'énergie ou la propulsion d'énergie (piles à combustible, hydrogène...).

IMMM Aucun projet spécifique n'a été mentionné, mais l'IMMM mène des travaux sur le fluor, notamment en lien avec l'ammoniac en tant que source d'énergie alternative.

IFREMER L'IFREMER étant une grosse organisation, seuls les projets actuels ont été abordés. Il existe bien entendu des projets passés en lien avec la propulsion.

6.3 Les thèses

6.3.1 Le cycle de vie des bateaux

IRDL

- Etude et compréhension de la (bio) dégradation à long terme de biopolymères et de biocomposites dans les grands fonds marins, Julien Basquez (2024 -)
- Contribution à l'étude des propriétés et du comportement de faisceaux de fibres de lin à différentes échelles, Margot Chalard (2022 -)
- Caractérisation multi-échelle de composites de lin biodégradables par le biais d'études structurales, mécaniques et de vieillissement, Delphin Pantaloni (2018 - 2021)

- Contribution à l'étude multi-échelle des fibres élémentaires de lin et du xylème pour un usage comme renfort de matériaux composites, Lucile Nuez (2018 - 2021)

ICN

- Polymères thermodurcissables biosourcés pour des applications dans les revêtements, l'industrie automobile, nautique et aérospatiale, Mona Jamali Moghadam Siahkali (2020 - 2023).
- Huiles végétales époxydées et alcool furfurylique : deux types de monomères pour l'élaboration de thermodurcissables et de composites biosourcés, Guillaume Falco (2013 - 2016).

LMGC/PCH

- Comportement mécanique de Matériaux Sandwichs Innovants pour application nautique, Joulia Salloum (2020 - 2023)
- Développement de matériaux composites de seconde génération utilisant des fibres de carbone recyclées pour une application nautique, Adrien Gonzalez (2019 - 2022)
- Etude du comportement mécanique et de la tenue en service de composites recyclables pour application nautique, Haithem Bel Haj Frej (2017 - 2020)
- Formulation, mise en oeuvre, comportement et tenue en service de textiles techniques éco-performants pour application nautique, Pierre-Baptiste Jacquot (2014 - 2017)
- Analyse en service de la durabilité à long terme des biocomposites en environnement marin, Guilherme Apolinario Testoni (2012 - 2015)

I2M

- Développement de contreplaqués pour la construction navale : caractérisation multiéchelle et compréhension des phénomènes de collage du pin maritime à l'état vert. Anne Lavalette (2010 - 2013)

CIMAP

- Développement de nouveaux composites hybrides renforcés par des fibres de carbone et de lin : mise en œuvre et caractérisation mécanique. Eric Tossou (2016 - 2019)

6.3.2 Les pratiques et l'entretien

MAPIEM

- Antifouling coatings based on amphiphilic networks (Mars 2022 -)
- Hydrolyzable silicone elastomers : new approach of antifouling coatings. GEVAUX Laure (2016-2019)
- Conception de revêtements antifouling respectueux de l'environnement : synthèse et étude des relations structure-activité d'analogues de produits naturels marins, ANDJOUH Sofyane (2012-2016)

- Synthèse de nouveaux monomères à propriétés rédox à morphologies contrôlées - Application pour des revêtements anti-salissures marines, NGUEMA Ronald (2012-2016)
- Synthèse de copolymères hybrides à base de poly(diméthylsiloxane) et de poly(méthacrylate de trialkylsilyle) pour revêtement anti-salissures marines, DUONG The Hy (2010-2014)
- Bio-essais anti-adhésion sur des bactéries marines pour le criblage de molécules et de revêtements antifouling, CAMPS Mercedes (2007-2011)

LBBM

- Caractérisation des mécanismes d'action et évaluation de l'écotoxicité des revêtements antifouling dits écoresponsables. Camille Ferré (2022-2025)
- Exploration des interactions au sein de l'épimicrobiote de *Saccharina latissima* pour la découverte de nouveaux antifouling éco-compatibles. Emilie Adouane (2021-2024)

LBCM

- Conception d'éco-Revêtement Antifouling modulable à base de Poly(triméthylèneCarbonate) (2024-)
- Études de revêtements fouling release, Aissata BANGOURA (2021-2024)
- Etude des mécanismes d'adhésion de microalgues marines aux surfaces antifouling. Contrat de collaboration : Enercat, Florian TRAON (2017-2021)

6.3.3 Propulsion et énergies alternatives

IES

- Etude, conception, optimisation de motorisations nautiques électriques innovantes. Mourad Aitakkache (2020 - 2023)

IRENav

- Minimisation de la consommation énergétique de bateaux en navigation fluviale par éconavigation optimisée sous contraintes opérationnelles. (2025 -)
- Optimisation multicritère couplée de stratégies de commande et du dimensionnement des composants d'une chaîne propulsive hybride série pour bateaux à cycle de puissance hautement variable. Amoros Fabien (2021 - 2024)
- Etude de machines à structures non conventionnelles destinées à la propulsion navale et aux énergies marines. Fleurot Eulalie (2017 - 2020)

IMMM

- Matériaux fluorés pour la production de NH₃ décarboné. (2023 -)

Institut P'

- Etude numérique et expérimentale des ondes de batillage de navires en milieu confiné et leurs impacts sur les berges de rivières. (2023 -)
- Etude expérimentale et numérique des phénomènes hydrodynamiques liés au passage d'un navire dans une voie navigable confinée : quantification des ondes de batillages et de leur impact sur les berges. (2021 -)

GEPEA

- Optimisation de la production de biocarburants par microalgues en conditions solaires, Arturo Vadimir Heredia Marquez (2017 - 2020)

PRISME

- Impact de la turbulence sur les flammes prémélangées d'ammoniac/air. (2022 -)
- Caractéristiques d'auto-inflammation de mélange ammoniac/air pour les moteurs à allumage commandé à haute compression. (2022 -)
- Potentiel de l'ammoniac comme additif à l'éthanol pour les moteurs à allumage commandé. Ronan Pelé (2020 -2023)

6.4 Bilan des projets identifiés

Les projets actuels Actuellement, de nombreux projets sont en cours, témoignant de l'implication forte de la recherche française dans le domaine de l'éconavigation de plaisance.

