

# À la conquête des abysses : les robots sous-marins

Les fonds sous-marins restent largement mystérieux. Cependant leur exploration et leur exploitation constituent des enjeux majeurs pour le futur de notre planète. L'exploitation de leurs ressources naturelles (ressources halieutiques et biologiques, minerais, pétrole et gaz) et l'étude de leur influence sur le climat sont des défis incontournables si l'on veut offrir un avenir aux générations futures. Les progrès de la robotique sous-marine permettent d'envisager une meilleure connaissance et une exploitation de ce milieu encore inaccessible à l'homme. Cet article présente l'état actuel de la technique en matière de robotique sous-marine, ses applications civiles (actuelles et abordables dans un futur proche) et, enfin, un panorama rapide d'un marché nouveau et attractif.

Par Dominique VILBOIS\*

**A**lors qu'ils occupent 70% de la surface de la planète, les mers et les océans restent encore largement méconnus, alors que leur exploration demeure un enjeu majeur pour le futur. On peut s'étonner qu'alors que les progrès scientifiques ont permis à l'homme de partir à la conquête de l'espace depuis une cinquantaine d'année, notre connaissance du milieu sous-marin reste imparfaite. Il faut en chercher la raison dans deux difficultés que l'on rencontre dès que l'on veut entreprendre d'explorer ce milieu : les pressions, qui deviennent rapidement extrêmes, et la difficulté à transmettre des communications dans le milieu aquatique.

L'enjeu que représente l'exploration (et, ensuite, l'exploitation) des océans s'est accru au cours des dernières décennies du fait de la raréfaction des ressources terrestres (minerais, pétrole), de l'opportunité d'accéder à des ressources alimentaires nouvelles et,

enfin, à l'heure où l'on parle de plus en plus de réchauffement de la planète, de l'interaction encore mal connue entre les océans et le climat.

---

## BREF HISTORIQUE

Ce sont les militaires qui, les premiers, ont essayé de conquérir cet espace avec le développement des sous-marins, habités et armés, offrant la possibilité de se déplacer en toute discrétion et d'intervenir par surprise.

Depuis une quarantaine d'années, les applications du sous-marin se sont élargies, et on peut les classer en trois grandes catégories : les applications militaires,

---

\* Président Directeur Général du Groupe ECA.

qui s'intéressent à des profondeurs relativement faibles (300 m), les applications scientifiques de l'océanologie et, plus récemment, l'exploitation *off-shore* des ressources en matières premières. Ces deux dernières catégories s'intéressent à des profondeurs beaucoup plus importantes (de 4 000 à 6 000 m, voire plus ; il est couramment admis que le site le plus profond est la Fosse des Mariannes, dans l'Océan Pacifique, avec une profondeur de près de 11 000 m). A ces grandes catégories d'applications qui représentent des enjeux économiques évidents s'ajoute la recherche d'épaves et d'objets abîmés en mer (l'exemple le plus médiatisé étant la recherche des boîtes noires des avions disparus en mer, comme celles du vol AF 447 Rio-Paris, retrouvées en mai 2011 après deux ans de tentatives infructueuses).

## LE ROBOT SOUS-MARIN, OUTIL D'EXPLORATION

Comment explorer de si grandes étendues dans un milieu aussi hostile ? Comment exploiter des gisements sous plusieurs centaines de bars de pression, alors que l'homme ne peut y accéder ? La réponse à ces deux questions est le robot sous-marin. L'idée n'est pas nouvelle : dès les années 1970, des robots télé-opérés permettaient de détruire des mines sous-marines sans exposer des vies humaines, et au milieu des années 1980, l'Epaulard (voir la photo 1), un robot autonome développé par ECA, explorait l'épave du paquebot Titanic, échoué par 3 800 m de fond, dans l'Atlantique Nord.



**Photo 1 :** L'Epaulard  
(Source : ECA)

L'évolution de la technologie, au cours des vingt dernières années, a permis de développer des robots sous-marins de plus en plus sophistiqués et de plus en plus dotés de l'autonomie décisionnelle leur permettant de s'affranchir de toute transmission d'informations avec la surface.

On distingue deux types de ces robots : les plus anciens, les ROV (*Remote Operated Vehicles*) (ou

robots télé-opérés) et, plus récemment, les AUV (*Autonomous Underwater Vehicles*). Les ROV ont un rayon d'action limité car ils sont reliés à la surface par un câble ombilical transportant leur énergie et permettant une communication à haut débit avec un opérateur. Ils sont le plus souvent utilisés pour explorer une zone limitée et sont capables de réaliser des interventions sous-marines grâce à des bras manipulateurs électriques ou hydrauliques (ce sont les ROV dits *Work-Class*). Ils sont utilisés pour des travaux sous-marins sur les champs pétroliers *off-shore*, pour des opérations de récupération (voir la photo 2) ou encore pour des opérations d'inspection ne nécessitant pas un rayon d'action important.

