

Feuille de route Industries en mer du futur

Futur of Offshore Industry

Mars 2023

Pilotes :

- Co-pilotes : EVOLEN, GICAN
- Coordination : Comité R&D

Table des matières

1. Contexte – Chiffres clefs	2
2. Objectif	2
2.1. Structures en mer	2
2.2. Marchés	2
2.3. Transitions sociétales	3
3. Principaux défis technologiques	4
3.1. Energies Marines Renouvelables	5
3.2. Hydrogène issu des énergies marines renouvelables	7
3.3. Décarbonation en mer les activités humaines	8
3.4. Exploration des grands fonds marins	9
3.5. Axe Technologique Transverse	10
4. Pilotage et participants	12
5. Livrables attendus, chiffrage et indicateurs	12
6. Sources & bibliographie :	12

1. Contexte – Chiffres clefs

Les océans couvrent 71% de la surface de la Terre et représente 97% de l'eau de la planète. Ils jouent un rôle fondamental dans la régulation du climat. Les écosystèmes océaniques et côtiers recèlent des ressources naturelles considérables et des solutions aux grands défis économiques et environnementaux de demain.

La France dispose d'un vaste espace maritime, avec la 2^{ème} zone économique exclusive (ZEE) du monde, et est un acteur majeur des sciences et technologies océaniques. La maîtrise et la valorisation de cet espace économique est un enjeu stratégique et de souveraineté ainsi qu'une opportunité de développement.

Capitalisant sur le *leadership* mondialement reconnu de l'industrie française, acquis depuis les années 1960 avec l'exploitation pétrolière et gazière, en ingénierie et opérations offshore, le comité R&D de la filière des Industriels de la Mer identifie comme un de ses axes de R&D l'Industrie *Offshore* de Nouvelle Génération pour répondre aux perspectives d'implantation et de développement d'activités industrielles en mer.

Cette feuille de route tient compte de l'appel à projet « grands fonds marins » ouvert le 27 septembre 2022 dans le cadre du plan France 2030

2. Objectif

Cette feuille de route Industrie *Offshore* de Nouvelle Génération a l'ambition de faire état des objectifs pour permettre l'implantation durable de nouvelles activités industrielles en mer, notamment par le développement de la production et du stockage d'énergie en mer (EMR), la production d'hydrogène en mer, le développement de solutions de décarbonation *offshore* comme la capture du carbone et son utilisation, et l'exploration des grands fonds marins. Elle vise à fédérer une offre coordonnée pour l'industrialisation de ces structures et moyens en mer qui lui sont indispensables (en surface ou sous-marines)

Cette feuille de route reprend en particulier les grands objectifs listés par la Commission européenne listés dans son rapport « *EU Blue Economy* » concernant l'éolien. En effet, l'objectif de la Commission européenne est d'atteindre à l'échelle de l'Europe les 60 GW de puissance installée en 2030, et compte la France comme contributeur important à cet objectif. Pour l'ensemble des autres technologies de production d'énergie en mer, la cible est de 1 GW à ce même horizon.

De plus, la présente feuille de route reprend les éléments concernant les aspects de développement technologique détaillés récemment par WEAMEC (*West Atlantic Marine Energy Community*), qui réunit les acteurs du secteur, tant académiques qu'industriels.

2.1. Structures en mer

S'agissant de structures en mer, les problématiques concernent leur conception, leur développement, leur fabrication, leur installation, leur exploitation (dont la vie ou l'automatisation à leur bord), leur maintenance, ainsi que leur lien avec le fond et avec la côte, de même que leurs interactions avec l'environnement et leur démantèlement. L'idée est de soutenir tout type d'industries souhaitant ou nécessitant des infrastructures en mer.

2.2. Marchés

Globalement, on peut penser aux marchés suivants, concernant aussi des activités de services :

- Production, stockage et délivrance d'énergie renouvelable
- Production et première transformation de matière vivante
- Production, stockage et délivrance d'eau douce
- Exploration et Intervention dans les grands fonds marins
- Bioproduction marine

De ces différents marchés visés nécessitant de développer des activités industrielles en mer, celui des EMR (priorité du CIMER 2019) est le plus avancé, avec une différenciation selon les principes physiques utilisés (vent, courants, houle, chaleur, *etc.*) et les technologies et systèmes correspondants (*e.g.* éolien flottant ou fixe, pompes à chaleur, houlomoteur, hydroliennes, marémoteur). La France dispose, en métropole et outre-mer, de potentiels naturels très significatifs. A ce stade, c'est l'éolien *offshore*, posé puis flottant, qui est la technologie présentant le potentiel industriel le plus conséquent.

