



PROMOTION P28

2020-2021

Drones navals : y aura-t-il encore des marins sur les bâtiments dans trente ans ?
Perspectives d'emploi des systèmes automatisés dans la Marine nationale.



CF DENIS Guillaume

Sous la direction de

M. Cyrille Poirier-Coutansais

Centre d'Etudes Stratégique de la Marine

Résumé

Au cours des vingt dernières années, l'usage du drone aérien s'est généralisé dans les conflits armés. Aujourd'hui, la maturité des technologies de l'autonomie décisionnelle autorise un nouveau champ de missions et de milieux pour les systèmes automatisés : les immenses étendues océaniques et les profondeurs sous-marines, terrains d'opération particulièrement propices à l'exploitation de leurs qualités intrinsèques.

Conjointement au développement de nouveaux drones aériens, ce sont maintenant les projets de drones de surface et sous-marins qui prolifèrent. Les forces armées françaises se doivent d'avancer rapidement pour rattraper leur retard. Un nouvel échec capacitaire, semblable à celui des drones aériens, pourrait cette-fois-ci provoquer un déclassement opérationnel au regard de la rupture attendue. Cependant, afin que l'intérêt légitime pour ces nouvelles technologies ne tourne pas à la fascination aveugle pour le « tout technologique », une approche prudente mais résolue est nécessaire.

En retournant au cœur des spécificités des systèmes automatisés et à la lumière de certaines erreurs du passé, on observe que les problématiques de coût sont fondamentales pour faire émerger l'intérêt du drone. De plus, les spécificités des milieux marins nécessitent de favoriser les qualités d'endurance et d'axer les efforts de développement sur l'autonomie décisionnelle. L'analyse des risques génériques des systèmes de drones montre que, sans préjuger du futur, la coopération entre systèmes habités et systèmes automatisés (cobotisation) permet d'en mitiger les conséquences tout en assurant une performance maximale.

Par ailleurs, l'étude des ambitieux programmes de l'*US Navy* confirme la nécessité de revenir à une méthode incrémentale de développement basée sur l'utilisation de démonstrateurs, ceci avant même que les besoins opérationnels soient bien définis. Avec cette approche, la Marine nationale pourrait s'appuyer sur un environnement industriel local favorable pour consolider le capital volet exploratoire de ses programmes capacitaires SLAM-F¹ et CHOF².

Enfin, les ressources humaines et financières limitées des forces armées françaises rencontrent les évolutions des contextes opérationnel et stratégique pour confirmer la nécessité de concentrer les efforts sur des drones navals spécialisés, autonomes et au coût maîtrisé. La lutte anti sous-marine défensive dans le cadre de la protection du bastion de la FOST constituerait à ce titre un terrain d'exploration et d'opération privilégié.

¹ Système de Lutte Anti-Mines Futur.

² Capacité Hydrographique et Océanographique Future.

Abstract

The past two decades have seen the widespread rise of unmanned aerial vehicles (UAV) in armed conflict. Recent technological advances in artificial intelligence have enabled a new range of missions in unprecedented environments: the vast ocean and its depths, where the abilities inherent to AI may be most crucial.

Together with new UAVs, it is now time for programs of Unmanned Surface Vehicles (USV) and Autonomous Underwater Vehicle (AUV) to proliferate. French armed forces must advance swiftly to fill the gap. Another procurement failure, after the UAV's one, could lead to an operational offset, considering the anticipated disruption. However, a careful but resolute attitude is necessary here to avoid being overly fascinated by advanced technology.

By focusing on the core characteristics of unmanned systems, and by analysing some mistakes of the past, one can notice that the cost issue is fundamental to validate their interest. Furthermore, the inherent characteristics of the maritime environment force us to favour endurance qualities and to focus on the development of autonomous decision-making. The risk analysis about autonomous systems shows that the cooperation between unmanned vehicles and manned ones will be a key factor to mitigate risk and ensure performance at the same time.

On another note, by looking at the ambitious procurement programs of the US Navy, one can confirm the necessity for an incremental approach, based on the use of demonstrators, without waiting for the operational needs to be thoroughly defined. Using such an approach, the French Navy could leverage a favourable local industry to consolidate the fundamental R&D component of its procurement programs SLAM-F and CHOF.

Finally, the limited human and financial resources of the French armed forces meet the evolving operational and strategic context to confirm the need to focus on concepts of USVs and AUVs which are specialized, autonomous, and low-cost. In this respect, defensive anti-submarine warfare, to ensure the freedom of action of the FOST in its bastion, would be an opportune field of exploration and operation.

Introduction

Au cours des vingt dernières années, l'usage du drone s'est généralisé dans les conflits armés. Parmi les différents types de systèmes employés, le plus emblématique a certainement été le drone MALE³ qui a vu une utilisation particulièrement intensive justifiée par l'adaptation de ses qualités intrinsèques aux théâtres d'opérations d'alors.

Après une impulsion américaine, les réticences initiales de nombreux pays à l'égard du drone militaire ont progressivement été effacées, et son emploi s'est développé à travers le monde. La France, après avoir longtemps tergiversé, notamment sur l'armement de ses drones, emploie aujourd'hui au moins un drone *Reaper* en permanence au Sahel depuis 2016.

Ainsi, en deux décennies, la silhouette du *Predator*⁴ ou du *Reaper*⁵ volant au-dessus d'un théâtre est devenue un classique de l'imaginaire collectif militaire et le drone aérien, ou UAV⁶, un pilier des programmes d'armement.

Aujourd'hui donc, lorsqu'on entend le mot « drone », le premier réflexe est généralement de lever les yeux. Ceci est à porter au crédit du succès technico-opérationnel de l'UAV MALE ; succès néanmoins relatif, au regard de l'emploi restrictif, uniquement dans un contexte de basse intensité, et de l'ancienneté du

³ *Medium Altitude, High Endurance*.

⁴ Drone aérien MALE.

⁵ Successeur du *Predator*.

⁶ *Unmanned Aerial Vehicle*.

concept. En effet, le drone MALE d'aujourd'hui n'est guère plus qu'un système d'armes télé-opéré, relié à tout moment à son opérateur par une liaison de communication. S'il perd ce lien, il passe à une phase d'attente puis un retour à sa base selon un plan de vol programmé, annulant de fait sa mission. Considérant le vol sans pilote d'un avion Voisin effectuée par Max Boucher en 1917 comme la première expérimentation de drone aérien, on ne peut qu'observer une bien faible évolution du concept d'emploi, en plus d'un siècle. Ainsi le drone MALE pourrait être décrit comme un simple aéronef télécommandé magnifié grâce aux progrès en télécommunications, aéronautique et avionique des années 1990.

Aujourd'hui ce sont les technologies de l'information, en particulier celles liées à l'intelligence artificielle, qui arrivent à une maturité suffisante pour changer la donne. Avec l'intégration possible d'une part croissante d'autonomie décisionnelle dans les drones, c'est tout un nouveau champ de missions et de milieux qui s'offrent à eux. Après les airs en basse intensité, ce sont également la surface et les profondeurs des océans, dans tout le spectre de l'engagement, qui doivent être envisagés pour le développement des systèmes automatisés.

En juillet 2019 lors de son audition par la commission de défense de l'Assemblée Nationale, L'amiral Prazuck, chef d'état-major de la Marine, présentait l'ambition de de la Marine nationale à ce sujet :

« Mon objectif, vous le savez, c'est de disposer d'un drone par bateau en 2030 – petit drone, petit bateau ; gros drone, gros bateau. J'estime donc qu'en 2030, dans

la Marine, il y aura environ 1200 drones : 900 drones aériens pour équiper les bateaux, les bases à terre et les sémaphores ; une cinquantaine de drones de surface pour la surveillance et deux cents drones et *gliders* sous-marins pour la guerre des mines et la surveillance de l'environnement. »ⁱ

Parties avec un retard significatif, les forces armées françaises se doivent d'avancer rapidement pour être à la hauteur des enjeux. En effet, si le virage manqué des décennies 2000 et 2010 nous amène aujourd'hui principalement à acheter sur étagères du matériel américain, le cadre d'emploi limité de ces armes et l'environnement opérationnel de basse intensité ont limité les conséquences de cet échec. Demain, avec l'adjonction des progrès des technologies de l'information aux systèmes automatisés, un tel retard pourrait conduire à un potentiel déclassement. Nos compétiteurs stratégiques ou alliés s'y attellent. Les Américains en particulier ont théorisé depuis longtemps cette stratégie du déclassement des compétiteurs (*Offset Strategy*ⁱⁱ). Après la dissuasion nucléaire, puis le développement des technologies informatiques des années 1970, le développement des systèmes automatisés pourrait être le pilier principal de la *Third Offset Strategy*.

Dans le domaine naval, les immenses étendues océaniques et les profondeurs sous-marines constituent un terrain d'opération particulièrement propice à l'exploration et l'exploitation des qualités des systèmes automatisés. Conjointement au développement des UAV,

ce sont maintenant les projets d'USV⁷ et d'AUV⁸ qui prolifèrent.

Au milieu de ce foisonnement technologique, que faire à l'échelle de la Marine nationale, en particulier dans le nouveau champ des USV et AUV ? Parmi toutes les formes de systèmes automatisés possibles, lesquelles privilégier à court terme et pour quelles missions ? Des drones pour la Marine soit, mais pour quoi faire ?

L'intérêt nécessaire pour ces nouvelles technologies et leurs applications militaires ne doit pas tourner à la fascination aveugle pour le « tout technologique ». D'une part, parce que les capacités nationales et/ou européennes limitées en termes de recherche et développement nous astreindront nécessairement à une forme de frugalité. Surtout parce que les systèmes automatisés ne doivent pas devenir les nouvelles *wunderwaffen*ⁱⁱⁱ⁹, occasionnant des dépenses excessives pour des gains opérationnels chimériques. En effet, si les qualités intrinsèques des systèmes automatisés laissent entrevoir des applications multiples, leur emploi pose encore de nombreuses questions techniques et éthiques, et présentent des risques qui ne peuvent être écartés pour le moment. Il convient donc d'avoir une approche résolue mais prudente pour avancer sur ce sujet foisonnant.

⁷ *Unmanned Surface Vehicle*.

⁸ *Autonomous Underwater Vehicle*. L'acronyme UUV (*Unmanned Underwater Vehicle*) est également utilisé.

⁹ Désigne certains projets de l'armée allemande de fin de la 2nde guerre mondiale, très novateurs mais au nombre et à la fiabilité insuffisants pour influencer la fin du conflit.

Dans un premier temps (I), il semble utile de faire le point sur les problématiques génériques des systèmes automatisés, puis en s'appuyant notamment sur la comparaison des milieux de mettre en évidence les qualités et faiblesses intrinsèques portés par certains choix de conception. Ceci doit permettre de dégager des lignes directrices qui permettent d'éviter les écueils les plus évidents ou les risques trop difficilement évaluables.

Une fois ces éléments posés, le programme d'armement ambitieux de l'US Navy, doit être évoqué (II) car il constitue un exemple pratique de feuille de route relativement aboutie. L'étude des programmes français permet de cerner l'état de l'art local sur lequel nous pouvons nous appuyer. Quant aux avancées du monde civil, elles éclairent et illustrent certains défis et enjeux de la dronisation navale.

Enfin (III), en passant ces concepts généraux et les exemples de développements récents au filtre de certaines caractéristiques et problématiques de la Marine nationale, il est possible d'évoquer des scénarios d'emploi qui pourraient être explorés au cours des années à venir.

I. Généralités des systèmes de drone appliqués aux opérations militaires

A. Définitions des systèmes automatisés

1. Drones VS systèmes automatisés

Depuis maintenant de nombreuses années, l'utilisation d'automatismes s'est généralisée dans les systèmes d'armes et dans les véhicules, avec une très grande variété d'emploi. De la stabilisation d'un mirage 2000 par ses commandes de vol électriques aux missiles de croisière, en passant par les modes de tir de certains systèmes anti-aériens¹⁰, nous sommes entourés de systèmes qui nous aident à agir avec des degrés plus ou moins sophistiqués et transparents d'automatisme.

Le terme d'autonomie est souvent utilisé pour décrire l'étendue grandissante des tâches et choix explorés par ces systèmes, à la faveur des progrès technologiques. Citant les travaux MCDC (Multinational Capability Development Campaign), le concept exploratoire interarmées sur l'emploi de l'intelligence artificielle et des systèmes automatisés^{iv} définit l'autonomie de tels systèmes ainsi : « capacité (...) à agir sous la supervision d'une programmation humaine, selon ses tâches, ses règles, ses états internes et ses connaissances, sans intervention extérieure ».

¹⁰ Le système ASTER 15 équipant les frégates de la Marine nationale peut-être utilisé en mode d'engagement automatique.

L'autonomie est donc une forme d'automatisme caractérisée par une variance plus grande de l'environnement et des choix possibles.

Le terme de drone a historiquement été utilisé pour désigner des véhicules téléopérés, le plus souvent aériens, à même de se déplacer et d'effectuer un certain nombre de tâches. Aujourd'hui, on peut utiliser ce terme pour décrire un type de robot, c'est-à-dire « un équipement disposant de capteurs, d'un système de commande logique et d'actionneurs (...), capable de manipuler des objets, de se mouvoir ou d'exécuter des opérations selon un programme fixe, modifiable ou adaptable ». Par ailleurs, il « calcule, selon sa programmation, ses stratégies de fonctionnement selon un état final recherché »⁵. Le drone est donc un système automatisé mobile, qui peut opérer selon quatre grands modes de fonctionnement :

- Drone téléopéré : il est à tout moment lié à son opérateur par un système de communication, avec un déport des tâches de l'équipage. Il peut se charger de tâches de bas niveau automatiquement, à commencer par celle qu'un système piloté effectuerait (maintien en ligne de vol d'un aéronef, atterrissage automatique, etc.) ;
- Drone supervisé : les tâches de bases sont automatisées (pilotage, navigation, observation, pointage des armements, etc.), mais la situation est en permanence supervisée par un opérateur humain qui décide des tâches de haut niveau à

effectuer (changement de zone, étape de la mission, assignations capteurs, désignations, engagements, etc.) ;

- Drone semi-autonome : ce système effectue des tâches de bas et haut niveau sans intervention humaine. Il ne peut modifier les tâches, les règles et le cadre spatio-temporel, le plus souvent fixés avant la mission, sans intervention humaine. Un missile de croisière SCALP, suivant son plan de vol, adaptant son pilotage à son environnement et reconnaissant son objectif pré programmé fonctionne comme un drone semi-autonome simple. Les drones de type « munition rôdeuse », comme le drone *Harpy*¹¹ qui patrouille sur une zone prédéfinie avant de désigner et détruire automatiquement les radars adverses en émission est un drone semi-autonome avec une capacité de désignation et d'engagement automatique ;
- Drone pleinement autonome. Il effectue sa mission en modifiant potentiellement son cadre et ses règles au-delà de sa programmation initiale. Il dispose d'une capacité d'adaptation maximale avec une capacité de contrôle de l'humain minimale. Il n'existe pas à ce jour de tels systèmes.

Il faut noter que ces dénominations doivent être liées au degré maximal d'autonomie atteignable par le

¹¹ UAV israélien.

drone, ce dernier pouvant passer d'un mode de fonctionnement à l'autre en cours de mission. Par exemple, un missile air-air moderne peut être supervisé à son lancement, avec une liaison avion-missile (LAM) active permettant au pilote de redésigner la cible, puis semi-autonome une fois la LAM coupée, utilisant son autodirecteur pour assurer la recherche et la poursuite finale de sa cible.

En ce qui concerne ce mémoire, nous nous intéresserons particulièrement aux drones supervisés et semi-autonomes.

2. Intelligence artificielle : GOFAI vs deep learning

L'expression « Intelligence Artificielle » (IA) est aujourd'hui largement répandue dans le champ sémantique. On peut considérer que les travaux d'Alan Turing au cours de la Seconde guerre mondiale constituent la théorie mathématique à l'origine de l'informatique. Après la création du premier ordinateur électronique en 1945, l'informatique n'a eu de cesse de vouloir transformer des données en résultats, afin de suppléer l'intelligence humaine.

Historiquement, il s'agissait pour les systèmes informatiques d'accélérer le calcul d'algorithmes basés sur de la logique (si A : alors B). Les progrès de la programmation (c'est-à-dire, la capacité à complexifier ces algorithmes) et du matériel informatique (capacité à stocker les données et à traiter rapidement des opérations logiques) ont permis d'améliorer sans cesse les performances informatiques. En 1997 un pas

symbolique a été franchi lorsque l'ordinateur *Deep Blue* d'IBM a fini par battre aux échecs Garry Kasparov, le champion du monde d'alors. Il ne s'agissait plus alors pour l'IA de suppléer l'homme mais d'être plus performante que lui dans certains cas. Pourtant, l'IA de *Deep Blue* ne consistait qu'en un algorithme classique, dont le succès était fondé sur la puissance brute informatique capable de passer en revue des millions de combinaisons possibles en quelques secondes. Cette GOFAI^{vi} (*Good Old'Fashioned AI*), était encore basée sur la modélisation complète d'un environnement et ses règles, ici un jeu, et la formalisation de liens de causalités par un cerveau humain. On comprend que ce type d'IA, aux raisonnements complètement maîtrisés, est très adapté aux systèmes fermés mais peut atteindre ses limites pour gérer des environnements complexes.

Les progrès de l'IA dont nous parlons de nos jours sont le plus souvent liés aux progrès du *machine learning* (auto-apprentissage). Là où la GOFAI est un pur produit logique, l'IA auto-apprenante (que nous nommerons IA pour simplification) est un pur produit empirique qui se base sur l'analyse d'une quantité immense de donnée pour établir des liens de corrélation. C'est le retour à une utilisation de la technique des réseaux neuronaux, couplé à la mise à disposition des bases de données colossales fournies par l'internet, qui permettent son développement actuel. L'IA présente notamment l'avantage de ne pas avoir à modéliser un problème ou son environnement trop complexe. Elle donne d'ailleurs des résultats objectifs : la victoire récente d'Alpha-GO contre le champion du monde de GO^{vii}, les diagnostics de cancer à partir d'images médicales^{viii}, ou plus proches des considérations militaires, la victoire 5-0 d'une IA

contre un pilote humain lors de combats aériens simulés^{ix}.

