

Comment la classe Micro ROV va changer le secteur maritime : une analyse introductive sur les ROV, le Big Data et l'IA

Michel Stein

Écrit par Michel STEIN

DOI : 10.5772/intechopen.1002223

À PARTIR DU VOLUME ÉDITÉ : Véhicules autonomes - Applications et perspectives [Titre de travail]

Doctorat Denis Kotarski et Dr Petar Piljek

Abstrait

Bien que les drones sous-marins ne soient pas une technologie nouvelle, leur utilisation généralisée dans les applications civiles et industrielles n'a pas été largement acceptée jusqu'à présent. En dehors de cela, la diminution de la taille et des coûts ainsi que l'augmentation de la robustesse des drones sous-marins et la facilité de manipulation constituent une base solide pour la croissance de la technologie des drones sous-marins sur divers marchés. Ce chapitre présente l'application de la technologie des drones sous-marins dans les opérations maritimes, en se concentrant sur la classe des micro ROV. Un cadre d'évaluation introductif basé sur une analyse bibliographique structurée de l'état actuel de la recherche est réalisé afin de fournir un regard structuré sur les domaines d'intervention des drones dans le domaine maritime. De plus, la combinaison du micro ROV et de l'intelligence artificielle sous la forme d'un réseau de neurones basé sur l'apprentissage en profondeur est introduite.

1. Introduction

Comme 71% de la surface de la planète est recouverte d'eau [1], cet élément est et sera crucial pour notre survie. Les océans reflètent le plus grand habitat de la faune sur cette planète, tout en fournissant de très grandes quantités de ressources cruciales et en facilitant plus de 90 % du commerce mondial via les opérations de navigation. La connaissance de ce qui se passe sous l'eau est importante pour maintenir et explorer les potentiels de l'océan en équilibre avec son système écologique fragile. Cependant, les océans restent encore aujourd'hui la zone la moins explorée de cette planète pour des raisons d'indisponibilité à l'œil humain. Alors qu'environ 5 % seulement des océans étaient déclarés explorés en 2016 [1], ce nombre est passé à env. 20% en 2020 [2]. Les progrès de la robotique sous-marine ont favorisé des études approfondies des océans et l'exploration de zones auparavant hors de portée des humains [3]. Même si les opérations en mer profonde et offshore de véhicules sans pilote existent depuis des décennies grâce à l'exploitation de systèmes de classe ouvrière, leur coût et leur taille étaient un facteur limitant accessible uniquement à des industries spécifiques. Avec les progrès des soi-disant systèmes de classe d'inspection [1], la disponibilité des drones sous-marins pour de nouveaux marchés et installations de recherche a augmenté. Dans le passé, les

chercheurs étaient souvent exclus des opérations en haute mer en raison d'une formation coûteuse, ce qui rendait les scientifiques dépendants d'un fournisseur de données tiers ou d'un partenaire industriel [3]. Le partenariat intersectoriel de la recherche et de l'industrie reste crucial pour des activités humaines durables dans l'océan [4]. Cependant, la disponibilité généralisée de systèmes fiables, bon marché et faciles à utiliser améliore les opportunités de capture de données indépendantes, permettant des développements scientifiques et entrepreneuriaux.

Les drones reflètent un robot contrôlé par l'homme conçu pour effectuer des tâches dans des régions éloignées. Il existe de nombreuses classes et définitions de ces robots généralement issus de l'industrie aéronautique. Le terme "drone" remonte aux opérations d'entraînement à la cible de l'armée de l'air de la Seconde Guerre mondiale et est encore utilisé de nos jours pour la robotique sans pilote. Dans les années 1960/1970, les drones sous-marins étaient principalement développés par la Marine avec des systèmes comme CURV I-III avant que la technologie ne soit adoptée par l'industrie pétrolière et gazière dans les années 1980 [1].

Ce chapitre suit la terminologie des ROV (véhicules télécommandés) qui, dans d'autres contributions, pourraient être appelés UUV (véhicules sous-marins sans pilote). Comme ce chapitre se concentre sur le matériel contrôlé par l'homme, le domaine des AUV (véhicules sous-marins autonomes) est reconnu mais ignoré. Les systèmes décrits dans ce chapitre fonctionnent en surface via un câble de connexion de données. De la robotique aéronautique, on sait qu'il faut deux à cinq fois le poids du pilote dans des équipements spécialisés et redondants pour assurer à la fois la sécurité du pilote et celle du véhicule [5]. Ces échelles peuvent dans une certaine mesure être transférées aux opérations ROV, ce qui entraîne une réduction de la taille et des coûts du système en excluant l'humain des coûts robotiques. Ce fait, combiné aux progrès technologiques actuels, permet à un nombre croissant de systèmes ROV d'accéder à des zones auparavant impossibles ou du moins difficiles pour l'intervention humaine. Il convient de mentionner que les systèmes ROV et leurs opérations correspondantes sont considérés comme des entités individuelles de toute infrastructure dans le contexte de ce chapitre. Il existe cependant des premiers projets qui considèrent la technologie ROV comme une extension logique de l'infrastructure, comme ARES (Autonomous Robotics for the Extended Ship) [6] qui pourrait changer ce point de vue à l'avenir.

1.1 Classification du système ROV

Ce chapitre suit la classification générale des systèmes ROV fournie par [1] comme le montre la Figure 1 . Les véhicules habités et autonomes ne sont pas pris en compte en raison des limites de l'évaluation de ce chapitre. Les systèmes ROV de classe d'intervention sont nommés dans le but d'un point de vue holistique mais ne font pas non plus partie de l'évaluation. Ces systèmes ne resteront disponibles que pour un nombre limité d'industries ou de secteurs, compte tenu de leurs coûts d'investissement élevés et de leur poids pouvant atteindre 5 000 kg [1] nécessitant un équipage spécialisé et des LARS (Launch and Recovery System). Ce chapitre se concentre sur la classe d'inspection et sa sous-catégorie micro qui permet des opérations indépendantes et mobiles d'une personne ou d'une très petite équipe de pilotes.

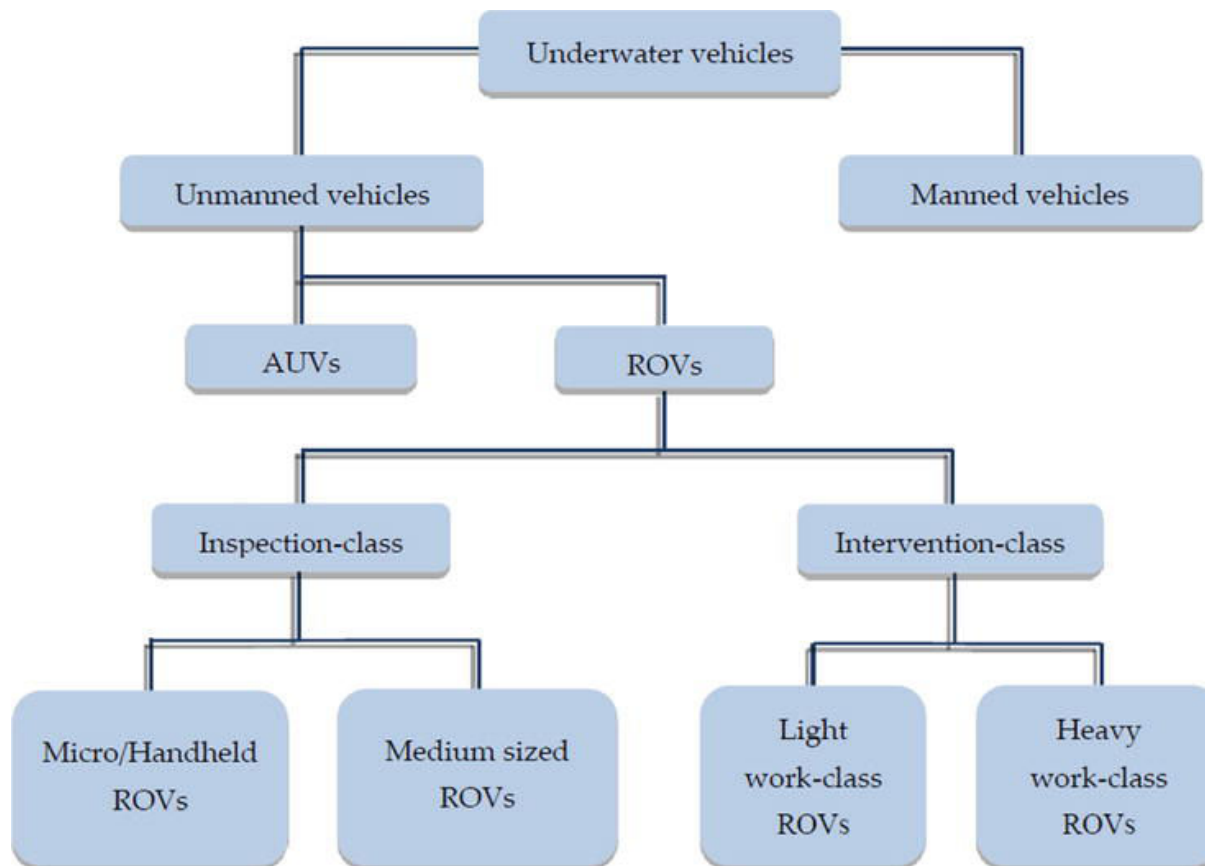


Figure 1.

