

Feuille de Route SmartShip

« Bateaux intelligents et système autonomes »

- Pilote : EXAIL – Alain FIDANI
- Co-pilote : Pôle Mer Méditerranée – Pierre MARLINGE
- Coordination : Comité R&D



Mise à jour en 2025

Table des matières

1. Contexte et enjeux de la feuille de route SmartShip	2
1.1 – Enjeux emplois et Chiffres clés du marché du SmartShip	2
1.2 – Enjeux technologiques et enjeux de souveraineté	3
1.3 – Enjeux sur la réduction d'impact environnemental et sur la sécurité du transport	3
2. Périmètre de la feuille de route « SmartShip »	3
3. Contenu technologique de la feuille de route « Smartship »	5
3.1 – Technologies associées au navire digitalisé	6
3.2 – Technologies associées au navire connecté	7
3.3 – Technologies associées au navire augmenté	9
3.4 – Technologies associées aux engins maritimes sans équipage	10
4. Liens entre SmartShip et les autres feuilles de route de la filière	16
4.1 – Transversalités avec la feuille de route GreenShip	16
4.2 – Transversalités avec la feuille de route SmartYard	17
4.3 – Transversalités avec la feuille de route Next Gen Offshore Industry	17
4.4 – Transversalités avec la feuille de route SSEM	17
5. Pilotage et participants, indicateurs de performance	18

Note : version mise à jour en 2025 : révision obtenue à partir d'entretiens réalisés par le Pôle Mer Méditerranée auprès d'acteurs représentatifs de la filière et le soutien d'EXAIL. Nous remercions l'ensemble de ces contributeurs, et plus particulièrement : Bureau Veritas, CMA CGM, l'ENSM, EXAIL, Grand Large Yachting, IQANTO, Naval Group et SEAOWL, ainsi que le Pôle Mer Bretagne-Atlantique.

La feuille de route, initialement structurée autour de trois thématiques principales — Jumeau Numérique, Marin Augmenté et Navire Autonome, a été réorganisée en quatre grands axes. Ces axes couvrent l'évolution progressive du navire, allant du navire digitalisé aux Navires Autonomes et aux drones, en intégrant les niveaux intermédiaires du navire connecté et du navire augmenté. Cette nouvelle répartition préserve l'ensemble des technologies associées aux thématiques initiales, tout en offrant une vision plus structurée et cohérente.

1. Contexte et enjeux de la feuille de route SmartShip

Le changement climatique impose une action urgente pour réduire l'impact de nos industries, et le secteur maritime n'échappe pas à cette exigence. Avec l'intensification du trafic sur les voies maritimes et l'essor des activités offshore, des formes variées de coactivité émergent. Le métier de marin, dont les conditions de travail ont été mises en lumière lors de la pandémie de COVID-19, doit évoluer pour préserver son attractivité.

La Feuille de Route « SmartShip » s'appuie sur les avancées numériques les plus récentes pour transformer les navires, et les drones maritimes en des outils plus sûrs et plus efficaces, économes en énergie et respectueux de l'environnement. Elle ambitionne de positionner ces « plateformes » au centre du processus de digitalisation des océans, de les moderniser, en cohérence avec les autres usagers, qu'ils soient en mer ou à terre.

Grâce à SmartShip, la filière maritime française renforcera sa compétitivité à l'échelle internationale. Il est à noter que les drones maritimes seront un des points clés pour la renforcer, et que les cas d'usage sur lesquels ils deviennent aujourd'hui de plus en plus pertinents embrassent les grands métamorphoses en cours, à savoir le changement climatique (besoin de connaissances environnementales, de surveillance, ...), la transition énergétique (besoin pour les industries de travaux offshore : EMR, câbles électriques et de communication, ...), le nouvel ordre mondial et les enjeux de souveraineté associés (besoins dans les secteurs de la Défense et de la Sécurité).

1.1 – Enjeux emplois et Chiffres clés du marché du SmartShip

Il est difficile d'estimer finement ce que représente la part de la composante SmartShip isolée dans les chiffres clés de la filière (CA 35Mds€ dont 50% à l'export / 120 000 emplois directs¹), d'autant que le digital contribue, et contribuera de plus en plus, aux autres feuilles de route de la filière (GreenShip, SmartYard, Next Gen Offshore Industry & Sécurité – Sûreté – Environnement maritime).

L'OCDE² estime que les secteurs reliés à la Filière des Industriels de la Mer (construction/réparation navale et équipements maritimes, énergie marines renouvelables, offshore pétrolier) représentaient, en 2010, 49% de l'économie maritime globale, qui elle-même va doubler, passer de \$1500 Mds à plus de \$3000 Mds, entre 2010 et 2030. Sur la base de ces données, et sur d'autres études de marché³, on peut estimer la valeur du marché des technologies du SmartShip en 2030 entre 10 et 30 Md\$/an, ce qui pourrait représenter pour la France entre 40 000 et 80 000 emplois, dont 5 000 à 10 000 créations nettes, et de nombreux métiers totalement renouvelés, voire nouveaux⁴.

L'objectif de cette feuille de route technologique est de favoriser la création nette de 2000 emplois minimum à horizon 2030.

Par ailleurs, si certains métiers de la mer sont perçus comme peu attractifs par la jeune génération, les navires intelligents, digitalisés, autonomes ou téléopérés, seront des objets de haute technologie qui permettront aux marins de travailler dans des conditions de sécurité renforcées, de bénéficier des meilleurs outils pour limiter le stress et la fatigue, voire de contrôler et de surveiller les navires depuis la terre.

¹ Conseil National de l'industrie / comités stratégiques de filière, mis à jour en 2024

² The Ocean Economy in 2030, OCDE – 2016

³ TRADE 2.0 Report "How startups are driving the next generation of maritime trade," INMARSAT - 2019 – "the value of Ship Technology (ShipTech) will rise to US\$278bn by 2030."

⁴ EMERGING TECHNOLOGIES' IMPACT ON SOCIETY & WORK IN 2030, DELL & Institute for the future – 2017 - "85% of the jobs in 2030 haven't been invented yet."