Mais malgré ses succès récents et son potentiel avéré, l'IA auto-apprenante apporte deux contraintes dimensionnantes pour son utilisation dans des systèmes d'armes. D'abord, elle nécessite un grand volume de données préalable pour pouvoir être entraînée (« Alors que notre esprit incroyablement agile peut reconnaître tous les chats à partir d'un chat, la très laborieuse IA ne peut reconnaître un chat qu'à partir de tous les chats »^x). Cela constitue une difficulté au développement de certaines fonctionnalités, et doit d'ailleurs nous inciter à avancer dès-à-présent sur les problématiques de collecte et de valorisation des données. De plus, le résultat d'une IA ne peut être prédit théoriquement. Il convient donc d'imaginer des méthodes extensives de test qui devront être effectués tout au long de la vie et du développement du système d'armes.

B. La règle des 4 Ds et les avantages comparatifs du drone

Pourquoi utiliser un drone pour une tâche habituellement effectuée par un humain ou système habité ? Afin de répondre à cette question, on a historiquement fait référence à la règle des 3 D « *Dull, Dirty, and Dangerous* »^{xi} auquel on rajoute souvent aujourd'hui un 4^{ème} D : « *Dear* » ou « *Difficult* ». Si cette règle élémentaire permet de défricher quelques aspects de l'avantage comparatif du drone pour certaines

missions, il convient néanmoins de préciser la signification que chacun de ces termes peut revêtir.

1. *Dull – fastidieux*

On fait référence ici aux tâches difficilement effectuées par des humains parce qu'elles sont répétitives, fastidieuses, et/ou nécessitent une grande endurance. Pour être plus précis, on peut caractériser deux qualités différentes du drone :

- Capacité à répéter une tâche quasi-parfaitement en s'affranchissant des limites de concentration d'un cerveau humain. Le système automatisé apporte une garantie de performance continue (pilote automatique, robot industriel, traitement de données, etc.) ;
- Capacité à effectuer sa tâche dans la durée, au-delà des limites de la fatigue physique humaine.

L'apparition en 1801 du métier à tisser Jacquard, est probablement l'un des premiers exemples d'utilisation d'un système semi-automatique remplaçant l'homme pour des tâches répétitives.

Remarquons que l'autonomie du système est ici centrale dans l'expression de cet avantage comparatif. En effet, un drone complètement télé-opéré reste limité par l'endurance de son équipage déporté. Si le changement d'équipage en cours de mission permet de contourner ce problème, le gain opérationnel global s'en trouve affecté.

2. *Dirty – sale*

Initialement Le concept de travail « sale » faisait notamment référence à un environnement hostile : zone polluée, irradiée, souterraine... etc. Si on utilise cette acception, on observe sa redondance évidente avec la notion de tâche dangereuse, traitée plus loin. Le drone permet dans ce cas simplement de réduire les coûts et les entraves liées à la protection de l'opérateur humain vis-à-vis des dangers liés à l'environnement de sa mission.

Il apparaît plus judicieux de considérer ici les tâches effectuées dans des environnements désagréables ou pénibles : le drone ne fait pas forcément mieux, mais l'humain ne veut pas ou ne veut plus faire. C'est une notion plus subjective, qui évolue avec la société. Mais ses conséquences sont bien réelles, notamment en termes de problématique RH. On notera notamment que l'ensemble des missions qui amène à isoler et déconnecter les individus peuvent entrer aujourd'hui dans cette catégorie.

Comparativement aux missions répétitives, la téléopération est là un moindre frein pour exprimer les qualités intrinsèques du drone.

3. *Dangerous – dangereux*

C'est probablement la première idée qui vient à l'esprit, surtout pour des militaires : un drone peut prendre plus de risques qu'un système habité. C'est une évolution naturelle de la portée des capteurs et des

effecteurs qui permet de préserver la vie de nos soldats en les éloignant des armes adverses.

Cet avantage du drone vis-à-vis du danger se décline sous deux aspects principaux :

- La capacité à respecter les consignes de maîtrise de risque, tant en termes de précision de l'exécution que de fidélité de l'intention. Plus prosaïquement : pour un drone, la perception du risque n'est pas altérée par des phénomènes physiologiques ou psychologiques (peur, colère, focalisation de l'attention, etc.), et sa capacité à respecter les mesures de maîtrise du risque non plus ;
- On peut lui faire prendre plus de risques, car il n'y a pas de vie humaine en jeu.

Le premier point a été clairement illustré lors de la démonstration *AlphaDogfight Trials* de 2020^{xii}. Dans le cadre de cet événement organisé par la DARPA¹², une IA a battu nettement et à plusieurs reprises un pilote de l'*US Air Force* lors de combats aériens rapprochés simulés. Au-delà de la qualité et de la rapidité des réactions de l'IA (côté *difficult* de la tâche, voir plus bas), c'est bien sa capacité à s'affranchir de certaines marges de sécurité, donc sa gestion objective du risque et de l'agressivité, qui a été identifiée comme un facteur clé de sa victoire.

La seconde assertion concernant l'acceptabilité du risque pour le drone mérite d'être développée. En effet, le risque est la combinaison de la probabilité et des

¹² *Defense Advanced Research Projects Agency* : l'éminente agence de l'innovation de défense américaine.

conséquences d'un évènement négatif. Dans le cadre de l'emploi d'un drone, on considère qu'il sera toujours moins grave de perdre une machine qu'un individu. Si cela est difficilement discutable moralement, les réalités opérationnelles nous amènent à nuancer cette idée. Le caractère consommable d'une arme, comme de toute autre ressource, est liée à sa rareté qui elle-même dépend du nombre possédé et de la capacité à remplacer. Quand vous possédez une demi-douzaine de *Reaper*, comme l'armée française, vous allez probablement les employer avec autant de précaution que la plupart de vos systèmes habités. On voit ici que la notion de coût, et donc de complexité, est au cœur de cette qualité potentielle du drone, qui n'est pas acquise intrinsèquement.

Qui plus est, plus un système est précieux, plus vous allez dépenser d'autres ressources pour le protéger. En l'équipant de contre-mesures ou de systèmes d'autoprotection, on augmentera encore le coût du drone, qui deviendra encore plus précieux. Il est vraiment regrettable de ne pas tenter de briser ce cercle vicieux, alors que le drone peut enfin offrir cette possibilité.

Au cours de ces dernières années, l'évolution des concepts d'UCAV¹³ couteux et furtifs^{xiii} vers des projets d'UAV où le caractère consommable est au cœur du concept, peut être vue comme une prise de conscience de certaines incohérences des premiers projets sur ce point. Le nouveau projet de l'*US Air Force*, le *Valkyrie*^{xiv} issu du programme LCASD¹⁴ montre probablement le

¹³ *Unmanned Combat Aerial Vehicle* : type d'UAV aux performances et missions d'un avion de chasse.

¹⁴ *Low-Cost Attritable Aircraft Strike Demonstrator* : *low cost* et consommable sont dans l'acronyme.

chemin vers une meilleure application de cette qualité typique du drone.

4. *Dear / Difficult – délicat / difficile*

La prise en compte de ce type de tâches comme aires privilégiées d'expression des qualités des systèmes automatisé est plus récente. Il s'agit dans ce cas d'une notion liée à la performance supérieure du système automatisée dans la réalisation d'une tâche. Cette supériorité n'est pas directement liée à la répétitivité de la tâche et à ses conséquences physiologiques sur l'opérateur humain mais bien à une supériorité de la machine dans la réalisation de la tâche. Cette supériorité peut être caractérisée par la vitesse d'exécution et le taux d'erreur.

Depuis maintenant longtemps, les robots industriels effectuent des tâches difficiles (et ennuyeuses) avec une bien meilleure précision que les humains. Dans le domaine militaire, les systèmes d'auto-protection ou de défense aérienne, où le temps de réaction est critique, peuvent fonctionner selon des modes automatiques.

Les progrès plus récents de l'IA et des capteurs (ces derniers souvent oubliés, mais ils conditionnent la qualité d'observation et *in fine* de décision) ont permis d'étendre spectaculairement le champ d'application de ces systèmes automatisés, vers des tâches plus complexes ou dans des environnements plus variés.

Les tâches d'analyse de données font partie intégrante de cette catégorie et certaines applications médicales en constituent une illustration. Aux Etats-Unis,

le *National Lung Screening Trial*⁶⁰ a été l'occasion d'évaluer la performance d'une IA dans la prédiction du cancer du poumon à partir de l'étude d'une radiographie. L'IA a été systématiquement plus performante que les six radiologues en compétition, réduisant le taux d'erreur jusqu'à 11%. Cela est plus impressionnant encore si l'on prend en compte que les radiologues avaient des années d'études et d'expérience pour arriver à ce résultat. Cependant il faut noter deux points d'attention. D'une part, plus de 43000 radiographies ont dû être analysées par ce programme pour arriver à ce résultat. L'IA a bien besoin d'une immense quantité de données pour établir des corrélations. Par ailleurs, si une nouvelle forme de tumeur apparaissait, le programme serait probablement incapable de prédire un cancer. En effet, l'IA prédit le futur à partir du passé. Dans ce cas, le travail des experts humains reste fondamental pour faire évoluer l'algorithme et l'adapter aux évolutions de la réalité.

L'IA et les systèmes automatisés peuvent donc démultiplier une expertise en améliorant son efficacité et en évitant de longs temps d'entraînement et de formation. Mais elle ne permettra probablement jamais de réduire l'expertise humaine en dessous d'une certaine masse critique. Par exemple, il faudra encore très longtemps former des radiologues pour faire évoluer les systèmes automatiques d'analyse de radiographies.

Ce phénomène est exacerbé par la diversité et l'évolutivité des environnements de travail ou d'opération. Car plus un environnement est changeant, plus sa prise en compte globale sera un défi pour l'IA, nécessitant des moyens d'entraînement exponentiellement complexes. En effet, si un système

automatisé peut agir plus efficacement dans un cadre donné, il aura de grandes difficultés à improviser hors de son domaine. Trois grandes options s'imposent alors : soit on accepte le risque d'un comportement incontrôlé, soit on interdit d'agir hors domaine, soit on pallie ces difficultés en faisant de nouveau rentrer un humain dans la boucle. Or les opérations militaires sont par leur nature même le lieu privilégié de l'expression de la surprise. On peut supposer sans grand risque qu'un adversaire adapterait sans relâche ses tactiques pour opérer au maximum aux limites du domaine d'efficacité de nos systèmes automatisés. Cela constitue une dialectique autonomie contre complexité des tâches, que seule la cobotisation¹⁵ permet de dépasser aujourd'hui.

5. Avantages comparatifs du drone

Si la règle des « 4 D » permet d'appréhender certaines spécificités d'emploi d'un système automatisé, elle n'est qu'une approche parcellaire dans la caractérisation des qualités intrinsèques de ce système.

Or, comme nous le verrons plus loin, l'utilisation de drones apporte également son lot de risques et de limites. Il est donc primordial dans une logique d'efficacité, de bien identifier les qualités potentielles de ces systèmes dans un premier temps, afin de pouvoir en

¹⁵ Coopération entre humains, par extension systèmes habités, et robots. Cette approche permet de pallier un certain nombre de difficultés de conception en recherchant une synergie et un partage des tâches entre l'humain et le drone.

tirer un bénéfice opérationnel maximal. Pour cela, on doit étudier certaines opportunités de conception d'un drone et les conséquences qui en découlent :

Il n'y a pas d'humain à bord (critère H) :

- Il peut être considéré comme consommable (H1) :
 - On peut dégrader la sûreté de fonctionnement de certains systèmes (H1a) ;
 - On peut prendre plus de risques opérationnels dans son utilisation (H1b) ;
 - On peut limiter les besoins de protection, contre-mesures ou auto-protection (H1c) ;
- Il peut s'affranchir de certaines limites humaines (H2) :
 - On peut élargir son domaine d'emploi physique (pression, accélération, etc.) (H2a) ;
 - On peut rallonger la durée des missions au-delà de la fatigue humaine (H2b) ;
 - La source d'énergie peut-être la seule limite d'autonomie, pas de ravitaillement en vivres (H2c, ce critère est modulé par l'abrasivité du milieu) ;
- Sa forme peut être complètement liée à sa mission, son environnement et à sa charge utile (H3) :
 - Pas besoin de cockpit/ passerelle (H3a)
 - Pas besoin de lieu de restauration ou de repos (H3b) ;

- Absence de tous les systèmes environnementaux liés au maintien de la vie (pressurisation, oxygène) (H3c) ;
- Opportunité en termes de miniaturisation (H3d) ;
- Il peut embarquer une forme d'autonomie (A1) :
 - Il peut effectuer un certain nombre de tâches individuelles plus efficacement et rapidement qu'un humain (A1a) ;
 - Il n'est pas nécessaire d'avoir un équipage déporté pour chaque drone, un gain en termes de ressources humaines est possible, tant en opérations qu'à l'entraînement (A1b).

Cette liste ne vise pas l'exhaustivité mais permet de poser une grille de lecture sur la plus-value d'un drone vis-à-vis d'un système habité.

A titre exemple, regardons comment les concepts d'UCAV furtifs des années 2010 comme le Neuron¹⁶ ou ses cousins interagissent avec cette grille. Nous utiliserons une note (0 : avantage pas exploité, à 4 : avantage exploité de manière décisive) afin de caractériser l'expression de l'avantage comparatif du drone vis-à-vis d'un système habité (en l'occurrence un avion de chasse).

¹⁶ Le Neuron était bien un démonstrateur technologique plus qu'un démonstrateur « preuve de concept ».

H1A Economie sur fiabilité	1		
H1B Prise de risque ops	1		
H1C Economie protection	0		
H2A Domaine d'emploi	0		Le domaine de vol est plus limité d'un chasseur habité.
H2B Endurance	1		Les gains de forme ont permis de gagner légèrement sur les réservoirs, mais sans influence décisive sur l'endurance.
H2C Indépendance rav. vivres	N/A		
H3A Absence poste pil.	4		
H3B Absence zone repos	N/A		
H3C Absence sys environ. (O2...)	4		
H3D Miniaturisation	2		Un Neuron est certes plus petit qu'un chasseur habité mais l'emport s'en ressent.
A1A Efficacité tâche	N/A		
A1B Gain RH	?		

Cette approche doit évidemment être nuancée. On observe cependant que l'UCAV furtif de grande taille peine à démontrer sa valeur ajoutée, seuls les gains de forme s'exprimant de manière nette. Cette relative faible performance est principalement liée aux choix de conception liés à la furtivité, qui nécessite de fortes contraintes de formes et de coût. On remplace donc les contraintes liées à la présence de l'homme (H3a) par d'autres contraintes de conception. Par ailleurs l'utilisation de formes furtives limite singulièrement les gains possibles en termes de domaine de vol (H2b). Enfin,

les gains attendus en capacité d'attrition (H1*) sont fortement limités par l'utilisation d'une technologie par nature coûteuse et complexe.

Le concept d'UCAV furtif se trouve ainsi dans une situation paradoxale : en se parant d'une technologie défensive potentiellement dispensable par sa nature même de drone, il neutralise une bonne partie de son potentiel de système non habité. D'une manière générale, cela met bien en lumière la dialectique coût/performance ou coût/complexité qui est au cœur de l'efficacité du drone.

A l'analyse de cet exemple, on voit que le gain potentiel en ressources humaines (RH) est l'un des derniers domaines où l'UCAV furtif (ou d'une manière générale complexe) peut amener une vraie valeur ajoutée. Mais n'oublions pas que cette capacité est fortement liée au degré d'autonomie, sous peine de devoir mettre un ou plusieurs opérateurs derrière chaque drone. Or, plus un système et/ou son environnement de mission sont complexes, plus les questions d'autonomie amènent leur lot de risques associés. Là encore, un drone de combat trop complexe ou coûteux peine à dépasser ses propres limites actuelles pour exprimer pleinement sa pertinence.

L'évolution du programme *MQ25 Stingray* constitue un autre exemple. Le programme initial de 2006 s'intitulait UCLASS (*Unmanned Carrier-Launched Airborne Surveillance and Strike*). Il s'agissait alors d'un projet d'UCAV furtif multi-mission embarqué sur porte-avions. Après une première réorientation en 2012 vers un aéronef ISR¹⁷ aux capacités d'engagement limitées, ce

¹⁷ Intelligence, Surveillance and Reconnaissance.

programme a encore évolué en 2016 vers le concept CBARS (Carrier-Based Aerial-Refueling System). Le résultat aujourd'hui est le *Stingray*, qui est un ravitailleur en vol furtif avec quelques capacités d'ISR et de relais de communications.

Il est fort probable, qu'en ayant constaté les difficultés de conception d'un tel drone, les responsables du programme ont drastiquement revu leur ambition à la baisse en termes de diversité de mission. En se concentrant sur le ravitaillement, une mission *Dull* (et même un peu *Dirty* car elle n'attire pas les foules), au cadre relativement simple qui permet d'envisager une relative autonomie de décision¹⁸ et ne nécessite pas des qualités dynamiques particulières, l'outil a retrouvé une vraie cohérence et utilité¹⁹.

C. Les risques génériques liés à l'utilisation des systèmes automatisés et leurs conséquences

Après avoir balayé certains avantages opérationnels potentiels des drones, il convient de s'intéresser à certains risques associés. Là encore, il ne s'agit pas d'être exhaustif, mais d'identifier des points d'attention pouvant guider des choix de conception.

Ici l'étude de la doctrine interarmées françaises concernant l'emploi des drones aériens^{xvi} ou l'IA^{xvii}, ainsi que de certains rapports spécialisés du centre de

¹⁸ Ceci d'autant plus que la cobotisation est possible.

¹⁹ La furtivité est ici utile dans le cadre du ravitaillement en vols de chasseurs F35, eux-mêmes furtifs.

recherche du congrès américain^{xviii}, constitue une première approche pertinente.

1. Perte de contrôle du système automatisé

Un des premiers risques qui vient à l'esprit à propos de l'utilisation des drones est lié au danger de perte de liaison avec son pilote ou superviseur ou à la possibilité d'interférences ennemies. Comme vu plus tôt, l'emploi d'un drone pleinement automatisé reste aujourd'hui éloigné. Les communications demeurent donc un point central dans le fonctionnement des drones, en particulier leur fiabilité et leur débit.