Les AUV sont beaucoup plus complexes puisque, n'étant pas reliés à la surface, ils doivent avoir des capacités d'autonomie en énergie et une autonomie décisionnelle leur permettant d'accomplir leur mission, et cela quelles que soient les circonstances (courants, obstacles...). Ils ont en revanche des rayons d'action pouvant atteindre plusieurs dizaines de miles nautiques et sont particulièrement adaptés pour des missions d'inspection ou de surveillance de zones étendues.

Les ROV et les AUV sont donc des outils complémentaires. Ainsi, c'est l'utilisation successive de ces deux types de robots qui a permis de retrouver les boîtes noires du vol Air-France 447. Au cours de la phase 4 des recherches, une zone de 10 000 km<sup>2</sup> a été explorée par trois AUV Remus 6000 (de la société



**Photo 2 :** Le ROV Victor 6000 de l'Ifremer  
(Source : ECA/ Ifremer)

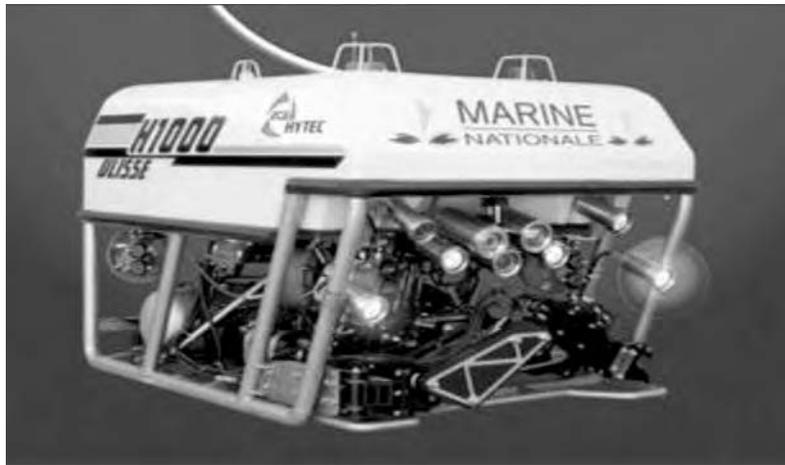


Photo 3 : Le ROV 1000, robot d'intervention de la Marine Nationale  
(Source : ECA).

Kongsberg). Au bout d'une semaine d'exploration, l'un des AUV mobilisés a pu détecter les débris du fuselage de l'A330 perdu en mer. Un ROV Remora 6000 (construit par Phoenix Int') a alors pu intervenir et récupérer les enregistreurs de vol.

Un robot sous-marin est un système plus ou moins complexe comprenant un véhicule sous-marin (constitué d'une coque, de propulseurs, de systèmes de navigation et de localisation, de guidage, de gestion de l'énergie, de communication), une charge utile composée de capteurs (caméras, sonars, échosondeurs, magnétomètres...) et d'actionneurs (pour les ROV) et, le cas échéant, de systèmes de prétraitement et de stockage d'informations, d'un système mécanique de lancement et de récupération (qui peut être sophistiqué, si le robot doit être lancé et/ou récupéré par mer forte) et, enfin, d'une station au sol (préparation de missions, exploitation des données et post-traitements, station de pilotage (pour les ROV)).

## LES ROV

Comme précisé précédemment, les ROV se caractérisent par le câble ombilical (ou plus simplement « l'ombilical ») qui les relie à leur station de pilotage. Cet ombilical a une fonction essentielle de transmission des signaux nécessaires à la télé-opération du véhicule (commande des différents propulseurs qui permet de déplacer et d'orienter le robot), ainsi que des signaux provenant des capteurs (caméras ou sonars) et, enfin, des ordres vers les actionneurs (projecteurs et bras manipulateurs). La photo 3 représente un ROV d'intervention utilisé par la Marine Nationale pour des opérations de recherche jusqu'à 1000 mètres de profondeur.

Cet ombilical achemine éventuellement l'énergie électrique lorsque des puissances importantes sont nécessaires à la réalisation de la mission. Dans un certain nombre de cas, les ROV peuvent toutefois être auto-

nomes en énergie grâce à des batteries embarquées sur le véhicule (on parle alors de ROV hybrides). Cette configuration ne concerne toutefois que des robots dont la mission est limitée soit à de l'observation, soit à des missions de courte durée.