1.2 – Enjeux technologiques et enjeux de souveraineté

Les enjeux de cette feuille de route sont d'accroître l'attractivité de l'offre française permettant de **créer de nouveaux produits et services générateurs d'emplois et de richesses** pour la filière et de développer des **nouveaux usages et de nouvelles activités** bénéfiques à la filière et aux clients associés.

Avec des impacts positifs attendus en premier lieu sur l'efficacité énergétique et l'efficacité des opérations, les coûts de maintenance, mais aussi sur la réglementation, la standardisation, la formation des équipages, les primes d'assurance grâce à la diminution des risques, SmartShip contribue ainsi à positionner la filière française sur des segments de marché à haute valeur ajoutée en conservant et en amplifiant l'avance technologique française pour gagner des parts de marché.

La transversalité et la dualité civil-défense des technologies sont très fortes dans le secteur du SmartShip, et de nombreux acteurs industriels français sont présents sur les 2 segments de marché. La place de la France et de l'industrie française dans le monde, est directement liée aux enjeux R&D de la feuille de route SmartShip – c'est un enjeu de souveraineté, de relocalisation et de résilience industrielle pour la France, 2nd domaine maritime et 1er domaine sous-marin au monde⁵ !

1.3 – Enjeux sur la réduction d'impact environnemental et sur la sécurité du transport

Les liens entre le GreenShip (navire moins polluant et moins impactant) et le SmartShip (navire intelligent, connecté, plus sûr) sont étroits : pour être plus « Green » un navire doit obligatoirement être plus « Smart ».

Cette relation Green-Smart s'illustre notamment dans l'efficacité opérationnelle – les navires plus digitaux et plus connectés, sont plus performants, optimisés pour leurs missions mais aussi plus sûrs et beaucoup moins impactants pour l'environnement. Quelques exemples sont donnés au chapitre 4.1 « transversalités avec la feuille de route GreenShip ». Enfin les drones maritimes et les MASS (**M**aritime **A**utonomous **S**urface **S**hip) joueront un rôle important dans la décarbonation :

- **Optimisation des opérations maritimes** : Les drones permettent une meilleure surveillance des océans (détection de pollutions, monitoring des énergies marines renouvelables, suivi des stocks halieutiques) et évitent le déploiement systématique de grands navires énergivores.
- **Réduction des risques environnementaux** : L'automatisation permet d'optimiser les trajets et la gestion des ressources, limitant ainsi l'impact écologique des activités humaines en mer.
- **L'absence d'équipage** supprime les dépenses énergétiques « hôtelières » liées à la présence humaine.

2. Périmètre de la feuille de route « SmartShip »

SmartShip a pour ambition d'installer la révolution numérique à bord du navire avec une déclinaison sur les cinq marines suivantes : militaire, marchande y compris flotte pour les travaux offshore, scientifique, pêche et plaisance. En effet, en anticipant, en participant, et en ayant la maîtrise de ces

⁵ Le domaine maritime sous-marin français a été étendu officiellement de près de 150 000 km² dans l'océan Indien à la suite de la publication de deux décrets au Journal officiel en Fév. 2021. Le plateau continental de la France a été ainsi porté à une surface de 730 000 km², qui s'ajoutent aux 10,2 millions de km² d'eaux sous souveraineté (eaux intérieures et mer territoriale) ou sous juridictions (zone économique exclusive, ZEE) françaises.

technologies digitales, la France pourra se doter d'une industrie navale forte, avec à la clé, la création d'emplois hautement qualifiés, en mer comme à terre.

L'objectif de SmartShip est de mettre à profit les nouvelles technologies de l'information (digitalisation, intelligence artificielle, big data, automatisation, virtualisation, IoT, connectivité) pour développer des navires et des drones plus intelligents et autonomes, plus performants, plus économes, moins impactant en termes d'empreinte environnementale et plus sûrs ; grâce à une approche fédératrice sur l'ensemble du cycle de vie.

Il s'agit de favoriser :

- L'émergence de nouveaux produits et services (ex : aides à la conduite des opérations)
- La sécurité et la sûreté
- L'efficacité opérationnelle (disponibilité opérationnelle, cout d'exploitation réduit, maintenance, fonctionnement, autonomisation, confort, performances...)
- La réduction de l'empreinte environnementale

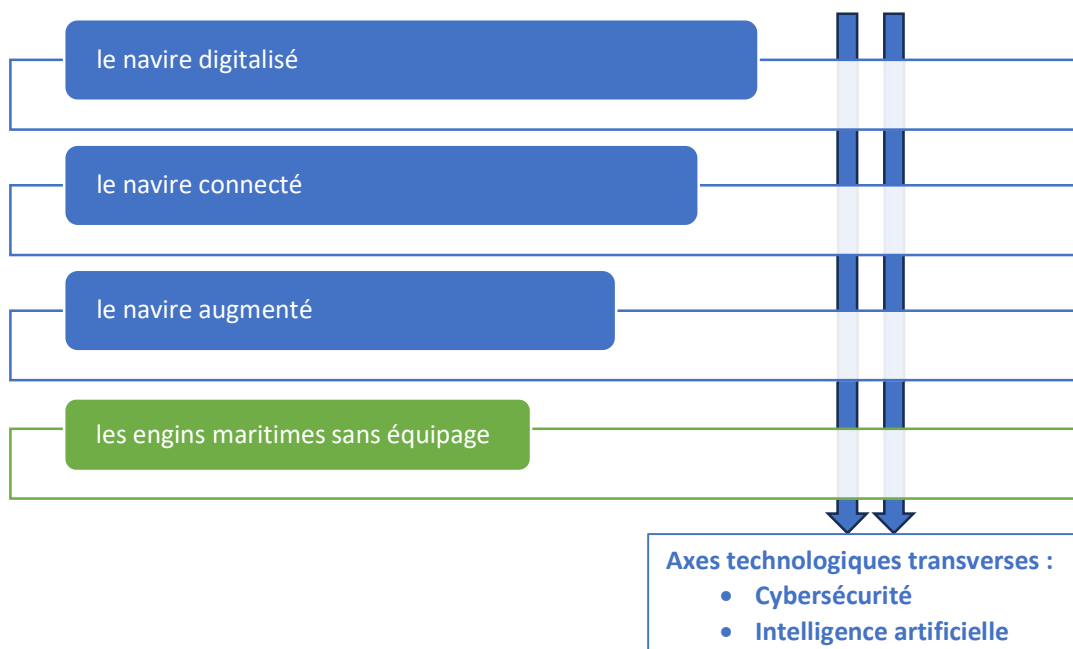
La feuille de route technologique « SmartShip » est construite autour de quatre thèmes principaux :

- 1) Le navire digitalisé,
- 2) Le navire connecté,
- 3) Le navire augmenté,
- 4) Les engins maritimes sans équipage.