Matrice de classification des véhicules sous-marins Source : Auteur basé sur [1].

Les systèmes Micro ROV pèsent souvent moins de 10 kg et sont suffisamment mobiles pour être transportés dans une petite boîte ou même dans un format sac à dos. Ce haut degré de mobilité permet une opération flexible hors d'un hélicoptère (par exemple pour une intervention en cas de catastrophe) ou à bord d'un navire, même dans un mouillage en haute mer, où l'opérateur du ROV entre dans le navire par une échelle de pilotage avec le ROV. Les systèmes micro ROV sont principalement réduits à des systèmes vidéo et de manœuvre permettant uniquement une inspection rapide et rentable. Certains systèmes permettent des accessoires de préhension de base pour de petites

opérations de récupération ou des systèmes de positionnement automatisés. D'un côté plus avancé, le ROV de taille moyenne offre un espace de cadre ouvert pour l'ajout de capteurs supplémentaires. Ces capteurs supplémentaires s'accompagnent alors d'un compromis en termes de coûts et de taille, nécessitant souvent un treuil pour le lancement et la récupération. Contrairement aux micro ROV, les ROV de classe moyenne sont exploités via une station de communication nécessitant une alimentation électrique et une interaction humaine plus complexe par rapport aux smartphones, tablettes et/ou microsystèmes commandés par contrôleur portable. Alors que les premiers systèmes micro ROV avaient une portée opérationnelle limitée en raison de la bande passante limitée dans les câbles à fibre de cuivre, les générations récentes utilisent des technologies de transition permettant 500 à 1000 Mb/s sur des distances allant jusqu'à 500 m [1]. Les avancées technologiques de la classe micro offrent un énorme potentiel pour ces systèmes petits et relativement peu coûteux d'entrer sur les différents marchés maritimes au grand bénéfice des différentes parties prenantes.

2. Méthodologie

Ce chapitre présente les ROV de classe d'inspection en mettant l'accent sur les ROV micro ou portables pour évaluer leur potentiel futur pour les opérations scientifiques et économiques. Alors que l'industrie offshore a exploité des systèmes ROV pendant des décennies, les micro ROV ne sont entrés sur les marchés que très récemment, ce qui entraîne un manque de connaissances et de données. Afin de faire face à la rareté de la littérature existante sur les nouvelles technologies émergentes, une approche de méthode mixte de méthodologies quantitatives et qualitatives ainsi que des concepts théoriques fondés [7, 8, 9, 10] sont appliqués. Les approches théoriques ancrées sont largement acceptées dans la science de l'innovation et sont donc choisies pour convenir à la méthodologie de ce chapitre.

Du côté qualitatif de ce chapitre, un cadre d'évaluation introductif basé sur la littérature existante est appliqué. Cette méthode convient pour examiner les relations entre les facteurs clés au sein d'une configuration de recherche et combiner divers sièges de données en un seul récit résumant. L'importance des cadres structurés comme base pour les recherches futures dans les domaines académiques avec une littérature existante limitée est soulignée par des contributions antérieures [11, 12, 13].

La contribution quantitative de ce chapitre fournit une approche structurée décrivant le marché mondial des ROV et fournit une prévision pour 2030 basée sur une revue de la littérature des rapports de marché. Les classes d'inspection et d'intervention sont considérées séparément afin de mieux comprendre le potentiel de la classe micro ROV relativement nouvelle. Cette approche ne reflète qu'une première tentative de fournir des informations quantitatives pour des raisons de données de marché disponibles limitées sur les chiffres ROV.

3. Données sur le marché des ROV

Il existe suffisamment de preuves que le marché des drones sous-marins augmentera encore en importance et en acceptation, ce qui se traduira par de nouveaux segments de marché utilisant cette technologie florissante. Ce chapitre identifie 4 segments de marché majeurs, où les micro ROV sont susceptibles de gagner des parts de marché à l'avenir par rapport aux ROV de classe d'intervention et/ou aux plongeurs conventionnels. Ces segments sont conformes à certains des objectifs de développement durable (ODD) les plus récents [14] présentés à la figure 2 .

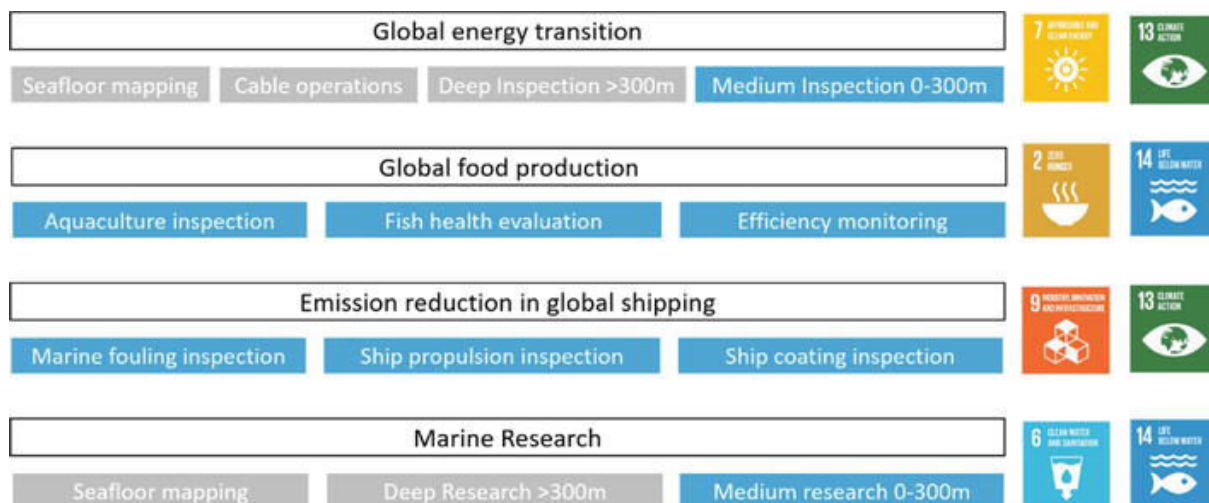


Figure 2.

Principales tendances de croissance des micro ROV basées sur SDG Source : Auteur basé sur [14].

Dans le cadre de la transition énergétique mondiale, le passage des énergies fossiles aux énergies renouvelables est globalement accepté. L'eau jouera un rôle central dans cette transition sous la forme de production d'hydrogène, de systèmes de refroidissement, de parcs éoliens offshore et nearshore ou de centrales marémotrices, pour ne citer que les approches les plus importantes actuellement. Alors que les opérations conventionnelles telles que la cartographie des fonds marins de nouvelles zones, les opérations de câble et les inspections en profondeur restent axées sur la classe d'intervention, les ROV de classe d'inspection pourraient obtenir une part de marché croissante dans les inspections moyennement profondes de moins de 300 m de profondeur. Outre la nouvelle construction de parcs éoliens modernes, les parcs existants fonctionnent depuis des décennies et devront être mis hors service au cours des prochaines décennies [15]. Les données

fournies par les ROV sont déjà considérées comme essentielles pour enquêter en temps utile sur le rôle des infrastructures offshore d'un point de vue écologique et pour prédire les effets environnementaux de leur suppression [3] .

L'aspect de la production alimentaire mondiale n'affectera pas seulement l'agriculture terrestre, mais également la collecte de ressources alimentaires marines. En 2022, la population mondiale a atteint 8 milliards de personnes avec une croissance estimée à 9 milliards d'ici 2037 [16] . Afin de nourrir la population mondiale, de nouveaux modes de production alimentaire plus efficaces sont nécessaires. Cela affectera, entre autres, le secteur de l'aquaculture, qui opère dans des eaux peu profondes de moins de 100 m de profondeur. Un nombre croissant de systèmes micro ROV sont déjà mis en œuvre pour vérifier les filets et les poissons depuis 1987 [17] et avec un nombre croissant de contributions récentes [18 , 19 , 20]. Outre les opérations d'inspection, les systèmes de micro ROV peuvent fournir des données vidéo de l'essaim de poissons qui peuvent être utilisées pour former des réseaux de neurones pour diverses applications d'amélioration de l'efficacité, comme brièvement présenté au chapitre 4.

Depuis janvier 2023, la réduction des émissions du transport maritime mondial est entrée en vigueur sous la forme de l'annexe VI de MARPOL au MEPC 76, règlements 23, 25 et 28, résultant en l'indice d'efficacité énergétique des navires existants (EEXI) et l'indicateur d'intensité carbone (CII) pour les navires existants. Ces réglementations obligent les exploitants de navires à calculer leur consommation de carburant et à classer les navires en fonction de leur efficacité en matière d'émissions. Si un navire dépasse un certain niveau d'efficacité, il sera considéré comme impropre au commerce mondial, ce qui entraînera son démantèlement. Cela affecte une flotte mondiale actuelle de 102.899 navires [21] avec un âge moyen de 21,9 ans [21]. Afin de rester opérationnels dans le cadre de ces réglementations, les navires doivent trouver des moyens innovants d'améliorer leur efficacité énergétique. Les micro ROV joueront un rôle important en termes d'inspection de la coque pour l'évaluation de l'encrassement marin, qui est brièvement présenté au chapitre 4.