Les interventions par grands fonds concernent notamment les travaux d'exploration et les opérations d'installation et de maintenance d'équipements, voire la récupération des boîtes noires des avions abîmés en mer ou le travail sur des épaves. Elles mettent en jeu des technologies sous-marines de communications, navigation/ positionnement et robotique (ROV, AUV, *etc.*).

2.3. Transitions sociétales

Maîtrise des risques

Il s'agit d'aller vers une industrie maritime dérisquée, s'agissant des coûts d'opération et des contraintes sévères de l'environnement marin (exacerbés dans les environnements profonds) qui imposent de limiter les risques dans les domaines humains, environnementaux et économiques. Ces risques portent sur les infrastructures en mer, leur développement et leur exploitation. L'enjeu est une appropriation sociétale des sujets pour assurer une connaissance, une maîtrise des risques et des impacts et une acceptabilité sociale.

Transition numérique

Les défis posés par une meilleure compréhension de l'océan, par une communication extensive avec ces nouvelles plateformes, l'augmentation des performances des systèmes et de la compétitivité des industries maritimes imposent une numérisation croissante de ces dernières, en lien fort avec les autres feuilles de route. La construction et l'opération de jumeaux numériques des infrastructures et leurs interactions avec les jumeaux numériques de l'océan représentent un enjeu important.

Transition écologique

L'ensemble des acteurs de l'industrie maritime doivent prendre en compte aujourd'hui les enjeux environnementaux, qu'il s'agisse d'exploitation des ressources marines et sous-marines, du transport maritime ou de toute autre activité en mer ou sur le littoral. Il s'agit notamment de maîtriser l'impact des activités industrielles sur les socio-écosystèmes marins profonds et côtiers. En vue d'une rationalisation des activités et d'une meilleure acceptabilité sociétale, la piste des plateformes multi-usages mérite d'être investiguée (énergie et aquaculture, protection du littoral et énergie, impact de la bioproduction marine sur les activités déjà implantées, *etc.*).

2.4. Développement industriel

La majeure partie des compétences et capacités industrielles en France est issue des travaux dans le secteur de l'exploitation des hydrocarbures en mer. Actuellement, c'est le marché des de l'éolien en mer qui tire le développement industriel français des structures en mer. Cette feuille de route vise à étendre savoir et savoir-faire des industriels français, et les développer, notamment en les adaptant à d'autres marchés.

S'agissant de l'industrie *offshore* nécessitant un accès à la côte, il s'agira aussi d'avoir des éléments de décision de développements technologiquement faisables, économiquement soutenables, et socialement acceptables. L'appropriation sociétale doit être recherchée. Différentes voies sont envisageables : démonstrateurs, plateformes multimodales en lien avec d'autres usagers (digue+ et EMR), coactivité, multi-usages (POMU : Plateforme *Offshore* Multi-Usages), plateformes en mer

ouvertes à la R&D et la formation afin de faire monter l'écosystème en compétence (telles qu'une éolienne flottante dédiée à la R&D et à la formation).

Industriellement, le passage à l'échelle reste un point dur, étant donné la taille, la masse et la complexité des structures.

Les travaux devraient permettre d'évaluer de plus en plus précisément les technologies à financer, la base industrielle et technologique ainsi que les sous-filières à développer, s'agissant des plateformes en mer, y compris aquacoles, de ce qui peut être produit par les océans : conception, développement, installation, exploitation, maintenance, démantèlement.

Cette feuille de route doit permettre à l'industrie française d'être actrice de la transition écologique en favorisant l'émergence de nouveaux matériaux dans des chantiers et industries adaptés, l'autonomie des plateformes et l'intelligence des systèmes embarqués, le développement de nouvelles énergies plus abordables, fiables et propres, et la diversification soutenable des ressources marines.