Ces quatre thèmes permettent d'embrasser deux grandes catégories d'objets :

- Les **navires** « classiques », couverts par les trois premiers thèmes : c'est à dire les navires avec équipage qui forment la grande majorité des cinq marines citées précédemment.
- Les « **navires autonomes** » et les « **drones maritimes** », couverts par le quatrième thème. En particulier, les drones maritimes comprennent les engins de surface (USV) et les engins sous-marins (ROV, AUV, glider, etc...), à l'exception des drones aériens.

Remarque : les engins maritimes sont par conception des systèmes digitalisés, connectés, augmentés, présentant un niveau d'autonomie qui peut aller de la simple télé-opération depuis un centre de commande et de supervision à terre jusqu'à l'autonomie complète, en passant par des configurations intermédiaires où l'homme reste dans la boucle et supervise les opérations en fonction de leur criticité. Ils couvrent certains cas d'usage pour lesquels ils sont considérés comme pertinents (efficacité opérationnelle, éloignement du danger pour l'homme, réduction des impacts sur l'environnement, réduction des coûts, etc...) et socialement acceptables.



3. Contenu technologique de la feuille de route « Smartship »

Ci-après, les différentes technologies associées aux quatre thèmes principaux sont présentées.

3.1 – Technologies associées au navire digitalisé

Les plateformes maritimes par leurs équipements de bord, leurs moyens de propulsion et de navigation concentrent un certain nombre de systèmes d'information. Le navire digitalisé est la première brique du SmartShip. Elle comprend l'ensemble des moyens présents à bord, permettant d'acquérir, traiter, analyser et présenter de la donnée ; ces données venant alimenter le « **big data** » dont se nourrit l'**intelligence artificielle**.

Déjà fortement mature, cette « brique » peut encore gagner à progresser sur les domaines suivants :

1. Acquisition de données

- **Capteurs intelligents à faible consommation énergétique :**
 - Embarquer l'intelligence artificielle dans les capteurs pour **prétraiter les informations collectées** et ainsi optimiser les informations transmises (exemple : capteurs en mode veille se réveillant sur anomalie)
 - Développer des capteurs **minimisant leur consommation** d'énergie pour fonctionner sur de longues périodes, même dans des environnements contraints (peu d'espace, accès limité à des sources d'énergie).
 - Concevoir des **capteurs modulaires** pour une installation aisée, que ce soit lors de la construction du navire ou en refit.
- **Technologies de recharge intégrée** des capteurs embarqués :
 - Intégrer des technologies de recharge basées sur :
 - **Énergie photovoltaïque** pour une alimentation continue.
 - **Récupération d'énergie cinétique** (vibrations, mouvement).
 - **Thermique** (chaleur fatale) pour tirer parti des pertes énergétiques.
 - Utiliser des **batteries rechargeables compactes** adaptées aux environnements marins et sous-marins (notamment résistance à la pression).
- **Optimisation des protocoles d'échantillonnage :**
 - **Adapter les fréquences** de collecte de données pour réduire les besoins énergétiques et le volume de stockage des données, tout en maintenant une précision adaptée à chaque usage.
- **Pré-traitement local des données :**
 - Intégrer des **algorithmes embarqués** pour traiter et filtrer les données au niveau du capteur, permettant de conserver uniquement les informations pertinentes et ainsi réduire la quantité de données à transmettre.
 - Évaluer, dès la collecte, la qualité des données à partir des premières analyses et anticiper, si nécessaire, les besoins de **réacquisition**.

2. Fiabilisation des données acquises

- **Systèmes à capteurs multiples :** déployer plusieurs capteurs pour croiser et valider les données collectées, réduisant ainsi les risques d'erreurs ; Intégrer des méthodologies de fusion de données, notamment pour **renforcer la cohérence**.
- **Algorithmes de détection des incohérences :** développer des algorithmes capables d'identifier et de corriger automatiquement les anomalies ou incohérences dans les données captées.

- **Réutilisation des capteurs existants** : valoriser les capteurs déjà présents à bord pour des usages alternatifs, en exploitant leurs propriétés physiques au-delà de leurs applications initiales.

3. Développement et enrichissement des sets de données (Intelligence artificielle)

- **Création de modèles mathématiques et numériques** :
 - Construire des modèles capables de reproduire des environnements dynamiques basés sur les données collectées.
- **Enrichissement progressif des modèles** :
 - Incorporer les nouvelles données collectées pour affiner la précision des modèles au fil du temps.
- **Gestion de la donnée stockée** :
 - Développer des « **data center embarqués** » destinés à collecter et stocker des données (non connectées en temps réel) utilisables a posteriori au profit par exemple de l'optimisation du jumeau numérique.

4. Présentation de données

- **Visualisation immersive** :
 - Développer des outils immersifs (réalité augmentée ou virtuelle) permettant une visualisation en situation des données.
- **Interfaces adaptées aux non-experts** :
 - Réduire la complexité des outils pour permettre aux utilisateurs non techniques d'interagir efficacement avec les données.
- **Mise à jour en temps réel** :
 - Offrir un suivi automatisé et évolutif des informations, mis à jour en temps réel grâce aux données captées.
- **Algorithmes de priorisation** :
 - Intégrer des algorithmes intelligents pour hiérarchiser les messages critiques, tels que les alertes de sécurité ou les données urgentes et ainsi limiter l'impact sur l'équipage.
- **Traçabilité et maintenance** :
 - Garantir une traçabilité complète des opérations de maintenance grâce à des journaux automatiques ;
 - Développer des systèmes d'alertes en temps réel pour signaler les dysfonctionnements ou besoins d'intervention.