Le domaine des sciences marines a grandement bénéficié de la montée en puissance des systèmes de micro ROV à faible coût et facilement déployables au cours des dernières décennies. Alors que l'absence de scientifiques dans les opérations offshore pour des raisons déjà expliquées entraîne une certaine dépendance vis-à-vis des entreprises ou des fournisseurs de données, les chercheurs peuvent mener leur propre collecte de données dans des opérations à moyenne profondeurs inférieures à 300 m. Le montant des contributions provenant de l'exploitation de systèmes ROV de taille micro et moyenne a augmenté et devrait continuer à augmenter à mesure que la technologie évolue. Il est probable que les micro ROV deviendront encore moins chers, plus robustes, plus faciles à utiliser et équitables avec plus de technologie de capteur externe dans les années à venir.

Comme présenté dans la méthodologie de ce chapitre, les données de marché sur les systèmes ROV sont rares. Bien que le marché des ROV offshore remonte à plusieurs décennies, les données du marché sont limitées et ne sont pas entièrement accessibles au public. Dans une première tentative quantitative d'évaluation des marchés de l'offshore et des micro ROV, une analyse structurée des rapports de marché des

principaux fournisseurs de données a été menée. Sur la base d'une recherche sur le Web en avril 2023, les données du marché mondial des ROV offshore et les valeurs prévisionnelles ont été collectées et combinées. En conséquence, un certain nombre de 15 rapports de marché ont été regroupés, dont 10 rapports contiennent des données de la classe d'intervention et 4 rapports contiennent des données de classe d'inspection. Les approches de collecte et de regroupement des données de marché ROV n'ont pas été menées dans la littérature existante et cette tentative ne reflète qu'une brève analyse basée sur les données de marché disponibles. Les rapports ont évalué les valeurs actuelles du marché mondial des ROV entre 2021 et 2023 ainsi qu'une prévision du marché basée sur le taux de croissance annuel composé (TCAC). Quinze données de rapport sur le marché des ROV offshore ont été recueillies à l'aide d'une recherche sur le Web de données accessibles au public. Les valeurs CAGR ont été calculées annuellement pour la période 2022-2030 en utilisant les valeurs fournies. En raison du fait que les valeurs présentaient un écart important entre les différentes prévisions de marché, le troisième quartile de chaque valeur a été appliqué. Il en est résulté que 11 rapports ont été inclus dans le calcul et que quatre rapports ont été ignorés. Un rapport n'a fourni que des prévisions CAGR sans le taux de valeur annuel du marché, il a donc été inclus dans l'évaluation CAGR mais pas dans le calcul de la valeur annuelle. Après l'application du troisième quartile, la valeur moyenne de chaque année a été calculée à partir des données du marché des ROV offshore. Seuls quatre rapports ont été trouvés sur le marché des micro ROV avec un écart de valeur limité, de sorte que les valeurs moyennes ont été choisies sans exclusion de quartile.

L'évaluation du marché dans le tableau 1 indique des taux de croissance du TCAC similaires jusqu'en 2030 de 8,21 % pour la classe d'intervention et de 8,09 % pour la classe d'inspection. Les valeurs marchandes totales, cependant, sont 5 à 6 fois plus élevées dans la classe d'intervention compte tenu de l'investissement très important en matériel. La valeur marchande des micro ROV en 2022 est de 420 millions. \$ (Figure 3). Il est à noter que l'évaluation du TCAC suppose une croissance linéaire dont le pouvoir explicatif est limité, bien qu'elle souligne la prédiction d'une certaine tendance. La tendance implique que le marché mondial des ROV des deux grandes classes doublera presque d'ici 2030, comme le montrent les figures 3 et 4 , soulignant une fois de plus l'argumentation du potentiel d'innovation de ce matériel.

| | Année | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | TCAC |
|-------------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| Classe d'intervention | N | dix | dix | dix | dix | dix | dix | dix | dix | dix | 11 |
| | Moyenne (Mil \$) | 2.800 | 3.047 | 3.323 | 3.626 | 3.960 | 4.328 | 4.733 | 5.179 | 5.635 | 8,21 |
| | Delta (Mil \$) | 752 | 870 | 1.008 | 1.173 | 1.368 | 1.597 | 1.867 | 2.185 | 2.582 | 2,48 |
| Classe d'inspection ROV | N | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| | Moyenne (Mil \$) | 420 | 451 | 485 | 522 | 562 | 605 | 653 | 706 | 763 | 8,09 |
| | Delta (Mil \$) | 168 | 170 | 174 | 177 | 183 | 190 | 200 | 212 | 228 | 3,34 |

Tableau 1.

Prévisions du marché mondial des ROV 2022-2030.

Source:Auteur.

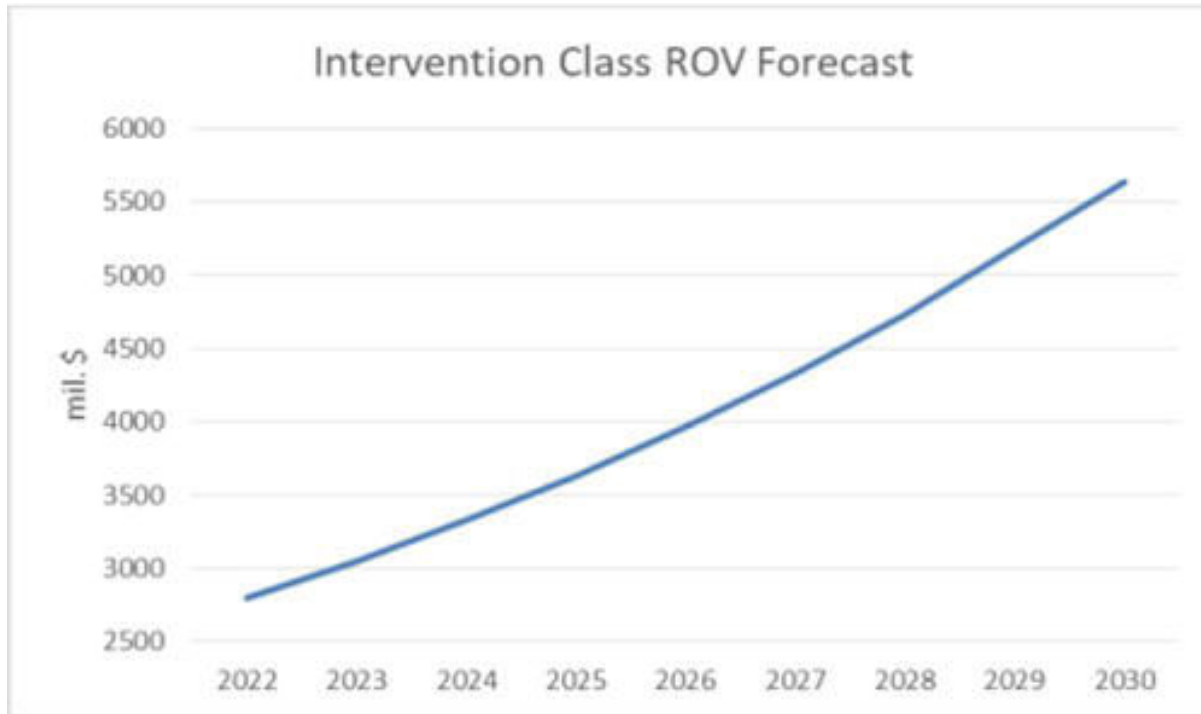


Figure 3.

Prévisions du marché mondial des ROV 2022-2030.Source:Auteur.

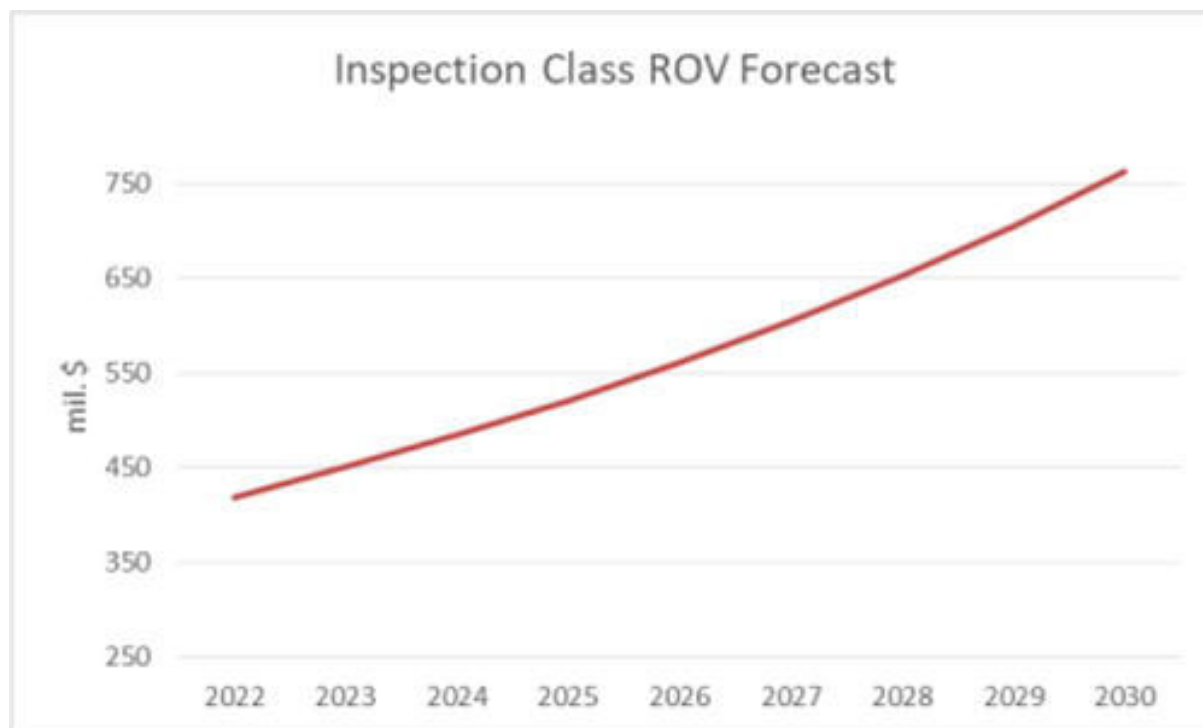


Figure 4.