Le développement de l'autonomie des systèmes limite la dépendance à ces deux qualités. D'une part, elle réduit la nécessité d'une communication continue pour effectuer la mission. D'autre part, le traitement en interne des données par le drone limite également le volume de informations descendante vers son superviseur. Ce second point est crucial au regard de la potentielle saturation rapide de nos ressources spectrales liée à la multiplication d'objets communicants sur le champ de bataille.

L'élongation des communications constitue également un défi. En particulier dans le cadre des communications BLOS²⁰, la multiplication des intermédiaires de communications (relais, satellites, etc.) constituent également une multiplication de possibles dysfonctionnements, de goulots d'étranglements, ou de

²⁰ *Beyond Line Of Sight* : au-delà de l'horizon, par opposition à LOS (*Line Of Sight*).

points d'entrés de cyber-attaques ennemis. Par ailleurs, la militarisation accrue de l'espace questionne singulièrement le recours aux satellites pour le contrôle BLOS de nos futurs drones pour des missions de haute intensité. La cobotisation doit donc être privilégiée pour le moment dans les nouveaux programmes parce qu'elle règle en partie cette question épineuse par la réduction des distances entre l'humain et le drone.

Concernant le risque cyber, on pourrait considérer que l'utilisation de logiciels de prise de décision augmente la probabilité ou l'efficacité des cyber-attaques sur nos drones. Il n'est pas certain que ce risque soit significativement plus important que le risque similaire déjà existant vis-à-vis de nos systèmes d'armes modernes qui reposent d'ores-et-déjà sur de l'informatique sophistiquée et des réseaux de communication. Si une conception centrée sur la SSI²¹ est évidemment primordiale, ici encore l'autonomie croissante, par sa capacité à réduire les flux de communications, peut participer à la diminution du risque cyber.

2. Erreur de jugement / précision

Comme vu précédemment, les systèmes automatisés, notamment grâce à de l'AI, peuvent à terme être plus performant que l'humain dans la réalisation de certaines tâches, en particulier sous pression temporelle. Par exemple, en environnement opérationnel, la recherche et la désignation d'objectifs pourraient constituer des domaines d'expression

²¹ Sécurité des Systèmes d'Information.

privilégiés des qualités des systèmes automatisés. Ils sont utilisés d'ailleurs depuis longtemps dans des cadres défensifs : le système de défense courte portée anti-missile *Phalanx* est conçue pour détecter, désigner et engager ses cibles automatiquement depuis les années 1970. Mais l'IA peut permettre d'élargir le spectre d'emploi de tels concepts.

Cependant, l'IA, telle une boîte noire, ne peut par construction être totalement prédictible. L'utilisation de tels algorithmes ne peut jamais tout à fait exclure l'émergence d'un comportement imprévu. La doctrine française encadre ce risque par l'omniprésence de l'homme dans les décisions d'engagement : « l'homme supervise en permanence les systèmes de drones aériens et prend les décisions d'engagement d'une cible et d'ouverture de feu »^{xix}. Cependant, cette solution apporte ses limites. Les questions de pression temporelle et de temps de réaction étant ici fondamentales. Imaginons un système de défense aérien qui ne fait que détecter et désigner des missiles et qui laisse l'ordre d'engagement à l'humain. Imaginons qu'il n'y ait que trois secondes pour prendre la décision (dont une seconde sera déjà perdue par le temps de réaction humain) : quel jugement va être capable de formuler l'opérateur en deux secondes ? Il va simplement réagir trop tard, ou accepter la proposition sans avoir la capacité de l'analyser. L'imprédictibilité de la réaction du cerveau humain sous forte pression temporelle n'est-elle pas ici au moins équivalente à l'imprédictibilité du drone muni d'une IA ? N'est-on pas dans ce cas plutôt dans l'illusion d'un contrôle humain ?

Le biais qui consiste à attendre d'un système autonome des niveaux de taux d'erreurs très

significativement inférieurs à celui des humains peut nous mener au paradoxe de ne pas utiliser des systèmes nettement plus sûrs et fiables que les anciens, simplement parce qu'ils ne sont pas parfaitement sûrs et fiables^{xx}.

L'utilisation mixte de modes automatiques ou semi-automatiques en fonction des circonstances, allée à des évaluations poussées des réactions des différentes IA d'un système de drone tout au cours de sa vie opérationnelle, sont le chemin vers une utilisation réaliste et efficace de ces outils, en particulier dans un cadre de haute intensité.

3. *Risque d'escalade tactique*

Si, par une conception ad hoc, un drone exprime son potentiel consommable et peut prendre plus de risques, on pourrait craindre un danger d'escalade tactique. « Un engagement moindre sur le terrain et la diminution des risques de pertes humaines offertes par ces systèmes pourraient amener à redouter un recours plus désinhibé à l'usage de la force »^{xxi}.

La notion de symétrie du combat paraît importante pour étudier cette question. Dans le cadre d'un combat entre une unité classique contre des drones, il semble acquis que le seuil d'emploi de la force ou de la coercition pour détruire ou saisir un drone est abaissé. Le nombre relativement important de drones abattus ou saisis atteste d'une forme de désinhibition naturelle de la violence envers ce qui n'est qu'une machine.

A l'opposé, si l'on a pu s'interroger sur la déshumanisation de l'opérateur de drones tuant un terroriste à des dizaines de milliers de kilomètres, son expérience est-elle si différente du pilote de chasse qui tire une bombe à 15000 pieds d'altitude ou de l'artilleur qui délivre ses obus sans même voir sa cible ? Il semble plus réaliste de considérer que l'absence de peur (et de colère dans le cas d'un drone non télé-opéré) et la négation potentielle du concept de légitime défense (en particulier si le drone est plutôt consommable) réduisent le risque d'emploi intempestif de la violence à travers un système automatisé.

Dans le cas d'un combat dronisé de part-et-d'autres, les influences contradictoires des moindres conséquences de la violence et de l'absence d'effets émotionnels permettent difficilement d'évaluer le risque

d'escalade. Dans certaines conditions, elle pourrait en tout cas être très rapide, car non limitée par la lenteur des réactions humaines... mais non incontrôlée, les règles d'engagement étant parfaitement respectées. L'environnement du combat devrait y jouer un rôle important. En effet, dans un pur combat drones contre drones, les seuls morts ou blessés proviendraient uniquement des dommages collatéraux. Au-delà des aspects éthiques, il est probable qu'un tel combat verrait sa violence fortement inhibée. Car si l'on peut accepter de prendre des risques de dommages collatéraux pour dégager nos soldats lors d'une situation de *Troop In Contact*²², en s'appuyant sur la notion de proportionnalité issue du droit des conflits armés, cela semble bien plus difficile pour défendre une machine.

Ici le drone montre une de ses faiblesses. D'une part, il est intrinsèquement plus difficile à défendre, à appuyer au sens de l'appui feu, s'il est seul au contact dans des zones au risque de dommages collatéraux avérés. A l'opposé, s'il est employé seul dans une zone à faibles risques collatéraux, il offre une grande liberté dans l'application de la violence à son adversaire. Dans les deux cas, la cobotisation peut à nouveau constituer un moyen de moduler la difficulté, en permettant à l'humain de faire bénéficier au drone proche d'une partie de sa valeur morale, et en inhibant par là même la violence adverse.

²² Ou TIC : notion utilisée pour caractériser l'urgence d'un appui feu, elle permet le plus souvent de faire évoluer les règles d'engagement en termes de calcul de dommages collatéraux.

4. *Risque d'escalade politique*

La notion d'escalade se pose évidemment à des niveaux plus élevés. On peut évidemment considérer que la réduction du risque de pertes humaines désinhibe l'utilisation de la force d'une armée équipée de drones pour le décideur politique. C'est d'ailleurs bien l'objet de tout système d'armes de minimiser les risques de ses troupes avec un effet maximal pour l'ennemi. Cette forme de liberté d'action est au cœur même du concept de systèmes de drones.

Le procès des nouvelles armes qui seraient dangereuses ou immorales car donnant un avantage trop important à leur utilisateur est vieux comme le monde, et il a rarement freiné leur emploi.

De manière plus objective, la question de la licéité des armes au sens du droit des conflits armés s'appuie principalement sur les notions de proportionnalité et de distinction mais n'a jamais fait cas d'un concept d'avantage disproportionné au combat. Même si, au demeurant, une prise de risques disproportionnée entre les deux parties d'un conflit peut constituer une vulnérabilité dans le champ des perceptions pour le belligérant favorisé.

Imaginons maintenant un combat plus symétrique entre deux armées dronisées. Celui qui accepte de mettre également des troupes humaines en jeu ne bénéficiera-t-il pas d'une légitimité plus forte, et d'une visibilité de sa volonté politique plus affirmée ? Ne sera-t-il pas plus aisé de rechercher la sympathie et l'appui d'autres acteurs pour une force comportant des soldats humains ? S'il est difficile de trancher ces questions (la raison du plus fort n'est-elle pas toujours la meilleure ?), on ne peut que

concéder que la valeur politique du soldat humain sera toujours supérieure à celle du robot. Ce qui fait la valeur tactique du robot, fait ici sa faiblesse politique. Cet argument plaide encore pour la recherche de synergie entre l'homme et la machine au sein de forces hybrides.

5. Risques juridiques

Conformément au droit des conflits armés (DCA), la licéité d'emploi des drones au combat est lié au respect « des principes de distinction, nécessité militaire, proportionnalité, précaution et humanité »^{xxii}. Sans entrer dans le détail des complexes questions juridiques, on peut noter que si le sujet des systèmes autonomes létaux fait l'objet de discussion au sein de la Convention sur Certaines Armes Classiques (CCAC), aucune proposition d'interdiction n'est en vue. D'une part, on peut estimer raisonnablement que l'utilisation à bon escient du jugement humain dans les chaînes de décision permettra d'assurer les principes du DCA. D'autre part, toutes les grandes puissances militaires s'engagent dans la dronisation de leur outil militaire et vont constituer un lobby puissant en faveur de sa licéité.

Au-delà de ce sujet, certaines spécificités de conception apporteront un nécessaire rééquilibrage des responsabilités en cas de dysfonctionnement. De nos jours, le dysfonctionnement d'un système automatisé avec de la GOFAl peut-être disséqué et finement analysé. Par rétro-ingénierie, on est capable d'identifier la ligne de code défaillante et d'éventuellement mettre en cause la responsabilité du fabriquant. Le caractère de « boîte

noire » des nouvelles technologie d'IA limitera fortement cette capacité. Dans les couloirs de l'EPNER²³, on peut lire cette citation de Ferdinand Ferber²⁴ : « Concevoir une machine volante n'est rien, Fabriquer est peu, l'essayer c'est tout ». Si cette affirmation peut être aujourd'hui nuancée dans le cadre de l'aéronautique, elle illustre bien le défi des systèmes basés sur de l'IA. En termes de performance et fiabilité du résultat, seule la qualité et l'étendue de l'évaluation des systèmes pourront faire foi. Les capacités de tests et d'expérimentations des industriels, des armées et de la DGA devront nécessairement monter encore en puissance pour relever ce défi ; sous peine de ne pouvoir assurer sereinement un transfert de responsabilité juridique de l'industriel vers l'Etat, prérequis à toute utilisation d'un système d'armes.

D. Spécificités des milieux aériens et maritimes au regard des systèmes automatisés

Comme tous les systèmes d'armes, les systèmes de drones interagissent avec un environnement particulier. Les spécificités de chacun des milieux physiques permettent d'exprimer plus ou moins les qualités et limites potentielles de ces outils. Afin de caractériser ces interactions l'utilisation d'une matrice SWOT²⁵ permet

²³ Ecole du Personnel Navigant d'Essai et de Réception : Ecole des essais en vol.

²⁴ Pionner de l'aviation française, décédé en 1909.

²⁵ Strengths Weaknesses Opportunities Threats : forces et faiblesses (endogènes), opportunités et menaces (exogènes)

d'identifier quelles qualités intrinsèques potentielles du drone sont privilégiées en fonction du milieu.

1. Milieu aérien

Il s'agit du milieu le plus exploré jusqu'à présent. Les raisons en sont multiples. Avant les progrès relativement récents de l'automatisation, la télé-opération était la seule possibilité envisageable. Or, le milieu aérien, par sa perméabilité aux ondes, sa « transparence », permet une communication relativement aisée, la prise d'altitude des mobiles permettant également d'allonger les distances effectives de communication LOS.

Par ailleurs, pour les mêmes raisons, ce milieu permet d'avoir une situation tactique claire de l'ensemble des mobiles. Cela autorise la gestion de l'anti-abordage sans que des capteurs dévolus à cette tâche soient embarqués. De plus, le développement depuis de nombreuses années du vol aux instruments, a créé un environnement technique (GPS, radio-navigation, etc.) et procédural (contrôle aérien, règles de navigation aérienne, etc.) propices à l'utilisation de drones. Enfin, c'est un milieu avec peu de friction, où, en dehors du cas particulier des orages violents, l'environnement nécessite rarement à lui seul une modification de la mission et de la navigation.

C'est donc principalement pour des raisons de simplicité et de maturité technique que le milieu aérien a été le premier terrain d'opérations pour les drones.

Forces :

- Les élongations de communications LOS peuvent être significatives entre plusieurs mobiles aériens ;
- La transparence du milieu facilite l'efficacité des capteurs embarqués et donc le développement de l'autonomie (A1*) ;
- Les gains de formes liés à l'absence de cockpit et systèmes environnementaux (H3a et H3d) sont significatifs au regard de la sensibilité de la question de la masse ;
- La réduction importante des coûts liés à la fiabilité de l'aéronautique habitée peut être significative (H1a) ;
- La fluidité du milieu permet d'atteindre des accélérations et des altitudes qui ne peuvent être supportées par l'homme (H2a).

Faiblesses :

- Le caractère énergivore du vol limite les qualités d'endurance (H2b et H2c).

Opportunités :

- On peut s'appuyer sur le marché civil pour le développement du vol autonome.

Menace :

- Ce milieu est perméable aux futures armes à énergie dirigée anti-drones ;
- Le *Counter-UAV*²⁶ est en plein développement.

Etant donné la grande sensibilité de l'aéronautique aux questions de forme (aérodynamisme) et de fiabilité, on peut légitimement interroger le concept d'aéronefs optionnellement habitables qui est parfois utilisés pour décrire certains programmes futurs. En repassant ce concept à la lumière de l'analyse supra, il semble bien difficile de justifier d'un outil qui semble combiner les contraintes d'un de conception d'un aéronef habité avec les limitations et risques d'un UAV.

2. *La surface des mers*

Forces :

- La combinaison de zones immenses avec des vitesses limitées permet d'employer à plein les qualités d'endurance du drone (H2b). Ceci est amplifié par une consommation métrique d'énergie comparativement faible pour des charges utiles lourdes ;

²⁶ Doctrines et technologies de défense anti-drones aériens.

- Un certain nombre de mission de recherche ou de surveillance (surface ZEE²⁷, approches sous-marines) sont fastidieuses (*Dull*) en plus de nécessiter de l'endurance ;
- Les tâches constitutives de certaines missions (lutte anti sous-marine, guerre des mines) combinent le caractère *Dull* et *Dear* et permettrait d'exprimer les qualités d'une AI ;
- L'éloignement social intrinsèque aux missions en mer en font des tâches *Dirty* qui trouvent moins de candidats dans une société hyper-connectée.

Faiblesses :

- La portée de communication LOS est faible. En effet, sans prendre en compte des effets non permanents de propagation, la distance de communication à la surface de la mer est directement liée à la hauteur des antennes de l'émetteur et du récepteur et dépasse difficilement quelques dizaines de milles nautiques. Cela limite fortement les capacités de télé-opération (en dehors de l'utilisation de relais, aériens ou satellitaires) et implique de développer l'automatisation de tels systèmes. Ce sont d'ailleurs bien les progrès récents de l'IA qui autorisent le développement actuel des USV.

Opportunités :

- L'augmentation de la pression adverse aux abords de nos approches ou de nos ZEE nécessite

²⁷ Zone Economique Exclusive.

un effort croissant de surveillance et de présence.

Menaces :

- La mer est un milieu abrasif. L'exposition répétée aux chocs et aux intempéries constituent un des freins à l'endurance d'un USV. L'absence d'humains à bord limitant les possibilités de réparation, une attention particulière doit être apportée à la redondance et la fiabilité des systèmes. Pour des USV de petites tailles ou tailles moyenne, la capacité à subir des opérations de maintenance directement en mer, par interaction avec un navire habité, peut démultiplier son endurance et son efficacité ;
- La mer est un milieu mouvant, quasi discontinu. Les phénomènes de houle peuvent constituer une limite à la miniaturisation des USV, dans un souci de tenue à la mer. D'autre part la grande variation des conditions météorologiques et de courants nécessitent un niveau de conscience situationnelle élevé ;
- Les interactions avec des systèmes habités civils sont basés sur l'évitement à vue et une grande variété de mobiles et de règles associées. Cette difficulté est amplifiée par la limitation de portée des capteurs, et l'absence, hors zone très spécifiques, d'organisme de contrôle. La complexité de l'intégration des drones de surfaces au milieu du trafic civil constitue donc un défi pour la conception des USV.

En synthèse, la surface des mers permet d'exprimer très efficacement les qualités d'endurance du drone. La communication et la détection y sont par contre plus délicates, et nécessitent des efforts sur le développement de l'autonomie. A court terme, la cobotisation ou l'utilisation en environnement côtier, à portée de communication de la terre, constituent un moyen d'explorer ces capacités à moindres coûts et risques.

3. *Le milieu sous-marin*

Forces :

- Les missions de lutte anti sous-marine nécessitent une analyse de donnée fine et dans la durée (tâche *Dull / Dear*) ;
- Il est très compliqué et dangereux de faire vivre un être humain sous l'eau. A ce titre, le gain en liberté de conception lié à l'abandon des systèmes environnementaux (pression, O₂, vivres...) et de sécurité est maximal (H1a, H3*) ;
- Plus encore qu'à la surface, la conjugaison de zones immenses et faibles vitesses est exacerbée par les faibles portées des capteurs et permet de maximiser le rendement des qualités d'endurance du drone (H2b) ;
- C'est un espace encore peu utilisé par des applications civiles. D'une part, cela limite drastiquement l'ampleur des questions réglementaires. D'autre part, les problématiques d'intégration dans un trafic civil et de capacités d'évitement sont largement absentes.