5. Machines virtuelles

Les évolutions rapides du hardware et du software informatique peuvent poser des questions d'évolutivité, d'interopérabilité, de compatibilité et de maintien de performances durant toute la durée de vie de la plateforme maritime. Le déploiement de machines virtuelles à bord peut permettre d'accompagner au mieux ces évolutions.

3.2 – Technologies associées au navire connecté

Deuxième volet du SmartShip, le navire connecté est vu comme une extension du navire digitalisé, qui positionne le navire au cœur de son écosystème. Il comprend les moyens de communication sécurisée haut-débit et/ou faible consommation nécessaires aux échanges entre navires (ou drones) et avec la terre.

Les axes suivants peuvent faire l'objet d'optimisations :

1. Communication

- **Gestion des bandes de fréquence :**
 - Optimiser l'utilisation des bandes de fréquences pour éviter les interférences, notamment dans des zones maritimes où le trafic est dense.
- **Réseaux maillés (mesh networks) :**
 - Déployer des réseaux maillés pour connecter efficacement les navires ou les drones au sein d'une flotte ou d'un essaim de drones.
- **Technologies d'antennes avancées :**
 - Développer des antennes compactes, robustes et adaptées aux environnements marins difficiles ; intégrer des antennes directionnelles pour optimiser la portée et la qualité du signal.
- **Radios VHF intelligentes :**
 - Développer des récepteurs/radios VHF capables de filtrer, analyser et prioriser les messages en fonction de leur importance.
- **Amélioration de la fiabilité :**
 - Étendre la portée des transmissions dans les zones éloignées ou encombrées grâce à des technologies de modulation avancées ;
 - Renforcer les systèmes existants pour garantir une communication stable même dans des conditions difficiles.
- **Sécurité des données :**
 - Intégrer des protocoles avancés pour protéger les données échangées contre les interceptions ou manipulations malveillantes ;
 - Déployer des solutions de chiffrement robustes pour sécuriser les transmissions en temps réel.
- **Protocole AIS évolué :**
 - Moderniser l'AIS pour inclure des capacités de transfert de données plus étendues, au-delà de la simple identification et localisation.

2. Communication avec la terre, en mer (Spatial)

- **Connectivité permanente :**
 - Garantir une connexion continue même dans les zones isolées grâce à des infrastructures spatiales et terrestres robustes.
- **Réduction des coûts du spatial :**
 - Développer des technologies réduisant le coût d'accès aux services satellitaires tout en maintenant une couverture globale.
- **Solutions hybrides :**
 - Intégrer des technologies hybrides combinant satellites, IoT, et systèmes radio pour répondre à des besoins variés (faible débit pour capteurs, haut débit pour vidéos ou internet).
- **Constellations de satellites en orbite basse (LEO) :**
 - Exploiter des constellations en orbite basse (ex : OneWeb, Starlink, ...) pour réduire la latence et élargir la couverture, notamment pour les communications critiques.
- **Systèmes combinés (Géostationnaire + LEO) :**
 - Concevoir des solutions hybrides tirant parti de la stabilité des satellites géostationnaires et de la latence réduite des LEO ;
 - Développer des antennes duales pour faciliter cette compatibilité.

5. Sécurisation des échanges / garantie de la véracité des informations

- **Traçabilité des échanges :**
 - Utiliser la blockchain pour tracer les informations échangées entre navires, ports et autres acteurs maritimes, garantissant leur authenticité.
- **Gestion transparente des données :**
 - Assurer une transparence totale pour les informations sensibles, telles que les positions, les alertes de sécurité ou les transactions logistiques.
- **Synchronisation en temps réel :**
 - Déployer des solutions pour garantir que tous les acteurs partagent une version cohérente et à jour des données échangées.
- **Optimisation énergétique :**
 - Développer des blockchains à faible consommation énergétique, adaptées à un environnement où l'efficacité est primordiale.

3.3 – Technologies associées au navire augmenté

Troisième niveau du SmartShip, le navire augmenté va au-delà de la simple communication avec l'extérieur. Il analyse et optimise, avec le soutien de l'extérieur, ses choix en matière de navigation, de planification et de maintenance, en s'adaptant aux conditions réelles et au trafic. Son développement repose sur les domaines technologiques suivants :

1. Développement de l'interconnexion terre-mer

- **Plateformes collaboratives connectées en temps réel :**
 - Développer des outils permettant le partage instantané d'informations entre la mer et la terre pour une prise de décision plus rapide et plus précise.
- **Centres de gestion de flottes (fleetcenter) :**
 - Collecter, analyser et restituer les données des navires sous forme d'analyses, conseils et orientations stratégiques.
 - Assurer un rôle de soutien sans remplacer la prise de décision humaine à bord.
- **Infrastructures résilientes :**
 - Garantir que les centres à terre fonctionnent en continu (24/7), y compris lors de situations critiques.
- **Jumeaux numériques :**
 - Créer des représentations numériques précises des navires et des drones pour visualiser, analyser et optimiser leurs opérations depuis la terre.
 - Intégrer ces jumeaux dans les outils de gestion des flottes.
 - Dynamiser ces jumeaux en les enrichissant en temps « quasi-réel » (cf. 3.1.3)
- **Simulateurs avancés :**
 - Améliorer les simulateurs terrestres pour fournir des conseils opérationnels basés sur des scénarii en temps réel.
- **Systèmes de réalité augmentée :**
 - Permettre des interactions enrichies entre les équipes à terre et en mer pour des interventions plus efficaces.

