



JANVIER
2026

L'autonomisation dans le milieu sous-marin : une révolution sans limite ?



Guillaume FURGOLLE

L’Ifri est, en France, le principal centre indépendant de recherche, d’information et de débat sur les grandes questions internationales. Crée en 1979 par Thierry de Montbrial, l’Ifri est une fondation reconnue d’utilité publique par décret du 16 novembre 2022. Elle n’est soumise à aucune tutelle administrative, définit librement ses activités et publie régulièrement ses travaux.

L’Ifri associe, au travers de ses études et de ses débats, dans une démarche interdisciplinaire, décideurs politiques et experts à l’échelle internationale.

Les opinions exprimées dans ce texte n’engagent que la responsabilité de l’auteur.

ISBN : 979-10-373-1153-5

© Tous droits réservés, Ifri, 2026

Couverture : Démonstrateur de drone océanique © Naval Group

Comment citer cette publication :

Guillaume Furgolle, « L’autonomisation dans le milieu sous-marin : une révolution sans limite ? », *Focus stratégique*, n° 131, Ifri, janvier 2026.

Ifri

27 rue de la Procession 75740 Paris Cedex 15 – FRANCE

Tél. : +33 (0)1 40 61 60 00 – Fax : +33 (0)1 40 61 60 60

E-mail : accueil@ifri.org

Site internet : Ifri.org

Focus stratégique

Les questions de sécurité exigent une approche intégrée, qui prenne en compte à la fois les aspects régionaux et globaux, les dynamiques technologiques et militaires mais aussi médiatiques et humaines, ou encore la dimension nouvelle acquise par le terrorisme ou la stabilisation post-conflit. Dans cette perspective, le Centre des études de sécurité se propose, par la collection ***Focus stratégique***, d'éclairer par des perspectives renouvelées toutes les problématiques actuelles de la sécurité.

Associant les chercheurs du centre des études de sécurité de l'Ifri et des experts extérieurs, ***Focus stratégique*** fait alterner travaux généralistes et analyses plus spécialisées, réalisées en particulier par l'équipe du Laboratoire de Recherche sur la Défense (LRD).

Comité de rédaction

Rédacteur en chef : Élie Tenenbaum

Rédactrice en chef adjointe : Amélie Férey

Assistante d'édition : Sharleen Lavergne

Auteur

Guillaume Furgolle est chercheur au sein du Laboratoire de recherche sur la défense (LRD) du Centre des études de sécurité (CES) de l’Ifri, où il contribue aux études relatives aux enjeux maritimes, notamment polaires et indopacifiques, mais également sécuritaires, capacitaires et stratégiques pour la France.

Remerciements

L'auteur remercie chaleureusement les personnalités suivantes pour leur appui dans la réalisation de cette étude :

- L'état-major de la Marine
- Stéphane Audrand
- Tayfun Ozberk

Résumé

Les perspectives de recours croissant, voire massif, aux systèmes autonomes dans tous les segments opérationnels portent les germes d'une transformation en profondeur du champ de bataille. Or, le milieu sous-marin a historiquement été moteur d'innovation pour les engins autonomes, du fait de la complexité pour l'être humain d'y opérer. L'accroissement constaté de l'activité civile sous la mer ces 25 dernières années a ainsi suscité des progrès technologiques significatifs dans le domaine et une baisse des coûts des véhicules sous-marins commerciaux. La France peut s'appuyer en la matière sur un écosystème civilo-militaire institutionnel, industriel et scientifique favorable.

Ce n'est cependant que depuis une dizaine d'années que les technologies permettant un certain niveau d'autonomie des drones – incluant potentiellement des tâches militaires – arrivent progressivement à maturité, nourries notamment par l'explosion du segment des drones aériens et par les besoins de l'industrie pétrolière, principale cliente historique des drones sous-marins. L'autonomie dans le milieu sous-marin suppose toutefois de pouvoir surmonter les contraintes physiques et techniques spécifiques à ce milieu, telles que la « rugosité » et l'opacité.

En raison des défis posés par ce milieu très adverse, le développement de drones sous-marins nécessite le développement parallèle de plusieurs composants technologiques distincts, appuyé par une recherche scientifique en pointe. Les progrès non homogènes de ces différentes briques technologiques limitent les capacités actuelles des drones sous-marins, notamment dans les domaines des communications et de l'endurance.

L'ensemble de ces contraintes et limitations continue de peser sur la capacité actuelle à déployer des engins opérationnels pleinement autonomes dans le milieu sous-marin. Le secteur fait, à ce titre, la distinction entre les UUV (*Unmanned Underwater Vehicles*), véhicules sous-marins de tous types, notamment télépilotés ou télésupervisés, et les AUV (*Autonomous Underwater Vehicles*), véhicules sous-marins intégrant des éléments d'autonomie. L'orientation des développements technologiques pour les drones sous-marins a toutefois dépassé le simple contrôle automatisé pour rechercher une plus grande autonomie comportementale, l'objectif final étant de parvenir à des systèmes pleinement capables d'opérer seuls. Cette transition de l'automatisation vers l'autonomisation n'en est qu'à ses débuts et s'appuiera vraisemblablement fortement sur les apports de l'intelligence artificielle (IA), au profit de la détection et de l'analyse des données, mais aussi pour l'autonomie de mission.

L'industrie reste aujourd'hui une force d'innovation dans le segment des drones sous-marins. La plupart des marines mondiales ont ainsi opté pour une approche prudente et itérative afin de tester des capacités reposant pour la plupart sur des solutions commerciales et d'étudier la juste intégration de drones sous-marins dans leur structure de forces. Le recours militaire à des drones sous-marins autonomes dans un contexte opérationnel soulève en effet bon nombre de questions, notamment en termes de choix de conception ou sur le plan de la sûreté et de la sécurité. Une des questions centrales reste toutefois de déterminer si les drones sous-marins ont vocation à venir offrir des capacités d'appoint aux forces navales ou s'ils viendront offrir une alternative à ces dernières dans certains segments. Cela pose naturellement la question du concept d'emploi opérationnel pour ces moyens sous-marins autonomes, à laquelle il ne semble pas y avoir de réponse absolue.

Bien que les drones sous-marins soient effectivement susceptibles, à leur plein potentiel, de provoquer des ruptures majeures sur le champ de bataille naval, le niveau de maturité technologique pour des applications opérationnelles pleinement autonomes reste aujourd'hui à un stade embryonnaire. Certains facteurs capacitaires classiques pourraient par ailleurs limiter le recours massif à ce type de vecteurs : le coût lié au caractère technologique avancé, les besoins en ressources humaines qualifiées et la complexité de la maintenance opérationnelle. En outre, l'écosystème militaire nécessaire pour pleinement intégrer ce type de capacités navales n'existe pas encore.

Ces enjeux méritent d'être discutés entre les forces armées et l'industrie française, alors que ces technologies sont encore dans une phase émergente. Ce dialogue devra utilement être formalisé et entretenu au fil des développements technologiques dans le secteur. Au regard des promesses que dessine l'avènement de l'autonomisation dans le milieu sous-marin, il apparaît nécessaire que les marines s'y investissent et s'y préparent, quel que soit le concept d'emploi qu'elles auront retenu, offensif ou défensif. Il s'agit de dessiner au plus tôt et d'accompagner l'intégration des capacités qu'elles auront choisies, mais également de se préparer à la menace potentielle que les drones sous-marins feront peser sur les forces navales et les infrastructures maritimes.

Executive summary

The prospect of increasing, even massive, use of autonomous systems in all operational segments holds the seeds of a profound transformation of the battlefield. Historically, the underwater environment has been a driver of innovation for autonomous vehicles, due to the complexity of human operations in this environment. The observed increase in civilian activity under the sea over the past 25 years has thus led to significant technological advances in the field and a reduction in the cost of commercial underwater vehicles. France can rely on a favorable civil-military institutional, industrial, and scientific ecosystem in this area.

However, it is only in the last ten years or so that technologies enabling a certain level of autonomy for drones—potentially including military tasks—have begun to mature, fueled in particular by the explosion of the aerial drone segment and by the needs of the oil industry, the main historical customer for underwater drones. Autonomy in the underwater environment, however, requires overcoming the physical and technical constraints specific to this environment, such as “roughness” and opacity.

Due to the challenges posed by this highly adverse environment, the development of underwater drones requires the parallel development of several distinct technological components, supported by cutting-edge scientific research. The uneven progress of these different technological building blocks limits the current capabilities of underwater drones, particularly in the areas of communications and endurance.

All of these constraints and limitations continue to weigh on the current ability to deploy fully autonomous operational vehicles in the underwater environment. The sector distinguishes between UUVs (Unmanned Underwater Vehicles), which are underwater vehicles of all types, including remotely piloted or remotely supervised vehicles, and AUVs (Autonomous Underwater Vehicles), which are underwater vehicles that incorporate elements of autonomy. However, technological developments for underwater drones have moved beyond simple automated control to seek greater behavioral autonomy, with the ultimate goal of achieving systems that are fully capable of operating on their own. This transition from automation to autonomy is still in its infancy and will likely rely heavily on artificial intelligence, not only for data detection and analysis, but also for mission autonomy.

The industry remains a driving force for innovation in the underwater drone segment. Most navies of the world have opted for a cautious and iterative approach, testing capabilities based largely on commercial

solutions and studying the appropriate integration of underwater drones into their force structure. The military use of autonomous underwater drones in an operational context raises a number of questions, particularly in terms of design choices and safety and security. One of the key questions, however, remains whether underwater drones are intended to provide additional capabilities to naval forces or whether they will offer an alternative to them in certain segments. This naturally raises the question of the operational concept for these autonomous underwater vehicles, for which there seems to be no absolute answer.

Although underwater drones do indeed have the potential, when fully developed, to bring about major disruptions on the naval battlefield, the level of technological maturity for fully autonomous operational applications remains at an embryonic stage today. Certain traditional capability factors could also limit the widespread use of this type of vehicle: the cost associated with advanced technology, the need for skilled human resources, and the complexity of operational maintenance. Furthermore, the military ecosystem necessary to fully integrate this type of naval capability does not yet exist.

These issues deserve to be discussed between the armed forces and French industry while these technologies are still in their infancy. This dialogue should be formalized and maintained as technological developments in the sector progress. Given the promise offered by the advent of autonomy in the underwater environment, it seems necessary for navies to invest in and prepare for it, regardless of the concept of use they have chosen, whether offensive or defensive. This involves designing and supporting the integration of the capabilities they have chosen as soon as possible, but also preparing for the potential threat that underwater drones will pose to naval forces and maritime infrastructure.

Sommaire

| | |
|--|-----------|
| INTRODUCTION..... | 9 |
| LA LONGUE ET DIFFICILE CONQUÊTE DE L'AUTONOMIE DANS LE MILIEU SOUS-MARIN | 11 |
| La dualité civilo-militaire, moteur de l'innovation dans le milieu sous-marin | 12 |
| Un milieu qui reste résolument adverse..... | 14 |
| La nécessité d'un développement technologique multisectoriel..... | 15 |
| De l'automatisation à l'autonomie | 21 |
| INSCRIRE LES DRONES SOUS-MARINS DANS UN CADRE D'EMPLOI OPÉRATIONNEL..... | 24 |
| Quelles missions pour les drones sous-marins ? | 24 |
| L'importance du rapport taille, capacités et coût | 26 |
| Le dilemme du coût et du risque..... | 28 |
| La criticité de l'écosystème de mise en œuvre | 30 |
| QUEL CONCEPT D'EMPLOI ET QUELLE INTÉGRATION DANS LES STRUCTURES DE FORCE ? | 33 |
| Une diversité d'approches pour l'emploi militaire des drones sous-marins | 33 |
| Quel impact sur les opérations en mer et depuis la mer ? | 40 |
| Les limites au recours massif à l'autonomie sous-marine | 44 |
| Conclusion | 47 |

Introduction

L'un des facteurs stratégiques déterminants de la guerre russo-ukrainienne en cours est le recours massif à des capacités droniées, aériennes mais aussi maritimes et terrestres, qui révolutionnent la physionomie du champ de bataille. Pour autant, force est de constater qu'une partie significative de ces drones est encore télépilotée, téléopérée ou encore télésurveillée, attestant du fait que l'autonomisation des capacités militaires est encore en gestation.

Dans le milieu naval, les drones ne sont pas une nouveauté. Les premières tentatives d'utilisation de drones aériens-suicide par la marine américaine remontent à la Première Guerre mondiale, de même que l'emploi d'embarcations-suicide téléopérées par les forces armées allemandes contre les navires britanniques¹. Le développement par la marine américaine de drones sous-marins réellement opérationnels a débuté dans les années 1950. Des vecteurs sous-marins téléopérés sont employés en opérations par bon nombre de marines militaires occidentales depuis plusieurs décennies dans le cadre de la guerre des mines, en vue notamment de limiter l'exposition au risque des plongeurs démineurs. À ce titre, les drones de surface ukrainiens Magura², entre autres, sont les dignes descendants modernes de plus de 100 ans de réflexion navale en matière de vecteurs sans équipage.

Le milieu sous-marin a donc historiquement constitué un moteur de l'innovation en matière de développement de plateformes sans équipage, du fait de la complexité pour l'être humain d'y opérer, en profondeur ou dans la durée. Les planeurs sous-marins, premiers drones sous-marins autonomes, sont apparus dans les années 1990, et les recherches sur une autonomisation toujours plus grande dans le domaine sous-marin n'ont pas cessé depuis. Elles se sont toutefois toujours heurtées aux contraintes de l'environnement sous-marin, à savoir l'opacité et la non-homogénéité du milieu, et la pression et la salinité de l'eau,

Surfant sur l'engouement suscité par les possibilités offertes par l'avènement des drones aériens, une offre prolifique et tous azimuts a émergé en matière de drones navals, en particulier de drones sous-marins.

1. O. Danylov, « Naval Strike Drones: From Ancient Brigands to Modern Times », Mezha, 12 août 2023, disponible sur : <https://oboronka.mezha.ua>.

2. Drone naval de surface d'attaque ukrainien téléopéré existant en plusieurs versions (V5 et V7), développé par la Direction principale du renseignement du ministère de la Défense de l'Ukraine (GUR) avec l'aide de la base industrielle et technologique de défense (BITD) navale ukrainienne et commercialisé à l'export par la société ukrainienne Spetstchnoexport.

L'offre est assez largement portée par l'industrie, qui y voit une potentielle nouvelle révolution comparable à celle des drones aériens et entend ne pas manquer les opportunités de marché correspondantes, quitte à financer sur fonds propres une bonne partie des développements correspondants³.

Elle s'appuie sur la mise progressive sur le marché de composants standardisés, à la finalité duale et dont les coûts ont considérablement diminué : moteurs électriques et batteries, capteurs optiques et acoustiques, et électronique embarquée plus généralement. En même temps, cette offre capitalise également sur l'expérience pluridécennale acquise par l'industrie en matière de développements de robots et de drones sous-marins, et de torpilles, ainsi que sur un certain nombre d'avancées dans les segments technologiques correspondants. En ce sens, il s'agit autant d'intégration de composants standardisés que de développement de solutions originales.

Comment les marines doivent-elles se positionner face à cette offre technologique foisonnante qui s'étend et se diversifie ? Comment faire pour que, au regard des développements technologiques récents qui augurent, à terme, une plus grande autonomie, elles ne manquent pas le « tournant des drones » dans le milieu sous-marin ?

La réponse à cette question suppose de comprendre intimement les contraintes de l'environnement sous-marin ainsi que la réalité de ce que représente l'autonomie dans ce milieu. C'est l'objet de la première partie.