Faiblesses :

- La communication y est extrêmement complexe avec des portées faibles : cela nécessite une conception accrue sur l'autonomie.

Opportunités :

- La pression sous-marine adverse est en constante augmentation ;
- Le fond des océans va devenir un enjeu fort, se territorialiser et probablement se militariser (*seabed warfare*^{xxiii}).

Menaces :

- A l'heure actuelle, il n'existe pas de menace spécifique au milieu sous-marin.

Le milieu sous-marin semble ainsi constituer un terrain très favorable pour l'utilisation des systèmes automatisés. Les difficultés de communication nécessitent certes de mettre l'accent sur l'autonomie des AUV, mais cette tâche est facilitée par un environnement stable et l'absence d'interaction avec d'autres véhicules habités.

II. Programmes de drones navals

A. L'US Navy

Les programmes d'AUV et d'USV de l'US Navy sont sans nul doute les exemples les plus aboutis et les plus ambitieux (parmi les projets dont les sources sont atteignables et fiables). Ils constituent un repère adéquat pour mesurer les défis que doit relever la France.

1. Le concept de redistribution des forces

Il y a quelques années, l'US Navy a ré-affirmé sa volonté de faire évoluer son format drastiquement d'ici 2045^{xxiv}. Considérant la menace grandissante des forces adverses potentielles, tant en qualité qu'en quantité, la transition vers une architecture de flotte distribuée sur un plus grand nombre d'unités (jusqu'à 500), de tailles et de capacités variables a été décidée. En réponse au développement des capacités d'A2/AD²⁸ adverses une telle architecture basée sur le nombre apporterait notamment les avantages opérationnels suivants^{xxv} :

- Augmentation de la complexité d'identification et de ciblage pour l'adversaire ;
- Diminution des conséquences de la perte d'une unité sur les capacités globales d'une force ;
- Meilleure capacité d'adaptation de la force aux changements de situation et de mission.

²⁸ *Anti-Access / Aera-Denial.*

Afin de rendre possible cette augmentation de masse dans un environnement toujours contraint en termes de budget, et surtout de ressources humaines, l'utilisation en nombre d'USV est envisagée (cf fig. 1^{xxvi}).

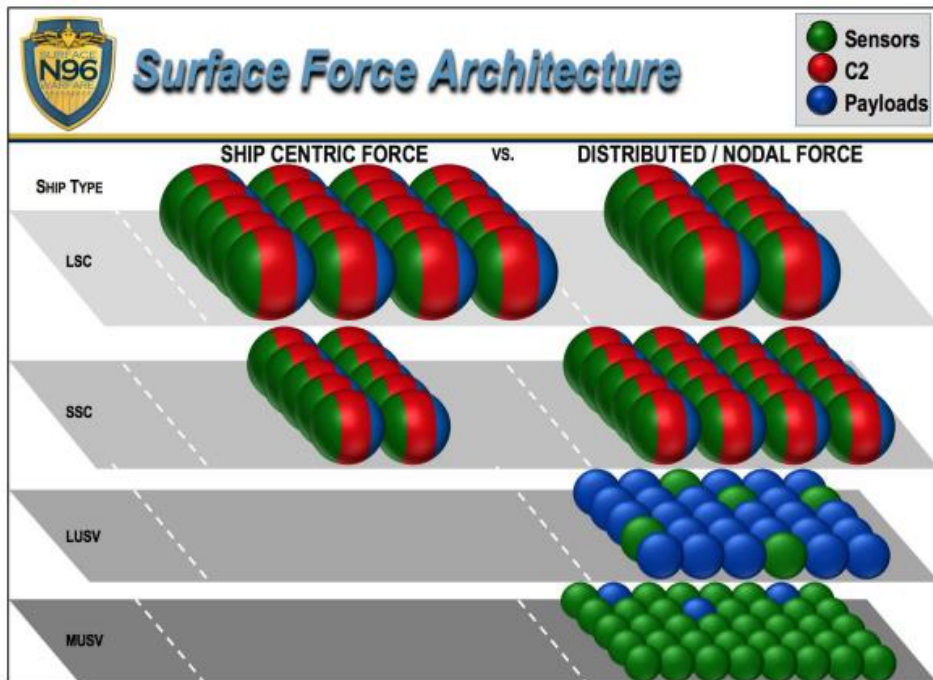


Figure 1 : Redistribution des forces de surface dans l'US Navy

Dans cette future flotte, les différents types d'USV spécialisés constitueraient 70% du nombre de plateformes de surface. Par ailleurs, le nombre d'unités de surface de grande taille (LSC²⁹) diminuerait au profit du

²⁹ Large Surface Combattant.

nombre d'unités de taille moindre (SSC³⁰), cela étant rendu possible par le déport de capacités sur les USV accompagnant la force. Ces USV agiraient principalement comme « chargeurs » de munitions supplémentaires, démultipliant la capacité de feu, ou comme capteurs déportés, participant au réseau de données de la force à la mer.

Pour être efficace, cette utilisation de drones devrait utiliser les principes de la cobotisation, permettant en cascade la spécialisation des drones, donc la maîtrise de leurs coûts (financiers et RH), et *in fine* leur nombre important, qui est cœur du concept de cette architecture.

2. La typologie des USV et AUV américains

Afin d'atteindre cet ambitieux objectif de dronisation de sa flotte, l'US Navy a lancé depuis quelques années différents programmes d'essais et d'expérimentations d'USV et d'AUV. Ces programmes, centrés sur les plateformes, ont été différenciés par la taille des unités considérées. Ils sont nommés du plus lourd au plus léger : LUSV, MUSV, SUSV, VSUSV ainsi que XLUUV, LUUV, MUUV, SUUV (cf. fig. 2 et 3).

³⁰ *Small Surface Combattant.*

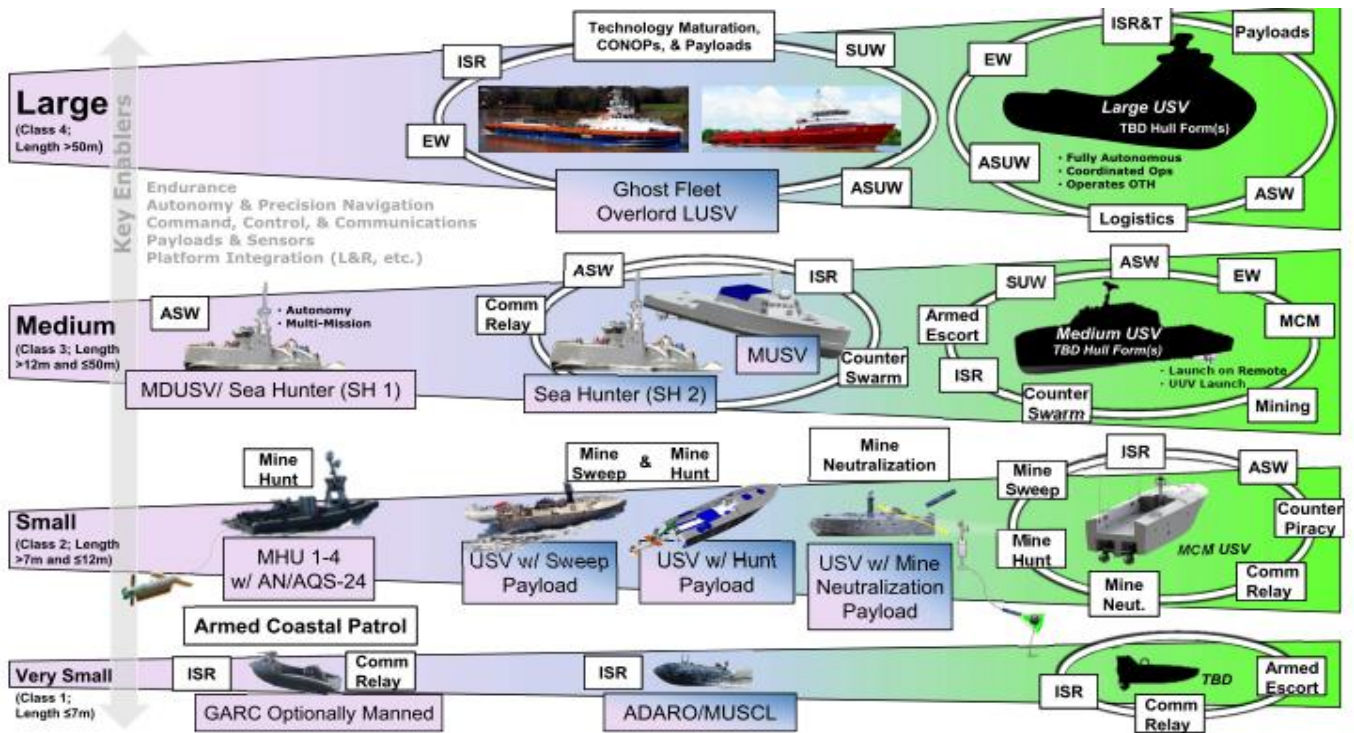


Figure 2 : Typologie des USV dans l'US Navy

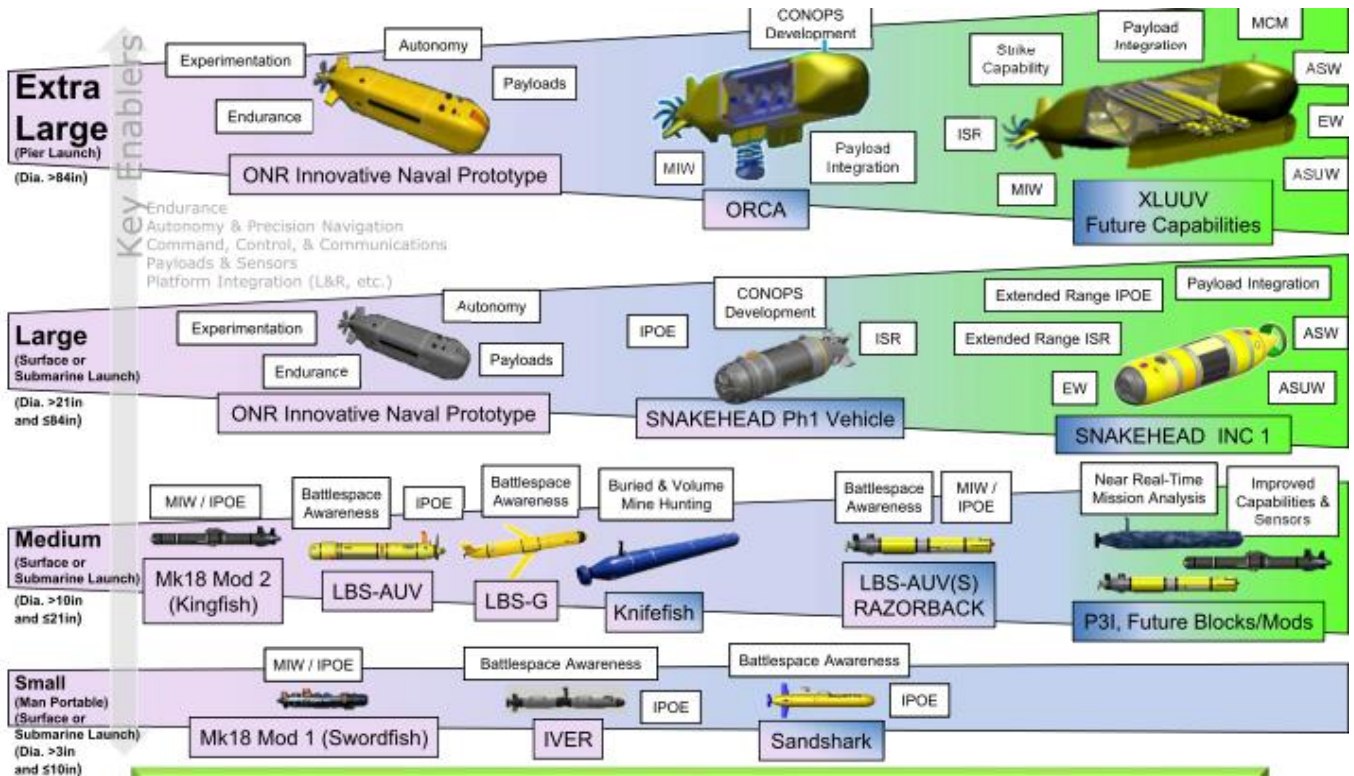


Figure 3 : Typologie des UAV dans l'US Navy

3. Les programmes LUSV – Ghost fleet Overlord

Le programme LUSV de l'US Navy a été lancé en mars 2019 et vise une première utilisation opérationnelle en 2024. Il suit une logique incrémentale pour laquelle le développement des technologies de l'automatisation sont prioritaires, l'ambition finale étant d'opérer des LUSV capables de fonctionner de manière semi-

autonome à autonome, indépendamment ou conjointement à des navires habités. Il s'appuie sur deux programmes expérimentaux distincts

En 2018, l'expérimentation *Ghost Fleet Overlord* (GFO) a été lancée par le *Strategic Capabilities Office* (SCO) afin d'accélérer le processus d'acquisition des LUSV.

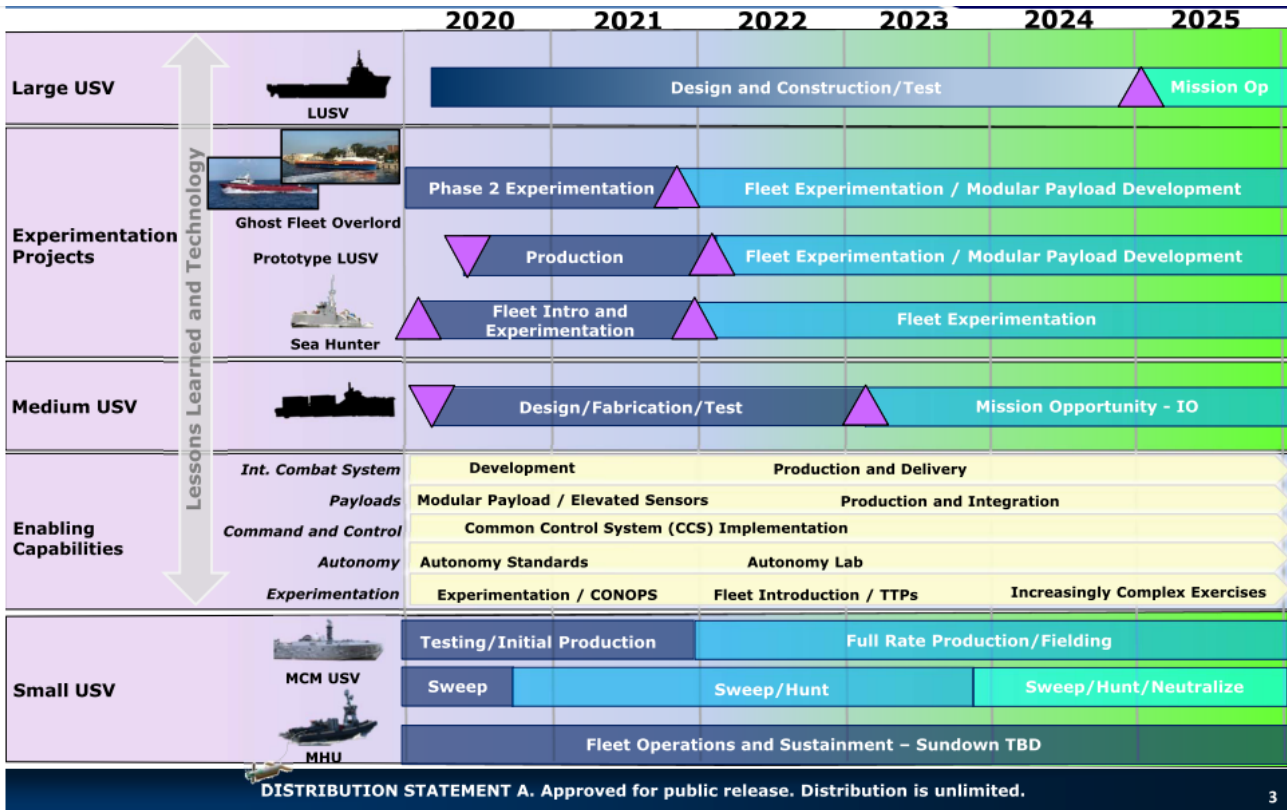


Figure 4 : Chronologie prévisionnelle des différents programmes USV de l'US Navy

Durant la première phase, clôturée en septembre 2019, des navires commerciaux ont été convertis en USV afin de développer et tester les technologies liées à l'automatisation de la navigation et l'intégration des systèmes. Plus de 600 heures de fonctionnement autonome ont été exécutées dont plusieurs transits dans des environnements complexes^{xxvii}. En particulier en juin 2020, un bâtiment a effectué un transit de plus de 3200 nautiques, sur quatre jours, dont 180 heures d'opérations en situation d'anti-abordage en respectant la réglementation internationale COLREG³¹. La phase deux du programme GFO, se concentre aujourd'hui sur l'intégration de systèmes C2³² et de diverses charges utiles, tout en poursuivant des expérimentations avec deux LUSV supplémentaires (amenant le total à quatre).

En parallèle, le programme de production d'un nouveau prototype intermédiaire a été lancé en 2020. Avec une conception plus proche du système final, il devrait permettre de préciser les spécifications et de mitiger les risques du programme général LUSV, alors que le programme GFO continue à développer les briques technologiques et expérimente les premières intégrations dans la flotte.

Cette méthode programmatique est un bon exemple du volontarisme et du pragmatisme nécessaires pour relever le défi des technologies de rupture. Il est volontariste parce qu'il ne fait pas l'impasse sur l'utilisation de démonstrateurs qui n'ont pas vocation à déboucher directement sur une utilisation opérationnelle, mais bien à développer les briques

³¹ *International Regulations for Preventing Collisions at Sea.*

³² *Command and Control.*

technologiques souveraines indispensables. Il est pragmatique, parce qu'il n'hésite pas à utiliser des prototypes ou des porteurs existants, pour mieux se concentrer sur l'essence de la rupture technologique. Cette stratégie de développement et d'acquisition incrémentale, où l'on en apprend en marchant, semble être la plus efficace pour aborder l'application des technologies de rupture.