2. Guidage depuis la terre

- **Optimisation des itinéraires :**
 - Réduire les temps de trajet, la consommation de carburant, et les impacts environnementaux ;

- Intégrer des outils d'IA pour proposer des itinéraires adaptatifs en fonction des conditions météo et des réglementations locales.
- **Norme S-100 :**
 - Intégrer ces nouveaux standards dans les systèmes de navigation pour tirer parti de cartographies enrichies et standardisées ;
 - Automatiser les mises à jour des cartes électroniques avec des données en temps réel.
- **Monitoring écologique :**
 - Développer des systèmes permettant de suivre en temps réel les indicateurs de performance environnementale, comme les émissions de CO2 ou la consommation d'énergie.
- **Efficacité énergétique :**
 - Coordonner différentes sources d'énergie (carburants, batteries, énergies renouvelables) – lien avec la feuille de route GreenShip.
- **Gestion des opérations portuaires :**
 - Optimiser le chargement et le déchargement des marchandises pour réduire les délais et maximiser l'efficacité – lien avec le SmartPort pour synchroniser les opérations navire-port. Favoriser le « juste-à-temps » (just in time), en fiabilisant les durées de trajet estimées.

3. Maintenance depuis la terre

- **Maintenance prédictive :**
 - Assurer la surveillance proactive et continue via des systèmes connectés.
 - Encourager la transition de la maintenance préventive vers une maintenance prédictive grâce à des algorithmes d'apprentissage automatique et des analyses avancées.
 - Exploiter les données collectées à bord pour anticiper les défaillances avec précision.
 - Assurer un suivi de la flotte et transmettre les résultats à terre pour une meilleure anticipation.
- **Supervision à distance :**
 - Permettre aux équipes à terre de surveiller en continu l'état des systèmes critiques et d'intervenir en cas de besoin ;
 - Réduire les interventions d'urgence en mer grâce à une gestion optimisée des ressources.
- **Moyens robotisés :**
 - Intégrer des robots sous-marins et aériens (ROV, UAV,...) pour faciliter les inspections de zones difficiles ou dangereuses d'accès pour l'homme et ainsi permettre de réaliser ces opérations pendant les périodes de fonctionnement du navire (escales notamment) sans avoir à attendre les périodes de maintenance lourde (cale-sèche).

3.4 – Technologies associées aux engins maritimes sans équipage

Comme déjà indiqué précédemment, les engins maritimes sans équipage sont par conception des systèmes digitalisés, connectés, augmentés. De surcroît, ils présentent des capacités d'autonomie.

Dans cette catégorie, on trouve à la fois les navires autonomes et les drones maritimes.

S'ils s'appuient sur un socle technologique commun, ils présentent néanmoins des spécificités qui découlent principalement de leurs dimensions et de leurs vocations respectives. Leur utilisation est aussi régie à travers des cadres réglementaires différents (voir encadré ci-dessous).

Une distinction est faite ci-après entre les besoins technologiques et réglementaires des navires autonomes et des drones maritimes.

Préambule : bilan réglementaire

Le développement d'engins autonomes / téléopérés amenés à évoluer au cœur du plan d'eau et au milieu d'autres activités est une source légitime de prudence. Pour accompagner les évolutions technologiques et la fiabilisation des systèmes autonomes, le législateur a décidé d'offrir un cadre réglementaire à vitesses variables. Ainsi, a été introduite, au niveau français⁶, la **notion de drone maritime** :

« Tout engin flottant de surface ou sous-marin opéré à distance ou par ses propres systèmes d'exploitation qui remplit les conditions cumulatives suivantes :

- Ne pas avoir de personnel, de passager ou de fret à bord ;
- Avoir une longueur hors tout supérieure à 1 mètre mais inférieure à 16 mètres ;
- Avoir une vitesse maximale inférieure ou égale à 20 nœuds ;
- Avoir une énergie cinétique inférieure à 300 kJ ;
- Avoir une jauge brute inférieure à 100. »

Au-delà, on parle de **navire autonome**.

Les drones maritimes sont autorisés à évoluer en eaux territoriales françaises, après immatriculation auprès des services compétents, s'assurant notamment que le drone dispose des moyens et équipements de sécurité suffisants, et grâce au soutien de télépilotes ou superviseurs convenablement formés.

A un niveau plus large, un texte dérogatoire⁷ permet l'expérimentation de navires plus grands dans les eaux françaises.

Au niveau mondial, l'Organisation Maritime Internationale dispose d'un groupe de travail dédié sur la question des navires autonomes et réfléchit depuis de nombreuses années à la mise en place d'un cadre réglementaire compatible avec les grands principes et textes actuels. Le comité spécialisé dans la sécurité de l'OMI a rééchelonné le projet de code pour la réglementation des navires autonomes (MASS - Code for Maritime Autonomous Surface Ships). En matière de navigation internationale, il n'y a, pour le moment, pas de cadre réglementaire. La méthode de l'OMI est de d'abord travailler sur un code non-obligatoire qui devrait être finalisé en 2026. Celui-ci serait testé pendant deux ans pour établir, en 2028, un code obligatoire. L'OMI vise une adoption de ce dernier en 2030 pour une entrée en vigueur en 2032.

En termes d'autonomie un certain nombre de **degrés d'autonomie**⁸ ont été définis :

- 1) Aide à la décision pour les marins à bord. Certaines opérations sont automatisées, mais la reprise du contrôle par l'homme est possible à tout moment ;
- 2) Navire commandé à distance et présence de marins à bord. Possibilité de reprendre le contrôle à tout moment ;
- 3) Navire autonome ou drone maritime, sans marin à bord commandé à distance ;
- 4) Navire autonome ou drone maritime complètement autonome : prise de décision 100% confiée à la machine.

⁶ Voir l'ordonnance n°2021-1330 du 13 octobre 2021 et le décret n°2024-461 du 22 mai 2024

⁷ Voir l'arrêté du 20 mai 2020 relatif aux modalités d'expérimentation de la navigation des engins flottants maritimes autonomes ou commandés à distance

⁸ Proposition de l'OMI, voir notamment la page relative aux transports maritimes autonomes du site imo.org

1. Systèmes de communication & positionnement

- **Les problématiques propres aux drones maritimes sont les suivantes :**

Poursuivre les développements sur les technologies actuelles ou nouvelles, notamment pour atteindre des débits de communication plus importants et/ou étendre leur portée.