Elle amène ensuite à interroger le cadre d'emploi de vecteurs autonomes sous-marins dans un contexte militaire opérationnel, et les choix que cela induit. La deuxième partie se penche sur ces considérations.

Enfin, ces choix imposent à chaque marine de définir un concept d'emploi adéquat pour ses capacités sous-marines autonomes et de se prononcer sur leur juste intégration dans sa structure de forces, car c'est là que réside l'éventuelle révolution. Ces aspects sont abordés dans la dernière partie.

3. L. Lagneau, « Le français Naval Group dévoile le démonstrateur d'un drone sous-marin autonome océanique », Zone militaire Opex 360, 8 octobre 2021, disponible sur : www.opex360.com.

La longue et difficile conquête de l'autonomie dans le milieu sous-marin

L'autonomie se définit comme la capacité d'un agent à fonctionner ou évoluer de manière indépendante, donc sans dépendre d'autrui. Plus philosophiquement, elle correspond à la capacité à trouver, en soi et par soi-même, la loi de sa pensée (sa logique) et de son action, et à se donner ses propres normes, selon l'étymologie grecque du terme (*autos, nomos*). Appliqué au plan industriel, cela correspond également au temps pendant lequel un appareil peut fonctionner sans intervention ni apport extérieur d'énergie. Par extension, en termes militaires, cela conditionne la distance franchissable par un vecteur ou une munition propulsée, de type missile ou torpille.

À ce titre, une précision sémantique préalable s'avère nécessaire. Un drone est un système sans équipage qui se meut et agit soit *via* un télépilotage, soit de manière autonome. Une torpille autopropulsée et guidée répond à cette définition. Toutefois, un drone est *a priori* pensé comme un vecteur réutilisable, contrairement à une torpille qui a vocation à être un effecteur militaire (une arme) à emploi unique. Si, à l'instar des drones aériens-suicide (dit *One-Way Attack*) face aux missiles, les drones sous-marins-suicide viennent progressivement brouiller les lignes de cette distinction sémantique, cette étude exclura néanmoins les torpilles du champ des objets considérés.

L'autonomie recherchée pour les drones sous-marins, *a fortiori* militaires, répond donc aux ambitions suivantes : se déployer loin, opérer longtemps, sans intervention ni influence extérieure, en étant en mesure d'adapter leur comportement à la perception qu'ils ont de leur environnement et de réagir à des événements extérieurs, éventuellement dans un cadre de mission étendu et en ne s'appuyant que sur l'analyse des données en leur possession.

Si cette perspective s'avère séduisante, elle se heurte en pratique aux réalités et aux contraintes très particulières de l'environnement sous-marin, et ce depuis plusieurs décennies. Ainsi, « l'autonomie » concrète des drones sous-marins s'est en pratique limitée jusqu'à présent principalement à des systèmes téléopérés ou des systèmes télésupervisés.

La dualité civilo-militaire, moteur de l'innovation dans le milieu sous-marin

L'emploi d'engins sans équipage dans le milieu sous-marin n'est pas nouveau. Le premier drone sous-marin remonte ainsi au milieu du xx^e siècle. Au cours des années 1950, l'Office of Naval Research américain a financé des recherches pour développer un drone sous-marin en vue d'explorer l'Arctique, qui ont conduit au développement par le laboratoire de physique appliquée de l'université de Washington du véhicule de recherche sous-marine à usage spécial (SPURV) téléopéré par ondes acoustiques. Le SPURV pouvait plonger jusqu'à 10 000 pieds (3 000 mètres) et fonctionner jusqu'à quatre heures ; il disposait de capteurs capables de mesurer la température et la conductivité⁴. Le SPURV a été utilisé par l'université de Washington pour collecter des données océanographiques jusqu'en 1979⁵.

Après le naufrage du sous-marin *USS Thresher* en avril 1963, l'accent a été mis sur le développement d'une plateforme pour des interventions de sauvetage en grande profondeur, palliant les limites des solutions existantes à base de cloches de plongée. Visant également la récupération d'engins militaires sur les fonds marins (torpilles, bombes⁶), l'US Navy a ainsi financé en grande partie le développement des technologies utilisées par la suite pour les drones sous-marins.

En s'appuyant sur ces technologies, l'industrie pétrolière a développé dans les années 1970-1980 des véhicules sous-marins téléopérés (*Remotely-Operated Vehicles*, ROV) civils, essentiels dans la construction et l'exploitation des champs *offshore* pour lesquels les profondeurs dépassaient les capacités des plongeurs humains⁷.

Après une période de stagnation technologique dans la deuxième moitié des années 1980, le développement technologique de l'industrie des ROVs a repris et accéléré, élargissant la palette des ROVs disponibles et leur permettant progressivement de réaliser de plus en plus de tâches sous l'eau, allant de la simple inspection de structures à la manipulation et la mise en place d'objets (portions de pipelines, collecteurs, etc.), tant en phase de construction que d'exploitation, notamment *via* des actes de maintenance. Le développement des exploitations pétro-gazières à très grande profondeur (au-delà de 2 000 mètres) depuis les années 1990 explique ce

4. Mesure de la capacité de l'eau à conduire un courant électrique.

5. « History of Unmanned Underwater Vehicles », University of Bridgeport, 2022, disponible sur : nustem.bridgeport.edu.

6. J. L. Sayer Jr, « CURV Cable-controlled Underwater Recovery Vehicle », 1965, disponible sur : cyberneticzoo.com.

7. Les mélanges gazeux permettent d'envisager des plongées jusqu'à 300 mètres dans un contexte opérationnel. La plongée profonde en grande profondeur (au-delà de 180 m), dite de saturation, implique toutefois des temps de décompression pour les plongeurs allant de plusieurs jours à un mois.

recours de plus en plus important à des vecteurs sans équipage. Cette spécificité explique en bonne partie l'avance prise par les entreprises norvégiennes – à commencer par Kongsberg – en regard de l'importance du secteur pétrolier en mer du Nord et du lien public-privé en Norvège (Equinor⁸).

Alors que la marine américaine s'est tournée vers une solution habitée pour ses véhicules de secours sous la mer (*Deep-Submergence Rescue Vehicle*, DSRV), les véhicules sous-marins sans équipage ont trouvé d'autres applications. D'après un concept datant des années 1960, les planeurs sous-marins (*underwater gliders*), fondés sur le principe d'une propulsion sous-marine *via* des variations de flottabilité, ont commencé à apparaître à la fin des années 1980 en vue de répondre à un besoin scientifique de mesures océaniques (température, conductivité, fluorescence et rétrodiffusion optique et acoustique de l'eau⁹). Les applications pour ces véhicules sous-marins autonomes étant très spécifiques à l'époque, leur utilisation restait marginale.

Les vingt-cinq dernières années ont été marquées par une nette augmentation de l'activité dans le milieu sous-marin, notamment sous l'impulsion du secteur pétrolier et gazier, et pour la recherche océanographique. Cette augmentation de l'activité et, donc, des besoins a entraîné des progrès technologiques significatifs et conduit au développement de véhicules sous-marins commerciaux de moins en moins coûteux¹⁰.

Ce n'est pourtant que depuis la deuxième moitié des années 2010 que le segment des drones sous-marins a connu une transition similaire à celle qui avait révolutionné les drones aériens deux décennies auparavant, à savoir l'avènement des technologies permettant d'envisager un niveau d'autonomie compatible notamment avec des tâches ou des missions complexes, éventuellement militaires. Cette tendance s'est accompagnée de mouvements de concentration dans le segment industriel correspondant, avec l'acquisition de petites et moyennes entreprises spécialisées dans les drones sous-marins par de grands groupes de la base industrielle de défense, comme par exemple l'acquisition de Bluefin Robotics par General Dynamics en 2016, ou encore avec des rapprochements d'entreprises pour couvrir plus largement l'assise technologique requise, à l'instar du groupe EXAIL né du rapprochement de ECA Group et de iXblue en 2022. Au-delà des logiques industrielles, il s'agit également de mieux répondre aux besoins étatiques en la matière.

8. Compagnie d'énergie pétrolière et éolienne fondée en 1972, plus grande entreprise de Norvège, et encore détenue à plus de 70 % par l'État norvégien.

9. J. G. Graver, « Underwater Gliders: Dynamics, Control And Design », Faculty of Princeton University, mai 2005, available at: <https://naomi.princeton.edu>.

10. Un drone commercial d'exploration sous-marine peut coûter quelques milliers d'euros.

Ainsi, la dualité civilo-militaire des applications technologiques dans le segment des véhicules sous-marins sans équipage s'est illustrée très tôt et perdure aujourd'hui. Un écosystème dual en la matière est d'ailleurs la clé du développement accéléré des technologies militaires afférentes, à l'instar de ce que l'on peut observer aux États-Unis ou en Chine¹¹.

En la matière, la France a la chance de pouvoir s'appuyer également sur un écosystème institutionnel militaro-scientifique dual, entre le Groupe d'intervention sous la mer (GISMER) du centre expert de la Marine spécialisé dans la plongée humaine et l'intervention sous la mer (CEPHISMER), le Service hydrographique et océanographique de la Marine (SHOM), l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (IFREMER). Elle exploite notamment cette synergie dans le cadre des missions CALLIOPE afin notamment de préparer les équipes de la Marine nationale à mettre en œuvre des drones sous-marins dans des contextes opérationnels exigeants¹².

Un milieu qui reste résolument adverse

Nonobstant les progrès significatifs réalisés au travers de l'avancée des technologies dans le domaine, les développements en termes de véhicules sous-marins se sont toujours heurtés aux contraintes physiques inhérentes à ce milieu. On peut notamment citer à ce sujet :

- **l'opacité, optique comme électromagnétique** : l'eau absorbe considérablement et diffuse la lumière (visible, infrarouge et ultraviolet¹³), ce qui a un impact sur les systèmes de détection optiques, mais aussi sur les communications à base de lumière (laser) ; de même, l'eau de mer absorbe considérablement l'énergie des ondes électromagnétiques. Ainsi, seules les ondes radio VLF et les ondes électromagnétiques dans les gammes ELF et SLF¹⁴ pénètrent et se propagent dans l'eau, et encore de quelques dizaines de mètres pour les premières. Cela permet théoriquement à des objets immergés de communiquer avec des objets non immergés, mais cela suppose des antennes de très grande longueur (de plusieurs kilomètres à plusieurs milliers de kilomètres) non compatibles avec de petits véhicules.
- **la pression et la salinité de l'eau** : la pression dans l'eau augmentant linéairement avec la profondeur, les véhicules sous-

11. R. Fedasyuk, « Leviathan Wakes: China's Growing Fleet of Autonomous Undersea Vehicles », Center for International Maritime Security, 17 août 2021, disponible sur : cimsec.org.

12. « Objectif : -6000 mètres : préparer les capacités nécessaires à notre ambition », *Cols Bleus le magazine*, Ministère des Armées, 1^{er} décembre 2023, disponible sur : www.defense.gouv.fr.

13. J.-M. Frigerio, *L'Eau à découvert*, Paris, CNRS Éditions, 2015, p. 74-75.

14. La gamme VLF correspond à des fréquences entre 3 et 30 kHz, les gammes ELF et SHF à des fréquences entre 3 et 300 Hz.

marins doivent disposer de matériaux et d'une structure adaptée à la profondeur prévue d'utilisation ; la vitesse de déplacement est contrainte par la résistance de l'eau ; la salinité impose des matériaux métalliques résistant à la corrosion ; la conductivité électrique de l'eau salée suppose des architectures adaptées pour les systèmes immersés.

- **la non-homogénéité du milieu :** la température, la pression et la salinité de l'eau de mer varient, notamment avec la profondeur, et ce pas toujours de manière linéaire (phénomènes de couches, en surface ou de profondeur) ; les ondes acoustiques basses fréquences se propagent ainsi très bien sous l'eau, mais de manière non rectiligne (phénomène de réfraction)¹⁵.

L'ensemble de ces contraintes cumulées limite ainsi de manière générale l'accèsibilité de ce milieu, et ces facteurs limitants restent tout aussi prégnants aujourd'hui qu'ils ne l'étaient dans les années 1960, en dépit de l'évolution des technologies.

Pour autant, le milieu sous-marin a toujours présenté un intérêt militaire pour ces mêmes raisons : l'opacité du milieu et l'amplitude du volume sous-marin (étendue combinée à la profondeur) complexifient la détection des objets sous-marins et permettent aux véhicules sous-marins de se déplacer et d'opérer avec une grande discréetion. Cela explique que le développement des technologies à des fins militaires dans le milieu sous-marin s'est poursuivi de manière continue depuis l'avènement du sous-marin.

La nécessité d'un développement technologique multisectoriel

Du point de vue industriel, les drones sous-marins agrègent plusieurs « briques » technologiques majeures distinctes : les systèmes de navigation, la source d'énergie, les équipements de détection, les systèmes de communication et l'autonomie de mission. S'y ajoute éventuellement l'armement sous-marin pour les drones armés ou suicides, mais ce domaine est déjà largement couvert par les développements réalisés au profit des plateformes navales avec équipage. L'évolution des drones sous-marins suppose ainsi des développements en parallèle dans l'ensemble de ces domaines technologiques, qui se heurtent depuis des décennies aux contraintes du milieu sous-marin.

Historiquement, en effet, l'un des facteurs majeurs limitant l'autonomie pour les véhicules sous-marins a été la navigation sous-marine. La navigation autonome des vecteurs sous-marins a été particulièrement

¹⁵. O. Le Calvé, « Le son dans la mer », *Futura*, 30 octobre 2015, disponible sur : www.futura-sciences.com.

entravée par les exigences en matière d'alimentation électrique ainsi que par la difficulté générale des signaux de communication/formes d'ondes à se propager dans l'eau, sans compter les difficultés liées à l'interprétation des irrégularités du milieu sous-marin et l'instabilité ou l'interruption des signaux causées par la vie marine¹⁶.

Plusieurs développements techniques ont toutefois permis de lever certains obstacles à la navigation des UUV¹⁷ : des systèmes de navigation inertielle plus petits et plus efficaces, des systèmes de navigation par magnétométrie, par sonar doppler, des systèmes de positionnement sous-marin par triangulation *via* des transpondeurs acoustiques fixes, des antennes plus compactes, des capteurs sous-marins plus performants, ou encore un traitement numérique puissant de l'information. De nouveaux domaines technologiques avancés font actuellement l'objet de recherches en la matière, en capitalisant notamment sur les apports de l'IA : la navigation par reconnaissance de terrain et le *machine learning*¹⁸.

La navigation reste toutefois à ce stade un enjeu déterminant pour des drones sous-marins réellement autonomes, par exemple, ne naviguant pas selon une trajectoire programmée ou sur un itinéraire routinier, en particulier dans des environnements opérationnels exigeants. Une pleine autonomie s'appuiera ainsi vraisemblablement sur une combinaison de techniques de navigation autonome différentes, à l'instar de l'approche SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*), ce qui imposera une diversité de senseurs et une capacité interne de fusion et d'analyse de données hétérogènes.

La source d'énergie pour alimenter la propulsion et les systèmes embarqués a également toujours été et reste un sujet pour les vecteurs sous-marins. L'endurance mais aussi l'autonomie décisionnelle du système et la puissance des capteurs/effecteurs sont liées à la quantité d'énergie disponible, qui peut être soit produite *in situ*, soit stockée en amont : la performance du système d'alimentation énergétique conditionne directement les capacités militaires du drone sous-marin.