Prévisions du marché mondial des ROV 2022-2030. Source: Auteur.

3.1 Vue d'ensemble du système Micro ROV

Il a été signalé en 2015 que 700 ROV étaient en service dans le monde alors que plus de 550 étaient des systèmes de classe d'intervention [21]. Ce nombre semble exclure la classe des microROV, laissant les 150 systèmes ROV existants plus susceptibles d'être liés à des équipements spécialisés plutôt qu'à des produits industriels standard. Une première analyse de marché utilisant la recherche Web sur les systèmes de micro ROV dans la figure 5 révèle un certain nombre de 22 systèmes micro ROV entrés sur le marché au cours de la dernière décennie depuis 2012. Ces systèmes ROV ont été lancés par 12 fabricants mondiaux, principalement fondés au cours des deux dernières décennies entre 2001 et 2016. Afin de différencier les systèmes évalués des autres ROV classes, un coût d'investissement maximal de 25 000 \$ a été défini comme seuil supérieur. Les systèmes dépassant cette limite n'ont pas été pris en compte dans cette évaluation. Figure

5r v le les systèmes de micro ROV par leur entrée sur le marché ainsi que leurs c ts (basés sur les valeurs de 2023) et leur cote de profondeur opérationnelle maximale. Le SeaOtter-1 marque le tournant en 1994, étant le premier micro ROV de moins de 25.000\$. Il est possible que ce système soit plus cher à l'entrée sur le marché compte tenu de la valeur monétaire passée, mais en 2023, son prix de marché est resté autour de 21.000\$. Le SeaOtter-1 a été mis à niveau vers une version 2 en 2007, près d'une décennie avant que la majorité des autres systèmes n'entrent sur le marché. L'âge moyen de lancement sur le marché est 2017/2018, alors que le plus grand nombre de systèmes de micro ROV est entré sur le marché en 2020.

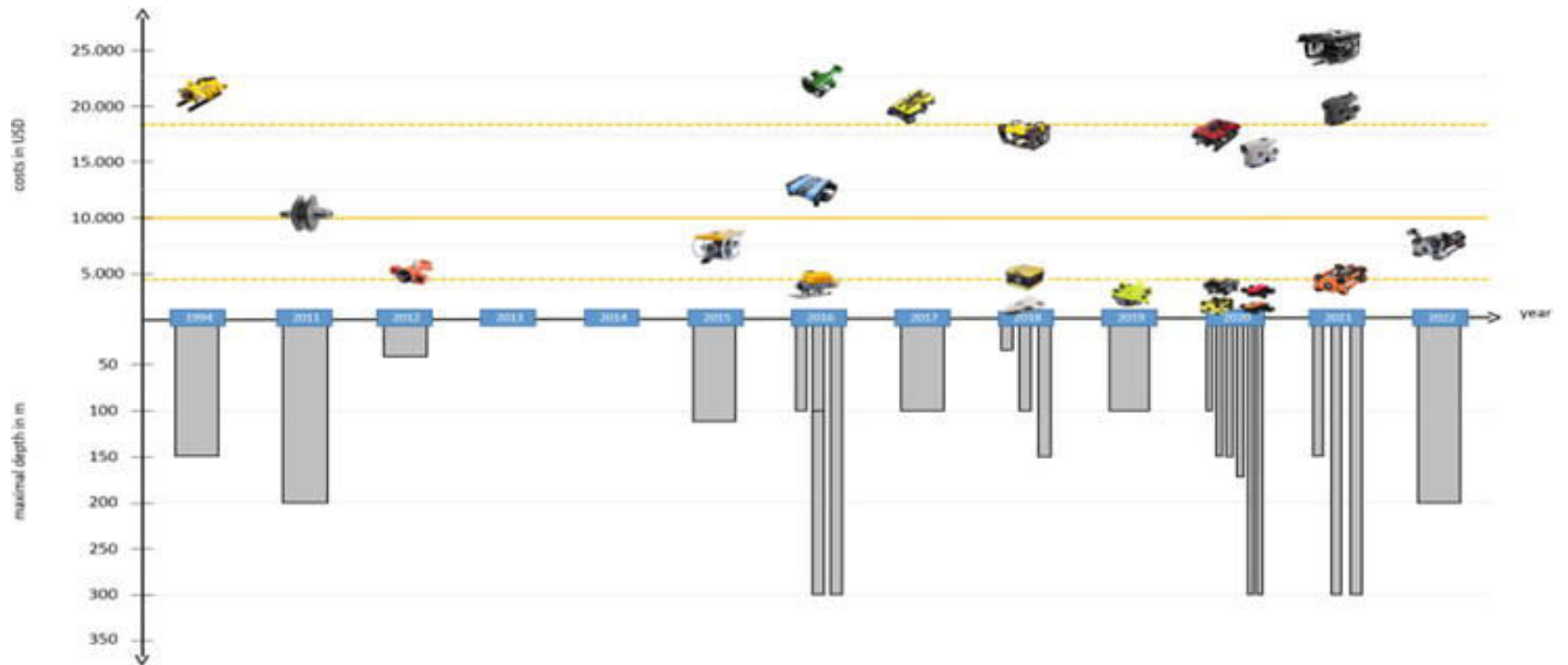


Figure 5.

Aperçu du marché des micro ROV en fonction du prix, de la profondeur et de la version. Source: Auteur.

Du point de vue de l'investissement, le coût moyen d'un système micro ROV est de 10 350 \$, cependant, seul le DTG-2 lancé en 2011, plus tard en 2019, est mis à niveau vers les gammes de systèmes DTG-3 à ce niveau de prix sur la base des données du marché de 2023. Les données révèlent que deux clusters au sein du segment micro ROV se sont formés, étant des systèmes au-dessus de la valeur moyenne d'env. 10.000\$ et ceux ci-dessous. Le prix moyen du cluster le plus cher atteint 17.900\$ alors que le cluster le moins cher oscille en moyenne à 4.100\$. Bien que ces résultats n'offrent qu'un premier caractère superficiel où des recherches plus approfondies sont nécessaires pour des déclarations plus valables, ils révèlent que deux clusters sur le marché des micro ROV se sont formés depuis 2011.

Du point de vue de la profondeur opérationnelle, les systèmes micro ROV atteignent en moyenne une profondeur de plongée maximale de 100 m ou 305 m (1.000 ft). Certains systèmes individuels offrent des tarifs intermédiaires, mais aucun système micro ROV ne dépasse officiellement le niveau de 305 m (1 000 pieds). Il convient de mentionner, cependant, que la configuration standard des systèmes ROV évalués comprend une longueur de câble inférieure à leur cote de profondeur maximale. Certains ROV tels que le BlueROV2 nécessitent un matériau de cadre différent remplaçant le plastique par de l'aluminium pour des profondeurs plus importantes. Afin d'atteindre le maximum opérationnel du système, les investissements requis dépassent les valeurs standards affichées. Parmi les 12 fabricants mondiaux de micro ROV, la Chine est le principal pays d'origine avec cinq entreprises, comme indiqué dans le [tableau 2](#). Il a été mentionné au début que les systèmes micro ROV offrent un haut degré de flexibilité en termes d'opérations. Les données de poids du système du ROV et de toutes ses stations de contrôle nécessaires nécessitent cependant une évaluation différenciée de chaque système en fonction des besoins opérationnels individuels. Certains systèmes pèsent jusqu'à 37 kg, ce qui est difficile à mettre à l'eau sans treuils et impossible à transporter, par exemple, sur une échelle de pilotage à bord d'un navire au mouillage. De plus, certains systèmes fonctionnent sur batteries tandis que d'autres nécessitent une source d'électricité.