- **Communication acoustique :**
 - Développer des modulations avancées pour réduire la distorsion des signaux ;
 - Créer des réseaux maillés sous-marins pour augmenter la portée et la fiabilité, connectant plusieurs drones sous-marins à des navires ou à des bases terrestres.
- **Communication optique sous-marine :**
 - Utiliser de la lumière pour transmettre des données à très haut débit à faible distance.
- **Communication radio sous-marine :**
 - **Utiliser les** ondes radio basse fréquence capables de pénétrer l'eau.
- **Communication avec hybridation des technologies acoustiques et électromagnétiques :**
 - Améliorer la fiabilité des communications dans des environnements complexes.
- **Communication à l'aide de bouées relais :**
 - Utiliser des bouées relais en tant que relais de communication à l'interface air/mer notamment mais aussi pour créer un **réseau mesh**, facilitant les communications entre drones et stations côtières.
- **Communication à l'aide de balises sous-marines :**
 - Utiliser des balises sous-marines pour accroître les capacités de communication sous la mer.

Poursuivre les développements sur les technologies actuelles ou nouvelles, notamment pour atteindre des performances accrues sur le positionnement sous-marin :

- **Positionnement sous-marin :**
 - Développement de modems acoustiques combinant positionnement et communication sous-marine ;
 - Utilisation de technologies optiques telles que le LIDAR ou l'imagerie optique haute résolution ;
 - Positionnement collaboratif (cas des essaims de drones) ;
 - Cf aussi technologies liées à la navigation (cf paragraphe ci-dessous).

- **Les problématiques concernant à la fois les drones maritimes et les navires autonomes :**

- **Réseaux de communication redondants** pour garantir un suivi continu et fiable.
- **Systèmes de transmission à faible latence** pour coordonner les opérations avec d'autres navires ou plateformes.

- **Communication au-delà du champ de vision (Beyond Line Of Sight – BLOS) :**
 - Utiliser des systèmes de télécommunication avancés, fiables et sécurisés.

2. Système de navigation

Les drones maritimes et les navires autonomes doivent être dotés de systèmes de navigation leur permettant de suivre des routes prédéfinies et de connaître leur position indépendamment du GNSS. D'autant plus que, dans le contexte géopolitique actuel, les systèmes de positionnement GNSS peuvent être brouillés dans certaines zones du globe, et qu'il est donc important que l'engin puisse lui-même estimer sa position indépendamment de toute aide extérieure. Cette capacité est obligatoire pour les drones sous-marins qui ne peuvent bénéficier du rafraîchissement de leur position par GNSS qui ne fonctionne pas sous l'eau. Ces systèmes de navigation sont typiquement composés de centrales inertielles présentant des niveaux de performances adaptés aux cas d'usage. Ces systèmes sont parfois dotés de capteurs supplémentaires pour assurer un recalage périodique.

3. Systèmes d'intelligence artificielle et d'autonomie

- **Drones maritimes et navires autonomes :**
 - **Automatisation limitée** pour des tâches spécifiques, comme le suivi de trajectoires prédéfinies.
 - **IA embarquée** pour adaptation du plan de mission en fonction des aléas ou des événements rencontrés en cours de mission.
 - **Respect des COLREGS** : Intégration de systèmes avancés de détection et d'évitement des collisions.
 - **Fonctionnement en essaims** : développement de stratégies organiques permettant la coordination entre plusieurs drones marins et sous-marins.
 - **Algorithmes d'apprentissage automatique** pour la prise de décisions en temps réel.
 - **Systèmes adaptatifs** capables de répondre aux conditions marines changeantes sur des trajets prolongés.

3. Efficacité énergétique et systèmes de propulsion

- **Drones maritimes :**
 - **Optimisation énergétique, incluant solutions hybrides (fuel, hydrogène, etc...),** pour maximiser l'endurance.
 - **Utilisation de batteries** à haute densité énergétique compatibles avec les opérations dans des environnements marins et sous-marins.
 - **Sécurisation des batteries**, en particulier contre les phénomènes d'emballement thermique.
 - **Station de recharge sous-marine** pour les drones sous-marins.
- **Navires autonomes :**
 - **Intégration de technologies de propulsion** à faible impact environnemental pour des missions prolongées. (> cf. GreenShip)

4. Systèmes de sécurité et cybersécurité

- **Drones maritimes et navires autonomes :**

- **Protocole de sécurité pour éviter les collisions** lors d'opérations à proximité de structures ou d'autres véhicules.
- **Protection basique des communications** contre les interférences.
- **Protection, chiffrement, et/ou effacement des données acquises et stockées dans les drones**
- **Mécanismes avancés de cybersécurité** pour protéger les systèmes critiques contre les cyberattaques.
- **Redondance des systèmes** pour garantir la sécurité des opérations même en cas de défaillance.
- **Commandes hybrides** : Permettre une prise de contrôle rapide et efficace par des humains en cas d'urgence.

5. Systèmes de lancement et de récupération (LARS)

- **Drones maritimes :**
 - **Systèmes mécanisés et automatisés pour le déploiement et la récupération** des drones dans des conditions variées, notamment par mers formées.
 - **Compatibilité avec des plateformes** multiples, notamment des navires-mères.
 - **LARS pour déployer d'autres véhicules en sous-ordre depuis drones maritimes de surface ou sous-marins**
- **Navires autonomes :**
 - **Développement de LARS capables de fonctionner dans des modes semi-automatiques ou automatiques**, intégrés directement aux navires pour déployer des drones ou véhicules sous-marins autonomes organiques⁹.
 - **Amarrage et déploiement automatisés à quai** : Utilisation de technologies telles que le GPS différentiel, les transpondeurs acoustiques et la vision par caméra pour des manœuvres précises.
 - **Synchronisation avancée entre le navire autonome et les équipements déployés** pour des opérations complexes.