4. Les programme MUSV – Le Sea Hunter

En 2010, la DARPA³³ a lancé le programme ACTUV³⁴ qui a notamment donné lieu à la mise à l'eau en 2016 d'un démonstrateur : le *Sea Hunter*.

Ce trimaran, préfigure ce que l'*US Navy* envisage pour ces futurs MUSV. Ils doivent être des systèmes à bas coûts, forte endurance et modulaires. Ils sont conçus pour être des unités potentiellement consommables dans un conflit de haute intensité équilibré^{xxviii}.

Le *Sea Hunter*, long de 40 mètres et déplaçant 145 tonnes, est censé être opérationnel jusqu'à un état de mer 5 et résister à un état de mer 7³⁵. Il est propulsé par deux moteurs diesel et peut atteindre une vitesse maximale de 27 nœuds, avec une autonomie maximale théorique de 90 jours^{xxix}.

³³ *Defense Advanced Research Projects Agency.*

³⁴ *Anti-submarine Warfare Continuous Trail Unmanned Vessel.*

³⁵ Echelle de Douglas : Mer 5 équivaut à 4 mètres de creux, Mer 7 à 9 mètres de creux.



Figure 5 : MUSV Sea Hunter (photo US Navy)

A l'automne 2018, il a effectué une navigation autonome longue distance lors d'un aller-retour San Diego – Pearl Harbor. Lors de l'aller, il a subi trois maintenances en mer par l'équipage du navire accompagnateur, afin de rétablir la redondance de certains systèmes. Lors du voyage retour de dix jours, il a accompli sa navigation sans aucune aide extérieure, validant une étape significative^{xxx}. Un deuxième exemplaire est aujourd'hui en construction.

5. L'expérimentation pratique des USV

En mai 2019, le *Surface Development Squadron 1* (SURFDEVRON-1) a été créé afin, notamment, de superviser les expérimentations et de définir les futures doctrines d'emploi des USV au sein de l'*US Navy*³⁶. D'ici la fin de l'année 2021, deux USV du programme GFO et les deux *Sea Hunter* seront transférés sous son commandement, avec une cible de sept USV à la fin de l'année 2023. L'année 2021 devrait voir les premières expérimentations d'intégration d'un MUSV et d'un LUSV au sein d'un groupe aéronaval^{xxxi}.

Alors même que les premiers jalons de programmes d'acquisition plus classiques de LUSV et MUSV ont été lancés récemment, les efforts sont poursuivis sur de nouveaux démonstrateurs. En menant de front ces deux phases habituellement plus séquencées, l'*US Navy* accepte le risque d'obtenir des premières capacités imparfaitement définies, mais redémontre sa volonté d'aller le plus vite possible.

³⁶ Cette unité est également chargée de l'armement des premiers destroyers de classe *Zumwalt*.

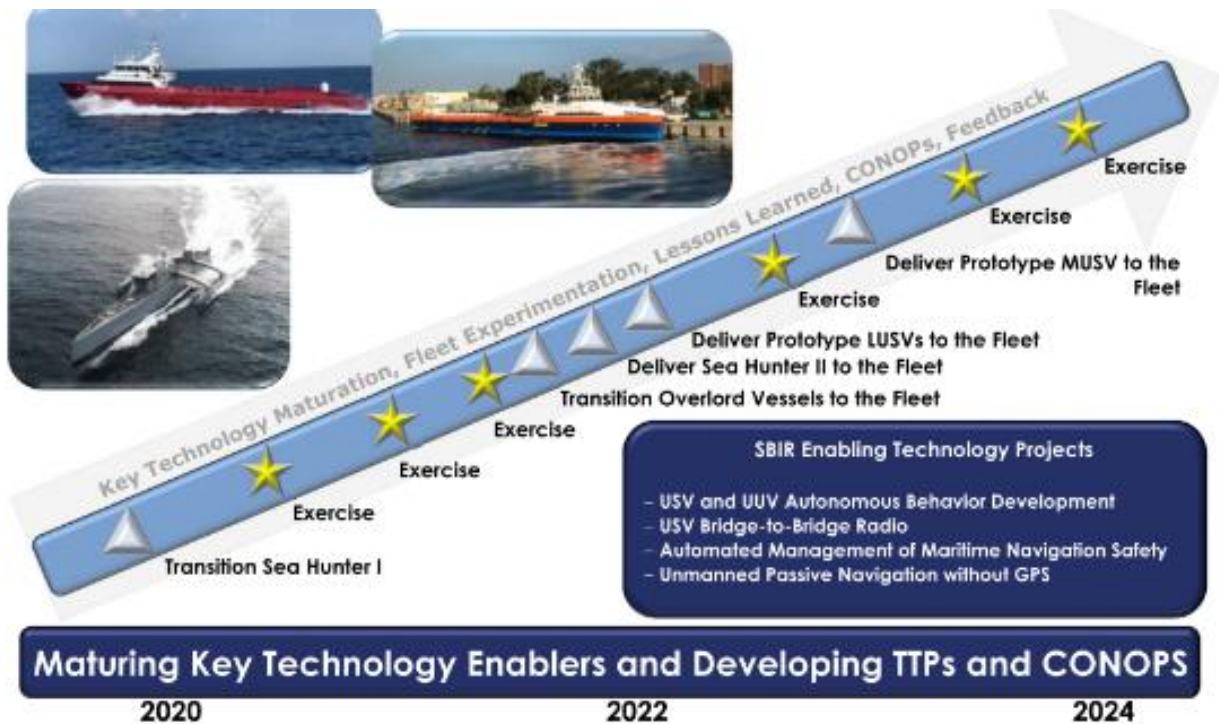


Figure 6 : Chronologie d'expérimentation des USV dans l'US Navy

Cela souligne à nouveau la nécessité d'accepter une phase d'exploration technique et opérationnelle pour ces nouvelles armes. En effet, l'utilisation de drones à haut niveau d'automatisation correspond à une rupture technologique et opérationnelle. Or, le sens même du mot rupture nous indique que, si l'on peut imaginer certains concepts d'emploi, il est très difficile de les définir précisément. On touche ici aux limites de l'approche programmatique par le besoin. Lorsque des capacités sont réellement novatrices seule l'exploration

progressive pratique permet d'affiner les concepts d'emploi. Les coûts initiaux supplémentaires de recherche et développement, de financement de démonstrateurs, redeviennent une nécessité.

6. Les programme d'AUV

Un des programmes majeurs d'AUV américain est le programme *ORCA*. En février 2019, *Boeing* a été désigné par l'*US Navy* pour fournir les cinq premiers exemplaires d'ici 2024, avec un objectif total de neuf XLUUV^{xxxii}.

Si les spécifications de ces futurs XLUUV ne sont pas précisément annoncées, L'AUV *Echo Voyager*^{xxxiii}, démonstrateur initial de *Boeing*, préfigure les grandeurs caractéristiques du futur *ORCA*. Drone cylindrique d'un diamètre de presque trois mètres et d'une longueur de 26 mètres, il déplace 50 tonnes. Il peut opérer de la surface à 3000 mètres de profondeur et affiche une autonomie de 6500 milles nautiques sur une durée de plusieurs mois. Initialement utilisé pour des tâches de cartographie des fonds marins, il offre une capacité d'emport modulaire.



Figure 7 : XLUUV Echo Voyager (photo Boeing)

Le programme *ORCA* s'inscrit dans le plan de développement de la capacité AUV à l'horizon 2025^{xxxiv}. Ce plan envisage l'utilisation de l'ensemble du spectre des AUV, combinés avec des planeurs sous-marins et des planeurs sur vagues. Qu'ils soient lancés et/ou récupérés depuis un quai, un navire ou un sous-marin, l'étendue envisagée des futures tâches et missions est large. Les missions historiques des forces sous-marines y sont combinées aux nouvelles missions émergentes³⁷. L'ambition est forte : parmi les quarante tâches identifiées³⁸, seules six ne sont pas envisagées pour des AUV à ce stade^{xxxv} (couvrant principalement les différents

³⁷ *Seabed warfare, Counter-AUV warfare, Deception, Non-lethal sea control.*

³⁸ Pour treize missions considérées.

types d'engagement). Parmi les capacités dimensionnantes attendues^{xxxvi}, on peut noter :

- Déploiement de charge utiles ou utilisations de capteurs (dont désignation d'objectifs BLOS) dans des zones difficilement atteignables (trop dangereuses, trop lointaines) ;
- Surveillance au long cours sur des zones étendues ;
- Démultiplication des capacités des sous-marins habités par leurrage et déception ;
- Nœuds de communications ;
- Opposition aux menaces sous-marines émergentes (AUV adverses, infrastructures sous-marines).

Parmi ces capacités, le *seabed warfare* tient une place toute particulière en tant que nouveau domaine de lutte quasi exclusivement dévolu aux futurs AUV. Les infrastructures et systèmes amis du fond des mers devront pouvoir être surveillés, tandis que les systèmes adverses devront pouvoir être détectés, suivis, et éventuellement détruits.

B. L'état de l'art en France

1. Le programme SLAM-F

Le SLAM-F³⁹ est le volet français de l'initiative franco-britannique MMCM⁴⁰ lancée officiellement en mars 2015, dont les maîtres d'œuvre industriels sont Thalès et *BAE Systems*^{xxxvii}. Afin de remplacer les onze CMT⁴¹ français mis en service avant 1988, il est basé sur l'utilisation de modules de lutte anti-mines composés d'USV, d'AUV et de ROV⁴².

Chaque module est composé de deux USV, et de deux AUV. Le premier USV est principalement affecté aux tâches de détection, notamment par la mise à l'eau d'un sonar remorqué, le second USV mettant en œuvre un ROV afin d'affiner l'identification et de détruire la mine (par dépôt d'un explosif). Les AUV sont utilisés en complément pour étendre les zones de surveillance et de détection. Initialement déployés depuis un quai, ces modules ont vocation à être embarqués sur des bâtiments dédiés lors d'une étape ultérieure du programme^{xxxviii}.

³⁹ Système de Lutte Anti-Mines Futur.

⁴⁰ *Maritime Mine Counter Measure*.

⁴¹ Chasseurs de Mines Tripartites.

⁴² *Remotely Operated Vehicle* : type d'AUV téléopéré lié directement par câble à son navire mère.

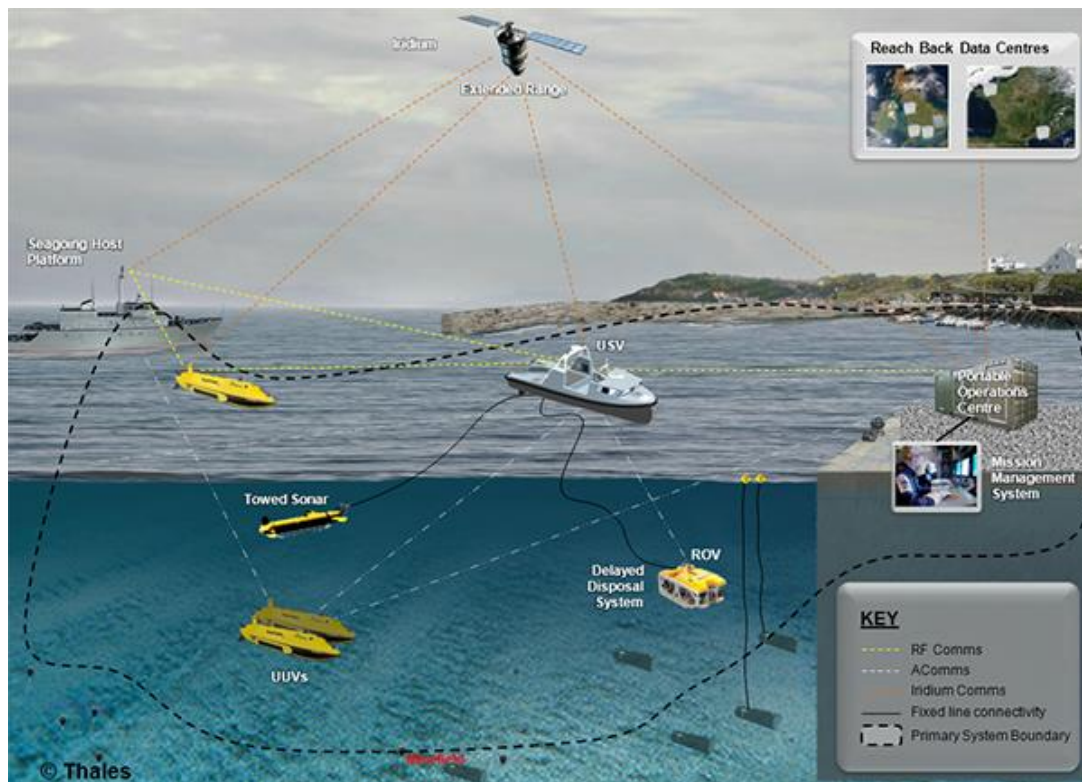


Figure 8 : Vue d'artiste système SLAM-F (Thalès)

Au cours du mois d'octobre 2020, le CEPN⁴³ a mené, auprès des industriels, une phase d'essai et d'évaluation^{xxxix}. Depuis un central opérations temporaire, implanté à terre, des scénarii opérationnels ont été menés aux abords de la baie de Douarnenez avec plus de trente mines d'exercices mouillées. A la suite de cette évaluation, la phase de réalisation du programme a

⁴³ Centre d'Expertise des Programmes Navals.

été approuvée. Il devrait aboutir à la livraison des quatre premiers modules avant 2024.



Figure 9 : USV du système SLAM-F (photo Thalès)

L'utilisation de drones en guerre des mines est une transition naturelle pour des opérations qui utilisent des ROV depuis longtemps. Les caractères *Dangerous* et *Dull* des opérations dans un champ de mines sont évidents, et cette évidence a facilité le choix innovant d'une architecture basée sur des drones. Au-delà de la diminution du risque, une amélioration des performances est également attendue, tant en vitesse d'exécution des tâches qu'en domaine exploré⁴⁴.

⁴⁴ Objets détectés trente fois plus petits à une profondeur trois fois plus importante.

L'importance de ce programme dépasse l'enjeu déjà critique du maintien de nos capacités de guerres des mines. D'une part, l'extension du domaine exploré en fait le premier effecteur de la capacité *seabed warfare* de la marine, au moins sur l'ensemble du plateau continental. Il conviendrait donc probablement d'étudier son format et ses fonctions au-delà des missions actuelles de guerre des mines.

Par ailleurs, il s'agit du premier système d'USV et d'UUV militaire français, et à ce titre il devrait permettre d'explorer toutes les problématiques afférentes. Hélas, au regard de la relative urgence du besoin et du risque de retard, il est fort possible que ce programme soit accéléré et n'embrasse pas son caractère exploratoire. En particulier, au regard des difficultés probables vis-à-vis des questions d'autonomie et d'intégration dans la circulation maritime civile, le choix de se reposer sur une grande part de télé-opération pourrait permettre d'obtenir une capacité militaire acceptable, sans permettre de consolider les briques technologiques centrales de la dronisation.

La *Royal Navy*, aux moyens comparables à la Marine nationale, adopte une attitude plus volontariste. Partenaire de la France sur le programme SLAM F, elle mène en parallèle d'autres développements d'USV. Ainsi, en septembre 2019, le prototype d'un *Pacific 24* dronisé a effectué sa première démonstration^{xl}.



Figure 10 : USV Pacific 24 (photo Royal Navy)

Il est opéré par *NavyX*, la nouvelle branche chargée de l'innovation accélérée dans la *Royal Navy*. L'absence de définition précise des missions d'un tel USV est assumée⁴⁵. Il s'agit bien d'un premier pas dans l'appropriation des technologies de l'autonomie par des militaires. Ce premier projet de douze mois, au budget évalué à 3,2 millions de livres sterling, fait partie d'une approche pragmatique et incrémentale, qui est complémentaire des programmes classiques. Au regard des risques d'accélération du programme SLAM-F, une telle approche multi-programme ne permettrait-elle pas à la Marine de mieux assurer le développement de sa

⁴⁵ Les 3 règles de Navyx : « Learn while doing – Fast / Fail – Show don't tell ».

composante drones navals, notamment en s'appuyant sur certaines expertises encore souveraines ?

2. Programmes civils

Certaines entreprises françaises sont en pointe dans l'exploration de l'emploi des USV et AUV et constituent des potentiels points d'appui pour des développements futurs.

En septembre 2020, la société *SeaOwl* a effectué une démonstration de télé-opération novatrice d'un navire. Le VN Rebel, un bâtiment de quatre-vingts mètres, a appareillé depuis le port de Toulon pour effectuer une navigation et revenir accoster, ceci en l'absence de tout équipage à bord. Le poste de pilotage était à Palaiseau, dans la cour de l'école Polytechnique, la liaison étant assurée par des moyens satellitaires redondants. Par la démonstration de son niveau de sécurité nautique, ce navire est le premier à avoir reçu un permis de navigation officiel en télé-opération^{xli}. Au regard des difficultés réglementaires liées à la navigation des drones au milieu du trafic civil, ceci constitue une avancée significative.

La société française *IXblue* travaille également dans ce domaine et développe son propre SUSV. Le *DriX*, d'une longueur de 7,7 mètres pour trois mètres de haut, peut atteindre une vitesse de quatorze nœuds et une autonomie de dix jours.



Figure 11 : USV *DriX* (photo *IXblue*)

Après une campagne d'essais conduite en octobre 2019, il a été choisi par la NOAA⁴⁶ pour être intégré dans son futur système hydrographique^{xlii} où il effectuera des tâches de bathymétrie, ainsi que de suivi et de positionnement d'engins sous-marins. Fort de ce succès, il a également été testé par la Marine nationale à l'automne^{xliii} 2020 dans le cadre des travaux préparatoires

⁴⁶ *National Oceanic and Atmospheric Administration.*

du programme CHOF⁴⁷. Il faut noter que le *DriX* comprend une architecture modulaire qui lui permet d'envisager différentes missions. En coopération avec l'industriel britannique SEA, *IXblue* travaille d'ailleurs sur le concept du *SeaDriX^{xliv}*, qui combine son SUSV avec une antenne sonar tractée, afin de constituer un système de détection et de traque anti-sous-marins.