Les solutions de production d'énergie développées au fil du temps pour les sous-marins, qu'elles soient aérobies (moteur diésel-alternateur redresseur), anaérobie (à base de moteurs anaérobies ou de piles à combustible) ou nucléaire, ne sont guère adaptées à des vecteurs sous-marins de petite taille et non habités, pour des questions d'encombrement ou de sécurité de fonctionnement. Ainsi, pour un drone sous-marin de taille réduite, la densité d'énergie disponible (notamment le rapport encombrement du système/quantité d'énergie) est un facteur clé

16. R. K. Nichols *et al.*, *Unmanned Vehicle Systems & Operations: On Air, Sea, Land*, auto-édité, 2020.

17. « Advancements in Autonomous Underwater Vehicle Navigation », PNI Sensor, novembre 2024, disponible sur : www.pnisensor.com.

18. *Ibid.*

conditionnant la durée d'opérations avant rechargeement (à quai ou sur un bâtiment-mère).

La torpille nucléaire russe Poséidon, souvent assimilée à un UUV, offre un contrepoint intéressant. Elle serait alimentée et propulsée par réacteur nucléaire refroidi au métal liquide¹⁹, solution qui offre une forte densité massique d'énergie. Elle est toutefois donnée pour une longueur de 22 m, ce qui est déjà bien au-delà des tailles standard des drones sous-marins compacts. En outre, le réacteur est vraisemblablement conçu pour une utilisation sur une durée limitée dans une logique de délivrance d'un effet militaire²⁰, et non pour un fonctionnement de longue durée, comme il en serait logiquement pour un drone sous-marin de grande taille.

Encore aujourd'hui, la solution privilégiée pour les drones sous-marins reste le stockage en batteries, ce qui limite *de facto* l'endurance du vecteur. Or l'avènement des batteries lithium-ion, développées dans les années 1990, dont le coût a été drastiquement réduit depuis le début des années 2000 et qui offrent une énergie massique élevée, a mis à disposition une source d'énergie conséquente et peu chère pour alimenter les drones sous-marins, même si leur fiabilité n'est pas forcément encore pleinement satisfaisante pour un usage militaire.

Pour autant, le développement d'une source de production d'énergie pour les drones sous-marins continue de faire l'objet de recherches. Ainsi, la marine américaine a lancé en 2023 un projet de pile à combustible à hydrogène pour drones sous-marins²¹. Le stockage de l'hydrogène pour une pile à hydrogène est généralement effectué sous forme de gaz comprimé dans des bouteilles à haute pression (200 à 300 bars), ce qui offre une densité énergétique élevée par rapport au poids. Plus largement, on observe un retour, notamment pour les drones de petite taille, à des solutions à base de piles à combustible qui, si elles ne sont ni rechargeables ni réutilisables, ont l'avantage de présenter une bonne densité énergétique. Sans être exhaustif, on peut également mentionner les recherches en cours sur les batteries à énergie atomique²², technologie qui pourrait à maturité apporter une solution viable pour l'autonomie sous-marine, ou encore les solutions en développement sur des stations de rechargement sous-marines (de fond ou submergées)²³.

19. T. Newdick, « Powered Test of Poseidon Nuclear Torpedo, Putin Claims », The War Zone, 29 octobre 2025, disponible sur : www.tww.com.

20. H. I. Sutton, « Russia's New "Poseidon" Super-Weapon: What You Need To Know », Naval News, 3 mars 2022, disponible sur : www.navalnews.com.

21. A. Lepigeon, « Un drone sous-marin équipé d'une pile à hydrogène pour développer son autonomie », *Le Marin Ouest-France*, 18 septembre 2023, disponible sur lemarin.ouest-france.fr.

22. F. Terminet, « Bientôt une batterie miniature à énergie atomique ? », Sfen, 19 janvier 2024, disponible sur : www.sfen.org.

23. J. Liu, F. Yu *et al.*, « A Review of Underwater Docking and Charging Technology for Autonomous Vehicles », *Ocean Engineering*, vol. 297, avril 2024, disponible sur : www.sciencedirect.com.

Au bilan, il est donc prévisible que l'endurance des drones sous-marins va continuer d'augmenter au fur et à mesure que les technologies de production d'énergie vont gagner en maturité.

Les systèmes de détection pour les drones sous-marins ne bouleversent pas les schémas établis. Ils capitalisent largement sur l'expérience acquise dans les technologies de détection pour les sous-marins et les ROV : sonar actif ou passif, caméra de fond. Les drones sous-marins autonomes actuels disposent généralement d'une combinaison de sonars différents pouvant inclure des sonars à balayage latéral, des sonars frontaux ou des sonars à ouverture synthétique (SAS) ou à ouverture multiple (MAS). L'enjeu pour les drones sous-marins autonomes réside davantage dans l'exploitation des informations collectées et dans la classification des objets sous-marins sans intervention extérieure. Les technologies de reconnaissance d'objets pour des applications sous-marines ont jusqu'à présent été en retard par rapport à leurs équivalents pour les applications terrestres ou aériennes, mais elles progressent néanmoins²⁴, laissant augurer une plus grande autonomie pour les drones sous-marins. L'autre enjeu pour les drones sous-marins, qui ne s'applique pas aux sous-marins, réside dans la compacité et la frugalité énergétique des systèmes de détection, pour permettre une plus grande autonomie du vecteur dans une taille réduite²⁵.

Les communications sont un facteur extrêmement limitant sous l'eau. L'atténuation par l'eau de mer des ondes radio et les autres signaux sans fil rend illusoires les communications à haut débit ou à longue portée en l'état actuel des technologies. En outre, les systèmes de communication utilisés pour des drones sous-marins doivent rester frugaux en termes de consommation énergétique, ce qui n'est guère compatible avec ces contraintes. Les drones sous-marins autonomes pourraient permettre de contourner cette difficulté, en ce sens qu'ils ont vocation à opérer sans intervention extérieure. Pourtant, les systèmes de communications des AUV resteront déterminants pour leurs applications militaires. Il s'agit en effet de leur permettre de communiquer avec le reste de leur écosystème naval, afin de pouvoir récupérer en temps réel les données collectées par ces drones pour les exploiter et les partager au reste de la force, en vue de conserver la possibilité de réorienter le drone en cours de missions en fonction de l'évolution de son environnement opérationnel, ou encore pour rendre possible des opérations coordonnées (*swarming*).

L'opacité inhérente du milieu sous-marin aux communications a toujours été un frein en la matière, imposant pour le recalage des systèmes ou la communication avec le reste de la force le recours à des expédients.

24. M. Rorvig, « Developing Object Detection Systems for Autonomous Underwater Vehicles », Mobility Engineering Technology, 1^{er} octobre 2021, disponible sur : www.mobilityengineeringtech.com.

25. On peut citer à cet égard le sonar 76Nano dévoilé récemment par la société THALES, sonar à ouverture synthétique à base de tuiles émettrices/réceptrices, spécifiquement développé dans l'optique d'une intégration sur des drones sous-marins.

Il peut s'agir d'un relais en surface (bouée de surface tractée, remontée ou larguée), de l'utilisation d'un mat télescopique, ou encore d'une antenne remorquée à faible profondeur, solutions peu adaptées à un vecteur de petite taille.

Cependant, poussée par les besoins croissants civils et militaires en matière de communications sous-marines, la communauté scientifique et technique explore activement de nouvelles technologies, acoustiques, optiques, magnétiques, atomiques ou encore quantiques²⁶, afin d'augmenter leur portée, leur latence et leur débit. Il est donc probable que les développements vont s'accélérer dans ce domaine, ce qui facilitera à terme la mise en réseau des vecteurs sous-marins et leur intégration dans un système militaire de forces.

En plus de la capacité à communiquer vers l'extérieur, les drones sous-marins autonomes intègrent une multiplicité de senseurs et de systèmes de natures différentes. Au regard de leur complexité, ces drones sont rarement développés *in extenso* par une seule compagnie. Ils agrégeaient généralement des composants externes, avec des interfaces et des protocoles propriétaires. Aussi, la capacité à faire communiquer l'ensemble des systèmes entre eux est un enjeu en soi pour les drones sous-marins autonomes. L'US Navy s'est saisie de cette problématique au travers de l'initiative *Unmanned Maritime Autonomy Architecture* (UMMA)²⁷, qui vise à développer une architecture logicielle modulaire commune évolutive pour ses drones maritimes. L'Organisation du traité de l'Atlantique nord (OTAN) cherche également, au travers du STANAG²⁸ 4817, à mettre en place un standard permettant l'interopérabilité et l'interfaçage entre drones sous-marins, en établissant des schémas de référence pour le Command & Control (*tasking & reporting*), ainsi que pour les architectures logicielles des équipements associés. Ce STANAG a été utilisé pour les expérimentations de la Task Force X²⁹ en mer Baltique et dans le cadre des exercices annuels REPMUS³⁰ de l'OTAN, où il a largement évolué et été affiné³¹. L'industrie, elle, s'appuie sur des standards existants, à l'instar des normes NMEA³² largement utilisées dans le monde maritime pour cadrer la communication entre équipements marins, dont les équipements GPS, ou

26. Z. Qhu et M. Lai, « A Review on Electromagnetic, Acoustic, and New Emerging Technologies for Submarine Communication », *IEEE Access*, vol. 12, 12 janvier 2024, disponible sur : ieeexplore.ieee.org.

27. « Unmanned Maritime Autonomy Architecture (UMAA) », AUVSI, 5 mars 2025, disponible sur : www.auvsi.org.

28. NATO Standardization Agreement.

29. Initiative pilotée par le Allied Command Transformation (ACT) de l'OTAN pour tester un large panel de systèmes autonomes, en vue d'accélérer l'acquisition sur étagère de systèmes commerciaux à des fins militaires, notamment de surveillance maritime.

30. Robotic Experimentation and Prototyping using Maritime Uncrewed Systems.

31. « STANAG 4817 completes NATO's MUS Jigsaw », Janes, 17 octobre 2025, disponible sur : www.janes.com.

32. Normes définies et contrôlées par la National Marine Electronics Association, association américaine à but non lucratif de fabricants d'appareils électroniques maritimes.

encore du Robot Operating System (ROS), architecture logicielle *open source* développée en 2007 pour les systèmes robotisés.

Ainsi, poussé par les besoins croissants ou émergents d'interopérabilité entre drones sous-marins de toutes natures, le développement de standards de communication et d'échange d'informations progresse à marche forcée et, modulo l'arrivée à maturité des autres segments technologiques nécessaires, l'horizon d'opérations sous-marines conjointes entre drones sous-marins semble atteignable.

Au-delà des briques technologiques concernant directement les drones sous-marins, divers systèmes périphériques peuvent être nécessaires à la mise en œuvre. C'est notamment le cas des systèmes de mise à l'eau et de récupération. La mise à l'eau ou la récupération ponctuelle d'un drone depuis la terre fait appel à des technologies maîtrisées (grue, potence ou rampe). Pour autant, l'utilisation éventuelle de drones sous-marins en masse depuis la terre supposerait des infrastructures de mise en œuvre adaptées et automatisées dans les sites de lancement, par exemple sous forme de baies de lancement/récupération immergées ou encore *via* des rampes. La vision du chantier du futur portée par la compagnie SARONIC³³ illustre bien cette réalité du point de vue du producteur de drones, mais elle est également valable pour l'exploitant. Or ce type d'infrastructure n'existe pas à ce stade.

La problématique concerne également la mise en œuvre des drones sous-marins depuis des navires. L'US Navy expérimente actuellement la mise en œuvre de drones sous-marins depuis les tubes lance-torpilles de ses sous-marins³⁴. Pour les navires de surface, les solutions usuelles pour la mise à l'eau et la récupération des engins font appel à des potences ou des bossoirs, ce qui manque de souplesse et ne permet guère une utilisation en masse de drones sous-marins. Des solutions technologiques commencent à émerger, telles que des systèmes de lancement et de récupération automatisés depuis des navires-mère³⁵, mais elles supposent des adaptations structurelles des navires, qui ne pourront par conséquent concerner que les nouvelles générations de navires de surface, voire imposer des navires spécialisés dédiés à la mise en œuvre de ces drones sous-marins.

Au bilan, bien que les besoins et les larges perspectives d'emploi des drones sous-marins plus autonomes, tant dans le monde civil qu'à des fins militaires, motivent le milieu de la recherche comme les industriels et les marines militaires à explorer dans toutes les directions afin de lever

33. « Building the Fleet of Tomorrow », Saronic, disponible sur : www.shipyardofthefuture.com

34. L. Willett, « US Navy continues AUV – SSN torpedo-tube launch and recovery efforts », *Naval News*, 27 octobre 2025, disponible sur : www.navalnews.com.

35. W. Zhang et al., « An underwater docking system based on UUV and recovery mother ship: design and experiment », *Ocean Engineering*, Vol 281, 1^{er} aout 2023, disponible : www.sciencedirect.com.

progressivement les obstacles, on voit que certains segments technologiques progressent plus vite que d'autres. Or, une autonomie totale des drones sous-marins suppose de pouvoir aligner l'ensemble du spectre des constituants nécessaires.

La France a toutefois la chance de bénéficier d'un écosystème industriel composite bien installé dans le domaine, au travers de grands groupes industriels du naval comme Naval Group ou Thales, qui s'appuient sur leur expertise en matière d'intégration systémique et d'architecture navale, au travers d'acteurs spécialisés, dans la robotique maritime et les systèmes de navigation pour EXAIL ou dans la robotique et les systèmes automatisés pour le groupe ECA, mais aussi au travers de petites et moyennes entreprises qui développent des solutions en matière de capteurs innovants et de logiciels d'IA embarquée notamment. Face au défi que représente le développement de l'autonomie dans le milieu sous-marin, une bonne coopération et synergie industrielle entre ces différents acteurs semblent indispensables pour positionner la France comme un acteur sérieux du domaine et permettre le développement efficient d'une capacité nationale souveraine à la hauteur de l'ambition militaire et civile qui sera affichée en la matière.

De l'automatisation à l'autonomie

Sur le plan opérationnel, l'autonomie recherchée pour les drones sous-marin est une combinaison de la capacité à opérer longtemps et loin sans réapprovisionnement (endurance) et de la capacité à opérer seul sans action extérieure (autonomie de mission).

L'autonomie de mission correspond à cette autonomie dans l'action, à savoir la capacité du drone sous-marin à réaliser des missions simples ou complexes sans intervention extérieure, que ce soit par l'apport de données complémentaires ou par la fourniture d'instructions. Elle suppose la capacité du drone à appréhender la complexité de son environnement extérieur et à s'y adapter de manière flexible.

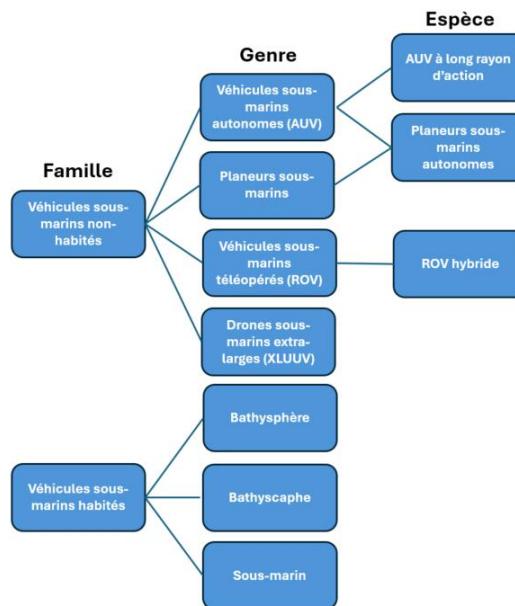
Cette notion d'autonomie de mission est bien reflétée dans la distinction sémantique entre les deux catégories de drones sous-marins³⁶ :

- les *Unmanned Underwater Vehicles* (UUV) sont des véhicules sous-marins sans équipage ; c'est une catégorie assez large qui inclut les *remotely-operated vehicles* (ROV), drones téléopérés *via* un câble ou des signaux acoustiques, ou encore des drones sous-marins capables de naviguer de manière autonome mais agissant sous supervision externe ;
- les *Autonomous Underwater Vehicles* (AUV) sont des drones

36. D. Hume, « Underwater Vehicle Classification », The Liquid Grid, 19 mars 2019, disponible sur : theliquidgrid.com.

pleinement autonomes, assurant leur propre navigation et maîtrisant leurs manœuvres, en mesure d'adapter leur comportement à ce qu'ils perçoivent de leur environnement ; les planeurs sous-marins font partie de cette catégorie.