6. Capteurs et charges utiles

Les drones maritimes, et pour certaines applications les navires autonomes, sont dotés de capteurs et de charges utiles permettant à ces engins de remplir les objectifs assignés à leur mission, en collectant des données sur le milieu (« senseur ») et/ou en produisant des effets sur le milieu (« effecteurs »).

Pour la collecte des données sous-marines, les technologies sont contraintes par le milieu dont les caractéristiques spécifiques sont à prendre en compte : absorption, diffusion, propagation, pression, température, etc... Les principaux types de charges utiles embarquées sur les drones sous-marins (AUV, ROV, glider) sont les suivants :

- senseurs acoustiques (sonars : imagerie et détection),
- sondeurs multifaisceaux (bathymétrie),
- sub-bottom profilers (géophysique),
- senseurs optiques (caméra, lidar),
- senseurs électromagnétiques (magnétomètres, sens électrique),
- senseurs physicochimiques (S, Tp, pH, ...),

⁹ Organique : Rattaché au navire

- senseurs biologiques (ADN,...),
- etc...

Pour ces charges utiles, des développements sont nécessaires pour les rendre :

- plus petites (miniaturisation),
- plus économes en énergie (endurance),
- plus performantes en termes de précision et de résolution
- plus autonomes en termes de traitement embarqué, etc...

7. Centres à terre : pour le suivi des opérations et l'exploitation des données

Pour les drones maritimes et les navires autonomes, les technologies suivantes permettent d'opérer ces engins soit en mode téléopéré soit en mode supervisé depuis un centre à terre :

- **Systèmes de Management de Mission (MM)** pour la préparation, la supervision et la commande, le traitement et la valorisation des données acquises.
- **Interfaces cloud** : Création de tableaux de bord intuitifs, accessibles et personnalisables pour les superviseurs.
- **Outils d'aide à la planification et à la décision** : Intégration d'assistants IA pour guider les téléopérateurs dans leurs choix.
- **Accès en temps réel** : Développement d'interfaces web sécurisées pour permettre une supervision constante des opérations.
- **Outils de simulation et de jeu des missions**
- **Formation des opérateurs** et man-machine teaming : Développement de plateformes immersives basées sur la réalité virtuelle (VR) et la réalité augmentée (AR).
- **Data center à terre** : les données récoltées lors des missions peuvent être stockées, analysées, et valorisées dans des data centers colocalisés avec les centres de supervision et de commande ou bien dans des data centers délocalisés en fonction de la masse de données à stocker et des outils de traitement et d'analyse nécessaires. L'apport des technologies de l'IA et du big data sont fondamentales pour cette valorisation et l'exploitation des données de mission.

Considérations socio-économiques

En parallèle des développements technologiques évoqués ci-dessus, l'émergence de navires 100% autonomes ne saurait être possible sans aborder les considérations socio-économiques associées à leur utilisation au milieu du plan d'eau et en présence d'autres acteurs.

- **Analyse coût-bénéfice** : Modéliser les économies réalisées grâce à la réduction des équipages, en tenant compte des coûts supplémentaires liés aux systèmes autonomes.
- **Transparence des systèmes** : Permettre une visualisation claire des décisions prises par les systèmes autonomes pour renforcer la confiance des utilisateurs.
- **Démonstrations publiques** : Mener des tests pilotes et des démonstrations auprès des usagers maritimes pour favoriser leur acceptation.
- **Normes éthiques et réglementaires** : Développer des cadres clairs garantissant une utilisation responsable des navires autonomes.

4. Liens entre SmartShip et les autres feuilles de route de la filière

4.1 – Transversalités avec la feuille de route GreenShip

Dimensionnements adaptés aux missions opérationnelles – La robotisation, les nouvelles technologies de capteurs et d'information, et la progression des degrés d'autonomisation des véhicules marins (et sous-marins) permettent la réalisation des missions maritimes à bord de plateformes plus petites, mieux utilisées et plus efficaces que les moyens traditionnels. Sur certaines applications, le rapport d'impact environnemental change véritablement d'ordre de grandeur tant dans les moyens mobilisés que dans la conduite des opérations permettant d'aborder de manière durable l'intégration des opérations anthropiques dans l'écosystème marin.

Gestion de données – La performance d'un navire est très complexe à mesurer car elle dépend de très nombreux paramètres : vitesse, chargement, assiette, encrassement de la coque ou de l'hélice, profondeur d'eau, force et direction du vent, de la houle ou du courant ... Pour le moteur, il faut ajouter les températures et pressions d'admission ou de refroidissement, la *Light Running Margin*, la qualité du fuel ... Il est indispensable de créer un modèle qui n'existe pas aujourd'hui incluant l'ensemble de ces variables pour vérifier si le navire fonctionne correctement et ne surconsomme pas. Ces modèles reposent sur des résultats de simulations et de mesures réalisées à bord des navires.

Routage, planification de trajets – L'optimisation du routage du navire en intégrant l'environnement nécessite de connaître précisément l'impact des vagues et du vent sur sa performance. Il est alors nécessaire d'analyser des millions de routes en intégrant les prévisions météorologiques à court et long terme, ainsi que de nombreuses contraintes métier (zones à faible émission, interdites, dangereuses ...) pour identifier celle qui permettra d'atteindre la consommation la plus faible possible pour le navire. A titre d'illustration : Un porte-conteneurs vent et mer de face dans une houle de quelques mètres d'amplitude, peut voir sa consommation augmenter de plus de 30% pendant quelques heures, soit de 2 à 5% sur le temps d'une traversée. Bien utilisé, l'environnement peut réduire la consommation du navire sur une route adaptée.

Juste à temps – Sur les navires de service ou de transport entièrement autonomes (transport sur courte distance, navires de survey, navires d'assistance spécialisés, etc.), l'absence de besoin de rejoindre la terre pour effectuer une relève d'équipage facilitera l'adoption de stratégies optimisant la compétitivité des armateurs et les économies d'énergie et de carburant. Cela pourra inclure l'utilisation de vitesses réduites ou le choix de routages spécifiques adaptés. Ces navires autonomes, principalement stationnés au port pour leur maintenance, pourront être conçus sans les contraintes liées à la présence humaine à bord. Cela permettra d'intégrer des technologies actuellement peu compatibles avec l'espace ou les risques associés à l'équipage, offrant ainsi la possibilité de concevoir des structures plus compactes et d'adopter des solutions de propulsion plus respectueuses de l'environnement.