| Fabricant | Trouvé. | Pays | ROV | commencer | kg | Profondeur | Coût |
|--------------------------------|---------|------------|-------------|-----------|----|------------|-------------|
| Aquabotix | 2011 | Australie | Hydroview | 2012 | 16 | 45 | 5.500 |
| Aquabotix | 2011 | Australie | Endura 300 | 2016 | 7 | 305 | 17-25.000 |
| Robotique bleue | 2014 | Etats-Unis | BleuROV2 | 2016 | 12 | 100-305 * | 10-15.000 * |
| Blueye Robotique | 2015 | Norvège | Blueeye Pro | 2020 | 9 | 305 | 15.000 |
| Blueye Robotique | 2015 | Norvège | Blueeye X3 | 2021 | 9 | 305 | 20.000 |
| CCROV | 2015 | Chine | CCROV | 2018 | 5 | 100 | 4.500 |
| À la poursuite de l'innovation | 2016 | Chine | M2 | 2020 | 5 | 100 | 2.700 |

| Fabricant | Trouvé. | Pays | ROV | commencer | kg | Profondeur | Coût |
|--------------------------------|---------|------------|--------------------|----------------|----|------------|--------|
| À la poursuite de l'innovation | 2016 | Chine | M2 Pro | 2021 | 6 | 150 | 4.000 |
| À la poursuite de l'innovation | 2016 | Chine | M2 Max | 2022 | 8 | 200 | 7.500 |
| Deep Trekker inc. | 2010 | Canada | Pivot | 2021 | 16 | 305 | 25.000 |
| Deep Trekker inc. | 2010 | Canada | DTG-2 (3) | 2011 (2019) | 8 | 200 | 11.000 |
| Généinno | 2013 | Chine | T1 | 2020 | 4 | 150 | 3.000 |
| Généinno | 2013 | Chine | T1 Pro | 2020 | 4 | 175 | 4.700 |
| Gnome ROV | 2001 | Russie | Norme GNOM | 2015 | 18 | 120 | 7.500 |
| Gnome ROV | 2001 | Russie | Bébé GNOM | 2016 | 11 | 100 | 4.000 |
| Gnome ROV | 2001 | Russie | GNOMPro | 2018 | 35 | 150 | 17.000 |
| JW Pêcheurs | 1968 | Etats-Unis | SeaOtter-1(-2) | 1994 (2007) | 20 | 150 | 21.000 |
| MarineNav Ltd. | 2005 | Canada | Océanus Mini | 2017 | 37 | 100 | 20.400 |
| MarineNav Ltd. | 2005 | Canada | Océanus Hybride | 2020 | 22 | 305 | 17.000 |
| Powervision | 2009 | Chine | rayon de puissance | 2018 | 4 | 30 | 950 |
| QYSEA | 2016 | Chine | Poisson V6 | 2019 | 4 | 100 | 1.500 |
| QYSEA | 2016 | Chine | Poisson V6 Plus | 2020 | 5 | 150 | 3.000 |

Tableau 2.

Aperçu du marché des micro ROV.

*

matériau de cadre variable.

Source:Auteur.

3.2 Opérations du microROV

Après avoir fourni un premier aperçu du marché et une étude du système ci-dessus, l'intention de ce chapitre est de mettre également en évidence les différentes options opérationnelles des systèmes de micro ROV qui seront très probablement de plus en plus utilisées dans un avenir proche. Un premier aperçu systématique a été fourni en 2017 [[1](#)], tandis que le [tableau 2](#) présente une version mise à jour comprenant des zones d'opérations supplémentaires et un éventail plus large d'opérations ROV actuelles et futures.

Bien qu'elles ne soient pas collectées à dessein pour des raisons de sciences marines, les sociétés offshore au cours des dernières décennies ont collecté un trésor considérable de données grâce à l'enregistrement vidéo de leurs opérations ROV. Les vidéos et les images de ROV industriels représentent l'un des ensembles de données visuelles les plus importants disponibles sur les océans [[22](#) , [23](#) , [24](#)]. Des études ont déjà pris en compte les données historiques des ROV pour caractériser les communautés fauniques et les récifs au sein des infrastructures pétrolières et gazières [[3](#) , [25](#) , [26](#)]. Ces données aident à comprendre l'impact des opérations pétrolières et gazières sur la faune marine et, par conséquent, à évaluer ses avantages environnementaux, sociaux et économiques. D'autres contributions appliquent les systèmes ROV à la cartographie des fonds marins [[27](#)], où les systèmes micro ROV pourraient également trouver un rôle d'assistance à l'avenir. Compte tenu des limitations de profondeur des systèmes micro ROV actuels de 305 m (1 000 pieds), les opérations de recherche ROV en haute mer inférieures à [[24](#)] nécessiteront en outre des solutions de classe d'intervention.

En ce qui concerne la réponse aux catastrophes, les systèmes ROV ont déjà été appliqués et ont fourni des connaissances scientifiques. En 2011, à la suite du tremblement de terre et du tsunami de Tokoku au Japon, des systèmes de micro-ROV ont été utilisés pour inspecter les infrastructures critiques et aider à l'identification des victimes [[28](#) , [29](#)]. Différents systèmes ont été appliqués le long de la côte de Sanriku et de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi. En 2015, un micro ROV a été exploité sur l'épave du Costa Concordia [[30](#)] à des fins d'inspection et de documentation. Les systèmes ROV offrent une grande valeur pour les environnements inaccessibles ou dangereux et trouveront probablement plus d'applications dans les futures interventions en cas de catastrophe. L'archéologie sous-marine bénéficie déjà de systèmes micro ROV à des fins diverses, comme la plongée en binôme [[1](#)] documentation et reconnaissance de surface [[31](#)] et planification et soutien de sites sous-marins [[32](#)]. Surtout pour les sites archéologiques de taille limitée, les systèmes micro ROV offrent un grand avantage pour une opération rapide et mobile pour la documentation et la cartographie 3D. En 2023, un micro ROV de type Blueeye Pro a été exploité au nord de Berlin en Allemagne pour construire une documentation 3D d'épaves intérieures coulées jusqu'à 35 m de profondeur. Atteindre ces épaves nécessite des compétences avancées en plongée et des accidents de plongée se sont produits dans le passé en essayant d'atteindre ces épaves. L'opération ROV lancée à partir d'un bateau pneumatique en surface a été une fois de plus une démonstration très réussie des capacités du micro ROV dans le contexte de la cartographie 3D et de l'archéologie sous-marine, comme le montre la [figure 6](#)..

1: Dive buddy example



2: ROV at ship wreck



3: ROV-based 3D reconstruction



Figure 6.

Opération Micro ROV sur site archéologique. Source: Auteur et Kaffenkahn eV / Kai Dietterle et Uwe Klimek.

La guerre russo-ukrainienne de 2022 a montré que les opérations militaires ne se déroulent pas dans des zones reculées mais se déroulent à proximité des frontières occidentales. Il a été rapporté que des mines marines ont été utilisées devant le port d'Odessa en mer Noire dans le but de perturber le commerce maritime et d'empêcher les exportations de céréales [33]. La récupération de ces mines sera une opération militaire où les systèmes ROV joueront très probablement un rôle d'assistance. Des études ont déjà souligné les possibilités de détection par ROV des munitions non explosées (UXO) dans le passé. Une contribution de 2012 [34] décrit les capacités de détection ROV des UXO dans les opérations portuaires. Des contributions récentes connectent des systèmes ROV spécialisés pour la détection électromagnétique [35] avec détection d'UXO dans le cadre d'études de site offshore [36]. Bien qu'ils ne soient pas spécifiquement nommés dans les contributions, les microROV peuvent fournir un service à valeur ajoutée pour confirmer les détections suspectes et/ou fournir une confirmation visuelle des découvertes potentielles d'UXO. En raison de leur grande maniabilité et de leur faible risque financier, les petits systèmes ROV sont un choix précieux pour l'évaluation de proximité des mines. Un test de 2022 dans les eaux allemandes a confirmé l'applicabilité des micro ROV à proximité très étroite des UXO, comme le montre la [figure 7](#) .

4: UXO type "Ankertau"



5: UXO type "Ankertau" close



6: UXO type „anti invasion“



Figure 7.

Exemples de détection visuelle d'UXO d'un micro ROV. Source: Auteur.

Du point de vue de la sécurité, les systèmes micro ROV fourniront en outre des services à valeur ajoutée aux opérations maritimes. La sûreté maritime est définie depuis 2002 par le Code international pour la sûreté des navires et des installations portuaires (ISPS) dans le cadre de la convention SOLAS (Safety of Live at Seas). Les drones en général ont été évalués en fonction de leur potentiel d'assistance ISPS d'un point de vue opérationnel [37]. Il est démontré que les opérations ROV peuvent aider les 3 principales catégories d'opérations ISPS de surveillance, d'inspection et de gestion, soit en assistant les opérations humaines, soit en les remplaçant par une opération à distance complète [37] .