Graphique 1 : Classification indicative des véhicules sous-marins³⁷



Source : infographie réalisée par l'auteur © Ifri, 2026.

Cela étant, le seuil d'autonomie minimale permettant l'appellation de drone sous-marin autonome est sujet à débat, et un grand nombre des AUVs actuels n'est pas réellement pleinement autonome.

Un drone sous-marin télépiloté (ROV) correspond ainsi au niveau zéro de l'autonomie de mission. Un planeur sous-marin effectuant une mission scriptée, avec une capacité limitée d'adaptation de son comportement en fonction de son environnement, correspond à un niveau intermédiaire. Le niveau absolu d'autonomie correspondrait à des drones sous-marins capables d'effectuer, à l'instar d'un équipage humain, des missions complexes au sein d'une force de drones autonomes constituée, œuvrant en synergie.

La montée du niveau d'autonomie de mission dans le milieu sous-marin s'est faite en plusieurs étapes. Les véhicules sous-marins téléopérés (ROV) en ont constitué les prémisses, en substituant au pilote humain un câble transmettant des ordres aux fonctions actives du véhicule. Cela correspond toutefois au niveau le plus élémentaire d'autonomie, comme illustré dans le schéma ci-dessus.

37. Ibid.

Le premier facteur clé pour une autonomie de mission plus grande des drones sous-marins a été l'avènement des ordinateurs embarqués en mesure d'exécuter des tâches complexes en réponse à des instructions simples, et de transmettre des données sur l'environnement collectées par les senseurs du drone avec la frugalité imposée par le faible débit des communications acoustiques sous-marines. Aujourd'hui, il n'est plus nécessaire d'avoir une connexion par câble pour transmettre des vidéos en mouvement depuis les profondeurs. Les processeurs embarqués à bord du véhicule peuvent fournir une classification et une localisation des cibles par sonar dans de brefs messages textes relayés par des canaux de communication acoustique sous-marins.

Au-delà, les drones sous-marins autonomes modernes sont équipés de systèmes avancés de navigation incluant des algorithmes de planification de route, et de technologies de contrôle de mouvement qui leur permettent de réaliser des tâches complexes telles que l'adaptation de route en fonction des données d'environnement, l'évitement des obstacles et la navigation par reconnaissance de terrain. Pour autant, les drones sous-marins autonomes restent encore aujourd'hui très largement préprogrammés. Les fonctions motrices du drone sont automatisées et réagissent de manière paramétrée à leur environnement. Cela correspond aux niveaux 2 et 3 de l'autonomie.

Ces dernières années, la recherche a cherché à dépasser la simple conduite automatisée pour aller vers une plus grande autonomie de mission. L'objectif ultime est de converger, *in fine*, en capitalisant pleinement sur la miniaturisation des composants électroniques, l'augmentation de la puissance de calcul des processeurs et le développement des outils d'IA vers des drones pleinement autonomes, comme ceux qui opèrent sans intervention extérieure en optimisant en conduite leur navigation, le déroulé de la mission, et en s'intégrant dans un réseau complexe et composite de capteurs et d'effecteurs. C'est tout particulièrement vrai dans le domaine militaire.

Cette perspective semble toutefois encore lointaine. La transition entre automatisation et autonomisation dans le milieu sous-marin est à peine lancée. Elle sera conditionnée à la capacité de l'IA agissante à être à la hauteur de ses promesses en termes de fusion et d'analyse d'informations, de capacité d'apprentissage, ainsi que de prise de décision dans un environnement opaque et complexe. La hausse très significative des capacités de calcul des ordinateurs embarqués permet en revanche d'envisager des systèmes experts³⁸ sous-marins non pilotés toujours plus performants en matière de choix tactiques, à l'instar des torpilles de dernière génération telles que la F-21 Artémis française.

Inscrire les drones sous-marins dans un cadre d'emploi opérationnel

La perspective de disposer à court ou moyen termes de drones sous-marins plus ou moins autonomes, poussée par une offre industrielle en plein essor dans ce domaine, amène les marines militaires à se pencher sur les usages militaires potentiels pour ce type de moyens ou de capacité. Cela soulève des questions en matière de choix de conception pour ces vecteurs, d'exposition dans un contexte naval opérationnel, ou encore d'écosystème d'appui à cette capacité.

Quelles missions pour les drones sous-marins ?

Outre le fait que l'industrie a historiquement été à l'origine de nombreux développements dans le domaine des drones sous-marins, les promesses de l'autonomisation, portées par la révolution des drones aériens, ont incité bon nombre d'industriels à investir le segment afin de ne pas manquer ce virage technologique dans le milieu sous-marin et à développer des solutions technologiques (vecteurs ou équipements). Les industriels sont donc à l'initiative pour proposer spontanément une large gamme de produits, notamment aux acteurs étatiques.

Cet état de fait ainsi que l'arrivée récente à maturité des technologies permettant d'envisager un emploi militaire autonome des drones sous-marins conduisent la plupart des marines à favoriser une approche itérative pour l'intégration dans leur structure de forces : considérer et tester les possibilités offertes par les solutions industrielles, et les confronter aux emplois opérationnels potentiels. C'est là tout l'objet, entre autres, des exercices annuels REPMUS³⁹ associant les marines de l'OTAN et les entreprises du domaine⁴⁰, et du programme *Dynamic Messenger* (DYMS) – une initiative de l'OTAN – qui fournit un terrain d'entraînement et de test des équipements militaires au plus proche des conditions du réel.

Toutefois, la marine américaine, pionnière dans le domaine, a conceptualisé assez tôt l'emploi moderne possible des drones sous-marins

39. Robotic Experimentation and Prototyping using Maritime Unmanned Systems.

40. « Exercice militaire REPMUS 25 : l'OTAN teste ses drones au large du Portugal », EURONEWS, 29 septembre 2025, disponible sur : <https://fr.euronews.com>.

au travers d'un *Unmanned Undersea Vehicle Master Plan*, sorti initialement en 2000 et qui a fait l'objet d'une réactualisation en novembre 2004⁴¹. Rare document formalisé en la matière à ce stade, il pose *de facto* des jalons conceptuels pour le domaine.

Ce document retient et décrit neuf domaines de mission envisageables pour les drones sous-marins : Intelligence-Surveillance-Reconnaissance (ISR), guerre des mines, lutte anti-sous-marine, inspection/identification d'objets sous-marins, océanographie, communications/relais de navigation, transport de charge utile, opérations informationnelles, frappe instantanée. Ces domaines sont rapprochés des quatre piliers conceptuels pour les opérations maritimes développés dans la vision de la marine américaine « Sea Power 21 » de transformation pour s'adapter au défi du XXI^e siècle : le volet défensif (*Sea Shield*), le volet offensif (*Sea Strike*), le volet opérations depuis la mer (*Sea Base*) et le volet connectivité (*FORCENet*). Cela illustre la très large palette des applications possibles pour les drones sous-marins dans les opérations navales, au moins sur le plan conceptuel, et leur intégration envisageable dans l'ensemble des composantes de l'action navale. Pour autant, en l'état, les emplois militaires principaux pour les drones sous-marins actuels restent la surveillance du milieu sous-marin (ISR) et la guerre des mines.

Le document explicite sans ambiguïté le cœur de l'emploi des drones sous-marins comme la capacité à collecter de l'information, en amont⁴² et en conduite, et à traiter des cibles dans un environnement dénié aux forces navales traditionnelles. En cela, on capitalise sur les avantages opérationnels des drones sous-marins que sont l'autonomie et la persistance, la discrétion, le caractère déployable, la capacité à s'adapter à l'environnement opérationnel et la réduction du risque pour les forces.

Les développements technologiques survenus depuis 2004 ne semblent pas devoir remettre en cause cette vision, à savoir le large panel d'applications opérationnelles possibles pour les drones sous-marins, ainsi que leur plus-value en complément des forces navales traditionnelles dans des scénarios d'emploi particuliers. Néanmoins, cela soulève la question de leur juste intégration dans une structure de forces aéromaritimes.

41. « The Navy Unmanned Undersea Vehicle (UUV) Master Plan », Defense Technical Information Center, 9 novembre 2004, disponible sur : <https://apps.dtic.mil>.

42. *Intelligence Preparation of the Battlespace*.

L'importance du rapport taille, capacités et coût

En raison des contraintes du milieu évoquées au premier chapitre, un drone sous-marin est nécessairement un compromis. Cette réalité est bien illustrée par l'acronyme SwaP (*Size, Weight and Power*)⁴³, communément utilisé dans le milieu industriel notamment pour les systèmes spatiaux ou dronisés. Plus largement, il est impératif de trouver un équilibre entre la résistance (qui conditionne la profondeur maximale d'utilisation), la taille et le poids (qui ont un impact sur la flottabilité et l'énergie nécessaire à la propulsion, sur la discréption, et qui conditionnent la charge utile) et la source d'énergie (qui conditionne l'endurance en alimentant la propulsion, les équipements et la charge utile). On peut enfin y ajouter le facteur coût, dans une logique de massification éventuelle.

Il n'y a pas d'absolu dans cet équilibre, et chacun des paramètres peut devenir prépondérant en fonction du domaine de mission envisagé. L'endurance suppose soit une grande quantité d'énergie, soit un mode de propulsion très économique et/ou une charge utile et des senseurs limités. La discréption oriente vers des vecteurs de taille réduite et plus autonomes. La connectivité ou la collecte d'informations multi-senseurs impose une charge utile importante. Cela conduit naturellement à deux logiques qui s'opposent : la spécialisation des drones ou le recours à des drones de grande taille.

L'*UUV Master Plan* de 2004 définit quatre classes de drones sous-marins selon leur déplacement⁴⁴ : portables (de 10 à 50 kilogrammes), léger (autour de 250 kilogrammes), lourd (environ 1,5 tonne) et large (environ 10 tonnes). Un planeur sous-marin rentre dans la catégorie portable, quand un UUV de détection et d'identification longue endurance type REMUS 600 pèse déjà dans les 240 kilogrammes et mesure plus de 4 mètres de long. Ces classes reflètent une logique d'emploi, à savoir le système de mise en œuvre du drone sous-marin : tube lance-torpille pour les légers, silo de lancement de missile pour les lourds, depuis une base pour les larges.

43. Taille, poids et source d'énergie.

44. En architecture navale, le déplacement d'un navire est défini comme le volume d'eau déplacé par la partie immergée du navire, multiplié par la densité de l'eau de mer. Ce déplacement est directement lié à la flottaison, car la poussée d'Archimède est égale au poids de l'eau déplacée par le navire.

Graphique 2 : Classes de drones sous-marins

| | |
|--|---|
| <p>Portable (Micro / Mini / Small UUV) Jusqu'à 50 kg</p> <p>Portable - Mise en œuvre depuis navire ou embarcation</p>  <p>REMUS-100</p> | <p>Léger (Medium UUV) Autour de 250 kg</p> <p>Mise en œuvre depuis navire</p>  <p>REMUS-600</p> |
| <p>Lourd (Large UUV) Autour de 1500 kg</p> <p>Mise en œuvre depuis navire ou depuis un quai</p>  <p>BLUEFIN-21</p> | <p>Grande taille (LDUUV – XLUUV) 10 tonnes ou plus</p> <p>Mise en œuvre depuis un quai ou un navire spécialisé</p>  <p>ORCA</p> |

Source : David Hume, « UUV, ROV, AUV – What Does it All Mean? – The Ocean Vehicle Taxonomy », The Liquid Grid, 19 mars 2019, disponible sur : <https://theliquidgrid.com>.

Fait révélateur, si les marines privilégièrent pour les drones sous-marins mono-mission (ISR notamment) ou consommables des achats sur étagère, les programmes étatiques de drones sous-marins navals s'orientent de plus en plus vers de très grandes plateformes (XL-UUV) pour disposer d'une capacité performante, longue endurance et un minimum polyvalente. On peut citer à ce titre le *Ghost Shark* de la société Anduril développé pour les marines australiennes et américaines (3 tonnes)⁴⁵, le EXCALIBUR britannique (19 tonnes)⁴⁶, ou encore les différents types de drones XL-UUV développés par la marine chinoise tels que le AJX002 (autour de 20 mètres de long et de plus de 1 mètre de diamètre) révélé lors de la parade militaire en septembre dernier⁴⁷. De même, la Direction générale de l'Armement (DGA) a passé en 2024 un accord-cadre avec la société Naval Group pour la conception, la production et l'expérimentation d'un démonstrateur de drone de combat sous-marin⁴⁸ sur la base de son prototype de XL-UUV (10 tonnes)⁴⁹.

45. M. Yeo, « First Ghost Shark Extra Large AUV Delivered to Australian Navy », Breaking Defense, 3 novembre 2025, disponible sur : <https://breakingdefense.com>.

46. J. Hill, « Royal Navy Name Project CETUS XLUUV, “Excalibur” », Naval Technology, 16 mai 2025, disponible sur : www.naval-technology.com.

47. « China to Reinforce Naval Pressure over Taiwan Strait with New AJX002 Extra-large Underwater Drone », Army Recognition, 8 septembre 2025, disponible sur : www.armyrecognition.com.

48. UCUV – Unmanned Combat Underwater Vehicle.

49. « Naval Group réalise les premiers essais de son grand drone sous-marin avec la Marine nationale », Le Marin Ouest-France, 24 octobre 2025, disponible sur : <https://lemarin.ouest-france.fr>.

Cela ne signifie pas que l'ensemble du parc de drones sous-marins militaires sera composé de XL-UUVs, qui seront au contraire vraisemblablement minoritaires dans les parcs. En effet, des drones sous-marins de petite taille ou de taille intermédiaire suffisent largement pour des tâches spécialisées telles que l'ISR, la surveillance des fonds marins ou la lutte contre les mines, et ils existent déjà en offre commerciale à coût maîtrisé.

Cela illustre bien en revanche la relation majeure qui existe pour les drones sous-marins, plus encore que dans d'autres milieux, entre l'envergure et les capacités militaires. S'ajoute également à ces considérations l'enjeu du caractère déployable. En effet, en l'état actuel des technologies de stockage d'énergie et de propulsion, les drones sous-marins ont généralement une vitesse de croisière limitée (entre 5 et 10 noeuds) en vue d'augmenter leur autonomie. À des fins de réactivité, il y a donc une réelle plus-value à pouvoir les déployer au plus près de leur zone d'opérations, depuis une autre plateforme, maritime évidemment, mais aussi pour les drones mis en œuvre depuis la terre et pour les pays disposant de plusieurs façades maritimes, *via* une liaison aérienne et/ou terrestre. Une telle capacité à être projeté limitera *de facto* leur gabarit. À ce titre, 12 mètres de longueur maximale semblent être un ordre de grandeur réaliste. Par ailleurs, les engins de mise à l'eau (grues, potences ou bossoirs) des navires non spécialisés ne sont pas prévus pour manipuler plus de 1 ou 2 tonnes à la mer. La compacité des drones sous-marins représente donc un réel enjeu qui imposera aux marines de faire des choix quant à leur conception et donc à leur emploi.