Il sera tenu compte des efforts faits dans le cadre de l'institut Carnot MERS (*Marine Engineering Research for sustainable, safe and smart Seas*) et l'ITE (Institut pour la Transition Energétique) France Energies Marines, tous deux récemment labellisés.

Il est à noter que dans le cadre du plan France 2030, et en particulier de l'appel à projet « Grands fonds marins », trois thématiques devant orienter les propositions ont été précisées :

Thématique 1 - systèmes permettant l'exploration des grands fonds marins, tels que des drones de surface ou navires autonomes, des drones sous-marins (AUV) opérant dans les grands fonds, des systèmes robotisés sous-marins (ROV) capable d'opérer sur les grands fonds, ...

Thématique 2 - sous-systèmes, capteurs, composants ou matériaux spécifiques aux grands fonds marins

Thématique 3 - logiciels, services et traitement des données concernant l'exploration des fonds marins

De même, l'appel à projet DEMO TASE, dans le cadre du plan France 2030, vise à accélérer les développements technologiques autour de l'éolien flottant.

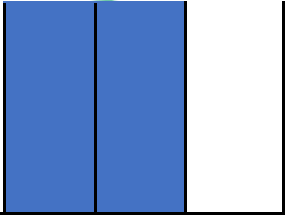
3. Principaux défis technologiques

Cette feuille de route se décline au travers de cinq grands axes de défis technologiques et un axe technologique transverse. Ce tableau indique les efforts de R&D à faire pour mettre en œuvre ces technologies, en tenant compte des travaux en cours, à la suite des appels à projet passés.

3.1. Energies Marines Renouvelables

Si pour l'éolien posé, on est dans un processus d'amélioration de l'existant afin de diminuer les coûts et augmenter la rentabilité des projets, de nouvelles briques technologiques manquent encore de maturité s'agissant de l'éolien flottant.

			Effort de R&D		
			Court terme 2021-2025	Moyen terme 2025-2030	Long terme au-delà de 2030
Energies Marines Renouvelables					
Eolien	Posé		Amélioration de l'existant et diminution des coûts		
	Flottant	Ancrage	* Technologies des flotteurs * Ancrages entre le support et le fond capables d'accepter les mouvements du support et les efforts hydrodynamiques – qualification de nouveaux matériaux * Comportement dynamique du câble et couplage des efforts mécaniques * Connexions tournantes dans le cas de flotteurs s'orientant dans le vent et/ou le courant * Mise à l'eau simplifiée et accessible des structures de plusieurs centaines de tonnes (en fonction des possibilités logistiques disponibles)		
	Convertisseurs de l'énergie		* Conception électrique * Commande des ensembles mécaniques, hydrauliques ou électriques pour optimiser la production énergétique et limiter les efforts mécaniques éventuellement destructifs * Comportement des parcs de plusieurs machines, effets de lissage et de couplage * Adaptation de la réponse du générateur pour une récupération de l'énergie optimale * Adaptation des facteurs de charge des composants électriques et amélioration des rendements		
	Architecture de fermes et intégration aux réseaux		* Solutions technologiques de connexion / déconnexion étanches haute tension (assurer la sécurité du réseau électrique et des systèmes), Atterrissage de l'énergie Technologies des flotteurs * Outils et méthodologies qui permettent d'optimiser le déploiement de parcs EMR et leur intégration au réseau électrique d'un point de vue technico-économique et des services rendus au réseau * Estimation risques de défaillance, l'apport des solutions de mutualisation, la maintenance des systèmes sur l'ensemble de la chaîne, depuis les machines jusqu'au raccordement au réseau électrique terrestre * Technologies supra-conductives <ul style="list-style-type: none"> Sous stations flottantes en courant continu Technologies de remplacement de composants lourds en mer 		
Autres EMR	Houlomoteur				
	Hydrolien				
	Solaire PV flottant		Lac, lagon et au large		
Analyse du cycle de vie (ACV) écoconception reconversion			Outils et méthodes pour mesurer, éviter et réduire les impacts potentiels notamment		

	<p>sur : l'avifaune et le milieu benthique par les structures et câbles associés aux EMRS Voir aussi « Axe Technologique Transverse » pour le volet décarbonations des opérations maritimes. Outils permettant d'évaluer les effets des parcs de manière globale à l'échelle des façades</p>	
--	--	---

3.2. Hydrogène issu des énergies marines renouvelables

La période 2021-2025 voit fleurir les prototypes et les démonstrations. Les premiers pilotes devraient être mis en service dans la seconde partie de la décennie (2025-2030). Le niveau commercial devrait être atteint à l'horizon 2030.