La marine marchande n'est pas en reste. Depuis de nombreuses années les logiques d'automatisation ont permis de rationaliser au maximum les équipages des géants des mers. Depuis peu, les réflexions avancent sur le développement d'USV commerciaux. Si l'intérêt d'exécuter des opérations de maintenance en cours de transit devrait limiter la disparition totale des équipages pour les navigations au long cours, l'utilisation d'USV pour les transferts de marchandises en cycles courts devrait se développer rapidement. A la fin de l'année 2020, le premier navire commercial autonome au monde, le *Yara Birkeland^{xlv}*, a été finalisé par l'industriel norvégien *Kongsberg*. Ce bâtiment sera utilisé dans le cadre d'une

⁴⁷ Capacité Hydrographique et Océanographique Future : programme de remplacement des capacités hydrographiques de la Marine nationale à l'horizon 2026.

liaison logistique entre plusieurs sites industriels distants
d'une quarantaine de milles nautiques.



Figure 12 : l'USV Yara Birkeland

L'essor des drones de surfaces marchands devrait évidemment permettre une accélération du développement des technologies clés. Mais ce sont surtout les volets réglementaires et juridiques de l'intégration des USV dans le trafic civil qui vont être fortement influencés. Les futurs opérateurs d'USV militaires doivent être donc très attentifs au pouvoir normatif du lobby du transport maritime, qui va influencer lourdement l'évolution de la législation. Dès-à-présent, une coopération entre les forces armées et la direction des affaires maritimes pourrait permettre de

suivre cette problématique avec vigilance au sein de l'OMI⁴⁸.

Enfin, en ce qui concerne les grandes profondeurs et le *seabed warfare*, beaucoup reste à faire. Cependant, l'expertise en exploration sous-marine de niveau mondial de l'IFREMER demeure un atout pour la France. Son nouvel LUAV, l'ULYX, a été construit en 2020 et fait partie du club très fermé des systèmes opérant jusqu'à 6000 mètres de profondeur^{xlvi}. Si le passage à l'échelle de telles capacités nécessiterait des moyens importants, il est capital de préserver ces technologies et savoir-faire souverains.

Les avancées des leaders mondiaux de l'industrie pétrolière ne doivent pas être oubliés. En effet, avec le développement de l'*Off-Shore* profond, ils deviennent les premiers opérateurs du fond des mers. L'entreprise française Total est en pointe sur ces sujets, et débute les expérimentations d'utilisation d'UVA pour la surveillance de ses installations sous-marines profondes^{xlvii}.

Ainsi, l'écosystème industriel français peut constituer un atout non négligeable pour relever le défi des drones navals, en particulier si l'on considère les coopérations possibles dans un environnement européen au sens large. La combinaison des enjeux capacitaires et de souveraineté doivent nous inciter à accélérer, et à accepter des dépenses plus significatives en recherche et développement, y compris sous une égide multinationale.

⁴⁸ Organisation Maritime Internationale.

III. Perspectives pour la Marine nationale

A. Contexte d'emploi de la Marine nationale

1. Des RTC⁴⁹ face à des besoins qui augmentent

Lors de sa dernière audition par la commission des affaires étrangères, de la défense et des forces armées du Sénat^{xlviii}, l'amiral Pierre Vandier, chef d'état-major de la marine, a souligné les défis qui attendent la Marine nationale au cours des prochaines années.

D'une part, la Marine devrait faire face à certain nombre de RTC, notamment :

- Un seul patrouilleur en Polynésie comme en Nouvelle-Calédonie jusqu'en 2025 ;
- Remplacement tardif des patrouilleurs océaniques en métropole ;
- Remplacement tardif de la composante de surveillance maritime par l'arrivée des premiers Falcon 2000 Albatros en 2025.

D'autre part, le format du nombre de frégate de 1^{er} rang reste taillé au plus juste pour continuer à assurer le contrat opérationnel.

Ces RTC conjoncturelles, au sein d'un format structurellement sous-critique, sont particulièrement mises en lumière à la faveur du retour d'une expression désinhibée de la puissance navale et de la territorialisation des espaces maritimes. Elles soulignent également le chemin à parcourir pour atteindre les neufs

⁴⁹ Rupture Temporaire de Capacité.

facteurs de supériorité opérationnelle⁵⁰ décrits dans la nouvelle version du Concept d'Emploi des Forces^{xlix}, en particulier la masse et l'endurance.

2. Les limites RH et économiques

Les RTC actuelles sont les conséquences des douloureux choix financiers faits au cours de la dernière décennie. Si on ne peut nier l'impulsion favorable de la dernière loi de programmation militaire (LPM), elle ne constitue pour le moment qu'une inflexion après des décennies à la baisse. Elle nécessitera donc du temps pour avoir un effet, tout en étant soumise à une possible remise en question, notamment par les conséquences financières de la crise COVID. Le format des forces armées françaises ne vivra donc pas de révolution à court terme.

Par ailleurs, les limites financières rencontrent les limitations en termes de ressources humaines. Si la Marine a réalisé ses objectifs de recrutement en 2020 (4000 recrutements), augmentant sa masse salariale pour la première fois après plus de trente années de déflation, le combat des ressources humaines restera un défi, recrutement comme fidélisation. De plus, le lancement du programme du porte-avions nouvelle génération

⁵⁰ Performance du commandement, force morale, compréhension, agilité, influence, endurance, foudroyance, crédibilité, masse.

devrait absorber une partie significative de l'augmentation des effectifs de la Marine nationale⁵¹.

3. *Les conséquences pour les programmes de drones*

D'une manière similaire à ce qu'envisage l'*US Navy*, les drones peuvent être un moyen de maîtriser effectivement les facteurs de supériorité opérationnelles de masse et d'endurance au sein de la Marine nationale. Si l'on combine les limites RH et financières avec cet objectif, tout en considérant les spécificités des systèmes de drones (cf. Partie 1) et le contexte de retour de la haute intensité, un certain nombre de conclusions s'imposent en termes de conception.

L'objectif de masse nécessite par définition des drones peu coûteux, consommables, et donc spécialisés. La nécessaire frugalité en ressources humaines amène à privilégier une forte autonomie des systèmes. Enfin, la combinaison des risques cyber et de fragilité de communication, des risques non encore maîtrisés liés à l'IA, avec l'objectif de crédibilité⁵² nous amène à privilégier le concept de cobotisation.

⁵¹ La transition entre les deux PA devrait nécessiter de constituer un second équipage avant l'arrêt du Charles-de-Gaulle.

⁵² Dans le CEF, la crédibilité consiste à garantir la performance et le respect des règles, donc à limiter les risques.

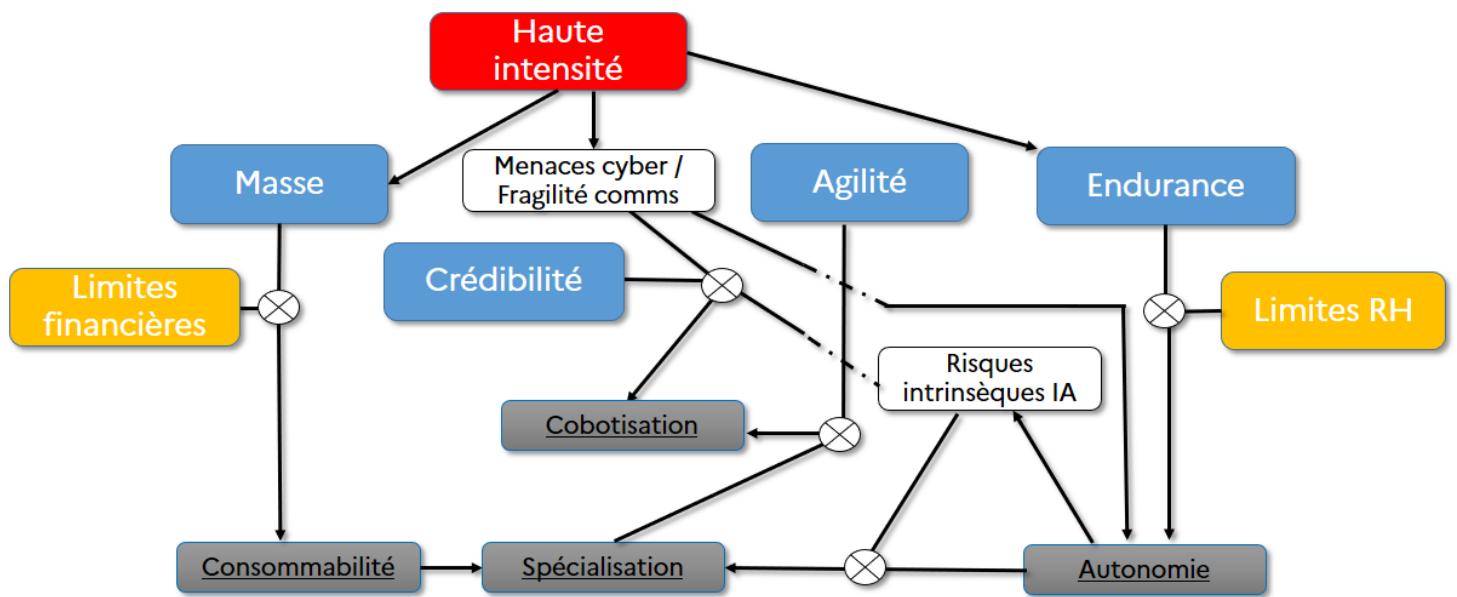


Figure 13 : Objectifs, contraintes et conséquences de conception.

B. Le cas particulier de la lutte anti sous-marine

4. Spécificités de la mission

Si l'on comprend aisément comment l'utilisation d'UAV pourrait aider à mieux combler nos déficits capacitaires de surveillance et d'interventions dans nos ZEE, l'emploi de drones dans le cadre de la lutte anti sous-marine mérite un développement.

En combinant étendue des zones, courte portée des capteurs, et faible vitesse des plateformes de capteurs et d'effecteurs⁵³, le terrain d'opérations de la lutte anti sous-marine est particulièrement sensible aux formes d'ubiquité donnée par le nombre. La recherche d'un sous-marin ennemi est une opération complexe qui demande un grand nombre de moyens. La difficulté de cette tâche est évidemment exponentielle par rapport à l'étendue de la zone de recherche initiale. En conséquence, de nombreuses doctrines anti-sous-marines prévoient de détecter les sous-marins au plus tôt (départ de leurs ports, passages par des points obligatoires) pour ensuite assurer une quasi-continuité du suivi du contact sonar.

Du point de vue du sous-marin, il s'agit d'un milieu opaque, où l'on doit se reposer sur très peu d'information et des capteurs passifs pour appréhender un environnement tactique mouvant. Ainsi, la multiplication des mobiles adverses et la variété de leurs modes d'action (sonars actifs ou passifs) complexifient la tâche du sous-marin de manière significative.

⁵³ Hors évidemment les aéronefs. Cependant l'intermittence et le volume faible couverts par leurs moyens de détection limitent également leurs capacités de recherche.

On comprend donc le défi posé aux marines occidentales par l'augmentation significative de la pression sous-marine adverse (russe en particulier) au regard de la limitation du format de nombres de frégates, comme cela est souligné par les travaux du *think-tank* américain *Hudson Institute*¹ : « *The Navy's current ASW approach works when opposing submarines deploy infrequently, but is likely to break down during a large-scale submarine deployment or as submarines become quieter and harder to track (...) US and allied ASW concepts are also expensive, requiring significant manpower and tying up multi-mission platforms like DDGs and SSNs that are needed elsewhere for other operations (...)* .

L'utilisation d'USV, d'AUV et d'UAV, combinés à des capteurs re localisables (TRAPS⁵⁴) pourrait permettre de démultiplier l'effet d'une force ASM à une fraction du coût.

5. Exemple d'une force ASM dronisée

L'idée maitresse d'une force ASM dronisée repose sur un partage des tâches entre les unités coûteuses et multimissions, habitées, et différents types de systèmes autonomes :

- Détection initiale : concentrée sur des points de passages obligés ou sur les approches des sanctuaires à défendre, elle privilégierait l'utilisation de capteurs passifs relocalisables

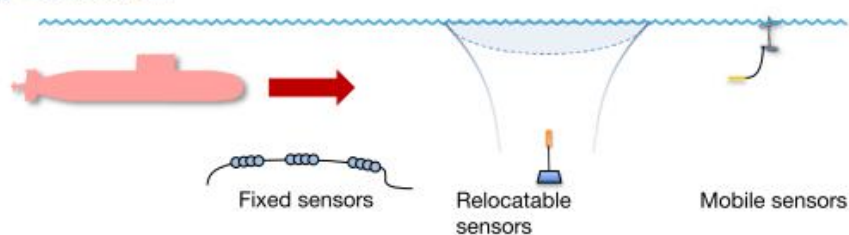
⁵⁴ *Transformational Reliable Acoustic Path Sensor* : antennes sonar communicantes relocalisables.

(TRAPS), de sonars passifs emportés par des planeurs de surface ou sous-marins et de MUSV équipés de sonars remorqués.

- Confirmation / poursuite : la combinaison de MUSV, de moyens aériens (avions de patrouille maritime PATMAR, UAV) et éventuellement d'une frégate permettrait d'affiner la détection et la classification du contact. La multiplicité des capteurs, permettrait le multi-statisme⁵⁵, démultipliant leur efficacité et dégradant la perception du sous-marin ;
- Suivi : si le sous-marin ne constitue pas une menace suffisante pour être engagé dès le début de la poursuite, il s'ensuit une longue période de suivi du contact. Cette tâche peut nécessiter moins de moyens en nombre, mais nécessite une très grande endurance. Actuellement, elle doit être effectuée par une combinaison d'aéronefs de PATMAR et de frégate ASM. On comprend aisément le caractère peu rentable de l'utilisation d'une frégate moderne multi-mission pour suivre en poisson pilote un sous-marin. Durant cette longue période de suivi, un ou plusieurs MUSV équipés de sonar passif économiserait l'emploi d'unités plus précieuses ;

⁵⁵ Travail collaboratif entre différents sonars, actifs et passifs.

1) Detection



2) Tracking

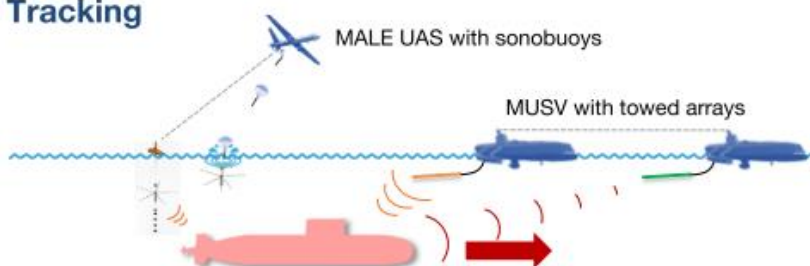


Figure 14 : Sustaining the Undersea Advantage (...) p. 7

- Engagement : si l'engagement pour destruction peut être effectué par des moyens habités classiques, un MUSV ou un UAV pourrait tirer des munitions de faible taille pour neutraliser⁵⁶ ou dissuader le sous-marin adverse ;

⁵⁶ Un MUSV est à même de s'approcher suffisamment près pour délivrer des grenades ou roquettes sous-marines capables d'endommager le sous-marin ou de forcer son désengagement.

3) Engagement

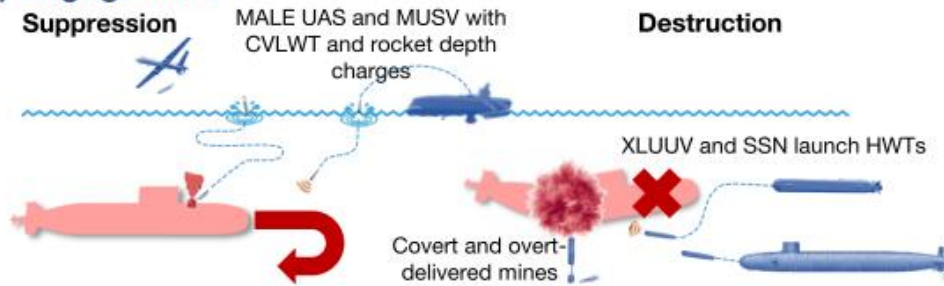


Figure 15 : Sustaining the Undersea Advantage (...) p. 7

- Occupation : En l'absence de menace détectée, les moyens dronisés pourraient assurer une présence dissuasive, au moyen de longues patrouilles et d'insonifications⁵⁷ aléatoires.

Dans cette force ASM dronisée, les frégates et les aéronefs de patrouille maritimes se concentrent sur les tâches les plus complexes de traque et de relocalisation, et assurent la supervision des systèmes autonomes et le C2 de l'ensemble du dispositif. L'autonomie des IA embarquées doit être suffisante pour autoriser une simple supervision intermittente des missions et éviter des transferts de données continus. Les moyens de communications doivent combiner des nœuds de communications LOS avec des systèmes BLOS

⁵⁷ Utilisation intensive d'un sonar actif dans une zone de manière à détecter ou dissuader l'emploi de sous-marins.

redondants⁵⁸ (satellites / relais UAV MALE HALE basés à terre ou UAV embarqués sur frégates).

Si une telle force semble capable de traiter l'augmentation de la pression sous-marine adverse, elle doit le faire à une fraction du coût d'une force sans drone. Afin de caractériser cet avantage comparatif, l'étude^{li} de l'*Hudson Institute* étudie deux scénarii caractéristiques :

- Opposition à un déploiement massif de sous-marins russes autour des détroits du GIUK⁵⁹ ;
- Opposition à un déploiement massif de sous-marins chinois à la sortie nord de la mer de Chine méridionale.

Pour ces deux scénarii, en comparant les moyens nécessaires pour assurer un mois d'opérations ASM, il est possible d'évaluer les économies^{lii} potentielles.

⁵⁸ Satellites / UAV MALE-MALE basés à terre / UAV embarqués sur frégates.