Surveillance du fonctionnement et de la disponibilité des équipements à bord : Le monitoring des moteurs et de la structure du navire peut permettre d'identifier des risques de défaillance ou d'endommagement pouvant causer des avaries importantes et des réactions en chaîne non maîtrisées. Anticiper les défaillances permet de diminuer les accidents et les immobilisations imprévues, améliorant ainsi le taux d'opérabilité des navires. Cette approche contribue à réduire les pannes et les casses, responsables de la majorité des indisponibilités imprévues, tout en limitant la consommation de pièces de rechange et de divers fluides.

L'automatisation et la digitalisation ouvrent de nouvelles perspectives de compétitivité pour le transport maritime et fluvial, en particulier sur les courtes distances, tout en offrant des solutions

complémentaires au transport routier. Ces avancées permettent également d'améliorer la sécurité et de réduire les risques environnementaux liés aux collisions ou aux dommages, grâce à des navires plus intelligents, voire autonomes, et à l'utilisation de technologies augmentant les capacités des équipages. Cela est d'autant plus pertinent que plus de 80 % des accidents maritimes¹⁰ peuvent être associés au facteur humain.

4.2 – Transversalités avec la feuille de route SmartYard

On peut noter les synergies suivantes entre les deux feuilles de route :

IOT : L'Internet des objets (IoT) équipe les navires de capteurs intelligents qui collectent des données en temps réel. Cela permet de cibler précisément les besoins de maintenance et d'optimiser la gestion des stocks et des pièces détachées, rendant ainsi la logistique plus réactive et plus efficace.

Jumeaux numériques et big data : Les technologies de jumeaux numériques et l'exploitation des Big Data récoltent et analysent une grande quantité de données concernant le navire et ses performances. Ces informations sont utilisées pour modéliser le navire, affiner sa conception et prévoir les besoins en soutien logistique, tout en optimisant l'efficacité des opérations et la durabilité des navires.

Robotique : La robotique, notamment les drones marins et sous-marins, automatise certaines tâches comme les inspections, le décapage de la coque ou la réparation de zones spécifiques. Ces robots facilitent les opérations dans des environnements difficiles ou dangereux pour les humains, augmentant ainsi la sécurité et réduisant les coûts d'intervention.

4.3 – Transversalités avec la feuille de route Next Gen Offshore Industry

De manière similaire à son rôle pour la feuille de route SSEM, le SmartShip constitue un levier technologique essentiel pour les applications visées par Next Gen Offshore Industry. En plus des navires, il soutient l'utilisation de drones sous-marins, de surface et aériens dans divers domaines stratégiques.

Énergies marines renouvelables : Les drones interviennent dans le survey, l'inspection, la surveillance et la maintenance des infrastructures liées à la production, la transformation, et l'acheminement de l'énergie vers la terre, garantissant une efficacité et une sécurité accrues.

Exploration des fonds marins : Ils facilitent l'observation et la mesure des écosystèmes marins ainsi que le déploiement de capteurs in situ, contribuant ainsi à une meilleure compréhension des grands fonds marins et de leur biodiversité.

4.4 – Transversalités avec la feuille de route SSEM

Le SmartShip a un positionnement amont par rapport à la feuille de route Sécurité – Sûreté – Environnement maritime (SSEM) en proposant les outils technologiques nécessaires pour atteindre ses objectifs, notamment en ce qui concerne les drones sous-marins et de surface. Cette complémentarité entre les deux feuilles de route s'exprime à travers plusieurs points :

¹⁰ Annual Overview of Marine Casualties and Incidents 2024, EMSA

Gestion de données : les navires et drones développés dans le cadre du SmartShip exploitent les données « Big Data » définies dans la feuille de route SSEM, optimisant ainsi les opérations et la maintenance.

IOT & IA : les capteurs intelligents équipant navires, drones, bouées et balises, renforcent la surveillance, l'analyse des performances et la prise de décision autonome, en lien direct avec les objectifs de SSEM.

Liaisons de données : les navires et drones utilisent des protocoles de communication communs à ceux définis par la feuille de route SSEM, garantissant des échanges fluides et sécurisés entre tous les systèmes interconnectés.

Cybersécurité : thématique transversale, bénéficie des développements communs aux deux feuilles de route. Les efforts pour sécuriser les infrastructures et les communications réduisent les risques de piratage, renforçant la résilience globale des systèmes maritimes.

5. Pilotage et participants, indicateurs de performance

Le pilotage de la feuille de route SmartShip a été confié à un comité de pilotage réunissant EXAIL comme pilote, et le pôle de compétitivité Mer Méditerranée comme co-pilote.

Son rôle est de :

- Définir le contenu détaillé de la feuille de route et en assurer la mise en œuvre,
- Assurer son articulation avec les feuilles de route GreenShip, SmartYard, Next-Gen Offshore Industry et Sécurité Sureté Environnement Maritime, les stratégies d'accélération, les autres filières et les stratégies européennes
- Mettre en place et animer la gouvernance collective de la Feuille de Route sur les régions cibles (Bretagne, SUD – Provence-Alpes-Côte d'Azur, Pays de la Loire, Occitanie, Ile de France)
- Assurer la communication autour des actions de la feuille de route SmartShip

L'élaboration de cette feuille de route s'est faite au travers de groupes de travail pluridisciplinaires avec des acteurs industriels, académiques & institutionnels issus de plusieurs métiers dont construction navale, nautisme, réparation navale, ingénierie offshore, spécialistes du numérique, architecture navale, centre de recherche, société de classification ...

Indicateurs de performance : taux de progression des projets s'appliquant aux différents domaines du SmartShip, taux de satisfaction par rapport aux objectifs du contrat de filière.