			Effort de R&D		
			Court terme 2021- 2025	Moyen terme 2025- 2030	Long terme au- delà de 2030
Défis et technologies identifiés					
Hydrogène marin					
Electrolyse	Marinisation des électrolyseurs	Pompage et désalinisation de l'eau de mer, compacité de l'électrolyseur, conditions de maintenance et HSE, prise en compte de l'intermittence de la source d'électricité...			
	Intégration sur du fixe	Prise en compte de l'électrolyseur et équipements associés lors du design (contraintes mécaniques...)			
	Intégration sur du flottant	Prise en compte de l'électrolyseur et équipements associés lors du design du flotteur (contraintes mécaniques, stabilité, interface flotteur – turbine...)			
Compression de l'hydrogène en sortie d'électrolyseur		Au niveau de la turbine, du flotteur ou d'une sous-station			
Stockage en mer		Possible : * au niveau de la turbine (associé par ex à une PAC, pour alimenter les systèmes électriques en cas de stand-by) * au niveau de la sous-station (avant compression, par sécurité en cas de problème sur la chaîne d'export, ou encore pour permettre le soutage de navires...) * sous-marin (par ex : compensation de l'intermittence d'un système éolien offshore connecté à une installation O&G nécessitant un apport continu d'énergie, stockage à grande échelle avant alimentation d'un milieu portuaire ou insulaire, ...)			
Transport de l'hydrogène		* Liaison surface fond au niveau de la turbine (riser flexible si éolienne flottante, potentiellement rigide si éolienne posée) * Liaison fond surface et surface fond au niveau de la sous-station (compression centralisée, export vers la côte) * Transport sous-marin interne au champ, et export vers la côte, matériaux associés * Architecture sous-marine et équipements associés (structures sous-marines, valves, control & monitoring, protection anti-filets de pêche...)			
Soutage		Dans le futur, le soutage (bunkering) de navires propulsés à l'hydrogène pourrait être envisagé directement en mer (navires de maintenance et changement d'équipage (« crew change »), flottes côtières type chalutiers...)			
Valorisation du dioxygène produit par l'électrolyse (collecte, transport, utilisations possibles e.g. aquaculture)		Explorer l'utilisation du dioxygène pour des applications maritimes			

3.3. Décarbonation en mer les activités humaines

Le développement des technologies de captage, stockage et utilisation du CO2 a pour but :

- la réduction du coût des technologies *Carbon Capture Utilization & Storage* (CCUS)
- l'amélioration de leur efficacité pour un déploiement à grande échelle.

		Effort de R&D		
		Court terme 2021- 2025	Moyen terme 2025- 2030	Long terme au-delà de 2030
Défis et technologies identifiés				
Décarbonation des activités humains en mer				
Captage du CO2 en mer		Se référer à la feuille de route « <i>Green Ship</i> ».		
Transport & séquestration du CO2 en milieu marin	Sécuriser le stockage	* Evolution de la composition des fluides et du milieu poreux, * Son impact sur les écoulements.		
	Surveillance des stockages marins de CO2	* Détection de fuites à grande profondeur : préleveur de fond de puits et cabine d'analyse * Composition géochimique du fluide dans les aquifères et réservoirs * Détection de fuites en milieu marin		
	Transport du CO2 par voie maritime et fluviale	*Technologies de stockage : conteneurs / intégration dans les formes de coque : Compacité * Technologies de chargement / Déchargement		
	Valorisation du CO2 en lien avec les applications maritimes	*Utilisation pour la production de e-fuel notamment pour le maritime *Valorisation avec d'autres industries		

3.4. Exploration des grands fonds marins

En lien avec l'objectif 10 du plan « France 2030 », cet axe vise les objectifs :