Le dilemme du coût et du risque

Une autre considération pour l'emploi des drones sous-marins est l'échelle de valeur du drone. En termes de drones aériens, on retient usuellement trois niveaux de valeur : réutilisable, perdable et consommable⁵⁰. Sans qu'ils ne soient associés à des tranches de coût bien définies, ces niveaux reflètent des logiques d'emploi différentes, sous-tendues par des notions de coût et de masse : le coût limité permet la masse qui permet le caractère consommable. Les munitions droniées et les drones-suicides font partie de la troisième catégorie, les drones ISR de la deuxième. Or, dans le milieu sous-marin, l'adversité inhérente au milieu peut faire grimper en flèche les coûts dès lors que l'on recherche l'autonomie, l'autonomisation, la performance ou la fiabilité. En effet, là où un planeur sous-marin commercial ne coûte que quelques milliers d'euros, l'intégration d'une charge explosive, d'une charge utile sensible ou encore d'une suite d'autonomisation plus poussée dans un vecteur sous-marin posera des difficultés technologiques surmontables mais qui pèsieront

50. *Reusable, attributable, expendable.*

significativement sur le coût du vecteur au regard des solutions technologiques existantes. À titre d'illustration, l'ordre de grandeur de coût d'un *glider* sous-marin de qualité militaire se situe aux alentours de 250 000 euros. De même, l'ordre de grandeur de coût d'un drone de surface suicide ukrainien Magura V5 est estimé entre 250 000 et 500 000 euros, contre 100 000 euros pour un vecteur aérien de type Shahed-136/Geran-2. Le prix n'obèrera en rien la capacité à faire des drones sous-marins des objets militaires consommables⁵¹, mais pose néanmoins question quant à la logique d'emploi en masse telle que constatée dans le domaine aérien, notamment pour des marines de taille moyenne. Aussi, dans la logique d'emploi, chaque marine en viendra nécessairement à se poser la question des seuils de valeur, notamment à partir de quel ordre de coût le vecteur perd-il son caractère consommable, avec des réponses variables selon la culture stratégique de chaque marine.

Au-delà, et dans le prolongement de la question du coût, se pose celle du risque de perte du drone. Ce risque de « perte » recouvre deux réalités : le risque que le drone, par manque de fiabilité, constitue un danger pour les autres usagers de la mer ; le risque que le drone soit capturé par un adversaire.

En termes de capture, une saisie d'un drone sous-marin est bien plus plausible que pour les drones aériens. Les drones de grande taille réutilisables seront vraisemblablement inscrits à la liste des navires militaires des États, mais ce ne sera pas forcément le cas des drones de plus petite taille et *a fortiori* des drones consommables. À ce titre, leur marquage et leur appartenance à un État en particulier ne seront pas forcément manifestes, ce qui permettra à des adversaires peu scrupuleux d'exploiter cette ambiguïté. Il existe des précédents de saisie : un planeur sous-marin militaire sans marques, mais vraisemblablement chinois, a ainsi été pris dans les filets de pêcheurs indonésiens en 2021⁵². Si la saisie a cette fois-ci été involontaire, une capture peut être intentionnelle, à des fins d'ingénierie inverse notamment. La saisie par la marine chinoise d'un UUV américain sous le nez d'un bâtiment américain en 2016⁵³ en est un bon exemple, et a vraisemblablement permis à la Chine de faire des avancées significatives dans son propre plan de développement de drones sous-marins, bien que le drone en question ait été rendu à l'US Navy quelques jours seulement après sa saisie. Au-delà des saisies, le risque de récupération d'un drone désemparé ou dysfonctionnel existe, comme l'illustre le drone Magura V5 ukrainien retrouvé échoué sur les côtes

51. À titre de comparaison, l'ordre de grandeur d'un missile Tomahawk américain est d'un million d'euros.

52. « Fisherman Catches Underwater Drone with Chinese Characteristics », *The Maritime Executive*, 5 janvier 2021, disponible sur : <https://maritime-executive.com>.

53. T. M. Cronk, « Chinese Seize U.S. Navy Underwater Drone in South China Sea », US Department of War, 16 décembre 2016, disponible sur : www.war.gov.

criméennes en novembre 2023 et récupéré par les forces russes. Le risque de voir des technologies sensibles tomber entre les mains de l'adversaire est donc réel.

Pour ce qui est du risque pour les autres usagers de la mer, l'approche vis-à-vis des drones maritimes militaires dépendra de la culture de chaque État vis-à-vis de la sécurité maritime. La France, par exemple, a déjà réglementé les conditions de navigation des drones maritimes⁵⁴, imposant notamment leur marquage, des contrôles de sécurité par des organes de contrôle qualifiés, et la détention d'une formation d'opérateur de drone maritime certifiée. Si cela concerne l'exploitation des drones civils, il est vraisemblable que la Marine nationale appliquera ces prescriptions autant que possible, à l'instar des autres réglementations dans le domaine maritime. L'un des avantages principaux des drones maritimes est en effet leur discrétion, liée à leur petite taille et/ou leur submersion. Ils sont donc quasiment imperceptibles par les autres usagers de la mer.

Dans la perspective d'un recours accru voire massif aux drones sous-marins à l'avenir, et sans préjuger de l'évolution de la réglementation en la matière, nationale ou internationale⁵⁵, il est probable que des mesures techniques seront adoptées par nombre de pays, au-delà de la seule autonomie de navigation sous-marine, afin de prévenir que des drones déséparés ne puissent constituer des dangers pour la navigation. Pour autant, certains États moins scrupuleux pourraient s'affranchir de ce type de considérations sur leur drones militaires, en vue de privilégier l'efficacité ou de réduire les coûts.

Dans les deux cas, la prévention du risque de perte incitera donc vraisemblablement les marines à inclure des dispositifs dans leurs drones militaires, que ce soient des dispositifs de récupération ou d'autodestruction programmée, ce qui augmentera d'autant le coût de ces vecteurs.

La criticité de l'écosystème de mise en œuvre

Il convient ici de rappeler que l'autonomie des drones sous-marins peut supposer un certain nombre de prérequis, au-delà de la seule maîtrise des composants technologiques constitutifs du drone.

En effet, l'un des facteurs clés de l'autonomie de mission dans le milieu sous-marin est lié à la navigation. L'autonomie suppose en effet

54. Décret n° 2024-461 du 22 mai 2024, fixant les modalités d'application de l'ordonnance n° 2021-1330 du 13 octobre 2021 relative aux conditions de navigation des navires autonomes et des drones maritimes et portant diverses dispositions relatives aux navires professionnels.

55. À travers l'Organisation maritime internationale, ou encore l'Union européenne à l'instar de ce qui a été fait pour les drones aériens en 2019.

l'appréhension et la maîtrise de son environnement. Si cela s'avère relativement simple pour les drones aériens évoluant dans un milieu transparent, et pour les drones navals de surface évoluant en deux dimensions, c'est en revanche plus complexe pour les drones sous-marins opérant en trois dimensions dans un milieu opaque. Outre les éléments collectés en temps réel par les capteurs embarqués, la maîtrise de l'environnement supposera vraisemblablement de fournir au drone en amont des données fiables sur sa zone d'évolution sous-marine, en termes de cartographie des reliefs sous-marins, de courants sous-marins ou encore de profils bathythermiques⁵⁶. Or, ces données, collectées à grande peine et dans la durée par des bâtiments spécialisés dans le cadre de campagnes océanographiques et hydrographiques, font partie des données militaires sensibles que les États ne partagent pas forcément. Par conséquent, la capacité à déployer des moyens sous-marins autonomes hors des zones usuelles d'évolution d'une marine pourra s'avérer conditionnée par l'accès à ces données, soit par une collecte directe, soit par un échange de données maritimes entre alliés ou partenaires. Cela devrait donc inciter les marines ambitionnant de mettre en œuvre des drones sous-marins autonomes à investir dans des moyens de collecte de ces données à grande échelle ou à orienter leurs partenariats stratégiques autour de l'échange de ce type de données.

Un autre facteur décisif est lié à la capacité à faire communiquer les drones sous-marins autonomes sous l'eau. En effet, comme évoqué en première partie, le phénomène d'absorption de l'énergie par l'eau de mer fait que les communications à longue distance y supposent une forte puissance d'émission, ce qui n'est guère compatible avec les batteries de stockage actuellement privilégiées pour les drones sous-marins. Par conséquent, la capacité des drones sous-marins militaires à communiquer avec le reste de leur écosystème naval, par exemple pour transmettre les résultats de leur mission opérationnelle, devra se faire à courte ou moyenne distance en l'état actuel des technologies⁵⁷, ce qui suppose un réseau de relais dans l'eau : ces relais peuvent être des hydrophones sous-marins reliés entre eux et avec la côte *via* une fibre optique, comme peuvent l'être certains éléments du *Underwater Great Wall* chinois⁵⁸, ou il peut s'agir d'un réseau mobile composé d'une multitude de drones sous-marins effectuant la transmission de l'information jusqu'à une plateforme de commandement en surface assurant le lien avec le reste de la flotte. Il s'agira probablement d'une combinaison des deux dans la plupart des cas.

56. Cartographie verticale de la température de l'eau de mer en fonction de la profondeur en un lieu donné.

57. S'il ne se fait pas par une connexion physique sous l'eau entre le drone et une station de récupération des données (« *docking* »), solution pas forcément plus simple sur le plan technique mais possiblement retenue par la Chine pour sa grande muraille sous-marine.

58. H. I. Sutton, « Good Wind Ears: China's Underwater Great Wall », Covert Shores, 27 mai 2018, disponible sur : www.hisutton.com.

Or la mise en place d'un tel réseau sous-marin de relais de communication semble être tout sauf triviale même dans les approches maritimes nationales, et *a fortiori* pour des drones autonomes ayant vocation à se déployer.

Enfin, en dépit de leur grande autonomie, la capacité des drones sous-marins autonomes à assurer une permanence dans l'eau, par exemple à des fins de surveillance sous-marine d'une zone stratégique, pourra être liée à la capacité de les recharger *in situ*. Cette considération motive ainsi des recherches sur des systèmes de stations de recharge sous-marines⁵⁹, de fond ou submergées, avec toute la complexité que recouvre, dans leur mise en place, leur raccordement éventuel à un réseau électrique, leur maintenance et l'amarrage automatique des drones sous l'eau.

Sans prétendre à être exhaustif, ces différents points illustrent le fait que l'ambition de mettre en œuvre des capacités autonomes dans le milieu sous-marin dans un contexte opérationnel induit plus que le seul achat des vecteurs et requiert une analyse poussée des éléments nécessaires à cette mise en œuvre en pratique.

59. M. J. Liu, F. Yu *et al.*, « A Review of Underwater Docking and Charging Technology for Autonomous Vehicles », *op. cit.*

Quel concept d'emploi et quelle intégration dans les structures de force ?

Une diversité d'approches pour l'emploi militaire des drones sous-marins

Dans ce segment capacitaire hybride, composé à la fois de grands programmes étatiques et de solutions clés en main portées par l'industrie, l'approche des grandes marines vis-à-vis des nouvelles capacités que représentent les drones sous-marins semble éminemment marquée par leur culture et leur équation stratégique.

La vision de l'US Navy, précurseur historique dans le segment des drones sous-marin, reste éclairante quant à l'intégration de ces nouveaux vecteurs dans la structure de forces d'une marine de premier rang. Le plan stratégique de l'US Navy publié en juillet 2022⁶⁰ prévoit une structure de forces hybride à l'horizon 2045, incluant 150 grands drones de surface et sous-marins pour 350 grands bâtiments avec équipage, soit un ratio d'un tiers/deux tiers environ. Les bâtiments multi-mission avec équipage y sont vus comme constituant toujours le cœur de la flotte, avec les nouvelles capacités en appui. Le plan prévoit d'accroître la flotte avec des milliers de petits drones, adaptables, évolutifs et perdables (« *attritable* »), qui permettront d'augmenter les capacités de détection, l'étendue de la couverture et la persistance de la flotte, mais produiront également des effets militaires cinétiques et non cinétiques. Cette flotte hybride répond ainsi au concept américain d'opérations distribuées⁶¹, qui vise à accroître la létalité et la survivabilité de la flotte face à un adversaire de force équivalente.

Ce concept se traduit notamment dans le domaine sous-marin par le programme DASH de la Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), qui vise à favoriser le développement de capacités autonomes de détection sous-marine pour mieux contrer la menace sous-marine asymétrique⁶². Il s'appuie sur la combinaison de deux types de systèmes, actuellement à l'état de prototypes : des modules sonar sous-marins

60. Chief of Naval Operations Navigation Plan 2022, US Navy, 26 juillet 2022.

61. Concept fondé sur la multiplication, en type et en quantité, et la dispersion des effecteurs navals afin de mieux couvrir l'espace maritime et d'accroître la résilience et la puissance de frappe d'une flotte.

62. « DASH: Distributed Agile Submarine Hunting », Defense Advanced Research Projects Agency, disponible sur : www.darpa.mil.

statiques déployables et consommables (TRAPS), communiquant avec un relais en surface *via* des ondes acoustiques, et des UUV chasseurs de sous-marins (SHARK).

La Marine russe, capitalisant sur son expertise dans la construction de sous-marins, semble avoir pris le parti de développer des vecteurs autonomes axés sur les grandes profondeurs et l'endurance, tant à des fins scientifiques que militaires. Ainsi, le drone Sarma a été conçu pour des opérations prolongées sous la calotte glaciaire, avec un design modulaire lui permettant de réaliser des tâches duales d'exploration géologique, de surveillance des fonds marins, et de maintenance des engins submergés⁶³. Le drone Vityaz-D, lui, a été conçu pour des opérations en très grande profondeur, et la marine russe prévoyait en 2020 de s'appuyer largement sur ce design pour sa flotte de drones sous-marin à des fins militaires⁶⁴. Ces développements illustrent une logique d'emploi des drones sous-marins tirant le meilleur profit de leur autonomie, de leur endurance, de leur discrétion et de leur polyvalence dans le milieu sous-marin, en mesure également d'appuyer une stratégie hybride caractéristique de la culture stratégique russe. En complément, la Russie développe également depuis bientôt dix ans des vecteurs déployables depuis des sous-marins ou des navires de surface, à l'instar du Harpsichord, dans une logique de surveillance sous-marine avancée⁶⁵.

De son côté, la Chine s'appuie sur trois décennies d'investissements, de recherches et de développements civilo-militaires à travers deux instituts, le Shenyang Institute of Automation et la Harbin Engineering University, ainsi que son principal conglomérat de construction navale, la China Shipbuilding Industry Corporation. Tous trois ont acquis une réelle expertise dans le domaine des drones sous-marins et ont développé plusieurs séries de drones pour des usages différents, civils et militaires⁶⁶. La marine chinoise, désormais en pointe dans ce domaine, semble concevoir prioritairement l'emploi des véhicules autonomes sous-marins pour des tâches spécialisées de minage et de contre-minage, ou d'inspection et d'intervention sur les câbles sous-marins (réparation et destruction⁶⁷), mais également pour des missions d'ISR sous-marine ou de lutte sous la mer⁶⁸. Notamment, un XL-UUV chinois révélé en 2023 dispose de tubes

63. I. N. Bisht, « Russia Developing Extended-Use, Under-Ice Aquatic Drone », *The Defense Post*, 24 septembre 2021, disponible sur : <https://thedefensepost.com>.