⁵⁹ Groenland-Islande-United Kingdom : ensemble des points de passages obligés des sous-marins russes vers l'Atlantique nord.

Type d'unité	Coût possession hors MCO ⁶⁰ (1 mois) (M\$)	Coût d'opération (1 mois) (M\$)	Concept ASM actuel	Concept ASM dronisé	Variation Coût total (1 mois) (M\$)
Avion PATMAR (P-8A)	0,8	5,2	14	4 (-10)	-60
Frégate + 2 hélicoptères (DDG-51 + MH60)	7,9	7,2	4	0 (-4)	-60,4
SNA (SSN-774)	12,9	6,1	3	0 (-3)	-57
TRAPS	0,05	0,1	0	10 (+10)	+1,5
MUSV	0,21	0,8	0	16 (+16)	+16,2
MALE UAV (MQ-9B)	0,12	0,5	0	9 (+9)	+5,6
Total					-154

Figure 16 : Comparaison de format de forces ASM

On observe une économie théorique de 154 millions de dollars par mois d'opération pour 201 millions initiaux (soit environ 75% d'économie). Il s'agirait cependant d'une force très spécialisée ASM qui serait évidemment complétée par les capacités de plateformes multi-missions, en tant qu'effecteurs ponctuels ou en tant que C2 supplémentaires. Si l'on rajoute une frégate et un SNA à ce format afin de mieux modéliser cette contribution intermittente, on obtient une économie finale de 60%. Il s'agit évidemment de projections avec une large marge

⁶⁰ L'étude de l'Hudson Institute compare les coûts d'acquisition totaux. Ils sont ici rapportés à un coût mensuel (hors MCO) avec durée de possession générique de 20 ans.

d'erreur⁶¹, cependant, elle permet d'espérer des gains opérationnels substantiels.

6. Applications possibles

Si l'échelle d'une telle opération ASM n'est pas visée par la Marine nationale, la protection du bastion de la dissuasion française, autour des approches brestoises pourrait constituer un champ d'opérations intéressant pour le développement de telles capacités.

En effet, en se concentrant sur une mission défensive à faible élongation, un certain nombre de risques potentiels sont mitigés :

- Contrôle de la durée des missions et des enjeux de fiabilité afférents ;
- Possibilité d'utiliser un C2 à terre ;
- Limitation des durées de transit et maximisation du temps utile de mission et d'expérimentations / entraînement ;
- Capacité d'intervention en cas de problème technique ;
- Pas de ravitaillement à la mer.

De plus, le nombre limité de FREMM (et la multiplicité de leur mission), la diminution du nombre de PHM⁶² et le désarmement des FASM F70⁶³ constituent

⁶¹ Le coût d'un USV fixé à 50 millions de dollars est l'une des hypothèses dimensionnantes (à comparer aux 800 millions d'une FREMM).

⁶² Patrouilleur de Haute Mer (ex Aviso A69).

⁶³ Frégate Anti Sous-Marine.

une baisse importante du nombre d'effecteurs qui n'est que partiellement compensée par les meilleures performances des nouveaux sonars. Que ce soient en démultipliant les capacités des dispositifs ASM d'accompagnement des sorties de nos SNLE, ou en assurant des créneaux de présence et d'insonification dissuasifs très régulièrement, un ou plusieurs MUSV pourraient singulièrement renforcer la protection du bastion brestois.

C. Le counter unmanned warfare

Naturellement, il est possible que des considérations financières et de format limitent significativement les ambitions de dronisation de la marine à court terme. Cependant, cela ne doit pas limiter notre volonté à explorer rapidement ces capacités afin de maîtriser les technologies clés. Au-delà des aspects capacitaires et de souveraineté future, il s'agit d'être capable de contrer les drones adverses, déjà existants ou à venir.

En effet, dans la dialectique du bouclier et de l'épée, c'est bien les progrès offensifs qui impulsent le mouvement. Pour fabriquer un bouclier efficace, il est nécessaire d'avoir une connaissance intime des caractéristiques d'une épée, et donc de sa fabrication. Pour contrer les drones adverses, nous avons donc besoin de comprendre leurs forces et leurs limites. Si la rétro-ingénierie peut aider à évaluer leurs performances physiques, seul leur emploi en propre permet de percevoir leurs limites opérationnelles, en particulier en termes de domaine d'autonomie.

Or, ces drones sont déjà présents. Nous sommes donc condamnés à développer nos capacités à contrer cette menace spécifique : le *counter-unmanned warfare*^{liii}. Les programmes russes et chinois foisonnent de projets de drones navals sous toutes leurs formes. Mais il n'est nul besoin de considérer uniquement des acteurs militaires majeurs ou de regarder aussi loin. En février 2021 à Antalya, les sociétés *Ares Shipyard* et *Meketsan Defence* ont débuté les premiers essais à la mer de leur LUSV *ULAQ*^{liv}.

Sans préjuger des capacités ou de l'emploi d'un tel système, savoir que les essais de tirs réels seront effectués au cours des prochains mois doit nous permettre de mesurer notre retard.



Figure 17 : LUSV turque ULAQ (photo *Ares Shipyard* / *Meteksan Defence*)

La menace est réelle et il y a urgence à développer nos capacités CUW, tant sur les aspects de détection que

de destruction (cinétique, cyber, brouillage, énergie dirigée⁶⁴, etc.). Cela doit nous encourager à explorer l'emploi des drones, quand ce ne serait que pour mieux contrer ceux de nos concurrents et adversaires.

⁶⁴ EM dirigé, LASER, micro-ondes, particules, acoustique.

Conclusion

A la fin de l'année 2020, l'emploi massif de drones lors du conflit au Haut-karabakh a fait couler beaucoup d'encre^{lv}. De nombreux observateurs y ont vu la démonstration que l'ère du drone débutait enfin et qu'elle s'accompagnait d'une révolution du champ de bataille. En effet, après des décennies d'utilisation sur différents théâtres, ce conflit a marqué un de leur premier usage décisif, qui plus est dans un cadre de haute intensité.

Si l'on peut arguer que les drones ont principalement agit ici comme des *cost killer* en abaissant le coût du ticket d'entrée de la puissance aérienne, on ne peut nier que la menace drones est dorénavant incontournable, au minimum dans le cadre des opérations aéro-terrestres.

Lorsqu'on observe avec quelle efficacité l'Azerbaïdjan (certes avec l'appui de son allié turque), 90^{ème} PIB mondial, a été capable d'utiliser ces systèmes, on peut légitimement interroger les capacités et ambitions françaises à propos des systèmes automatisés. La cour des comptes donne une partie de la réponse dans son rapport public annuel de 2020^{lvi} : « La France a tardé à tirer les conséquences de l'intérêt des drones dans les opérations militaires modernes. L'effet conjugué des mésententes entre industriels, du manque de vision prospective des armées et des changements de pied des pouvoirs publics ont eu pour conséquences, dommageables et coûteuses, de prolonger la durée de vie de matériels vieillissants. Il a également conduit à

l'acquisition de matériels américains aux conditions d'utilisation contraignantes et restrictives. »

Aujourd'hui il est primordial de ne pas manquer à nouveau ce virage qui, avec l'arrivée à maturité de certaines technologies de l'information, risque d'être bien plus disruptif et porteur d'enjeux de souveraineté. L'urgence est avérée et il faut avancer rapidement. Cela signifie éviter certaines erreurs du passé en ayant une approche résolue mais réaliste de la dronisation de nos armées.

D'abord, il faut se concentrer sur les applications où l'emploi du drone apporte une réelle plus-value, basée sur ses qualités intrinsèques et son rapport coût/efficacité. Les technologies et choix de conceptions devront privilégier la résilience opérationnelle au détriment de la pure performance technique. A ce titre, la recherche d'une dépendance faible à tous moyens de communication ainsi que les contraintes de ressources humaines doivent nous amener à privilégier l'autonomie dans le fonctionnement de nos systèmes et à mesurer nos ambitions d'élongation.

Des drones donc, mais des drones en nombre et automatisés, nécessairement spécialisés car d'un coût maîtrisé, et complémentaires des systèmes habités.

Pour la Marine nationale, ces considérations de résilience technico-opérationnelle doivent rencontrer les carences de notre format actuel et les programmes déjà lancés. Dans le cadre de la protection de nos ZEE, l'utilisation de drones aériens endurants peut décupler nos capacités de surveillance et d'identification, en

permettant aux moyens habités de mieux se concentrer sur les missions d'intervention.

En ce qui concerne la lutte anti sous-marins, l'emploi combiné d'USV et d'AUV peut multiplier l'efficacité des dispositifs existants ; en permettant une bien meilleure connaissance de l'environnement sous-marin tout en assurant une endurance inédite dans les tâches de traque et de pistage. Initialement concentrée sur la défense de nos approches maritimes étendues, l'exploration de ces capacités sera cohérente avec le besoin grandissant de maîtrise des espaces sous-marins, à des fins de défense ou d'exploitation.

Enfin, pour répondre à la menace drone proliférante, nos plateformes navales doivent être équipées dès-à-présent de systèmes défensifs spécifiques. Cette réponse à une quasi-urgence opérationnelle, sera également très bénéfique dans l'appréhension des failles de nos propres systèmes en devenir.

Si un équilibre entre développements franco-européens et achats extra-européens peut être nécessaire pour rattraper une partie de notre retard, les technologies de l'autonomie et de l'information devront être souveraines, car au cœur de la performance et de la résilience de ces systèmes. Nos légitimes questionnements éthiques ne doivent en aucun cas nous freiner dans l'exploration résolue de l'IA. Il ne s'agit plus ici de discuter théoriquement de ses faiblesses et des risques associés comme on disserterait du « sexe des anges », mais d'avancer vers une expérimentation pratique de ses applications.

Cependant, il n'est pas souhaitable de succomber au tout technique en cherchant systématiquement à évincer

l'homme, bien au contraire. Eric Pourcel décrit ainsi la complémentarité entre rusticité et performance technologique : « il nous faut tout à la fois nous préparer à une guerre de hautes technologies et à une guerre rustique. Une guerre de hautes technologies qui est celle de la dronisation IA des forces, du soldat augmenté et de l'emploi de toutes les techniques permettant d'avoir un temps d'avance sur l'ennemi potentiel. Mais aucune technique n'est invulnérable : (...). Une nation qui miserait uniquement sur le tout technologique comme doctrine militaire s'exposerait donc à une défaite certaine à l'issue d'un premier choc qui détruirait l'ensemble de son système électronique et IA. Il nous faut donc concourir avec les autres nations vers l'outil technique tout en conservant en parallèle une capacité à faire la guerre en situation dégradée : (...). »^{lvii}

Il y aura donc bien encore des marins en mer dans trente ans, mais ils seront accompagnés de drones de surface, aériens et sous-marins. Ces systèmes habités et automatisés devront évidemment être efficaces ensembles mais surtout capables d'effectuer leurs missions dans des contextes dégradés, l'un indépendamment de l'autre. C'est seulement ainsi qu'ils participeront à une véritable « épaisseur stratégique »⁶⁵ apte à répondre aux défis opérationnels futurs.

⁶⁵ Général Vincent Desportes : « Anticiper l'imprévisible, lui survivre, c'est y croire, admettre le caractère fondamental des notions de résilience et de capacité d'adaptation. (...) C'est la suffisance de l'épaisseur stratégique d'un système qui lui permet de survivre et de reprendre l'ascendant. »

Bibliographie

Auger-Ottavi Anthony, *Réflexions sur le Seabed Warfare*, Ecole de Guerre, 2020.

Byrd Daniel, « An AUV to Optimize Pipeline Inspections », sur *Exploration & Production*, 1er août 2016 (en ligne : <https://www.ep.total.com/en/areas/deep-offshore/auv-optimize-pipeline-inspections> ; consulté le 19 février 2021).

Centre interarmées de concepts, de doctrines et d'expérimentation, *Emploi des systèmes de drones aériens en opérations*, Paris, Imprimerie nationale, 2020.

Centre interarmées de concepts, de doctrines et d'expérimentations, « Concept d'Emploi des Forces », 2020.

Centre interarmées de concepts, de doctrines et d'expérimentations, *Emploi de l'intelligence artificielle et des systèmes automatisés*, Paris, Imprimerie nationale, 2018.

Chief of Naval Operations, *Autonomous Undersea Vehicle Requirement for 2025*, US Navy, 2016.

Clark Bryan, Seth Cropsey et Timothy A Walton, « Sustaining the Undersea Advantage: Disrupting Anti-Submarine Warfare Using Autonomous Systems », 2020, p. 76.

Cour des comptes, *Rapport public annuel 2020*, 2020.

Dixon Robyn, « Azerbaijan's drones owned the battlefield in Nagorno-Karabakh — and showed future of warfare », *Washington Post*, sans date (en ligne : <https://www.washingtonpost.com/world/europe/nagorno-karabakh-drones-azerbaijan-aremenia/2020/11/11/441bcbd2->

193d-11eb-8bda-814ca56e138b_story.html ; consulté le 9 décembre 2020).

Dujardin Olivier, « Le retour des « Wunderwaffen » » Centre Français de Recherche sur le Renseignement », sur Centre Français de Recherche sur le Renseignement, sans date (en ligne : <https://cf2r.org/rta/le-retour-des-wunderwaffen/> ; consulté le 30 novembre 2020).

Eckstein Megan, « SECDEF Esper Calls for 500-Ship Fleet by 2045, With 3 SSNs a Year and Light Carriers Supplementing CVNs », sur USNI News, 6 octobre 2020 (en ligne : <https://news.usni.org/2020/10/06/secdef-esper-calls-for-500-ship-fleet-by-2045-with-3-ssns-a-year-and-light-carriers-supplementing-cvns> ; consulté le 20 octobre 2020).

Eckstein Megan, « Sea Hunter Unmanned Ship Continues Autonomy Testing as NAVSEA Moves Forward with Draft RFP », sur USNI News, 29 avril 2019 (en ligne : <https://news.usni.org/2019/04/29/sea-hunter-unmanned-ship-continues-autonomy-testing-as-navsea-moves-forward-with-draft-rfp> ; consulté le 20 octobre 2020).

Gain Nathan, « French Navy Tests iXblue's DriX Unmanned Surface Vessel », sur Naval News, 2 novembre 2020 (en ligne : <https://www.navalnews.com/naval-news/2020/11/french-navy-tests-ixblues-drix-unmanned-surface-vessel/> ; consulté le 12 février 2021).

Groizeleau Vincent, « MMCM : Focus sur le programme franco-britannique de guerre des mines », sur Mer et Marine, 19 octobre 2016 (en ligne : <https://www.meretmarine.com/fr/content/mmcm-focus-sur-le-programme-franco-britannique-de-guerre-des-mines> ; consulté le 11 février 2021).

Kœnig Gaspard, *La fin de l'individu: voyage d'un philosophe au pays de l'intelligence artificielle*, Paris, Éditions de l'Observatoire, coll. « Collection "De Facto" », 2019.

Langlois Philippe, « Les UCAV sont-ils condamnés ? », sur DSI, 14 janvier 2020 (en ligne : <https://www.areion24.news/2020/01/14/les-ucav-sont-ils-condamnes%e2%80%89/> ; consulté le 19 novembre 2020).

Lucas Nathan J, *Lethal Autonomous Weapon Systems: Issues for Congress*, 2016.

Manaranche Martin, « Ghost Fleet Overlord Test Vessels Continue to Accelerate U.S. Navy's USV programs », sur Naval News, 6 juin 2020 (en ligne : <https://www.navalnews.com/naval-news/2020/06/ghost-fleet-overlord-test-vessels-continue-to-accelerate-u-s-navys-usv-programs/> ; consulté le 20 octobre 2020).

Mozur Paul, « Google's AlphaGo Defeats Chinese Go Master in Win for A.I. (Published 2017) », *The New York Times*, rubrique « Business », 23 mai 2017 (en ligne : <https://www.nytimes.com/2017/05/23/business/google-deepmind-alphago-go-champion-defeat.html> ; consulté le 12 janvier 2021).

Nationale Assemblée, « [Http://www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/comptes-rendus/cion_def/l15cion_def2021008_compte-rendu](http://www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/comptes-rendus/cion_def/l15cion_def2021008_compte-rendu) », sur Assemblée nationale, sans date (en ligne : http://www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/comptes-rendus/cion_def/l15cion_def2021008_compte-rendu ; consulté le 25 novembre 2020).

Nichols R. K., J. J. C. H. Ryan, H. C. Mumm, Candice Carter, W. D. Lonstein et J. P. Hood, *Counter Unmanned Aircraft Systems Technologies and Operations*, sans lieu, R. K Nichols, 2020.

O'Rourke Ronald, Navy Large Unmanned Surface and Undersea Vehicles: Background and Issues for Congress, 2019.

Pourcel Éric, Dronisation et robotisation intelligentes des armées (DRIA): de la dynamique conflictuelle et opérationnelle mixte Homme-machine ... à la dynamique conflictuelle et opérationnelle machine IA--machine IA?, sans lieu, 2018.

Releases DP Press, « SEA, iXblue Develop SeaDrix Long Range Submarine Hunting System », sur DefPost, 14 novembre 2019 (en ligne : <https://defpost.com/sea-ixblue-develop-seadrix-long-range-submarine-hunting-system/> ; consulté le 12 février 2021).

Savage Neil, « How AI is improving cancer diagnostics », Nature, vol. 579, no 7800, Nature Publishing Group, 25 mars 2020, p. S14-S16.

The Boeing company, « Echo Voyager Product Sheet », 2017.

Vavasseur Xavier, « Royal Navy Launched its First “crewless Pacific 24 boat” USV », sur Naval News, 24 juin 2020 (en ligne : <https://www.navalnews.com/naval-news/2020/06/royal-navy-launched-its-first-crewless-pacific-24-boat-usv/> ; consulté le 25 novembre 2020).

« La réalisation du Système de lutte anti-mines futur est officiellement lancée », sur Zone Militaire, 3 novembre 2020 (en ligne : <http://www.opex360.com/2020/11/03/la-realisation-du-systeme-de-lutte-anti-mines-futur-est-officiellement-lancee/> ; consulté le 11 février 2021).