Sur la thématique du cycle de vie des bateaux, on observe un grand projet (projet RECY-COMP) collaboratif rassemblant plusieurs structures, ainsi qu'un autre projet mené de manière indépendante. Tous deux visent à améliorer la recyclabilité des matériaux, une problématique majeure pour la navigation de plaisance aujourd'hui.

Concernant les pratiques et l'entretien, les initiatives sont davantage dispersées, probablement en raison de la diversité des disciplines des laboratoires impliqués.

Enfin, la thématique de la propulsion et des énergies alternatives est celle qui concentre le plus de projets, sans doute parce que les solutions développées peuvent être transversales et applicables à d'autres domaines.

Les projets passés On constate que l'éconavigation est un domaine en émergence depuis plusieurs années, comme en témoigne le plus ancien projet identifié, GREENBOAT, lancé dès 2009. La thématique du cycle de vie des bateaux est particulièrement bien représentée, avec des projets couvrant l'ensemble des étapes, ce qui souligne son importance stratégique dans la recherche actuelle.

Du côté des pratiques et de l'entretien, certains projets adoptent une approche collaborative et multidisciplinaire. C'est notamment le cas du projet PAINTS, qui intègre une dimension sociologique. On observe également l'implication d'acteurs reconnus comme le MAPIEM ou le LBCM, aux côtés de structures émergentes, ce qui reflète un intérêt croissant pour les enjeux liés aux peintures antifouling.

Enfin, la thématique de la propulsion et des énergies alternatives se distingue par la diversité de ses projets. Cela s'explique non seulement par leur applicabilité à d'autres secteurs, mais aussi par une prise de conscience ancienne, illustrée par le projet MASCARET lancé dès 2011.

Les thèses Le nombre de thèses est relativement équilibré entre les différentes thématiques (Tableau 8). Toutefois, dans le domaine des pratiques et de l'entretien, seules trois structures encadrent ces travaux, contre six pour les autres thématiques. Cela montre l'existence de structures déjà bien ancrées et spécialisées dans ce domaine, tout en laissant entrevoir l'émergence progressive de nouveaux laboratoires qui commencent à s'y intéresser. Ce constat montre que la recherche française s'empare progressivement des enjeux liés à l'éconavigation. Le dynamisme thématique observé à travers les thèses reflète une prise de conscience croissante des impacts environnementaux de la plaisance, ainsi qu'une volonté de proposer des solutions concrètes et innovantes dans ce domaine.

L'analyse des projets de recherche, passés comme actuels, ainsi que des thèses menées en France, met en lumière une dynamique croissante autour de l'éconavigation de plaisance. Si certaines thématiques, comme la recyclabilité des matériaux ou la propulsion alternative, sont particulièrement investies, d'autres, telles que les pratiques d'entretien, voient émerger progressivement de nouveaux acteurs aux approches multidisciplinaires. Cette diversité thématique et structurelle témoigne d'une prise de conscience réelle des enjeux environnementaux liés à la plaisance, et d'une volonté collective d'y répondre par l'innovation et la recherche scientifique.

Au-delà des projets et des thèses, cette dynamique de recherche s'appuie également sur des réseaux de coopération entre laboratoires, institutions et acteurs socio-économiques, qui jouent un rôle clé dans la structuration et le développement de l'éconavigation en France.

Note : Les publications scientifiques associées aux projets d'éconavigation recensés sont listées dans une bibliographie en fin de rapport.

7 Réseaux de coopération actuels

Au-delà des dynamiques collectives portées par les projets, on observe l'émergence de réseaux de coopération plus larges et structurants. Ces réseaux associent laboratoires de recherche, acteurs industriels et institutionnels, et permettent de mutualiser compétences, moyens et visions autour de la transition écologique du secteur nautique.

Ces collaborations répondent à plusieurs logiques complémentaires :

- La nécessité de croiser des expertises disciplinaires (chimie des matériaux, génie des procédés, biologie marine, mécanique, etc.) pour aborder les problématiques complexes de l'éconavigation dans une approche systémique.
- L'incitation des financeurs publics à soutenir des projets multi-partenaires, notamment dans les appels à projets régionaux, nationaux (ANR) ou européens (FEDER, Horizon Europe).
- La volonté de mutualiser les moyens expérimentaux (plates-formes techniques, bassins d'essai, laboratoires de caractérisation) pour tester les solutions en conditions réalistes.

Parmi les projets cités, on peut évoquer RECYCOMP, coordonné par le CNRS Aquitaine, qui fédère pas moins de cinq laboratoires différents autour de la question du recyclage des composites nautiques. De même, le projet FLOWER associe l'IRDL en Bretagne à l'unité BIA basée à Nantes, dans une logique interrégionale de développement de matériaux biosourcés.

Les projets PAINTS ou LabCom SAFER illustrent quant à eux des synergies entre laboratoires académiques (MAPIEM, LBCM) et industriels (Nautix), notamment autour des revêtements antifouling.

La dimension internationale est également présente dans certaines initiatives, comme le projet Go to the Bottom, qui a permis de mettre en place une collaboration transatlantique entre plusieurs laboratoires français et la Suède. Ce type de partenariat élargit la portée scientifique des recherches en confrontant les innovations à des contextes environnementaux contrastés, tout en facilitant la circulation des savoirs et des méthodologies entre équipes.