64. « Vityaz-D Deep-Sea Autonomous Underwater Vehicle », Naval Technology, 3 septembre 2020, disponible sur : www.naval-technology.com.

65. H. I. Sutton, « Harpsichord_AUV », Covert Shores, 30 mars 2019, disponible sur : www.hisutton.com.

66. R. Fedasiuk, « How China Is Militarizing Autonomous Underwater Vehicle Technology », *The Maritime Executive*, 22 août 2021, disponible sur : <https://maritime-executive.com>.

67. R. Neve, « China Shakes the World with a New Drone Capable of Cutting 90% of Global Internet Traffic at 13,123 Feet Below the Sea », *Evidence Network*, 30 août 2025, disponible sur : <https://evidencenetwork.ca>.

68. R. Fedasiuk, « How China Is Militarizing Autonomous Underwater Vehicle Technology », *op. cit.*

lance-torpille⁶⁹, ce qui indique une capacité et une finalité offensive, à base de mines, de torpilles, voire de missiles⁷⁰. À l'instar de l'approche russe, la taille croissante des XLUUV chinois, allant jusqu'à plus de 40 mètres pour le dernier⁷¹, illustre une tendance au développement de plateformes se déployant en autonomie, plus polyvalentes ou létales, plutôt qu'une logique de capacités déployables depuis et en appui d'une force navale. Cela semble cohérent avec la stratégie chinoise de *bastionnement* de la mer de Chine face à la menace sous-marine qu'y fait peser marine américaine dans le cadre d'un affrontement majeur entre ces deux grandes puissances. Ces drones ont en effet vocation à s'inscrire dans le projet chinois dual annoncé en 2015 de « Grande Muraille sous-marine » (*Underwater Great Wall*), écosystème composite qui a vocation à assurer une surveillance permanente de la surface et du volume sous-marin en mer de Chine, en s'appuyant sur des moyens sous-marins fixes et des moyens mobiles dronisés⁷².

Pour ce qui est de la France, en matière de drones sous-marins militaires, la Marine nationale a adopté une approche plutôt prudente. Tout d'abord, capitalisant sur l'expérience pluridécennale dans la mise en œuvre de ROVs dans le cadre de la guerre des mines, la France a porté avec la Grande-Bretagne le programme MMCM⁷³, lancé en 2010 sous l'égide de l'OCCAr⁷⁴, qui concerne un système de drones navals incluant des capacités sous-marines dronisées (ROV et AUV) pour détecter et neutraliser des mines sous-marines, en complément de l'action des plongeurs démineurs. La pleine capacité opérationnelle de ce système était annoncée pour fin 2025⁷⁵. Dans le cadre de sa stratégie de maîtrise des fonds marins, la France s'est orientée en 2023 vers l'acquisition de quelques drones sous-marins d'intervention en grande profondeur (jusqu'à 3 000 mètres et jusqu'à 6 000 mètres⁷⁶). La DGA a également notifié fin 2024 à THALES et EXAIL la commande de huit grands drones sous-marins de nouvelle génération (AUV-NG), avec une option sur huit supplémentaires⁷⁷. Ces drones ont vocation à s'intégrer

69. A. Dangwall, « China Unveils Extra-Large, Heavily Armed Drone Submarine That Can Attack Foreign Warships In Stealth Mode », *Eurasian Times*, 23 février 2023, disponible sur : www.eurasiantimes.com.

70. H. I. Sutton, « China Reveals Another New Armed XLUUV: UUV-300 », *Covert Shores*, 9 mai 2024, disponible sur : www.hisutton.com.

71. H. I. Sutton, « China Moves Two Super-Sized 'XXL' Uncrewed Submarines to South China Sea », *Naval News*, 24 septembre 2025, disponible sur : www.navalnews.com.

72. D. Tsing, « China's "Undersea Great Wall" Project Implications », National Maritime Foundation, 9 décembre 2016.

73. Maritime Mine Counter Measures.

74. Organisation conjointe en matière d'armement.

75. « La DGA livre le premier drone de surface de guerre des mines à la Marine nationale dans le cadre du programme SLAM-F », Direction générale de l'Armement, 21 janvier 2025, disponible sur : www.defense.gouv.fr.

76. CA E. Lavault, « Maîtrise des fonds marins, la touche française du Seabed Warfare », *Revue maritime*, n° 527, novembre 2023, disponible sur : www.meretmarine.com.

77. « Commande de huit drones sous-marins autonomes de nouvelle génération dans le cadre du programme SLAM-F auprès des sociétés THALES et EXAIL », Direction Générale de l'Armement, 12 novembre 2024, disponible sur : www.defense.gouv.fr.

pleinement dans l'écosystème du système de lutte anti-mines du futur, en assurant des tâches de guerre des mines mais également de maîtrise des fonds marins. Enfin, la DGA a passé en 2024 un accord-cadre avec la société Naval Group pour la conception, la production et l'expérimentation d'un démonstrateur de drone de combat sous-marin de grande taille⁷⁸, l'objectif étant de jauger les performances et de tester la viabilité de ce type de plateforme pour la lutte anti-sous-marine, ainsi que d'évaluer l'intégration possible de ce type de plateformes en appui d'une composante sous-marine océanique à propulsion nucléaire, et dont la mission principale est la dissuasion nucléaire. À ce stade, toutefois, la Marine nationale n'a pas communiqué sur sa volonté d'acquérir des drones sous-marins à vocation de surveillance (ISR), éventuellement déployables, pourtant largement existants sur le marché et amplement plébiscités par les autres marines pour compléter les capacités de surveillance des flottes sous-marines.

Sans surprise, la Grande-Bretagne a initialement adopté une approche assez similaire à celle de la France. La *Defense Drone Strategy* publiée en 2024 par le ministère de la Défense britannique⁷⁹ évoque le recours à des UUVs dans le cadre de la lutte anti-mines, l'utilisation de ROVs pour des opérations sur les fonds marins, ainsi que l'intégration d'AUV sur les frégates de la Royal Navy en capacité d'appoint. La Royal Navy développe également des UUV, lancables et récupérables par les sous-marins via les tubes lance-torpilles, dans le cadre du projet Scylla⁸⁰. En complément, elle développe depuis 2022 un XL-UUV dans le cadre du projet CETUS. La plateforme expérimentale correspondante, qui a débuté ses tests de navigabilité cette année, a été récemment nommée EXCALIBUR et intégrée à une unité d'expérimentation pour poursuivre ses essais⁸¹. La vraie rupture dans l'approche britannique réside dans la volonté de développer un système hybride de systèmes de surveillance permanente à grande échelle en Atlantique nord, s'appuyant sur un panel de drones divers, aériens, de surface et sous-marins, autonomes ou téléopérés. C'est l'objet du concept Atlantic Bastion révélé en février 2025⁸², dont la composante sous-marine fait l'objet du projet CABOT. Au travers de ce concept, la marine britannique se rapproche de la vision américaine d'une flotte hybride dispersée et connectée, s'appuyant significativement sur des moyens autonomes : « *uncrewed wherever possible, crewed only where*

78. « Naval Group réalise les premiers essais de son grand drone sous-marin avec la Marine nationale », *op. cit.*

79. *Defense Drone Strategy: The UK's Approach to Defense Uncrewed Systems*, Londres, Ministry of Defense, février 2024, disponible sur : www.gov.uk.

80. L. Willett, « UK Royal Navy Completes 2nd Trial of SSN UUV Launch-and-Recovery Capability Development », *Naval News*, 25 juillet 2025, disponible sur : www.navalnews.com.

81. J. Hill, « Royal Navy Name Project CETUS XLUUV, 'Excalibur' », *Naval Technology*, *op. cit.*

82. R. Scott, « UK Sets Out Project CABOT Ambition to Deploy Autonomous ASW Screen in the North Atlantic », *Naval News*, 18 février 2025, disponible sur : www.navalnews.com.

necessary »⁸³. Cette rupture est dictée par la réalité stratégique actuelle de la Royal Navy, en manque de capacités navales classiques et confrontée à la résurgence de la menace sous-marine russe en Atlantique nord.

Au-delà des grandes marines océaniques, de nombreuses autres marines s'intéressent également aux drones sous-marins. Au-delà des domaines spécialisés comme la guerre des mines, il s'agit de disposer d'un substitut au sous-marin plus accessible et essentiellement défensif, à l'instar de l'Iran⁸⁴ ou de l'Indonésie⁸⁵, ou d'un complément à une force sous-marine réduite afin d'accroître le taux de présence et de couverture dans le milieu sous-marin, tel le *Ghost Shark* australien⁸⁶.

La Deutsche Marine, confrontée à d'importantes difficultés en matière de ressources humaines, est dans le deuxième cas, en ce qu'elle vise un format hybride à l'horizon 2035 avec environ un tiers de capacités dronisées dans son ordre de bataille⁸⁷ pour accroître ses capacités de combat sans peser sur la ressource humaine. Dans le domaine sous-marin, il est prévu que cela se traduise par six grands drones sous-marins de reconnaissance en ligne en vis-à-vis des six à neuf sous-marins classiques de type U-212.

Dans les deux cas, il est plutôt question d'un complément ou d'un substitut de flotte sous-marine plutôt que de capacités d'appoint aux opérations navales menées par des plateformes habitées.

Cette diversité d'approches illustre un facteur clé pour les drones sous-marins autonomes, à savoir le rôle qui leur sera dévolu au sein d'une flotte les mettant en œuvre, *a fortiori* pour les flottes au taux d'hybridité (combinaison de plateformes habitées et non habitées) élevé. Cette question centrale pour l'ensemble des capacités dronisées⁸⁸ est tout particulièrement pertinente pour les drones sous-marins dont la capacité à communiquer sera limitée.

Cette question se pose avec d'autant plus d'acuité pour les drones sous-marins autonomes : seront-ils censés opérer et effectuer des missions au profit de la flotte mais de manière décorrélée du reste des opérations navales, ou auront-ils vocation à opérer en autonomie au sein d'un

83. « Dronisé partout où c'est possible, avec équipage seulement lorsque c'est nécessaire. » Dans « First Sea Lord Sets Very Ambitious Targets for Royal Navy Transformation », Navy Lookout, 9 septembre 2025, disponible sur : www.navylookout.com.

84. H. I. Sutton, « Iranian Nazir-1 XLUUV Submarine Drone », Covert Shores, 11 juillet 2020, disponible sur : www.hisutton.com.

85. F. Malufti, « Indonesia Conducts First Torpedo Test from KSOT Autonomous Submarine », Naval News, 2 novembre 2025, disponible sur : www.navalnews.com.

86. O. Caisley, « Plans for \$1.7 Billion Underwater “Ghost Shark” Drone Fleet Unveiled », ABC News, 10 septembre 2025, disponible sur: www.abc.net.au.

87. É. Tenenbaum et L. Périé-Peigné, « *Zeitenwende* : la Bundeswehr face au changement d'ère », *Focus stratégique*, n° 116, Ifri, septembre 2023, p. 49-50.

88. T. Fried, « The Impact of Drones on the Battlefield: Lessons of the Russia-Ukraine War from a French Perspective », Hudson Institute, 13 novembre 2025, disponible sur : www.hudson.org.

écosystème naval pour lequel ils seront contributeurs d'effets militaires en temps réel ? Le deuxième cas semble bien plus ambitieux, tant en termes d'autonomie de mission pour les drones qu'en termes d'interopérabilité et de capacité à communiquer, notamment à longue distance.

Panorama des principaux projets militaires récents d'UUV

| Pays | Principaux projets militaires d'UUV récents | Domaines d'emploi considérés | Observations |
|-------------|--|--|--|
| États-Unis | Kingfish (UUV) KnifeFish (UUV) AUWS (Divers) Shark (UUV) Orca (XL-UUV) Snakehead (L-UUV) HUGIN Superior (LD-UUV) | Surveillance/détection sous-marine Lutte sous la mer Lutte antinavire Surveillance des fonds marins Renseignement/Reconnaissance Guerre électronique Minage & guerre des mines Guerre asymétrique Recherche scientifique | Flotte hybride envisagée (format Hybride 2/3 – 1/3) |
| Chine | Haiyi (Glider UUV) HSU-001 (LUUV) UUV-300CB (XL-UUV) AJX-002 (XXL-UUV) | Recherche scientifique Minage & guerre des mines Intervention en profondeur Surveillance/détection sous-marine Lutte sous la mer | Projet <i>Underwater Great Wall</i> |
| Russie | Sarma Vityaz-D Klavesin-2P-PM (LUUV) Poseidon | Surveillance/détection sous-marine Intervention en profondeur Surveillance des fonds marins Recherche scientifique Arme nucléaire | Drone-torpille nucléaire Poséidon récemment déclarée opérationnelle |
| France | MMC (ROV & AUV) UCUV (XL-UUV) | Guerre des mines Lutte sous la mer | Stratégie de maîtrise des fonds marins dévoilée en 2022 |
| Royaume-Uni | MMC (ROV & AUV) Scylla (UUV) Manta (XL-UUV Glider) Excalibur (XL-UUV) | Guerre des mines Surveillance/détection sous-marine Lutte sous la mer | Flotte plein hybride envisagée. Projet <i>Atlantic Bastion</i> |
| Allemagne | MUM (XL-UUV mothership) | Intervention en profondeur Surveillance/détection sous-marine Lutte sous la mer Guerre des mines | Flotte hybride envisagée (format Hybride 2/3 – 1/3) |
| Israël | Blue Whale (XL-UUV) | Surveillance/détection sous-marine Lutte sous la mer Guerre des mines | |

| | | | |
|----------------------|---|--|--------------------------|
| Italie | Blue Whale (XL-UUV) | Surveillance/détection sous-marine Lutte sous la mer Guerre des mines | |
| Norvège | HUGIN 1000 (L-UUV) HUGIN Endurance (LD-UUV) | Surveillance/détection sous-marine Surveillance des fonds marins Recherche scientifique Guerre des mines <i>Search & Rescue</i> | |
| Canada | SOLUS-XR (XL-UUV) | Surveillance/détection sous-marine | |
| Turquie | Deringöz (UUV) STM-500 (L-UUV) NETA 300 (UUV) | Surveillance/détection sous-marine Lutte sous la mer Guerre des mines Intervention en profondeur Renseignement Recherche scientifique | |
| Inde | HEAUV (UUV) Make-1 (XL-UUV) | Recherche scientifique Minage & guerre des mines Surveillance/détection sous-marine Lutte sous la mer | |
| Australie | Ghost Shark (XL-UUV) Speartooth (L-UUV) | Surveillance/détection sous-marine Lutte sous la mer | Flotte hybride envisagée |
| Japon | OZZ-5 (L-UUV) Long Endurance UUV (XL-UUV) | Guerre des mines Surveillance/détection sous-marine Intervention en profondeur Recherche scientifique Guerre asymétrique | |
| Indonésie | KSOT-008 (L-UUV) JALAROV S11 (UUV) | Surveillance/détection sous-marine Lutte sous la mer Guerre des mines Guerre asymétrique | |
| Corée du Sud | ASWUUV (LUUV) | Lutte sous la mer | |
| Iran | ??? (UUV) Nazir-5 (L-UUV) | Surveillance/détection sous-marine Guerre des mines & Minage Guerre asymétrique | |
| Corée du Nord | Haeil (UUV) | Arme nucléaire | |

Quel impact sur les opérations en mer et depuis la mer ?