La profondeur d'intervention est déterminante dans le choix des technologies utilisées. Dans les profondeurs de plusieurs milliers de mètres, les contraintes imposent de mettre les différents éléments en équation afin de s'affranchir des risques de fuites et d'écrasement. Pour des interventions sur des hauts-fonds (jusqu'à -300 m), ce sont des technologies plus classiques qui sont utilisées.

Une des caractéristiques dimensionnantes, pour les ROV, est également la puissance nécessaire pour effectuer un travail sous-marin. Ainsi, par grands fonds et pour réaliser des interventions sur des ouvrages sous-marins (notamment dans le domaine de l'*offshore* pétrolier), ce sont des bras manipulateurs hydrauliques qui seront privilégiés.

Cette capacité à réaliser des travaux sous-marins constitue tout l'intérêt de ces robots, avec, cependant, une limitation de leur rayon d'action et des contraintes de mise en œuvre, du fait d'un ombilical dont la longueur peut atteindre plusieurs kilomètres et qui peut être, de ce fait, soumis à des forces importantes dues à son propre poids et à la présence de courants (voir la photo 3).

## LES AUV

Afin de s'affranchir de ces limitations, les robots sous-marins autonomes (AUV : *Autonomous Underwater Vehicles*) ont vu le jour. N'étant plus reliés à la surface, les contraintes mécaniques disparaissent. Les inconvénients de cet avantage sont les suivants : l'énergie électrique doit être embarquée, mais les capacités de stockage limitent l'autonomie, cela d'autant plus que la consommation des équipe-



Photo 4 : l'Alistar-3000, AUV d'inspection (utilisable jusqu'à 3 000 m de fond)  
(Source : ECA).

ments de bord est importante ; il est également nécessaire d'embarquer un système de navigation et des équipements d'autonomie décisionnelle (centrale de navigation inertielle, dispositif de recalage de position en surface par GPS, calculateur de navigation et de guidage sur une trajectoire, systèmes d'évitement automatique d'obstacles...) et, enfin, une communication quasi inexistante entre la surface et le robot lorsque celui-ci est en plongée. La photo 4 représente un AUV d'inspection utilisé par l'industrie extractive *offshore*.

Les technologies électroniques et informatiques actuelles permettent d'apporter des solutions à ces différents inconvénients. On trouve aujourd'hui des centrales inertielles précises et miniaturisées ; les capacités de traitement permettent d'embarquer des logiciels complexes implémentant des techniques relevant de l'intelligence artificielle ; des sonars, souvent issus des technologies militaires, fournissant des données précises sur l'environnement du robot.

L'impossibilité de communications en temps réel est liée au milieu aquatique. En effet, seules les ondes acoustiques se propagent dans l'eau (et encore, avec de grandes limitations). Les débits de transmission restent faibles (à quelques kbits/sec), ce qui ne permet au mieux que de transmettre des états des systèmes ou des ordres basiques, mais en aucun cas des images ou des flux de données. En revanche, lorsque le robot est remonté à la surface, les communications radio redeviennent possibles et permettent de récupérer les données ou de télécharger de nouvelles planifications de missions.

Les capacités de stockage d'énergie constituent une deuxième limitation. Malgré les progrès technologiques notamment avec les batteries lithium-ion, la multiplication des systèmes embarqués accroît les consommations d'électricité et des systèmes de gestion de l'énergie sont nécessaires pour assurer une autonomie, bien souvent requise, allant de 10 à 15 heures. Cette gestion de l'énergie consiste en un couplage au système de navigation permettant d'optimiser les trajectoires en fonction des courants marins et

de minimiser la consommation des propulseurs, ainsi qu'en un système intelligent de mise en marche (ou de mise en veille) des différents équipements, suivant les diverses phases de la mission.

Des expérimentations ont été réalisées avec des piles à combustible, mais elles ne sont pas concluantes, à ce stade, pour des utilisations opérationnelles.

La limitation des communications et les contraintes d'énergie restreignent l'utilisation des AUV à des missions d'inspection et de surveillance ; ceux-ci n'ont pas la capacité d'effectuer des travaux sous-marins nécessitant des manipulations.