Ces coopérations s'appuient sur des structures déjà actives à l'international, ce qui favorise les échanges de pratiques et la diffusion des innovations au-delà des frontières.

De plus, le GDR (Groupe De Recherche) Biofouling et Environnement constitue une initiative structurante, fédérant des acteurs académiques autour des enjeux liés au biofouling, un sujet central pour l'éconavigation et l'entretien des navires. Ce réseau facilite les échanges scientifiques, la mutualisation des compétences et la coordination d'efforts de recherche à grande échelle, renforçant ainsi la visibilité et l'impact des travaux français sur la scène internationale.

7.1 Analyse actuelle des dynamiques de recherche

L'étude des projets et travaux menés en France dans le domaine de l'éconavigation révèle une intégration désormais solide et durable de ce champ au sein du paysage scientifique national. L'intérêt, initié dès les années 2010 par des projets pionniers comme GreenBoat, s'est affirmé et enrichi avec le temps, porté par une pluralité d'acteurs académiques et industriels.

Cette recherche ne se limite pas à une succession de projets isolés, mais s'inscrit dans une dynamique de structuration continue, caractérisée par un renouvellement et une diversification des thématiques explorées. Plus qu'une thématique émergente, l'éconavigation se positionne comme un domaine mature en pleine évolution, façonné par les enjeux contemporains de durabilité et de transition écologique.

On observe cependant une organisation différenciée selon les axes de recherche : tandis que le cycle de vie des bateaux bénéficie d'un maillage national robuste, avec des coopérations interrégionales bien établies, les travaux relatifs aux pratiques d'entretien et aux revêtements antifouling restent davantage cloisonnés, souvent portés par des laboratoires spécialisés. Cette disparité traduit la complexité des disciplines impliquées et les spécificités techniques propres à chaque sujet.

Malgré ces différences, certains projets illustrent la montée en puissance des approches interdisciplinaires et systémiques, comme le projet PAINTS, qui conjugue matériaux, écotoxicologie et sciences sociales pour répondre aux enjeux environnementaux de manière globale. Ces démarches, encore en développement, sont cruciales pour appréhender la complexité des problématiques liées à la plaisance durable.

Par ailleurs, la recherche s'inscrit de plus en plus dans une logique de coopération étroite

entre monde académique et industrie. Les partenariats ne se limitent plus à la valorisation des résultats, mais s'appuient sur une co-construction des projets, garantissant ainsi une meilleure adéquation entre innovation scientifique et besoins économiques réels. Cette implication industrielle croissante reflète aussi une prise de conscience des acteurs du secteur concernant leurs responsabilités environnementales.

Les modalités de financement jouent un rôle structurant non négligeable, notamment à travers les appels à projets publics, qui orientent les priorités scientifiques mais peuvent aussi limiter la continuité des travaux en raison de leur temporalité courte. Par ailleurs, la dynamique territoriale reste hétérogène : des régions comme la Bretagne ou les Pays de la Loire profitent d'un écosystème favorable à l'émergence de projets, tandis que d'autres, bien dotées en acteurs, restent encore peu investies, questionnant les leviers nécessaires pour stimuler la recherche locale en éconavigation.

Enfin, l'ouverture internationale croissante des collaborations, comme celles avec le Québec ou la Suède, enrichit les approches et permet de confronter les innovations à des contextes variés, renforçant la pertinence et l'impact des travaux français au niveau mondial.

En résumé, la recherche en éconavigation s'articule aujourd'hui autour d'une dynamique de convergence et d'intégration, entre disciplines, territoires, sphères publiques et privées, et échelles nationales et internationales. Cette évolution traduit la reconnaissance progressive du nautisme durable comme un enjeu complexe, nécessitant des réponses globales et coordonnées.

Bien que l'éconavigation de plaisance constitue un domaine de recherche en plein essor, d'autres segments du nautisme, notamment la navigation de compétition ou le transport maritime, connaissent également des dynamiques comparables. Plusieurs projets, bien qu'extérieurs au champ strict de la plaisance, s'inscrivent dans une logique de transition écologique du secteur maritime. Ils méritent d'être intégrés à l'analyse, tant ils contribuent à l'émergence de solutions durables applicables à plus large échelle. Les structures porteuses de ces initiatives développent en effet des savoir-faire et des technologies susceptibles de bénéficier, à terme, à l'ensemble du nautisme, y compris à la plaisance. La section suivante revient ainsi sur ces projets complémentaires, dont les résultats pourraient enrichir durablement les approches en matière de navigation de plaisance responsable.

8 Les projets hors plaisance

À ce jour, dix structures ont été identifiées comme ayant mené ou participant actuellement à des projets d'éconavigation hors plaisance, comme le montre la Figure 3.

Parmi les trois grandes thématiques recensées, la propulsion et les énergies alternatives apparaît comme la plus représentée, avec six structures impliquées sur dix.

Sur le plan géographique, la répartition des structures reste relativement homogène, bien que la région Auvergne-Rhône-Alpes se distingue par la présence d'une concentration d'initiatives.

Ces observations suggèrent que certaines problématiques environnementales, telles que la propulsion propre ou hybride, constituent des enjeux transversaux, qui dépassent le seul cadre de la plaisance. Le fait que cette thématique émerge également dans le contexte de l'industrie navale ou d'autres formes de navigation renforce son caractère prioritaire dans la perspective d'une transition écologique maritime globale.