Force est de constater qu'un des cœurs de cible actuellement envisagé pour les drones sous-marins est le renforcement du volet surveillance sous-marine à des fins militaires, actuellement tenu principalement par des dispositifs de fond fixes (à l'instar du MGK-608M SVER russe en mer de Barents⁸⁹), par des bâtiments de surface remorqueurs de sonar, et par des sous-marins habités.

Les dispositifs hybrides de « bastionnement » envisagés ou en développement (tels que le projet Atlantic Bastion britannique ou le *Underwater Great Wall* chinois) illustrent cette tendance pour des zones géographiques prédéterminées. Si l'inclusion de drones sous-marins dans ces dispositifs de surveillance des bastions les rendra vraisemblablement encore plus performants et donc dissuasifs, elle ne crée pas de rupture en soi. De même, les drones de surveillance sous-marine déployables depuis les bâtiments de surface et les sous-marins viendront renforcer la panoplie des moyens de lutte anti-sous-marine, et augmenter la capacité de détection de ces unités, mais là encore sans créer de rupture fondamentale. En outre, les drones sous-marins de détection (ISR) resteront confrontés aux mêmes limitations que les autres vecteurs : la détection au sonar actif est très demandeuse en énergie, la détection passive porte surtout sur les basses fréquences, qui supposent de remorquer une longue antenne.

En revanche, la capacité à déployer *in situ* sous faible préavis, des dispositifs locaux de déni de zone sous-marin à base de senseurs de fond statiques (récupérables ou consommables) combinés à des drones sous-marins, à l'instar du concept DASH⁹⁰ de la DARPA américaine, pourrait être un *game changer* en ce sens qu'elle viendrait complexifier significativement les opérations sous-marines offensives dans n'importe quelle zone d'opérations. Toutefois, la couverture d'un tel dispositif sera directement conditionnée par le nombre de senseurs déployés. À titre d'illustration, la portée de détection d'un système TRAPS américain est estimée à 20 nautiques de rayon sur un sous-marin à 15 noeuds⁹¹. Il faut donc déployer environ 25 modules pour couvrir intégralement une zone de 200 nautiques par 200 nautiques, quand l'US Navy envisagerait d'acquérir une cinquantaine d'unités. La réalité opérationnelle d'une telle capacité sera vraisemblablement liée à la capacité à acquérir en nombre les éléments qui la composent, et donc à un coût unitaire réduit.

89. « Sver MGK-608 Stationary Passive Sonar Complex », Global Security, disponible sur : www.globalsecurity.org.

90. *Ibid.*

91. B. Clark, S. Cropsey et T. A. Walton, « Sustaining the Undersea Advantage: Disrupting Anti-Submarine Warfare Using Autonomous Systems », Hudson Institute, septembre 2020, p. 53.

Pour ce qui est des effecteurs, les armes sous-marines dronisées sont *de facto* déjà une réalité, que ce soient des armes opérées en autonome⁹² ou tirées depuis un sous-marin ou un XL-UUV, à l'instar du *Copperhead* de la société Anduril⁹³. Conceptuellement, elles ne représentent toutefois qu'une évolution des torpilles, bénéficiant des développements liés à l'endurance et à l'autonomie dans le milieu sous-marin. Elles ne bouleversent donc pas fondamentalement les choses pour les forces navales en termes de tactiques de protection contre la menace sous-marine, bien que la capacité des drones sous-marins autonomes à attaquer leur cible par en dessous imposera d'adapter les moyens traditionnels de défense sous-marine ou de développer de nouveaux moyens pour prendre en compte ce type de menace.

Pour autant, l'autonomie accrue leur procure potentiellement la capacité à « attendre » la cible dans une zone maritime (concept de *loitering ammunition*), en toute discrétion, en réinventant le concept classique de la menace sous-marine, axé sur le couple vecteur-arme, et en faisant planer une menace sous-marine latente dans une zone d'opérations⁹⁴. Cette menace pourra concerner des navires de guerre, mais également des navires de commerce dans la perspective d'une guerre commerciale. Cette menace sera d'autant plus dangereuse dans les zones littorales, où la détection des objets sous-marins est notoirement plus complexe en raison du bruit ambiant sous-marin généralement plus élevé. En tout cas, elle bousculera nécessairement les schémas classiques de la lutte anti-sous-marine, résolument offensifs, où la traque du sous-marin adverse ou la contrainte de sa cinématique sont les dogmes de base.

Concernant les sous-marins évoluant en haute mer, notamment les SNLE⁹⁵, la réalité de la menace posée par les drones autonomes armés reste à déterminer. Elle sera éminemment dépendante de la capacité des senseurs embarqués sur le drone à détecter puis à engager un vecteur sous-marin moderne très furtif et silencieux dans l'immensité de l'océan. Cela semble éventuellement envisageable à long terme pour des XL-AUV ou XL-UUV ultra-technologiques. Au-delà, avec une plus grande autonomisation, la capacité à délivrer une arme à grande distance, sans avoir nécessairement besoin d'exposer le porteur au plus proche des côtes, permet d'envisager des attaques discrètes contre les infrastructures maritimes (bases navales et ports civils) d'un adversaire. Cela pourrait le fait d'attaques suicide, à l'instar de la récente frappe ukrainienne du 15

92. H. I. Sutton, « World Survey Of Underwater Attack Drones (OWA-AUVs) », 3 janvier 2024, disponible sur : www.hisutton.com.

93. J. Trevithick, « Copperhead Torpedo-Like Underwater Kamikaze Drones Rolled Out by Anduril », The War Zone, 7 avril 2025, disponible sur : www.twz.com.

94. À l'instar, par exemple, de la famille d'UUV TLK-150 développée par la compagnie ukrainienne Toloka.

95. Sous-marin nucléaire lanceur d'engins, appellation française consacrée aux sous-marins mettant en œuvre les armes nucléaires de frappe en second.

décembre 2025 contre un sous-marin russe dans le port de Novorossiysk⁹⁶, ou du minage offensif discret et au plus près, et même de neutraliser les dispositifs classiques de protection de ces infrastructures (à base de filets entravants). Ces attaques semblent par ailleurs pouvoir également adopter assez facilement un caractère saturant, *via* l'emploi de drones-suicide en essaim⁹⁷. Cela peut à terme imposer de repenser la défense maritime des infrastructures maritimes critiques par ailleurs souvent implantées dans des zones portuaires duales (à l'instar de Brest et de Toulon).

Le cas de la torpille nucléaire russe POSEIDON est lui particulier, en ce qu'elle représenterait une arme stratégique, censément incontrorable, nucléaire mais en mesure de générer des effets conventionnels dévastateurs sur des installations côtières selon les déclarations des autorités russes. La Corée du Nord a prétendu en 2023 également avoir également développé et testé une arme comparable⁹⁸. À ce stade, toutefois, l'effectivité de ce type d'armes reste à prouver.

L'innovation suscitée par les apports de l'autonomisation permet également d'envisager le développement de nouveaux types d'armes à changement de milieu, représentant potentiellement des capacités de rupture, que ce soient des drones aériens déployés en phase aérobie par un vecteur sous-marin à changement de milieu (à l'instar de la capsule du missile américain UGM-84) ou des drones nativement conçus pour pouvoir évoluer dans l'air et dans l'eau, à l'instar du drone chinois *Feiyi*⁹⁹. Les vecteurs sous-marins de ces armes peuvent rester indétectés dans l'eau, ou être tirés en toute discrétion depuis un sous-marin, et faire émerger une menace aérienne au plus près d'une force navale, ce qui permet d'envisager des attaques saturantes sans préavis, contrairement à une attaque par voie aérienne. Si les technologies correspondantes en sont encore au stade émergent, l'exemple chinois illustre l'intérêt militaire de ce type de capacité.

Par ailleurs, l'avènement des armes sous-marines dronisées viendra potentiellement rajouter une couche de complexité à des dispositifs défensifs de déni d'accès¹⁰⁰. En effet, la capacité à déployer des armes sous-marines en attente, que ce soit des *loitering munitions* comme évoqué supra ou des munitions sous-marines en conteneur, à l'instar du système

96 Vraisemblablement conduite par un drone suicide submersé, version évoluée du drone suicide de surface ukrainien *Sea Baby*.

97. S. Crowe, « Aquabotix SwarmDiver: A micro drone for ocean swarming », The Robot Report, 10 avril 2028, disponible sur : www.therobotreport.com.

98. « North Korea tests nuclear capable underwater drone Haeil-2 », Army Recognition, 11 avril 2023, disponible sur : www.armyrecognition.com.

99. « China Develops World's First Underwater and Aerial Drone », Defense Mirror, 23 janvier 2025, disponible sur : defensemirror.com.

100. A2/AD, pour *anti-access/area denial*. Lire J.-C. Turret, « Stratégies de défense par interdiction en milieu sous-marin : du concept à la réalité », Revue de la défense nationale, n° 885, 2025.

Interceptigon de la société grecque DELIAN¹⁰¹, créera *de facto* une troisième dimension à la menace pour une force navale opérant dans des approches maritimes en environnement dénié, menace pour laquelle le préavis de détection sera vraisemblablement très limité.

Enfin, alors que les actes de sabotage, présumés ou avérés, de câbles ou d'infrastructures énergétiques sous-marins se multiplient, ils sont encore principalement le fait de capacités très spécialisées (sous-marins d'intervention en grande profondeur, plongeurs militaires...), lorsqu'ils ne sont pas artisiaux (dragage d'ancre par exemple). L'avènement et l'arrivée dans les parcs militaires de drones sous-marins capables d'agir à grande échelle, éventuellement de manière autonome, sur les infrastructures critiques d'un adversaire conférera une autre dimension à cette menace, sous le seuil ou pas, et, par là même, à la vulnérabilité et à la résilience de nos sociétés face à ce type de manœuvre déstabilisatrice.

Au bilan, si les capacités évoquées ci-dessus sont effectivement susceptibles pour certaines de créer des ruptures dans la stratégie navale, la plupart d'entre elles en sont encore au stade embryonnaire aujourd'hui et doivent par conséquent faire leurs preuves, notamment en termes d'accessibilité (au sens du ratio coût/effet opérationnel). Ces potentielles ruptures ne sont toutefois pas à négliger, et il est impératif de suivre avec attention les développements technologiques en la matière afin de s'y préparer. C'est tout particulièrement le cas pour la menace asymétrique sous-marine potentielle, car elle n'existe pas aujourd'hui.

En outre, au-delà de la capacité opérationnelle et de l'autonomie réelles de ces systèmes, il convient de ne pas négliger l'impact stratégique de leur capacité potentielle. L'accessibilité (au sens de l'offre pléthorique et du coût éventuellement limité, à l'instar des drones aériens) et la menace potentielle que représenteront les systèmes dronisés sous-marins sur les opérations navales ou les infrastructures critiques *offshore* ou terrestres à l'avenir devront nécessairement être prises en compte. Des solutions pour la contrer devront être développées et acquises. Par ailleurs, comme l'illustre le cas de la torpille Poséidon, dont l'efficacité militaire n'a pas été démontrée, l'opacité du milieu sous-marin permet éventuellement à des marines de prétendre disposer, à moindre coût, d'une capacité militaire de rupture, au titre du signalement ou de l'intimidation stratégique. Dans un monde tourné vers une plus grande conflictualité, en particulier en mer, il est vraisemblable que de plus en plus de marines se tourneront vers des systèmes dronisés sous-marins pour dissuader leurs adversaires potentiels ou identifiés. Par conséquent, les capacités sous-marines dronisées sont appelées à peser significativement sur l'équation stratégique navale à l'avenir.

101. « Interceptigon Drones by Greece's Delian Signal Shift Toward Autonomous Coastal Defense at DEFEA 2025 », Army Recognition, 6 mai 2025, disponible sur : www.armyrecognition.com.

Les limites au recours massif à l'autonomie sous-marine

Les perspectives portées par l'autonomie dans le milieu sous-marin semblent sans limites à ce stade. Pour autant, plusieurs facteurs contraindront la capacité des marines à s'engager massivement dans ce segment.

Au-delà du coût technologique de l'autonomie dans le milieu sous-marin, significativement supérieur à celui dans le milieu aérien ou de surface comme évoqué en deuxième partie, le recours en masse à des moyens dronisés pose en effet plusieurs questions.

La première est celle du coût humain pour mettre en œuvre ces vecteurs autonomes. Si le recours au systèmes dronisés peut être envisagé de prime abord comme un moyen de développer des capacités à moindre coût financier et humain, le retour d'expérience américain de l'emploi des drones aériens illustre le fait que le « coût humain » des drones est significatif si l'on veut en exploiter pleinement toutes les possibilités, *a fortiori* dans un environnement opérationnel adverse¹⁰². Outre les contrôleurs pour les systèmes télépilotés, mettre en œuvre une flotte de drones suppose du personnel de maintenance, du personnel logistique, des préparateurs de mission et des analystes pour exploiter les données collectées.

Le retour d'expérience russe comme ukrainien de la guerre en cours en Ukraine souligne également l'impact du recours massif aux drones sur la ressource humaine militaire, tant en termes de structure des forces que de développement et d'entretien de la compétence pour la mise en œuvre de ces systèmes hautement évolutifs¹⁰³.

Au-delà de la seule quantité de ressources humaines nécessaires, se pose également la question de la compétence du personnel chargé de la mise en œuvre de ces drones sous-marins. Il faudra disposer au sein des marines de compétences pour planifier les missions, exploiter les données et maintenir *in situ* ces drones sous-marins complexes et polyvalents ou spécialisés mais divers. C'est d'autant plus vrai pour les drones qui seront conçus pour être mis en œuvre depuis des unités navales, pour lesquels ces compétences devront être intégrées au sein des équipages, nativement ou sous la forme d'équipes spécialisées déployables. Là où le développement technologique continu des plateformes navales est progressivement venu questionner la pyramide traditionnelle des compétences des équipages, l'intégration de vecteurs autonomes viendra encore compliquer l'équation, déjà complexe pour des équipages optimisés. Elle générera également des enjeux de recrutement au travers de la capacité à attirer du personnel volontaire pour s'inscrire dans cette perspective technologique et en mesure de développer

102. K. Watling, « Automation Does Not Lead to Leaner Land Forces », War on the Rocks, 7 février 2025, 7 février 2025, disponible sur : <https://warontherocks.com>.

103. T. Fried, « The Impact of Drones on the Battlefield », *op. cit.*

les compétences techniques nécessaires, puis de fidéliser ces compétences. Cette réflexion est déjà bien présente dans le milieu naval américain dans la perspective d'une flotte hybride à l'horizon de dix ou vingt ans¹⁰⁴.

Le projet britannique CABOT illustre cette problématique. Consciente de son incapacité à mettre en œuvre un système de systèmes autonomes ambitieux à courte échéance, la marine britannique envisage le projet en deux phases. La phase 1, nommée ATLANTIC NET, consiste en un déploiement par un industriel sous forme de service payant¹⁰⁵ de vecteurs autonomes de collecte de données sous-marines, sous supervision étatique¹⁰⁶, l'exploitation et l'analyse des données restant sous contrôle de la Royal Navy. Cela souligne le rôle clef potentiel de la compétence industrielle dans la mise en œuvre de vecteurs autonomes complexes et fortement adaptables et évolutifs, et renvoie également au phénomène émergent du nécessaire recours croissant des forces armées à des compagnies privées pour la mise en œuvre des outils numériques complexes brassant massivement des données¹⁰⁷.