L'inspection industrielle de l' infrastructure reflète le plus grand domaine opérationnel pour les systèmes de micro ROV , comme indiqué dans le tableau 3 . Un nombre croissant d'inspections et d'essais a conduit à un nombre accru de publications et est susceptible de contribuer davantage aux études futures. Parmi les domaines d'inspection les plus importants conformément aux objectifs de développement durable (ODD) de la figure 2 figure l'inspection des coques de navires pour la réduction des émissions. Les salissures marines sont définies comme des algues, des punaises, des moules et des balanes qui se fixent à la coque du navire lorsque celui-ci ne bouge pas. Cet encrassement augmente la traînée du navire, entraînant une augmentation de la consommation de carburant afin de maintenir une certaine vitesse. Les premières contributions chiffrent cette surconsommation de carburant entre 6,5 et 17,6 % [38]. L'aspect de l'inspection de coque de navire basée sur ROV a été introduit pour la première fois par [39] en 1983 en utilisant un véhicule magnétique attaché à la coque. Ces systèmes, cependant, ne fonctionnent que sur des surfaces relativement propres, alors que dans des conditions d'encrassement marin intense, les roues magnétiques ne peuvent pas se fixer à la coque. Les systèmes ROV de plongée ont ensuite été testés et jugés plus adaptés à ces opérations, la première étude remontant à 1999 [40]. Les systèmes de micro ROV de plongée permettent une inspection rapide de la coque du navire compte tenu de leur bonne maniabilité et, comme le montre la figure 5 , les coûts d'investissement et la profondeur opérationnelle sont uniformément favorables pour les inspections de navires de moins de 20 m de profondeur.

| science maritime | Réponse désastreuse | Archéologie sous-marine | Des opérations militaires | Sécurité | Inspection industrielle | |
|-----------------------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| | | | | | Offshore | Littoral |
| Océanographie | Détection de marée noire | Récupération d'artefacts | Identification des UXO | Détection de contrebande | Inspection de parcs éoliens | Inspection portuaire |
| Recherche sur les récifs | Accidents maritimes | Documentation | Surveillance | | Inspection des canalisations | Inspection des navires |
| Évaluation de la qualité de l'eau | Recherche et sauvetage | Copain de plongée | | | Inspection de plate-forme pétrolière | Inspection de pont |
| Recherche sur la faune | Détection de filet fantôme | | | | | Inspection du réservoir |

| science maritime | Réponse désastreuse | Archéologie sous-marine | Des opérations militaires | Sécurité | Inspection industrielle | |
|------------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|----------|-------------------------|--------------------------------|
| | | | | | Offshore | Littoral |
| | | | | | | Inspection aquacole |
| | | | | | | Inspection en milieu dangereux |

Tableau 3.

Micro ROV Operation Framework Source : Auteur basé sur [1].

*Source:*Auteur.

Comme déjà mentionné, les systèmes de micro ROV permettent une nouvelle façon de collecter des données importantes pour diverses opérations maritimes présentées dans le tableau 3 . La bonne exploitation de ces données suit quatre grandes étapes révélées dans la Figure 8 ; étant l'acquisition des données, le stockage, ainsi que la visualisation et la transformation des données. Le stockage des données est généralement effectué par des bases de données fournies par une partie prenante (par exemple, un port, un exploitant de navire, une installation de recherche) ou via un stockage en nuage sur le Web, en fonction des exigences individuelles en matière d'accessibilité et de sécurité des données. Pour améliorer encore la sécurité des données accompagnées de séquences ROV, les premières études discutent de l'utilisation de la technologie blockchain [41] pour une communication sécurisée au sein des réseaux ROV. Cet aspect gagnera probablement en importance à l'avenir en ce qui concerne les opérations en essaim d'AUV et nécessite des recherches supplémentaires en vue de son applicabilité dans le domaine des ROV. La visualisation des données est un sujet d'intérêt actuel dans l'industrie et ses parties prenantes. Une méthode classique de visualisation de données par drone réside dans les modèles 3D basés sur la photogrammétrie où les points de différentes photos de la même infrastructure sont connectés à un nuage de points et plus tard à un modèle 3D photoréaliste. L'utilisation de véhicules aériens sans pilote pour la modélisation 3D dans les opérations portuaires a déjà été introduite [42] tandis que la modélisation 3D des infrastructures sous-marines gagne actuellement en importance. Les modèles 3D d'infrastructure permettent une visualisation tridimensionnelle de l'infrastructure, mais le modèle lui-même reste statique sans intégration de données possible. Les données peuvent être alignées sur un modèle 3D à l'aide d'une structure de tableau de bord, où le modèle 3D et les données sont affichés séparément. Une autre approche plus moderne avec un intérêt industriel et académique croissant est la combinaison d'un modèle 3D et de flux de données dans un jumeau numérique en tant que combinaison d'une infrastructure 3D directement connectée à ses sources de données. [43] . La dernière étape est la transformation des données, où les données collectées et visualisées sont utilisées pour acquérir de nouvelles connaissances. Cela peut être réalisé via des prévisions ou des analyses statistiques plus avancées qui, pour des raisons de simplicité, sont regroupées sous le terme

plus large de « science des données ». De plus, l'étape de transformation permet l'entraînement de l'intelligence artificielle, comme cela sera présenté au chapitre 4.

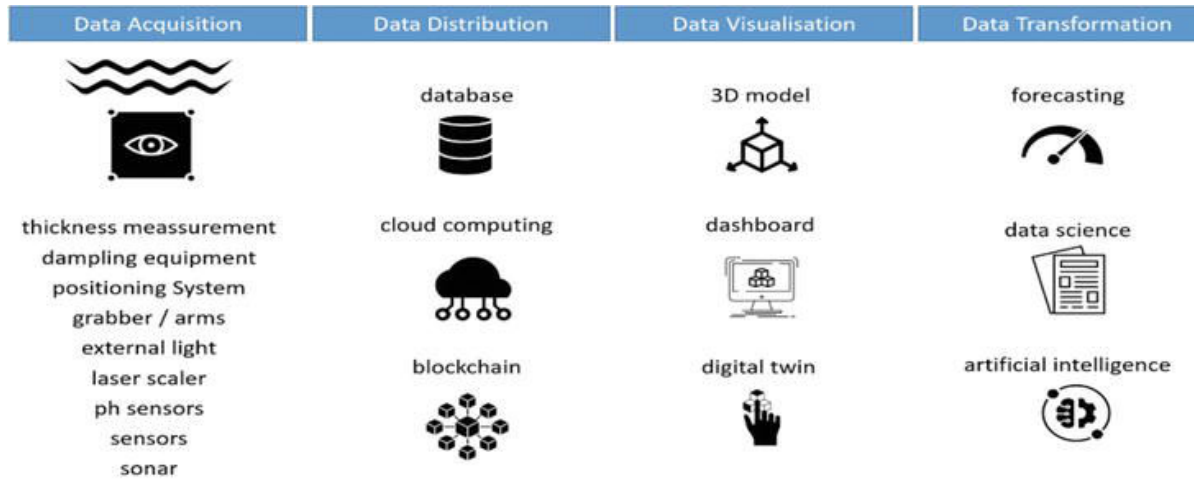


Figure 8.

Étapes de gestion des données basées sur ROV et ses applications. Source: Auteur.

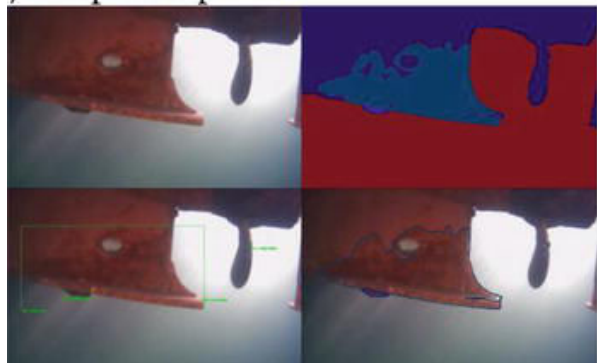
4. Introduction de l'IA dans les opérations de micro ROV

L'intelligence artificielle (IA) dans le cadre des algorithmes généraux est un sujet de l'informatique moderne avec un énorme intérêt. Depuis l'acquisition de ChatGPT en 2023 [44] L'IA a été largement débattue dans les médias, allant des solutions à valeur ajoutée à la science-fiction dystopique. L'exemple de ChatGPT montre comment le traitement du langage naturel (NLP) peut atteindre une logique de type humain, également appelée intelligence. La PNL, cependant, n'est qu'un aspect de l'IA, alors qu'un autre aspect des réseaux de neurones ou de l'apprentissage en profondeur offre des scénarios beaucoup plus applicables pour les drones sous-marins, devenant ainsi "un grand sujet de recherche" [45] avec l'émergence de véhicules sous-marins résolvant le problème de comment collecter des images sous-marines [46]. C'est principalement grâce à l'amélioration de la puissance de calcul que les réseaux de neurones peuvent être intégrés dans les tâches opérationnelles. De puissants langages informatiques modernes tels que Python et Tensorflow avec leur nombre rapide de bibliothèques et de puissants modèles profonds [47] stimulent encore les développements dans ce domaine. Obtenir des données de haute qualité pour la formation en réseau a également été une tâche difficile pendant longtemps [48] avec des dépendances déjà introduites des chercheurs vis-

à-vis des entreprises ou des fournisseurs de données [3] qui changent également avec la montée en puissance des systèmes micro ROV. Un défi restant réside dans l'étiquetage des données, qui à ce stade nécessite un travail manuel détaillé et chronophage. Les étapes d'étiquetage doivent souvent être dupliquées des centaines ou des milliers de fois pour construire un réseau profond robuste [48]. L'absence de réseaux profonds existants pour les applications sous-marines définit une lacune actuelle dans la recherche qui doit être comblée par des études [47]. Ces projets sont en outre confrontés au fait que le contenu visuel sous-marin est entièrement différent en raison des catégories d'objets spécifiques au domaine, des motifs d'arrière-plan et des artefacts de distorsion optique [47], ce qui rend inapplicables les applications des modèles d'approches de réseaux de neurones basés sur des données terrestres bien connus [47]. Il est en outre indiqué que, sur la base de l'absence de littérature NN sous-marine, les réseaux existants sont souvent limités à l'exécution de tâches simples mais ne sont pas adaptés à la segmentation sémantique multi-objets [47] .