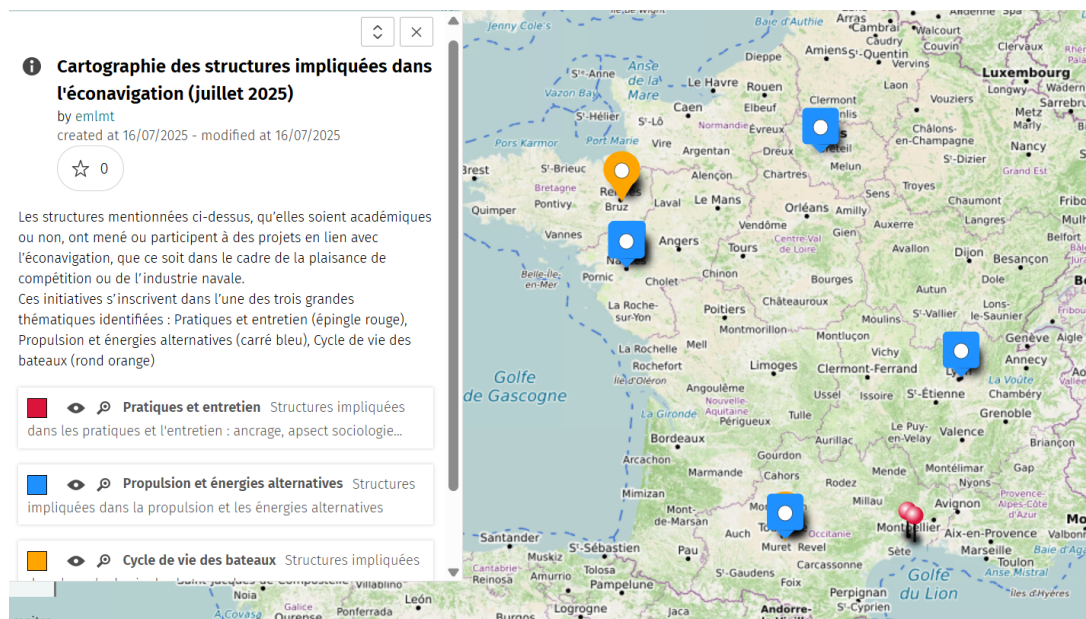


FIGURE 3 – Cartographie des structures françaises impliquées en éconavigation (juillet 2025)

9 Conclusion générale et perspectives

Ce travail, a permis d'établir pour la première fois une cartographie structurée du paysage de la recherche sur l'éconavigation en France. L'enquête a combiné l'identification des structures académiques actives, la collecte d'informations sur leurs effectifs et thématiques, ainsi qu'une analyse territoriale approfondie. Le taux de réponse relativement élevé (47%) révèle que les acteurs impliqués sont globalement sensibilisés et engagés sur les questions liées à l'éconavigation. Cela n'empêche pas que la mise en place d'un réseau national ou d'une plateforme dédiée pourrait renforcer la dynamique actuelle, en facilitant le partage de données, la mutualisation des compétences et la valorisation des initiatives existantes.

Les résultats montrent que la recherche en éconavigation est un domaine riche, dynamique, et en structuration, avec une évolution constante des champs d'intérêt. L'éconavigation de plaisance, bien qu'ayant servi de point d'entrée à l'étude, s'inscrit désormais dans un cadre plus large, où les frontières entre plaisance, compétition et transport professionnel tendent à s'estomper. Cette évolution traduit une prise en compte croissante des enjeux transversaux : réduction de l'empreinte environnementale, transition énergétique, éco-conception des navires et amélioration des pratiques d'entretien.

La diversité des acteurs engagés, tant en disciplines qu'en régions, témoigne d'une mobilisation réelle. Néanmoins, certains sujets majeurs, comme la gestion de la fin de vie des bateaux, restent sous-explorés malgré leur urgence écologique.

Les analyses thématiques montrent que l'ensemble des thématiques abordées sont perçues comme essentielles dans le champ de la recherche en éconavigation, favorisant une approche interdisciplinaire mobilisant des expertises et compétences variées..

L'éconavigation apparaît ainsi comme un champ à la croisée de défis environnementaux, techniques, économiques et sociaux. Cela impose des approches transdisciplinaires et systémiques, comme en témoignent certains projets emblématiques mobilisant des compétences variées autour

d'objets d'étude communs. Ces démarches, encore rares, sont pourtant indispensables pour appréhender la complexité des enjeux.

L'ouverture internationale représente un levier d'enrichissement scientifique et technique. Des coopérations, notamment transatlantiques, permettent d'élargir la portée des recherches, de tester les innovations dans divers contextes et de renforcer l'ancrage de la recherche française dans les réseaux mondiaux de la transition maritime.

Enfin, les disparités territoriales mises en lumière ne s'expliquent pas uniquement par la présence d'un littoral ou la densité des acteurs, mais aussi par des dynamiques locales liées aux filières, aux politiques publiques et à la capacité de mobilisation des financements. Ces différences soulèvent la question de l'égalité d'accès aux opportunités de recherche et appellent des mesures d'accompagnement spécifiques pour les territoires moins engagés.

Ce travail constitue une base solide pour la structuration d'un réseau national des acteurs de la recherche en éconavigation. Une telle dynamique pourrait renforcer la coordination, faciliter les échanges entre équipes, valoriser les complémentarités et accroître la visibilité des initiatives. Ces perspectives sont essentielles pour construire une recherche cohérente, intégrée et capable de répondre aux défis majeurs de la transition maritime.

10 Bibliographie éconavigation

10.1 Cycle de vie des bateaux

Aoujdad, K., Ba, E. A., Marechal, P., Leduc, D., Vivet, A., et al. (2024, February). Mechanical and ultrasound characterizations of aging of blade materials in marine environment. 5th International Conference on Materials Science and Engineering Technology, Singapour, Singapore.