« SeaOwl décroche le premier permis français de navigation pour un navire télé-opéré », sur Mer et Marine, 11 septembre 2020 (en ligne : <https://www.meretmarine.com/fr/content/seaowl-decroche->

le-premier-permis-francais-de-navigation-pour-un-navire-teleopere ; consulté le 11 février 2021).

« Artificial Intelligence Easily Beats Human Fighter Pilot in DARPA Trial », sur Air Force Magazine, 20 août 2020 (en ligne : <https://www.airforcemag.com/artificial-intelligence-easily-beats-human-fighter-pilot-in-darpa-trial/> ; consulté le 12 janvier 2021).

« One Year In, SURFDEVIRON Ready to Speed Up At-Sea Testing, Prototype Deliveries », sur USNI News, 15 juin 2020 (en ligne : <https://news.usni.org/2020/06/15/one-year-in-surfdevron-ready-to-speed-up-at-sea-testing-prototype-deliveries> ; consulté le 10 février 2021).

« La Third Offset Strategy américaine :: DEFENSE&Industries :: Fondation pour la Recherche Stratégique :: FRS », sans date (en ligne : <https://frstrategie.org/publications/defense-et-industries/third-offset-strategy-americaine-2016> ; consulté le 1er décembre 2020).

« Dull, dirty, dangerous mission? Send in the robot vehicle », sur www.army.mil, sans date (en ligne : https://www.army.mil/article/154248/dull_dirty_dangerous_mission_send_in_the_robot_vehicle ; consulté le 13 janvier 2021).

« Kratos XQ-58A / Kratos XQ-222 Valkyrie / Low-Cost Attritable Strike Demonstrator (LCASD) », sans date (en ligne : <https://www.globalsecurity.org/military//systems/aircraft/lcasd.htm> ; consulté le 3 décembre 2020).

« SLAM-F : Le CEPN au cœur de l'action | colsbleus.fr : le magazine de la Marine Nationale », sans date (en ligne : <https://www.colsbleus.fr/articles/12552> ; consulté le 11 février 2021).

« IXblue : le drone DriX retenu par la NOAA américaine | Mer et Marine », sans date (en ligne : <https://www.meretmarine.com/fr/content/ixblue-le-drone-drix-retenu-par-la-noaa-americaine> ; consulté le 25 novembre 2020).

« Autonomous ship project, key facts about YARA Birkeland », sans date (en ligne : <https://www.kongsberg.com/maritime/support/themes/autonomous-ship-project-key-facts-about-yara-birkeland/> ; consulté le 12 février 2021).

« UlyX », sur Flotte océanographique française opérée par l'Ifremer, sans date (en ligne : <https://www.flotteoceanographique.fr/Nos-moyens/Navires-engins-et-equipements-mobiles/Systemes-sous-marins/UlyX> ; consulté le 13 janvier 2021).

« Commission des affaires étrangères, de la défense et des forces armées : compte rendu de la semaine du 26 octobre 2020 », sans date (en ligne : <http://www.senat.fr/compte-rendu-commissions/20201026/etr.html> ; consulté le 7 décembre 2020).

« Turkey's ULAQ armed USV prototype enters sea trials », sur Janes.com, sans date (en ligne : <https://www.janes.com/defence-news/news-detail/turkeys-ulaq-armed-usv-prototype-enters-sea-trials> ; consulté le 18 février 2021).

Tables des matières

Résumé	4
Introduction	5
I. Généralités des systèmes de drone appliqués aux opérations militaires	13
A. Définitions des systèmes automatisés	13
1. Drones VS systèmes automatisés	13
2. Intelligence artificielle : GOFAI vs deep learning	16
B. La règle des 4 Ds et les avantages comparatifs du drone.....	18
1. Dull - fastidieux.....	19
2. Dirty – sale.....	20
3. Dangerous – dangereux	20
4. Dear / Difficult – délicat / difficile	23
5. Avantages comparatifs du drone	25
C. Les risques génériques liés à l'utilisation des systèmes automatisés et leurs conséquences.....	30
1. Perte de contrôle du système automatisé.....	31

2.	<i>Erreur de jugement / précision</i>	32
3.	<i>Risque d'escalade tactique</i>	35
4.	<i>Risque d'escalade politique</i>	37
5.	<i>Risques juridiques</i>	38
D. Spécificités des milieux aériens et maritimes au regard des systèmes automatisés		39
1.	<i>Milieu aérien</i>	40
2.	<i>La surface des mers</i>	42
3.	<i>Le milieu sous-marin</i>	45
II.	Programmes de drones navals	47
A. L'US Navy		47
1.	<i>Le concept de redistribution des forces</i>	47
2.	<i>La typologie des USV et AUV américains</i>	49
3.	<i>Les programmes LUSV – Ghost fleet Overlord</i>	51
4.	<i>Les programme MUSV – Le Sea Hunter</i>	54
5.	<i>L'expérimentation pratique des USV</i>	56
6.	<i>Les programme d'AUV</i>	58
B. L'état de l'art en France		61
1.	<i>Le programme SLAM-F</i>	61
2.	<i>Programmes civils</i>	66

III. Perspectives pour la Marine nationale	71
A. Contexte d'emploi de la Marine nationale.....	71
1. Des RTC face à des besoins qui augmentent .	71
2. Les limites RH et économiques	72
3. Les conséquences pour les programmes de drones.....	73
B. Le cas particulier de la lutte anti sous-marine. 75	75
4. Spécificités de la mission	75
5. Exemple d'une force ASM dronisée	76
6. Applications possibles.....	82
C. Le counter unmanned warfare.....	83
Conclusion.....	87
Bibliographie	91
Références bibliographiques	100

Références bibliographiques

ⁱ A. NATIONALE, « [Http://www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/comptes-rendus/cion_def/l15cion_def2021008_compte-rendu](http://www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/comptes-rendus/cion_def/l15cion_def2021008_compte-rendu) », sur *Assemblée nationale*, s. d. (en ligne : http://www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/comptes-rendus/cion_def/l15cion_def2021008_compte-rendu ; consulté le 25 novembre 2020)

ⁱⁱ « La Third Offset Strategy américaine :: DEFENSE&Industries :: Fondation pour la Recherche Stratégique :: FRS », s. d. (en ligne : <https://frstrategie.org/publications/defense-et-industries/third-offset-strategy-americaine-2016> ; consulté le 1^{er} décembre 2020)

ⁱⁱⁱ O. DUJARDIN, « Le retour des « Wunderwaffen » » Centre Français de Recherche sur le Renseignement », sur *Centre Français de Recherche sur le Renseignement*, s. d. (en ligne : <https://cf2r.org/rta/le-retour-des-wunderwaffen/> ; consulté le 30 novembre 2020)

^{iv} CENTRE INTERARMÉES DE CONCEPTS, DE DOCTRINES ET D'EXPERIMENTATIONS, *Emploi de l'intelligence artificielle et des systèmes automatisés*, Paris, Imprimerie nationale, 2018

^v *Id.*

^{vi} G. KENIG, *La fin de l'individu: voyage d'un philosophe au pays de l'intelligence artificielle*, Paris, Éditions de l'Observatoire, 2019

^{vii} P. MOZUR, « Google's AlphaGo Defeats Chinese Go Master in Win for A.I. (Published 2017) », *The New York Times*, 23 mai 2017 (en ligne : <https://www.nytimes.com/2017/05/23/business/google-deepmind-alphago-go-champion-defeat.html> ; consulté le 12 janvier 2021)

^{viii} N. SAVAGE, « How AI is improving cancer diagnostics », *Nature*, vol. 579, n° 7800, Nature Publishing Group, 25 mars 2020, p. S14-S16

^{ix} « Artificial Intelligence Easily Beats Human Fighter Pilot in DARPA Trial », sur *Air Force Magazine*, 20 août 2020 (en ligne : <https://www.airforcemag.com/artificial-intelligence-easily-beats-human-fighter-pilot-in-darpa-trial/> ; consulté le 12 janvier 2021)

^x G. KÆNIG, *La fin de l'individu*, *op. cit.*

^{xi} « Dull, dirty, dangerous mission? Send in the robot vehicle », sur *www.army.mil*, s. d. (en ligne : https://www.army.mil/article/154248/dull_dirty_dangerous_mission_send_in_the_robot_vehicle ; consulté le 13 janvier 2021)

^{xii} « Artificial Intelligence Easily Beats Human Fighter Pilot in DARPA Trial », *op. cit.*

^{xiii} P. LANGLOIT, « Les UCAV sont-ils condamnés ? », sur *DSI*, 14 janvier 2020 (en ligne : <https://www.arenion24.news/2020/01/14/les-ucav-sont-ils-condamnes%e2%80%89/> ; consulté le 19 novembre 2020)

^{xiv} « Kratos XQ-58A / Kratos XQ-222 Valkyrie / Low-Cost Attritable Strike Demonstrator (LCASD) », s. d. (en ligne :

<https://www.globalsecurity.org/military//systems/aircraft/lca.sd.htm> ; consulté le 3 décembre 2020)

^{xv} N. SAVAGE, « How AI is improving cancer diagnostics », *op. cit.*

^{xvi} CENTRE INTERARMEES DE CONCEPTS, DE DOCTRINES ET D'EXPERIMENTATION, *Emploi des systèmes de drones aériens en opérations*, Paris, Imprimerie nationale, 2020

^{xvii} CENTRE INTERARMEES DE CONCEPTS, DE DOCTRINES ET D'EXPERIMENTATIONS, *Emploi de l'intelligence artificielle et des systèmes automatisés*, *op. cit.*

^{xviii} N. J. LUCAS, *Lethal Autonomous Weapon Systems: Issues for Congress*, 2016

^{xix} CENTRE INTERARMEES DE CONCEPTS, DE DOCTRINES ET D'EXPERIMENTATION, *Emploi des systèmes de drones aériens en opérations*, *op. cit.*

^{xx} N. J. LUCAS, *Lethal Autonomous Weapon Systems: Issues for Congress*, *op. cit.* p. 17

^{xxi} CENTRE INTERARMEES DE CONCEPTS, DE DOCTRINES ET D'EXPERIMENTATION, *Emploi des systèmes de drones aériens en opérations*, *op. cit.*

^{xxii} *Id.*

^{xxiii} A. AUGER-OTTAVI, *Réflexions sur le Seabed Warfare*, Ecole de Guerre, 2020

^{xxiv} M. ECKSTEIN, « SECDEF Esper Calls for 500-Ship Fleet by 2045, With 3 SSNs a Year and Light Carriers Supplementing CVNs », sur *USNI News*, 6 octobre 2020 (en ligne : <https://news.usni.org/2020/10/06/secdef-esper-calls-for-500-ship-fleet-by-2045-with-3-ssns-a-year-and-light-carriers-supplementing-cvns> ; consulté le 20 octobre 2020)

^{xxv} R. O'ROURKE, *Navy Large Unmanned Surface and Undersea Vehicles: Background and Issues for Congress*, 2019 p. 7

^{xxvi} *Id.* p. 4

^{xxvii} M. MANARANCHE, « Ghost Fleet Overlord Test Vessels Continue to Accelerate U.S. Navy's USV programs », sur *Naval News*, 6 juin 2020 (en ligne : <https://www.navalnews.com/naval-news/2020/06/ghost-fleet-overlord-test-vessels-continue-to-accelerate-u-s-navys-usv-programs/> ; consulté le 20 octobre 2020)

^{xxviii} R. O'ROURKE, *Navy Large Unmanned Surface and Undersea Vehicles, op. cit.* p. 14

^{xxix} M. ECKSTEIN, « Sea Hunter Unmanned Ship Continues Autonomy Testing as NAVSEA Moves Forward with Draft RFP », sur *USNI News*, 29 avril 2019 (en ligne : <https://news.usni.org/2019/04/29/sea-hunter-unmanned-ship-continues-autonomy-testing-as-navsea-moves-forward-with-draft-rfp> ; consulté le 20 octobre 2020)

^{xxx} *Id.*

^{xxxi} « One Year In, SURFDEVIRON Ready to Speed Up At-Sea Testing, Prototype Deliveries », sur *USNI News*, 15 juin 2020 (en ligne : <https://news.usni.org/2020/06/15/one-year-in-surfdevron-ready-to-speed-up-at-sea-testing-prototype-deliveries> ; consulté le 10 février 2021)

^{xxxii} R. O'ROURKE, *Navy Large Unmanned Surface and Undersea Vehicles*, *op. cit.* p. 16

^{xxxiii} THE BOEING COMPANY, « Echo Voyager Product Sheet », 2017

^{xxxiv} CHIEF OF NAVAL OPERATIONS, *Autonomous Undersea Vehicle Requirement for 2025*, US Navy, 2016

^{xxxv} *Id.* p. 9

^{xxxvi} *Id.* p. 8

^{xxxvii} V. GROIZELEAU, « MMCM : Focus sur le programme franco-britannique de guerre des mines », sur *Mer et Marine*, 19 octobre 2016 (en ligne :

<https://www.meretmarine.com/fr/content/mmcm-focus-sur-le-programme-franco-britannique-de-guerre-des-mines> ; consulté le 11 février 2021)V. Groizeleau, « MMCM : Focus sur le programme franco-britannique de guerre des mines », *Mer et Marine*, 19 octobre 2016. URL : <https://www.meretmarine.com/fr/content/mmcm-focus-sur-le-programme-franco-britannique-de-guerre-des-mines..> Consulté le 11 février 2021.

^{xxxviii} « La réalisation du Système de lutte anti-mines futur est officiellement lancée », sur *Zone Militaire*, 3 novembre 2020 (en ligne : <http://www.opex360.com/2020/11/03/la-realisation-du-systeme-de-lutte-anti-mines-futur-est-officiellement-lancee/> ; consulté le 11 février 2021)

^{xxxix} « SLAM-F : Le CEPN au cœur de l'action | colsbleus.fr : le magazine de la Marine Nationale », s. d. (en ligne : <https://www.colsbleus.fr/articles/12552> ; consulté le 11 février 2021)

^{xi} X. VAVASSEUR, « Royal Navy Launched its First “crewless Pacific 24 boat” USV », sur *Naval News*, 24 juin 2020 (en ligne : <https://www.navalnews.com/naval-news/2020/06/royal-navy-launched-its-first-crewless-pacific-24-boat-usv/> ; consulté le 25 novembre 2020)

^{xli} « SeaOwl décroche le premier permis français de navigation pour un navire télé-opéré », sur *Mer et Marine*, 11 septembre 2020 (en ligne : <https://www.meretmarine.com/fr/content/seaowl-decroche-le-premier-permis-francais-de-navigation-pour-un-navire-teleopere> ; consulté le 11 février 2021)

^{xlii} « iXblue : le drone DriX retenu par la NOAA américaine | Mer et Marine », s. d. (en ligne : <https://www.meretmarine.com/fr/content/ixblue-le-drone-drix-retenu-par-la-noaa-americaine> ; consulté le 25 novembre 2020)

^{xliii} N. GAIN, « French Navy Tests iXblue’s DriX Unmanned Surface Vessel », sur *Naval News*, 2 novembre 2020 (en ligne : <https://www.navalnews.com/naval-news/2020/11/french-navy-tests-ixblues-drix-unmanned-surface-vessel/> ; consulté le 12 février 2021)

^{xliv} D. P. RELEASES, « SEA, iXblue Develop SeaDrix Long Range Submarine Hunting System », sur *DefPost*, 14 novembre 2019 (en ligne : <https://defpost.com/sea-ixblue-develop-seadrix-long-range-submarine-hunting-system/> ; consulté le 12 février 2021)

^{xlv} « Autonomous ship project, key facts about YARA Birkeland », s. d. (en ligne : <https://www.kongsberg.com/maritime/support/themes/autonomous-ship-project-key-facts-about-yara-birkeland/> ; consulté le 12 février 2021)

^{xlvi} « UlyX », sur *Flotte océanographique française opérée par l'Ifremer*, s. d. (en ligne : <https://www.flotteoceanographique.fr/Nos-moyens/Navires-engins-et-equipements-mobiles/Systemes-sous-marins/UlyX> ; consulté le 13 janvier 2021)

^{xlvii} D. BYRD, « An AUV to Optimize Pipeline Inspections », sur *Exploration & Production*, 1^{er} août 2016 (en ligne : <https://www.ep.total.com/en/areas/deep-offshore/auv-optimize-pipeline-inspections> ; consulté le 19 février 2021)

^{xlviii} « Commission des affaires étrangères, de la défense et des forces armées : compte rendu de la semaine du 26 octobre 2020 », s. d. (en ligne : <http://www.senat.fr/compte-rendu-commissions/20201026/etr.html> ; consulté le 7 décembre 2020)

^{xlix} CENTRE INTERARMEES DE CONCEPTS, DE DOCTRINES ET D'EXPERIMENTATIONS, « Concept d'Emploi des Forces », 2020

ⁱ B. CLARK, S. CROPEY et T. A. WALTON, « Sustaining the Undersea Advantage: Disrupting Anti-Submarine Warfare Using Autonomous Systems », 2020, p. 76 p. 6

ⁱⁱ *Id.*

ⁱⁱⁱ *Id.* p. 46

ⁱⁱⁱⁱ R. K. NICHOLS *et al.*, *Counter Unmanned Aircraft Systems Technologies and Operations*, s. l., R. K Nichols, 2020

^{liv} « Turkey's ULAQ armed USV prototype enters sea trials », sur *Janes.com*, s. d. (en ligne : <https://www.janes.com/defence-news/news-detail/turkeys-ulaq-armed-usv-prototype-enters-sea-trials> ; consulté le 18 février 2021)

^{lv} R. DIXON, « Azerbaijan's drones owned the battlefield in Nagorno-Karabakh — and showed future of warfare », *Washington Post*, s. d. (en ligne : https://www.washingtonpost.com/world/europe/nagorno-karabakh-drones-azerbaijan-aremenia/2020/11/11/441bcbd2-193d-11eb-8bda-814ca56e138b_story.html ; consulté le 9 décembre 2020)

^{lvi} COUR DES COMPTES, *Rapport public annuel 2020*, 2020

^{lvii} É. POURCEL, *Dronisation et robotisation intelligentes des armées (DRIA): de la dynamique conflictuelle et opérationnelle mixte Homme-machine ... à la dynamique conflictuelle et opérationnelle machine IA--machine IA?*, s. l., 2018 p. 118