L'objectif sous-jacent de la segmentation sémantique est de classer chaque pixel d'une image par rapport à sa catégorie classée pour, finalement, prédire une carte résultat contenant des informations « sémantiques » [46]. La segmentation sépare essentiellement la source en parties individuelles et sans chevauchement pour l'analyse et la compréhension d'images par ordinateur [49]. Le défi sous l'eau, cependant, réside dans les conditions d'éclairage changeantes, l'existence de flou et l'absence de caractéristiques claires de premier plan et d'arrière-plan, ce qui fait que la segmentation des images sous-marines est en retard par rapport aux méthodes terrestres [49]. Alors que les contributions initiales se concentrent sur les poissons ou d'autres modèles sous-marins distincts, des études plus avancées actuellement en cours expérimentent la reconnaissance de l'encrassement marin avec des structures floues, comme le montre la [figure 9](#) .

7: Ship example



8: Ship and port wall comparison

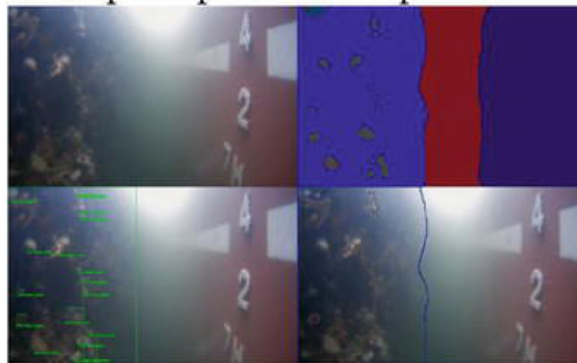


Figure 9.

Exemples d'IA sous-marine de détection d'encrassement. Original en haut à gauche ; sortie en haut à droite ; exemples d'opérations en bas à gauche et à droite. Source: Auteur.

En utilisant un modèle d'encodeur-décodeur avec une architecture personnalisée, l'encrassement marin sur les coques de navires peut être identifié dans les conditions sous-marines difficiles mentionnées ci-dessus dans divers exemples de complexité. L'application d'un réseau neuronal profond personnalisé à l'imagerie sous-marine peut être un moyen efficace d'identifier différentes classes d'encrassement biologique sur les coques de navires. En entraînant le réseau neuronal sur un ensemble de données d'images étiquetées de biosalissures, le système peut apprendre à reconnaître et à classer divers types d'organismes marins et autres débris qui s'accumulent sur la coque. Cela peut aider les armateurs et les exploitants à mieux comprendre l'étendue et le type d'encrassement biologique sur leurs navires, ce qui peut à son tour éclairer les décisions concernant les calendriers de nettoyage et d'entretien de la coque. De plus, l'utilisation d'une analyse d'image automatisée peut être plus efficace et précise que les méthodes d'inspection manuelles,

5. Conclusion

L'essor des microsystèmes ROV au cours de la dernière décennie a ouvert un scénario potentiellement révolutionnaire pour les sciences marines et l'entrepreneuriat. Depuis les années 1970, les systèmes ROV sont des systèmes énormes, complexes et coûteux qui ne sont accessibles qu'à quelques entreprises, principalement dans l'industrie pétrolière et gazière. Comparable à l'avènement des ordinateurs personnels dans chaque foyer, la classe micro ROV ouvre le domaine de l'inspection sous-marine et de la collecte de données aux marchés ouverts de manière rapide, facile à utiliser et relativement bon marché. Alors que l'utilisation de cette nouvelle technologie dans le milieu universitaire et dans l'industrie a augmenté, il existe encore aujourd'hui un déficit de recherche considérable.

Ce chapitre présente la classe des micro ROV à la fois d'un point de vue académique et commercial en introduisant des données initiales sur le marché, une analyse complète de la littérature et une analyse de cadre structuré comme base pour les recherches futures. L'auteur présente quatre principaux domaines de tendances de croissance croissantes des ROV sur la base des objectifs de développement durable de l'industrie maritime, à savoir la transition énergétique mondiale, la production mondiale de produits de la mer et la réduction des émissions dans le transport maritime et les sciences marines en général. Sur la base de la littérature existante, le cadre des opérations ROV des systèmes micro ROV est différencié en 6 catégories principales : sciences marines, réponse aux catastrophes, archéologie sous-marine, opérations militaires, opérations de sécurité et inspection des infrastructures. Comme le développement du matériel de drone et son fonctionnement généreront inévitablement des données, 4 étapes de gestion des données ROV sont introduites. L'étape la plus avancée du transfert de données, aux yeux de l'auteur, réside dans l'application de l'intelligence artificielle en combinaison avec le matériel ROV. Cela signifie en détail l'utilisation de données générées par ROV pour des approches d'apprentissage en profondeur de la formation de réseaux de neurones pour la reconnaissance automatisée d'images. Ce concept relativement nouveau pour les données sous-marines est brièvement présenté.

Cette contribution ajoute de la valeur à la littérature existante en mettant en lumière le manque de littérature de la recherche sur le matériel micro ROV en général et en particulier en combinaison avec les opérations d'intelligence artificielle. D'autres recherches appliquées, y compris l'utilisation de systèmes micro ROV, sont nécessaires pour mieux tirer des conclusions sur le potentiel introduit de cette technologie émergente.

Les références

1. 1.Capocci R, Dooly G, Omerdić E, Coleman J, Newe T, Toal D. Véhicules télécommandés de classe inspection - Un examen. Journal des sciences et de l'ingénierie marines. 2017 ;5(1):13
2. 2.The Nippon Foundation—GEBCO Seabed 2030 Project. Près d'un cinquième du plancher océanique mondial est désormais cartographié. Disponible depuis:https://www.gebco.net/documents/seabed2030_brochure.pdf[consulté le 04 avril 2023]
3. 3.McLean DL, Macreadie P, White DJ, Thomson PG, Fowler A, Gates AR, et al. Comprendre la valeur scientifique globale des données ROV de l'industrie, pour quantifier l'écologie marine et guider les stratégies de démantèlement offshore. Dans : Actes de la Offshore Technology Conference Asia, Kuala Lumpur, Malaisie, 20-23 mars. Houston, Texas : conférence sur les technologies offshore ; 2018. DOI : 10.4043/28312-MS
4. 4.Visbeck M. La recherche scientifique sur les océans est la clé d'un avenir durable. Communication Nature. 2018 ;9:690. DOI : 10.1038/s41467-018-03158-3
5. 5.Sprague KL. Applications civiles et implications politiques des véhicules aériens commerciaux sans pilote [Thèse de doctorat] Massachusetts Institute of Technology. 2004
6. 6.Longo F, Padovano A, Caputi L, Gatti G, Fragiaco P, D'Augusta V, et al. Simulation distribuée pour les jumeaux numériques : une application pour prendre en charge la robotique autonome pour le navire étendu. Dans : 2022 IEEE/ACM 26th International Symposium on Distributed Simulation and Real Time Applications (DS-RT). IEEE ; 2022, septembre. p. 179-186
7. 7.Glaser B, Strauss A. Théorie ancrée : La découverte de la théorie ancrée. Sociologie : Le Journal de la British Sociological Association. 1967;12:27-49
8. 8.Strauss A. Notes sur la nature et le développement des théories générales. Enquête qualitative. 1995 ;1(1):7-18
9. 9.Strauss A, Corbin JM. Théorie ancrée dans la pratique. Sauge : Thousand Oaks, Californie ; 1997
10. dix.Strauss A, Corbin JM. Méthodologie de la théorie ancrée. Manuel de recherche qualitative. 1994 ;17:273-285
11. 11.Miles MB, Huberman AM. Analyse des données qualitatives : un livre source de nouvelles méthodes. Beverly Hills, Californie : Sage ; 1994
12. 12.Shields P, Rangarajan N. A Playbook for Research Methods: Integrating Conceptual Frameworks and Project Management. Stillwater : Nouvelle presse des forums ; 2013
13. 13.Maxwell JA. Conception de recherche qualitative, une approche interactive. 3e éd. Thousand Oaks, Californie : Sage ; 2013