Bel Haj Frej, H., Léger, R., Perrin, D., Ienny, P., Gérard, P., et al. (2021). Recovery and reuse of carbon fibre and acrylic resin from thermoplastic composites used in marine application. *Resources, Conservation and Recycling*, 173, 105705. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105705>

Bel Haj Frej, H., Léger, R., Perrin, D., & Ienny, P. (2021). Effect of aging temperature on a thermoset-like novel acrylic thermoplastic composite for marine vessels. *Journal of Composite Materials*, 55(19), 002199832199678. <https://doi.org/10.1177/0021998321996780>

Bel Haj Frej, H., Léger, R., Perrin, D., & Ienny, P. (2021). A novel thermoplastic composite for marine applications : Comparison of the effects of aging on mechanical properties and diffusion mechanisms. *Applied Composite Materials*, 28, 899–922. <https://doi.org/10.1007/s10443-021-09903-0>

Bourmaud, A., Shah, D., Beaugrand, J., & Dhakal, H. (2020). Property changes in plant fibres during the processing of bio-based composites. *Industrial Crops and Products*, 154, 112705. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112705>

Chamley, A., Baley, C., Gayet, N., Sarrazin, J., Fuchs, S., Freyermouth, F., & Davies, P. (2024). (Bio)degradation of biopolymer and biocomposite in deep-sea environments. *Marine Pollution Bulletin*, 209, 117230. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.117230>

Chamley, A., Troalen, W., Baley, C., Gué, L. L., Freyermouth, F., & Davies, P. (2025). Rayon fibre rope : A biodegradable alternative for marine use ? *Marine Pollution Bulletin*, 215, 117917. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.117917>

Chen, X., Pizzi, A., Essawy, H., Fredon, E., Gerardin, C., Guigo, N., & Sbirrazzuoli, N. (2021). Non-furanic humins-based non-isocyanate polyurethane (NIPU) thermoset wood adhesives. *Polymers*, 13(3), 372. <https://doi.org/10.3390/polym13030372>

Dhakal, H., Bourmaud, A., Berzin, F., Almansour, F., Zhang, Z., et al. (2018). Mechanical properties of leaf sheath date palm fibre waste biomass reinforced polycaprolactone (PCL) biocomposites. *Industrial Crops and Products*, 126, 394–402. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.10.044>

El Bitouri, Y., Fofana, B., Léger, R., Perrin, D., & Ienny, P. (2024). The effects of replacing sand with glass fiber-reinforced polymer (GFRP) waste on the mechanical properties of cement mortars. *Eng*, 5(1), 266–281. <https://doi.org/10.3390/eng5010014>

Pommier, R., Grimaud, G., Princaud, M., Perry, N., & Sonnemann, G. (2016). Comparative environmental life cycle assessment of materials in wooden boat ecodesign. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(2), 265–275. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-1009-1>

Salloum, J., Léger, R., Chebbo, H., Daridon, L., & Ienny, P. (2024). A new methodology for the mechanical behavior analysis of polyvinyl chloride and recycled polyethylene terephthalate foams : Finite element model updating using mechanical field measurements. *Journal of Sandwich Structures and Materials*, 26(1), 73–93. <https://doi.org/10.1177/10996362231203207>

Sangregorio, A., Muralidhara, A., Guigo, N., Marlair, G., de Jong, E., & Sbirrazzuoli, N.

(2021). Natural fibre composites with furanic thermoset resins : Comparison between polyfurfuryl alcohol and humins from sugar conversion. *Composites Part C : Open Access*, 4, 100109. <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2021.100109>

Tellers, J., Guigo, N., & Sbirrazzuoli, N. (2021). A rigid plant oil-based thermoset with furfural-derived cross-linker CBDA. *Green Chemistry*, 23(1), 536–547. <https://doi.org/10.1039/D0GC04323K>

Tellers, J., Jamali, M., Willems, P., Tjeerdsma, B., Guigo, N., & Sbirrazzuoli, N. (2021). Cross-linking behavior of eutectic hardeners from natural acid mixtures. *Green Chemistry*, 23(2), 536–547. <https://doi.org/10.1039/D0GC04323K>

Vivet, A., Tossou, E., Gehring, F., & Mareschal, O. (2021). An approach of modelling of the compaction of flax-carbon hybrid stack preforms. 24th International Conference on Material Forming ESAFORM 2021. <https://doi.org/10.25518/esaform21.3706>

10.2 Propulsion et énergies alternatives

Aitakkache, M., Enrici, P., Matt, D., Boubaker, N., & Piscini, L. (2022). Concept, feasibility of cylindrical bar winding for low voltage permanent magnet synchronous motor. *Energies*, 15(4), 1507. <https://doi.org/10.3390/en15041507>

Caplier, C., Rousseaux, G., Callaud, D., & David, L. (2019). Effects of finite water depth and lateral confinement on ships wakes and resistance. *Journal of Hydrodynamics*. <https://doi.org/10.1007/s42241-019-0054-9>

Enrici, P., Aitakkache, M., Matt, D., Elwati, J., & Hénaux, C. (2024). Concentrated winding by quarter for electric boat. *Electrimacs 2024*, Castelló de la Plana, Spain. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-04987986>

Guiet, A., Simonin, A., Bemana, H., Al-Mahayni, H., Li, J., et al. (2023). Reversible transition of an amorphous Cu-Al oxyfluoride into a highly active electrocatalyst for NO reduction to NH₃. *Chem Catalysis*, 3(5), 100595. <https://doi.org/10.1016/j.checat.2023.100595>

Heredia, V., Gonçalves, O., Marchal, L., & Pruvost, J. (2021). Producing energy-rich microalgae biomass for liquid biofuels : Influence of strain selection and culture conditions. *Energies*, 14(5), 1246. <https://doi.org/10.3390/en14051246>

Mariani, A., Foucher, F., Minale, M., Masurier, J.-B., Unich, A., et al. (2024). An experimental study on the impact of hydrogen and carbon dioxide addition to methane on a HCCI engine performance and emissions. *International Journal of Hydrogen Energy*, 90, 1411–1423. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.09.446>