- Action d'exploration des grands fonds et de sa biodiversité et d'acquisition de connaissances des ressources sous-marines en lien avec les écosystèmes
- Permettre la détermination des impacts environnementaux liés à l'exploration et à l'exploitation des ressources des grands fonds marins

		Effort de R&D		
	Défis et technologies identifiés	Court terme 2021- 2025	Moyen terme 2025- 2030	Long terme au-delà de 2030
Exploration des grands fonds marins				
Caratérisation de la biodiversité & monitoring	<ul style="list-style-type: none"> *Technologies de reconnaissance des grands fonds marins * Caractérisation des habitats et des communautés et évaluation de la biodiversité * Cycle de vie et connectivité au sein de l'écosystème biologique * Interactions géo-biologiques * Etudes des espèces hydrothermales (écophysiologie des symbioses, adaptation, écotoxicologie...) * Etudes sur les sites actifs et les sites inactifs * Méthodes d'exploration acoustique pour évaluer la ressource * Suivi des impacts et observatoires Une expérience scientifique unique (10 ans) sur le monitoring multidisciplinaire des écosystèmes « sulfures » 			
Plateforme de mise en œuvre de capteurs et capacités de détection	<ul style="list-style-type: none"> * drones sous-marins mais aussi des drones de surface ou encore des robots et leurs structures de mise en œuvre et de récupération * capacités de détection : non seulement acoustique avec des capteurs performants mais aussi optique, électrique, électromagnétique * systèmes de contrôle commande et du management de mission, avec recours à de l'intelligence artificielle ouvrant la possibilité de navigation autonome en meute ou en essaim * capacités d'intégration, de traitement et de gestion des données, soit in situ, soient transmises à terre. 			
Engins d'intervention sous-marine	*Autonomie énergétique et décisionnelle des engins. Capacité à utiliser des engins autonomes travaillant en équipes			
Méthode systématique de détection de sites d'amas sulfurées inactifs	Méthode systématique de détection de sites d'amas sulfurées inactifs, à fort rendement et non intrusive tout en optimisant les coûts.			

3.5. Axe Technologique Transverse

		Effort de R&D		
		Court terme 2021- 2025	Moyen terme 2025- 2030	Long terme au-delà de 2030
Axe Technologique Transverse				
Défis et technologies identifiés				
Monitoring et inspection des structures et lignes d'ancrages	<ul style="list-style-type: none"> * Opérations de maintenance : optimisation, maintenance prédictive (collecte et traitement des données, modèles « d'intelligence artificielle », etc.) * Développement de solutions d'inspections et d'intervention sous-marines automatisés 			
Hybridation des systèmes	<ul style="list-style-type: none"> *développement de solutions permettant le couplage de systèmes existant *favoriser l'émergence de systèmes hybrides utilisant plusieurs sources d'énergies pour accompagner la transition énergétique 			
Conception	<ul style="list-style-type: none"> * Matériaux (e.g. alternatifs comme le béton ou les composites) et techniques de construction des structures en mer (e.g. fabrication additive) pour des coques économiques et durables *Fabrication et assemblage de structures marines de grande envergure * Ecoconception & biomimétisme * Liaisons fond-structure et structure-côte * Estimation des coûts globaux de possession et optimisation de l'exploitation * Normes, standards et règlements * Résistance, fatigue et vieillissement des structures aux stimuli (corrosion, impact de l'environnement sur la structure) * Ouvrages « non-standard » (fermes aquacoles, habitats en mer) * Plateformes multi-usages production énergie et aquacole 			