- 14.14. Organisation maritime internationale. L'OMI et les objectifs de développement durable. 2015. Disponible à partir de : <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/SustainableDevelopmentGoals.aspx> [consulté le 04 avril 2023]
- 15.15. Fowler AM, Jørgensen AM, Svendsen JC, Macreadie PI, Jones DO, Boon AR, et al. Avantages environnementaux de laisser l'infrastructure offshore dans l'océan. *Frontières de l'écologie et de l'environnement*. 2018 ;16:571-578. DOI : 10.1002/frais.1827
- 16.16. Les Nations Unies. Journée des Huit Milliards. 2022. Disponible à partir de : <https://www.un.org/en/dayof8billion> [consulté le 04 avril 2023]
- 17.17. Klepaker RA, Vestgård K, Hallset JO, Balchen JG. L'application d'un ROV à nage libre en aquaculture. *Actes de l'IFAC*. 1987;20(7):181-185
- 18.18. Amundsen HB, Caharija W, Pettersen KY. Inspections autonomes par ROV d'enclos aquacoles en filet à l'aide de DVL. *Journal IEEE de génie océanique*. 2021 ;47(1):1-19
- 19.19. Karlsen HØ, Amundsen HB, Caharija W, Ludvigsen M. Aquaculture autonome : Mise en œuvre d'un système de contrôle de mission autonome pour les opérations de véhicules sous-marins sans pilote. Dans : *OCEANS 2021. San Diego-Porto* : IEEE ; 2021, septembre. p. 1-10
- 20.20. Akram W, Casavola A, Kapetanović N, Mišković N. Un schéma d'asservissement visuel pour l'inspection autonome des enclos en filet d'aquaculture à l'aide d'un ROV. *Capteurs*. 2022 ;22(9):3525
- 21.21. IMCA. IMCA World-Wide ROV Personnel and Vehicle Statistics for 2014. Richmond, VA : International Marine Contractors Association ; 2015
- 22.22. Date de naissance Jones. Utilisation de véhicules télécommandés industriels existants pour la science sous-marine. *Zoologica Scripta*. 2009 ;38:41-47. DOI : 10.1111/j.1463-6409.2007.00315.x
- 23.23. Gates ART, Horton A, Serpell-Stevens C, Chandler LJ, Grange K, Robert A, et al. Rôle écologique d'une structure artificielle d'industrie offshore. *Frontières des sciences marines*. 2019 ;6:675. DOI : 10.3389/fmars.2019.00675
- 24.24. Macreadie PI, McLean DL, Thomson PG, Partridge JC, Jones DOB, Gates A, et al. Les yeux dans la mer : percer les mystères de l'océan à l'aide de véhicules industriels télécommandés (ROV). *Science de l'environnement total*. 2018 ;634:1077-1091. DOI : 10.1016/J.SCITOTENV.2018.04.049
- 25.25. Pradella N, Fowler AM, Booth DJ, Macreadie PI. Assemblages de poissons associés aux structures de l'industrie pétrolière sur le plateau continental du nord-ouest de l'Australie. *Journal de biologie des poissons*. 2014 ;84:247-255. DOI : 10.1111/jfb.12274
- 26.26. Thomson PG, Fowler AM, Davis AR, Pattiaratchi CB, Booth DJ. Certains vieux films deviennent des classiques - une étude de cas déterminant la valeur scientifique des images d'inspection ROV sur une plate-forme sur le plateau nord-ouest de l'Australie. *Frontières des sciences marines*. 2018 ;5:471. DOI : 10.3389/fmars.2018.00471
- 27.27. Lambertini A, Menghini M, Cimini J, Odetti, et al. Architecture de drone sous-marin pour jumeau numérique marin : leçons tirées du projet SUSHI DROP. *Capteurs*. 2022 ;22(3):744

- 28.28.Murphy RR, Dreger KL, Newsome S, Rodocker J, Steimle E, Kimura T, et al. Utilisation de véhicules marins télécommandés à Minamisanriku et Rikuzentakata au Japon pour la reprise après sinistre. Dans : 2011 IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics. IEEE ; 2011, novembre. p. 19-25
- 29.29.Osumi H. Application des technologies robotiques aux sites sinistrés. Dans : Leçons tirées de la catastrophe du tremblement de terre du Grand Est du Japon : Rapport du comité de recherche du JSME sur la catastrophe du tremblement de terre du Grand Est du Japon. Tokio : Société japonaise des ingénieurs en mécanique ; 2014. p. 58-73
- 30.30.Allotta B et al. Développement du Nemo ROV pour l'inspection de l'épave du Costa Concordia. Actes de l'Institution of Mechanical Engineers, Part M, Journal of Engineering for the Maritime Environment. 2015 ;231(1):3-18
- 31.31.Forney C, Forrester J, Bagley B, McVicker W, White J, Smith T, et al. Reconstruction de surface des citernes maltaises à l'aide des données sonar ROV pour l'étude archéologique. Dans : Advances in Visual Computing : 7th International Symposium, ISVC 2011, Las Vegas, NV, USA, 26-28 septembre 2011. Actes, partie I 7. Berlin Heidelberg : Springer ; 2011. pages 461-471
- 32.32.Bruno F, Muzzupappa M, Lagudi A, Gallo A, Spadafora F, Ritacco G, et al. Un ROV pour soutenir la maintenance planifiée dans les sites archéologiques sous-marins. Dans : Océans 2015-Gênes. IEEE ; 2015, mai. p. 1-7
- 33.33.CNBC. La Russie et l'Ukraine se disputent les mines sous-marines alors que la crise alimentaire mondiale s'aggrave. 2022. Disponible sur :<https://www.cnn.com/2022/06/10/russia-and-ukraine-battle-overunderwater-mines-in-the-black-sea.html>[consulté le 04 avril 2023]
- 34.34.Keranen J, Schultz G, Bassani C, Segal S, Kinnaman B. Applications des véhicules télécommandés dans la caractérisation des ports et des sites portuaires : charges utiles, plates-formes, capteurs et opérations. Dans : 2012 Océans. IEEE ; 2012, octobre. p. 1-9
- 35.35.Schultz G, Miller J, Keranen J, Shubitidze F. Electromagnétisme à source contrôlée 3D basé sur ROV pour la détection et la classification des UXO. Dans : Symposium sur l'application de la géophysique aux problèmes d'ingénierie et d'environnement. Société des géophysiciens d'exploration et Société géophysique de l'environnement et de l'ingénierie ; 2021, juin 2021. p. 346-346
- 36.36.Chmatkov AA, Antonov NA. Expérience dans l'application d'un ROV spécialisé pour la détection d'UXO lors de l'exécution d'études de site offshore. Ingénierie et géophysique minière 2021. 2021 ;2021(1):1-6
- 37.37.Stein M. Intégration de véhicules sans pilote dans les opérations de sécurité portuaire : une analyse introductive et les premiers cadres applicables. Annuaire des océans. 2018 ;32:556-583
- 38.38.Adland R, Cariou P, Jia H, Wolff FC. Les effets sur l'efficacité énergétique du nettoyage périodique de la coque des navires. Journal de la production plus propre. 2018 ;178:1-13
- 39.39.Nicinski S. Développement d'un véhicule d'inspection de coque de navire télécommandé. Dans : Actes OCEANS'83. IEEE ; 1983, août. pages 583-587
- 40.40.Lynn DC, Bohlander GS. Effectuer des inspections de coque de navire à l'aide d'un véhicule télécommandé. Dans : Oceans' 99. MTS/IEEE. Monter la crête dans le 21e siècle. Conférence et exposition. Actes de conférence (IEEE Cat No. 99CH37008). Vol. 2. IEEE ; 1999, septembre. p. 555-562

- 41.41.Ahuja NJ, Kumar A, Thapliyal M, Dutt S, Kumar T, Pacheco DADJ, et al. Blockchain pour les drones sous-marins sans pilote : problèmes de recherche, défis, tendances et orientations futures. 2022. arXiv preprint arXiv:2210.06540
- 42.42.Stein M. Aérotriangulation et photogrammétrie dans les infrastructures sensibles - Comment l'industrie bénéficie de la modélisation 3D à faible coût réalisée par des véhicules aériens sans pilote (UAV). 2019
- 43.43.Chen G, Wang P, Feng B, Li Y, Liu D. La conception du cadre de l'usine intelligente dans l'industrie manufacturière discrète basée sur un système cyberphysique. Journal international de la fabrication intégrée par ordinateur . 2020 ;33(1):79-101
- 44.44.Forbes. Microsoft confirme son investissement de 10 milliards de dollars dans ChatGPT, modifiant ainsi la concurrence de Microsoft avec Google, Apple et d'autres géants de la technologie. 2023. Disponible à partir de :www.forbes.com/sites/qai/2023/01/27/microsoft-confirms-its-10-billion-investment-into-chatgpt-changing-how-microsoft-competes-with-google-apple-and-other-giants-de-la-technologie/?sh=2db5e8333624. [Consulté le 20 avril 2023]
- 45.45.Meng L, Hirayama T, Oyanagi S. Drone sous-marin avec caméra panoramique pour la reconnaissance automatique des poissons basée sur l'apprentissage en profondeur. Accès IEEE. 2018 ;6:17880-17886
- 46.46.Liu F, Fang M. Segmentation sémantique des images sous-marines basée sur Deeplab amélioré. Journal des sciences et de l'ingénierie marines. 2020 ;8(3):188
- 47.47.Islam MJ, Edge C, Xiao Y, Luo P, Mehtaz M, Morse C, et al. Segmentation sémantique de l'imagerie sous-marine : Dataset et benchmark. Dans : Conférence internationale IEEE/RSJ 2020 sur les robots et systèmes intelligents (IROS). IEEE ; 2020, octobre. pages 1769-1776
- 48.48.O'Byrne M, Pakrashi V, Schoefs F, Ghosh B. Segmentation sémantique de l'imagerie sous-marine à l'aide de réseaux profonds formés à l'imagerie synthétique. Journal des sciences et de l'ingénierie marines. 2018 ;6(3):93
- 49.49.Jian M, Liu X, Luo H, Lu X, Yu H, Dong J. Traitement et analyse d'images sous-marines : un examen. Traitement du signal : communication d'images. 2021 ;91:116088