Moutel, B., André, M., Kucma, D., Legrand, J., Grizeau, D., et al. (2015). Assessing the biofuel production potential of *Botryococcus braunii* strains by sensitive rapid qualitative chemotyping using chemometrically-assisted gas chromatography–mass spectrometry. *Algal Research*, 11, 33–42. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2015.05.001>

Moutel, B., Gonçalves, O., Le Grand, F., Long, M., Soudant, P., et al. (2016). Development of a screening procedure for the characterization of *Botryococcus braunii* strains for biofuel application. *Process Biochemistry*, 51(11), 1855–1865. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2016.05.002>

Shrestha, K. P., Giri, B. R., Pelé, R., Aljohani, K., Bréquigny, P., et al. (2025). A comprehensive chemical kinetic modeling and experimental study of NH₃/methanol/ethanol combustion towards net-zero CO emissions. *Combustion and Flame*, 274, 113954. <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2024.113954>

Villenave, N., Bréquigny, P., & Foucher, F. (2024, April). An initial step in the experimental characterization of ultra-lean hydrogen/air turbulent spherical flames for internal combustion engine applications. 3rd Low Carbon Combustion Meeting, Nancy, France. <https://hal.science/hal-04575942>

10.3 Les pratiques et l'entretien

Adouane, E., Hubas, C., Leblanc, C., Lami, R., & Prado, S. (2025). Multi-omics analysis of the correlation between surface microbiome and metabolome in *Saccharina latissima* (Laminariales, Phaeophyceae). *FEMS Microbiology Ecology*, 101(3), fae160.

Adouane, E., Mercier, C., Mamelie, J., Willocquet, E., Intertaglia, L., Burgunter-Delamare, B.,...Prado, S. (2024). Importance of quorum sensing crosstalk in the brown alga *Saccharina latissima* epimicrobiome. *iScience*, 27(3).

Arsenie, L. V., Bangoura, M. A., Ramonda, M., Merindol, R., Hespel, L., et al. (2025). Photo-switchable polyoxazoline additive for marine fouling release silicone coatings. *Progress in Organic Coatings*, 200, 109096. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2025.109096>

Azemar, F., Faÿ, F., Réhel, K., & Linossier, I. (2015). Development of hybrid antifouling paints. *Progress in Organic Coatings*, 87, 10–19. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2015.04.001>

Faÿ, F., Champion, M., Guennec, A., Moppert, X., Simon-Colin, C., & Elie, M. (2023). Bio-based anti-adhesive marine coatings from polyhydroxyalkanoates and polysaccharides. *Coatings*, 13, 766. <https://doi.org/10.3390/coatings13040766>

Faÿ, F., Gouessan, M., Linossier, I., & Réhel, K. (2019). Additives for efficient biodegradable antifouling paints. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(361). <https://doi.org/10.3390/ijms20020361>

Fiorini Baldissera, A., Leite De Miranda, K., Bressy, C., Martin, C., Margaillan, A., & Ferreira, C. A. (n.d.). Using conducting polymers as active agents for marine antifouling paints.

Gevaux, L., Lejars, M., Margaillan, A., Briand, J.-F., Bunet, R., & al. (2019). Hydrolyzable additive-based silicone elastomers : A new approach for antifouling coatings. *Polymers*, 11(2), 305. <https://doi.org/10.3390/polym11020305>

Guenneec, A., Brelle, L., Balnois, E., Linossier, I., Renard, E., Langlois, V., Faÿ, F., Chen, G. Q., Simon-Colin, C., & Vallée-Réhel, K. (2021). Antifouling properties of amphiphilic poly(3-hydroxyalkanoate) : An environmentally-friendly coating. *Biofouling*. <https://doi.org/10.1080/08927014.2021.19>

Hugues, C., Bressy, C., Bartolomeo, P., & Margaillan, A. (2003). Complexation of an acrylic resin by tertiary amines : Synthesis and characterisation of new binders for antifouling paints. *European Polymer Journal*, 39(2), 319–326. [https://doi.org/10.1016/S0014-3057\(02\)00222-7](https://doi.org/10.1016/S0014-3057(02)00222-7)

J.-F. Briand, A. Barani, C. Garnier, K. Réhel, F. Urvois, C. Le Poupon, A. Bouchez, D. Debroas, C. Bressy. (2017). Spatio-temporal variations of marine biofilm communities colonizing artificial substrates including antifouling coatings in contrasted French coastal environments. *Microbial Ecology*, 74, 585–598. <https://doi.org/10.1007/s00248-017-0966-2>

Lami, R. (2022). Comment conduire la lutte antifouling de manière durable et écologique ? Un enjeu majeur pour l'avenir des océans. In 30 questions sur l'océan : La Sorbonne et la mer. Editions Sorbonne Université.

Lagerström, M., Butschle, M., Larsson, A. I., Cachot, J., Dam-Johansen, K., Schackmann, M., & Le Bihanic, F. (2025). Investigation of critical copper release rates for dose optimization of anti-

fouling coatings. *Progress in Organic Coatings*. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2024.108928>

Loriot, M., Linossier, I., Vallée-Réhel, K., & Faÿ, F. (2017). Influence of biodegradable polymer properties on antifouling paints activity. *Polymers*, 9, 36. <https://doi.org/10.3390/polym9020036>

Marceaux, S., Bressy, C., Perrin, F.-X., Martin, C., & Margaillan, A. (2014). Development of polyorganosilazane–silicone marine coatings. *Progress in Organic Coatings*, 77(11), 1919–1928. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2014.06.020>

Marceaux, S., Martin, C., Margaillan, A., & Bressy, C. (2018). Effects of accelerated ageing conditions on the mechanism of chemically-active antifouling coatings. *Progress in Organic Coatings*, 125, 257–265. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2018.09.004>

Vallet, M., Chong, Y. M., Tourneroché, A., Genta-Jouve, G., Hubas, C., Lami, R., . . . Prado, S. (2020). Novel α -hydroxy γ -butenolides of kelp endophytes disrupt bacterial cell-to-cell signaling. *Frontiers in Marine Science*, 7, 601.