<p>Installation – Démantèlement</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Métrologie marine * Méthodes de construction, d'implantation et de déconstruction en mer * Opérations de maintenance : optimisation, maintenance prédictive (collecte et traitement des données, modèles « d'intelligence artificielle », etc.) ou préventive * Automatisation des processus industriels * Navires à faible empreinte carbone au design optimisé pour les opérations d'installation et de démantèlement (pour la propulsion bas-carbone, se référer à la feuille de route « Green Ship ») 			
<p>Exploitation – Maintenance</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Intervention sous-marine automatisée (« remote ROV control »), inspection, maintenance, intervention sur infrastructure sous-marine * Automatisation de la plateforme * « Océan numérique » : Développement des technologies marines et sous-marines numériques (capteurs, gestion/exploitation des données) * Gestion des flux logistiques, de l'énergie, des communications avec la terre * Production et stockage de l'énergie en mer * Navires à faible empreinte carbone au design optimisé pour les opérations d'exploitation & de maintenance (pour la propulsion bas-carbone, se référer à la feuille de route « Green Ship ») 			
<p>Prévention du biofouling</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Développement de solutions non-toxiques d'antifouling * Développement de nouvelles solutions in situ de nettoyage des structure et lignes d'ancrages 			
<p>Connaissance du milieu et mesure et mitigation de l'impact environnemental et sociales des activités</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Outils et méthodes de caractérisation de site (e.g. géologie/géophysique marines) * Technologies d'observations et de mesures océanographiques météocéan et observatoires de l'environnement * Modélisation des écosystèmes profonds * Etude et maîtrise de l'impact écologique des activités en environnements profonds et côtiers et développement des technologies marines et sous-marines numériques (capteurs et traitement de la donnée) anticipation du comportement et des interactions des structures avec leur écosystème * Mesures et mitigation des impacts environnementaux et socio-économiques (bruit/vibration en mer) * Systèmes innovants de dépollution 			

4. Pilotage et participants

La feuille de route Industrie *Offshore* de Nouvelle Génération se fonde sur un plan triennal glissant à l'instar des autres feuilles de route *Smart Yard*, *Smart Ship* et *Green Ship*.

Au fur et à mesure, des compléments et amendements seront réalisés en fonction des avancées des actions, des évolutions des besoins des industriels et usagers et des évolutions technologiques les plus prometteuses pour réaliser les objectifs décrits.

Pour réussir ce programme Industrie *Offshore* de Nouvelle Génération et développer les technologies nécessaires il conviendra de fédérer les entreprises, d'identifier les briques technologiques prometteuses et de susciter le montage de projets de R&D collaboratifs au niveau français et européen. Il sera aussi nécessaire de communiquer sur les évolutions et le dynamisme de la filière et de démontrer les gains et les résultats obtenus.

La gouvernance et le pilotage du programme Industrie *Offshore* de Nouvelle Génération ont été confiés à un triumvirat composé de l'ITE France Énergies Marine, d'Ifremer et d'EVOLEN sous le contrôle du comité R&D de filière.

5. Livrables attendus, chiffrage et indicateurs

L'effort de R&D requis pour la réalisation de cette feuille de route sur les structures en mer et atteindre une création nette de 10 000 emplois à horizon 2030, est de 70 M€ par an. Cela ne pourra se faire sans un appui financier public de l'ordre de 40 M€ par an sur 10 ans. Un effort public particulier devrait être fait sur des projets de R&D positionnés sur des potentiels de ruptures technologiques importants.

Le succès de la feuille de route Industrie *Offshore* de Nouvelle Génération sera observé à travers, notamment, des métriques suivantes : nombre de projets déposés, nombre de création d'emplois associés, implication des startups/TPE/PME, perspectives commerciales envisagées, contribution au développement des EMR, impact sur la connaissance de l'environnement marin et des impacts des activités sur cet environnement, contribution à la résolution de défis sociétaux, niveau de numérisation des activités (« Industrie 4.0 »), mesures du développement de filières nouvelles ou émergentes (e.g. hydrogène, aquaculture), amélioration de l'appropriation sociétale des infrastructures et activités.

6. Sources & bibliographie :

- *European Commission, Directorate-General for Maritime Affairs and Fisheries, Joint Research Centre, Addamo, A., Calvo Santos, A., Guillén, J., et al., The EU blue economy report 2022, Publications Office of the European Union, 2022, <https://data.europa.eu/doi/10.2771/793264>*
- Feuille de route Scientifique et Technologique, France Energies Marines, 2022
- Feuille de route Scientifique et Technique, France Energies Marines, 2017
- Feuille de route sur les énergies renouvelables marines, ADEME, 2011
- Stratégie nationale Grands fonds Marins et contributions Ifremer et TechnipFMC, 2021
- Note sur l'Hydrogène Maritime, France Hydrogène, 2020
- IPF Energies nouvelles : Captage, stockage et utilisation du CO₂, 2021