La deuxième question associée à l'emploi des systèmes autonomes dans le milieu sous-marin est celle du maintien en condition opérationnelle (MCO). Comme évoqué en première partie, l'autonomie dans le vecteur sous-marin fait appel à de nombreuses briques technologiques. En outre, le milieu sous-marin est par nature adverse pour les systèmes technologiques (corrosité, pression, conductivité électrique, variation thermique...). À ce titre, les drones sous-marins seront vraisemblablement complexes à maintenir en condition opérationnelle.

Actuellement, les nouvelles compagnies offrant des solutions autonomes sont plutôt dans une logique de production, éventuellement en masse, et développent une infrastructure industrielle en conséquence. L'écosystème logistique (infrastructures de MCO, stockage de rechanges, équipes techniques de maintenance projetables) associé à la mise en œuvre de vecteurs sous-marins autonomes au loin depuis des unités déployées ou depuis des bases avancées n'existe pas. C'est lié à un modèle conceptuel de masse où le drone est un objet qui n'a pas vocation à être réparé mais à être remplacé. Là encore, le caractère consommable du drone sous-marin reste sujet à débat à ce stade, et il sera *in fine* éminemment dépendant du coût unitaire de chaque catégorie d'AUV et UUV. Il apparaît vraisemblable qu'une majorité des drones sous-marins seront prévus pour être réutilisables, et devront donc être réparés. La masse pourrait permettre de

104. S. Savitz et A. Perez, « Could the U.S. Navy Fleet of the Mid-21st Century Include Large Uncrewed Vehicles? », RAND, 8 janvier 2025, disponible sur : www.rand.org.

105. Modèle dit *Contractor Owned, Contractor Operated, Naval Oversight* (COCONO).

106. L. Willett, « UK Takes First Acquisition Steps for Atlantic Net ASW ISR Capability », Naval News, 22 octobre 2025, disponible sur : www.navalnews.com.

107. E. Bienvenue *et al.*, « Private Tech Companies, the State, and the New Character of War », Carnegie Endowment for International Peace, 1^{er} décembre 2025.

contourner cette difficulté en multipliant les vecteurs sur site pour pallier les avaries éventuelles. Tout dépendra encore une fois du coût unitaire, ainsi que de la taille de ces drones, car une unité navale non spécialisée (par exemple hors bâtiment porte-drones¹⁰⁸) ne sera pas forcément en mesure d'emporter un nombre important de drones sous-marins embarqués en fonction de leur envergure.

La marine américaine, après plusieurs décennies de développements dans le domaine, et résolument lancée dans l'acquisition en masse et tous azimuts de systèmes autonomes dans le cadre de l'initiative *ad hoc Replicator*¹⁰⁹, prend progressivement conscience de cette réalité¹¹⁰.

Enfin, comme pour le reste du segment des capacités militaires dronisées, la question industrielle du passage à l'échelle se pose avec acuité. Le caractère multi-technologique des drones sous-marins, pour les drones les plus avancés en particulier, limitera probablement la capacité à les produire en masse, et les contraintes de l'environnement sous-marin compliqueront leur maintien en condition opérationnelle, *a fortiori* en cas d'utilisation intensive. Ainsi, la capacité à durer et à absorber l'attrition dans ce segment capacitaire en cas de conflit de haute intensité restera un enjeu pour la base industrielle et technologique de défense navale.

Aussi, dans la réflexion sur la juste intégration des systèmes autonomes, sous-marins mais aussi de surface, dans les systèmes de forces navales, il ne suffit pas d'acquérir des systèmes. Il convient de considérer ces enjeux de modèle de ressources humaines, de maintien en condition opérationnelle et de capacité à régénérer comme des gages de valeur ajoutée et de fiabilité sans lesquels la masse ne crée pas une capacité opérationnelle. Ces enjeux méritent d'être discutés entre les forces et les industriels du secteur, alors que les développements technologiques dans le domaine des systèmes sous-marins autonomes sont encore en phase émergente.

108. Tel que le TCG Anadolu turc, par exemple.

109. N. Robertson, « Pentagon Unveils 'Replicator' Drone Program to Compete with China », Defense News, 28 août 2023, disponible sur : www.defensenews.com.

110. N. Johnson, « Replicator 3 Should Be the Sustainment Revolution », War on the Rocks, 18 novembre 2025, disponible sur : <https://warontherocks.com>.

Conclusion

Les développements technologiques dans le domaine de l'autonomie dans le milieu sous-marin laissent augurer un très large panel de possibilités d'emploi opérationnel pour des drones sous-marins. Pariant sur cette nouvelle révolution capacitaire dans le sillage des drones aériens, les industries de défense à travers le monde se sont lancées sans retenue sur le segment des drones navals afin de ne pas manquer ce nouveau virage et de ne pas laisser filer l'opportunité d'un marché vu comme très prometteur.

De leur côté, les marines militaires ont pour la plupart engagé des expérimentations ou des projets dans le domaine, en capitalisant sur leur expérience opérationnelle propre. Pour autant, une part significative d'entre elles préfère privilégier une approche prudente et itérative, en s'appuyant sur l'offre commerciale existante afin de tirer le meilleur profit des développements technologiques rapides du secteur portés par l'industrie et le monde scientifique, tout en cherchant à limiter le risque en termes de programmes d'armement. En effet, là où la durée de vie d'un programme d'armement moderne est de 40 à 50 ans pour un moyen naval (10 à 15 ans de développement, et 30 à 40 ans en service), l'accélération technologique et l'évolutivité dans le segment des drones laissent augurer une durée de vie d'environ 15 ans. Pour les marines les plus engagées actuellement dans ce segment (États-Unis, Chine, Russie, Royaume-Uni, Australie, Iran...), le drone sous-marin apparaît comme une solution capacitaire accessible, que ce soit en termes de coûts ou de délais, pour répondre à un problème stratégique naval immédiat face à un adversaire identifié.

Les cas d'emploi massif de vecteurs dronisés peuvent en effet relever d'une stratégie privilégiant le recours absolu à un effecteur unique dont le rapport coût/efficacité apparaît prévalent sur les autres et permet de multiplier les vecteurs pour générer de la saturation, à l'instar de la Russie dans le conflit russe-ukrainien, ou d'une approche dictée par la nécessité, en l'absence d'alternative pour la capacité opérationnelle recherchée, à l'instar du projet CABOT britannique ou des drones navals ukrainiens.

L'échelle de coût de possession envisageable pour les drones sous-marin laisse planer des doutes à ce stade sur la capacité, budgétaire, humaine ou encore structurelle, des marines à recourir en masse à ce type de moyens autonomes dans un ou plusieurs segments capacitaires sans devoir procéder à des renoncements par ailleurs, qui auront des conséquences durables sur la structure de forces. C'est notamment vrai, même pour la toute-puissante marine américaine. En effet, l'exemple de l'aéronavale britannique montre

qu'il faut une ou deux décennies pour reconstruire une capacité opérationnelle perdue sur l'ensemble du spectre capacitaire DORESE¹¹¹. C'est pourquoi la plupart des marines restent prudentes et s'accordent sur le fait que c'est bien le concept d'emploi de ce type de moyens navals qui doit orienter les développements technologiques et non l'inverse.

À ce stade, bon nombre des drones sous-marins de grande taille (XLUUV) révélés dans le monde sont encore à l'état de démonstrateur ou en phase initiale de test. Leurs capacités réelles sont également sujettes à caution, notamment dans un contexte pleinement opérationnel, et sont vraisemblablement liées à la poursuite des développements technologiques dans les capacités clefs évoquées en deuxième partie.

Au-delà du seul facteur technologique, les autres aspects de l'intégration des moyens sous-marins dronisés dans les forces navales, tels que les concepts d'emploi, l'adaptation structurelle des ressources humaines, le développement de l'écosystème d'appui opérationnel et de l'écosystème de soutien logistique, en sont au mieux à l'état embryonnaire. Aux dires même de l'Amiral Gilday, ancien chef d'état-major de l'US Navy, en 2022, l'évolution que représente la vision maximaliste d'une flotte hybride portée par le *CNO Navigation Plan 2022* prendra au moins vingt ans aux États-Unis, en raison notamment des enjeux de mise en réseau et de connectivité multi-plateformes inhérents aux opérations distribuées, mais également au regard de l'effort nécessaire à la BITD navale américaine pour produire ces nouvelles capacités.

En outre, la transition d'une flotte de navires classiques vers une flotte hybride incluant une part conséquente de plateformes autonomes constitue une révolution, et sa réussite supposera une approche graduelle appuyée sur un grand nombre d'expérimentations et de retours d'expérience, comme l'ont montré les révolutions navales des siècles précédents.

Ainsi, si elle est porteuse d'une révolution potentielle, dont les modalités restent encore largement à préciser, l'autonomisation dans le milieu sous-marin ne semble pas à ce stade devoir remettre en question la pertinence des moyens habités. Les projets de primo-construction de sous-marins nucléaires par l'Australie, le Brésil, mais aussi potentiellement par le Japon ou encore la Corée du Sud montrent que le sous-marin nucléaire avec équipage reste plus que jamais un élément clé de l'ordre de bataille sous-marin d'une marine de premier rang.

Pour autant, la potentialité même de cette révolution doit conduire à ne pas la négliger sur le plan militaire. À ce titre, on peut formuler plusieurs recommandations afin que la France n'accumule pas de retard dans ce segment capacitaire.

¹¹¹. Acronyme décrivant les constituants d'une capacité opérationnelle militaire : Doctrine – Organisation – Ressource humaine – Entraînement – Soutien – Équipement.

1/ Tout d'abord, dans l'esprit des initiatives américaines telles que le *Navy Unmanned Acquisition Office*¹¹² américain, il faut capitaliser sur et fédérer au mieux l'écosystème ternaire français existant (Marine nationale – monde scientifique – industrie) dans le domaine sous-marin, autour, par exemple, d'une structure experte civilo-militaire dédiée (à la fois centre d'expertise/renseignement et plateau d'expérimentation). L'idée est d'orienter les recherches et les développements technologiques en France dans le domaine, de disposer d'une expertise complète pour suivre les développements étrangers, d'aligner dès la phase de conception l'offre industrielle souveraine sur les besoins capacitaires, de bien appréhender et structurer en amont l'écosystème logistique nécessaire à la mise en œuvre de ces moyens, et de générer au fil de des développements de la compétence militaire dans la mise en œuvre de ces systèmes complexes.

2/ Dépasser la stratégie de maîtrise des fonds marins et s'appuyer sur un premier concept d'emploi opérationnel national pour cette panoplie de capacités spécifiques, inscrit en cohérence capacitaire dans le panel des missions et des scénarios opérationnels de la Marine nationale, actuels et futurs, afin :

- d'orienter les choix de conception des industriels français et les guider vers une offre pertinente pour les besoins nationaux, sans que ce soit nécessairement exclusif de développements orientés vers le marché export ;
- de déterminer l'effort nécessaire et pertinent sur le plan capacitaire pour acquérir les capacités nécessaires à l'horizon prévisible où elles seront disponibles.

Ce premier concept d'emploi pourra être revu par la suite en temps utile, afin d'intégrer le retour d'expérience des expérimentations conduites et de prendre en compte les développements technologiques offrant des perspectives d'emploi opérationnel consolidées.

3/ Prendre en compte la menace potentielle représentée par les capacités correspondant aux drones sous-marins autonomes dans la perspective où elles seraient acquises par des compétiteurs stratégiques, et définir des stratégies pour la contrer le cas échéant, en identifiant les capacités nécessaires pour ce faire. Déterminer la temporalité nécessaire pour l'acquisition de ces capacités.

4/ Préparer dès à présent le terrain pour l'intégration à terme dans les forces des capacités retenues, tant en termes d'appui

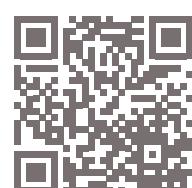
¹¹². S. Lagrone, « New Navy Unmanned Acquisition Office Could Oversee up to 66 Programs, Consolidate 6 PEOs », US Naval Institute News, 18 novembre 2025, disponible sur : <https://news.usni.org>.

logistique, de développement de compétences, que d'adaptation des infrastructures de mise en œuvre, à quai comme sur les unités navales.

5/ Au regard des coûts prévisibles de développement des drones sous-marins autonomes et de l'environnement associé, ainsi que du défi technologique que représente l'opérationnalisation de cette capacité, explorer dès à présent, en phase initiale, des pistes de synergie avec des partenaires stratégiques partageant une vision opérationnelle de l'emploi de ces moyens compatible avec celle de la marine française. Pour les drones sous-marins déployables par des moyens navals, ce pourrait être celles qui déplient des forces aéronavales selon des formats comparables (Italie, Inde, Royaume-Uni, voire Brésil...). Pour le volet défensif (surveillance sous-marine des approches, protection des infrastructures sous-marines critiques), la liste des partenaires potentiels s'élargit à l'ensemble des pays partenaires disposant d'une façade maritime sur une mer ouverte, l'attendu opérationnel étant probablement plus consensuel. En tout cas, **l'articulation avec les dynamiques d'alliance ou de partenariat stratégique et les logiques d'interopérabilité devront être pensées en amont**, car la valeur stratégique des capacités sous-marines dronisées dépendra vraisemblablement pour partie de leur capacité à s'intégrer à l'avenir dans des dispositifs d'ensemble multinationaux, multi-milieux, hybrides et multiplateformes.

Les dernières publications des Focus stratégiques

- Léo Pélia-Peigné, « [Char de combat : obsolescence ou renaissance ?](#) », *Focus Stratégique*, n° 130, novembre 2025.
- Élie Tenenbaum, Guillaume Furgolle et Jean-Baptiste Guyot, « [Quelle autonomie capacitaire pour l'Europe ? Une analyse multi-domaine](#) », *Focus Stratégique*, n° 129, octobre 2025.
- Amélie Férey et Pierre Néron-Bancel, « [« Glaives de fer ». Une analyse militaire de la guerre d'Israël à Gaza](#) », *Focus Stratégique*, n° 128, octobre 2025.
- Rachid Chaker, « [La guerre au commerce au XXIe siècle. Enjeux et défis pour la Marine française](#) », *Focus stratégique*, n° 127, juin 2025.
- Guillaume Furgolle, « [Représenter la fonction « Protection – Résilience ». Un nécessaire changement de paradigme face à un environnement qui se durcit](#) », *Focus stratégique*, n° 126, juin 2025.
- Amélie Férey, « [Sous le feu des normes. Comment encadrer sans désarmer la défense européenne ?](#) », *Focus stratégique*, n° 125, avril 2025.
- Jonathan Caverley, Ethan Kapstein, Léo Pélia-Peigné et Élie Tenenbaum, « [Une base industrielle de défense transatlantique ? Deux analyses contrastées](#) », *Focus stratégique*, n° 124, mars 2025.
- Léo Pélia-Peigné et Amélie Zima, « [Pologne, première armée d'Europe en 2035 ? Perspectives et limites d'un réarmement](#) », *Focus stratégique*, n° 123, février 2025.
- Adrien Gorremans, avec la participation de Jean-Christophe Noël, « [L'avenir de la supériorité aérienne. Maîtriser le ciel en haute intensité](#) », *Focus stratégique*, n° 122, janvier 2025.
- Héloïse Fayet et Léo Pélia-Peigné, « [La frappe dans la profondeur : un nouvel outil pour la compétition stratégique ?](#) », *Focus stratégique*, n° 121, novembre 2024.
- Jérémy Bachelier et Mélissa Levaillant, « [L'Inde, un partenaire incontournable pour la France dans l'Indopacifique ?](#) », *Focus stratégique*, n° 120, juillet 2024.



27 rue de la Procession 75740 Paris cedex 15 – France

Ifri.org