11 Bibliographie

CRUPI, V., EPASTO, G., NAPOLITANO, F., PALOMBA, G., PAPA, I., & RUSSO, P. (2023). Green Composites for Maritime Engineering: A Review. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(3), 599. <https://doi.org/10.3390/jmse11030599>

DELOITTE DÉVELOPPEMENT DURABLE. (2016). Etude préalable à la mise en place de la filière de collecte et de traitement des navires de plaisance ou de sport hors d’usage.

DI FRANCO, E., PIERSON, P., DI IORIO, L., CALÒ, A., COTTALORDA, J., DERIJARD, B., DI FRANCO, A., GALVÉ, A., GUIBBOLINI, M., LEBRUN, J., MICHELI, F., PRIOUZEAU, F., RISSO-DE FAVERNEY, C., ROSSI, F., SABOURAULT, C., SPENNATO, G., VERRANDO, P., & GUIDETTI, P. (2020). Effects of marine noise pollution on Mediterranean fishes and invertebrates: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 159, 111450. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111450>

DIRECTION DES AFFAIRES MARITIMES. (2024). *La plaisance en quelques chiffres* (rapp. tech.).

EL HAWARY, O., BOCCARUSSO, L., ANSELL, M. P., DURANTE, M., & PINTO, F. (2023). An Overview of Natural Fiber Composites for Marine Applications. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(5), 1076. <https://doi.org/10.3390/jmse11051076>

MAHMOODI, A., SHI, X., & UNIVERSITY, W. S. (2023). Toxicological Effects of Antifouling Agents on Non-target Marine Species.

MOREAU, R., JANSEN, P., HARTMUT, M., & WITTAMORE, K. (2009). *Nautical activities: what impact on the environment? a life cycle approach for “clear blue” boating* (rapp. tech.). The European Confederation of Nautical Industries.

MULLER-KARANASSOS, C., ARUNDEL, W., LINDEQUE, P. K., VANCE, T., TURNER, A., & COLE, M. (2021). Environmental concentrations of antifouling paint particles are toxic to sediment-dwelling invertebrates. *Environmental Pollution*, 268, 115754. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115754>

PENG, C., ZHAO, X., & LIU, G. (2015). Noise in the Sea and Its Impacts on Marine Organisms. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(10), 12304–12323. <https://doi.org/10.3390/ijerph121012304>

- SILVA, E., FERREIRA, O., RAMALHO, P., AZEVEDO, N., BAYÓN, R., IGARTUA, A., BORDADO, J., & CALHORDA, M. (2019). Eco-friendly non-biocide-release coatings for marine biofouling prevention. *Science of The Total Environment*, 650, 2499-2511. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.010>
- TURNER, A. (2021). Paint particles in the marine environment: An overlooked component of microplastics. *Water Research X*, 12, 100110. <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2021.100110>

Glossaire

antifouling Traitements pour empêcher le fouling. 5, 7, 8, 19, 25, 38

biocide Substance chimique destinée à détruire des organismes nuisibles. 7, 8, 19

composites Matériaux formés de plusieurs composants aux propriétés complémentaires. 5–7, 18, 25

décarbonation Réduction ou élimination des émissions de dioxyde de carbone (CO). 38

eaux grises Eaux usées provenant des lavabos, douches ou éviers. 8

fibres Filament fin et allongé, naturel ou synthétique, utilisé notamment dans les matériaux composites. 7, 18

fouling Accumulation d'organismes marins sur les coques, et traitements pour les empêcher. 8

moteurs hors-bord Moteur fixé à l'extérieur de la coque, souvent à l'arrière du bateau. 6

moteurs in-bord Moteur marin intégré à la coque du bateau, utilisé pour la propulsion. 6

polymères thermoplastiques Polymère qui devient malléable à la chaleur et peut être remodelé. 7

résine époxy Polymère thermodurcissable utilisé comme colle ou matériau de construction. 7

A Annexes

Mots Clés	Structures
Inboard marine engine	
Outboard marine engine	
Four-stroke marine engines	
Internal combustion marine engines	PRISME, LHEEA, FEMTO-ST
Electric boat motor	IES, IMS
Marine electric propulsion	GREAH, IREENA, L2EP, IRENAV, LBMS
Brushless marine motor	
Hybrid marine propulsion system	GREAH, IREENA
Hybrid boat propulsion	GREAH, IRENAV, IREENA
Sail propulsion	
Wind-powered sailing propulsion	CReA
Sail marine propulsion	DAEP, IRENAV, LHEEA
Integrated marine propulsion system	
Marine lithium battery	GREAH, IMN, LHys, DEHT, IREENA, GEMS

Mots clés	Structures
Energy regeneration marine	
Marine energy management system	LUSAC, LBMS, IRENAV, IRDL, Lab STICC, LHEEA
Solar energy boat	
Marine wind energy system boat	LISMMA
Marine hydrogen propulsion	LHEEA
Fuel consumption boat	GREAH, IRENAV, IRDL, IMS, Institut P'
Operational range of boats	
Emissions boat	I2M, GREEN
Marine propulsion efficiency	IREENA, IRENAV
Noise pollution boat	
Engine noise underwater	AMURE
Onboard wind turbine	
Marine hydrogen generation	LUSAC, FEMTO-ST
Marine fuel cell systems	ICGM
Marine biofuel	LBE
Synthetic marine fuel	
Renewable marine fuel	LSPM, LBE
Hydrofoil boats	
Electric sailboat	Lab STICC, IRCCyn
Solar-powered boats	ENSTA
Pleasure sailing	
Boat ecodesign	I2M
Aging boat	IRDL
Marine biodegradation	IPREM
Bio-based materials boat	
Flax fiber marine	IRDL, FEMTO-ST
Hemp fiber marine	FEMTO-ST
Carbon fiber marine	I2M, IRDL, Mines Alès, RDT, ICCF
Bio composite marine	RDT, LAMPA, Ales, LGP, IPREM
Durability of marine materials	RDT, IFSTTAR, GeM, LBMS
Repairability marine components	
Waste management boat	LGIPM
Clean marine industrial processes	
Circular economy marine industry	
Environmental ISO standards boat	I2M
Component recyclability marine	
Modular systems marine	IRENAV
Eco-responsible marine maintenance center	

Mots clés	Structures
Boat deconstruction	
Marine material recovery	
Marine recycling chain	
Clean dismantling boats	
Recycled composites for marine use	LMGC
Boat waste treatment	
Eco-label for boats	
Nautical low-emission zones	
Conception boat	I2M
Sandwich material marine	Institut P', RDT, IRDL, I2M, LMGC, LOMC
Eco-friendly antifouling	MIO, MAPIEM, LBCM
Antifouling paint	LBCM, MAPIEM, LEMAR, IMMM, ICM
Hard matrix antifouling	
Erodible matrix antifouling	MAPIEM
Non-toxic antifouling coatings	BEEP, CRIIBE, MAPIEM, LBCM
Marine biocide	ESE
Careening operations	
Silicone-based coatings	UMET, CIRMAP, IMP, MAPIEM
Epoxy resins in marine maintenance	
Biodegradable marine paints	LBCM
Chemical pollution boat	IRDL, LBE
Copper leaching antifouling paints	
Zinc release in marine coatings	
Eco-friendly paint stripping	
Non-stick marine coatings	
Waste sorting port	
Solid waste management port	
Dockside waste collection	
Used oil boat	
Marine used battery	
Used bulb boat	
Hazardous marine waste	
Greywater boats	
Blackwater boats	
Marine waste compactors	
Eco-friendly port	
Biodegradable marine oil	
Air filters boat	Lab STICC
Diesel filters boat	
Decarbonization boat	

Mots clés	Structures
Eco-friendly boat cleaners	
Biodegradable detergents boat	
Phosphate-free cleaning products boat	
Rainwater cleaning for boats	
Pleasure boat waste	
Green products boat	
Swill boat	
Green antifouling	LEMAR, MAPIEM, IEM, ICGM, LBCM
Seagrass boat	IFREMER, BOREA, Andromède Océanologie
Marine protected areas boat	LEADNC, CEFE, LGO
Sustainable nautical activities	
Technologie boat	LTeN, UTINAM

Résumé/Abstract

Face à l'impact croissant de la navigation de plaisance sur les écosystèmes marins et littoraux, l'éconavigation émerge comme une réponse intégrée pour réduire l'empreinte environnementale du nautisme. Portée notamment par l'Office Français de la Biodiversité à travers le programme *Éconaviguer dans les eaux françaises*, cette approche vise à promouvoir des pratiques durables, des innovations technologiques et une meilleure gestion des pollutions liées aux bateaux de plaisance.

Dans ce contexte, ce travail propose un état des lieux de la recherche académique en France sur l'éconavigation de plaisance. L'étude repose sur deux axes : l'identification des structures académiques impliquées et le recensement des projets en cours. Trois thématiques majeures structurent l'analyse : la propulsion et les énergies alternatives, le cycle de vie des bateaux, et les pratiques et l'entretien des bateaux. Ces thématiques couvrent l'ensemble du cycle de vie d'un bateau et permettent d'aborder les enjeux de manière systémique et interdisciplinaire.

L'analyse révèle une dynamique de recherche en structuration, marquée par une forte mobilisation sur la propulsion et la décarbonation, mais un investissement encore limité sur les pratiques d'entretien. Des disparités régionales sont également observées, liées à la structuration des filières locales et à l'accès aux financements. Le faible taux de réponse des structures sollicitées (17,56%) souligne un manque de coordination à l'échelle nationale.

Ce travail met en évidence la nécessité de consolider les efforts en créant un réseau national des acteurs académiques de l'éconavigation. Une telle mise en relation favoriserait le partage des connaissances, la mutualisation des compétences et l'émergence de projets structurants autour du nautisme en France.

Faced with the growing impact of recreational boating on marine and coastal ecosystems, eco-navigation is emerging as an integrated solution to reduce the environmental footprint of boating. Supported by the French Office for Biodiversity through the program *Éconaviguer dans les eaux françaises*, this approach promotes sustainable practices, technological innovations, and better pollution management linked to recreational boats.

In this context, this study presents an overview of academic research in France on eco-navigation. The work is based on two main goals : identifying the academic institutions involved and listing current projects. The analysis focuses on three main topics : propulsion and alternative energies, the life cycle of boats, and boating practices and maintenance. These topics cover the full life cycle of a boat and allow a global and interdisciplinary approach.

The analysis shows that research is becoming more organized. There is strong interest in propulsion and decarbonization, but fewer studies focus on maintenance practices. Regional differences also exist, linked to local industries and funding opportunities. The low response rate from institutions (17.56%) shows a lack of national coordination.

This study highlights the need to strengthen collaboration by creating a national network of academic actors in eco-navigation. Such a network would help share knowledge, combine skills, and support important projects in the boating sector in France.

Mots clés : éconavigation, navigation de plaisance, recherche académique, propulsion marine, cycle de vie des bateaux, peintures antifouling