#### LE SONAR, CAPTEUR CLÉ DU ROBOT SOUS-MARIN

La plupart des premiers robots sous-marins ont été équipés de caméras, et celles-ci sont aujourd'hui encore le senseur le plus communément utilisé pour les ROV. Néanmoins, les caméras ne sont utilisables qu'à proximité des objets à observer, ou sur lesquels il faut travailler. La turbidité des eaux et l'absence de lumière (la portée des projecteurs reste limitée à quelques dizaines de centimètres) limitent considérablement leur utilité. C'est donc le sonar (détecteur à ultrasons) qui est le capteur le plus adapté pour une « vision » à distance, dans un milieu quasi opaque. Tel un radar, le sonar permet en effet de désigner une cible, de l'« accrocher » et de la suivre. La technologie des sonars a considérablement évolué, permettant d'obtenir des résolutions très performantes et des probabilités de fausse alarme très réduites. Des technologies spécifiques se sont développées en fonction du type de mesure à réaliser (*Side Scan, Multibeam Echosounder,...*). De même, sur les sonars les plus performants, les « antennes synthétiques » ont remplacé le balayage mécanique. Les logiciels de traitement des signaux sont eux aussi de plus en plus performants ; ils permettent d'afficher des images sous-marines extrêmement précises et d'une



**Photo 5 :** Image d'une épave d'avion obtenue par post-traitement de signaux sonar  
(Source : ECA/ Triton Imaging Inc.).

qualité comparable à celle d'une photographie (voir la photo 5 ci-dessus).

Il n'est plus nécessaire d'être un spécialiste de l'acoustique sous-marine pour interpréter une image issue d'un sonar. La photo 5 en est une illustration : elle montre l'image acoustique d'une épave d'avion (après post-traitement).

## LES APPLICATIONS CIVILES

Les applications de la robotique sous-marine sont nombreuses (nous en avons déjà cité quelques-unes). Dans le domaine de l'*offshore* pétrolier, les ROV sont utilisés pour effectuer des travaux sous-marins tels que des interventions sur les têtes de puits, des réparations, des colmatages... La catastrophe de la plateforme de production de la British Petroleum, l'année

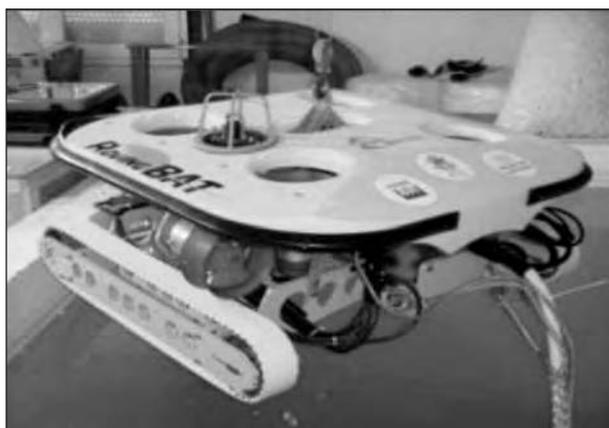
dernière, dans le Golfe du Mexique, a montré toute la complexité d'une intervention sur de tels accidents. Les applications des AUV à ce secteur économique sont encore limitées, mais elles se développent, notamment avec l'inspection et la surveillance des réseaux de pipelines sous-marins (mesure des anomalies, par exemple, dans le but de prévenir des catastrophes environnementales), ou encore avec l'aide à la pose de pipelines par caractérisation du point de touche et la vérification que le pipeline a bien été posé dans le sillon prévu.

Dans le domaine de l'océanographie et de l'hydrographie, les AUV sont utilisés pour effectuer des mesures diverses ou pour cartographier des fonds sous-marins. Ainsi, le SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine) dispose d'un AUV, baptisé Daurade, qui est dédié à des missions de REA (*Rapid Environmental Assessment*) (voir la photo 6 ci-dessous).



**Photo 6 :** L'AUV Daurade du SHOM.  
(Source : ECA).

C'est le domaine de la sécurité civile qui participe sans doute le plus de la médiatisation de ces nouvelles technologies. La recherche d'épaves, d'avions abîmés en mer et de leurs enregistreurs de vol en sont les aspects les plus connus (ainsi que nous l'avons déjà évoqué à propos de la recherche des boîtes noires du vol AF 447 Rio-Paris ou encore de la catastrophe aérienne de Sharm El-Cheikh, en Egypte). Cependant, d'autres applications ont vu le jour : ainsi, la Gendarmerie Nationale utilise fréquemment un ROV lors de recherches (dans des plans d'eau) de personnes disparues, EDF utilise de petits ROV pour inspecter les piscines de ses réacteurs nucléaires et de ses barrages hydrauliques, afin de vérifier l'absence d'anomalies. Nous avons développé, chez ECA, un ROV très particulier, le Rovingbat (voir la photo 7), qui est capable de se plaquer contre la coque d'un navire et de s'y déplacer (grâce à des chenilles) afin de réaliser des missions très diverses et d'éviter ainsi d'avoir recours à des plongeurs : c'est le cas avec l'inspection des coques pour la mesure des corrosions ou la détection de la présence d'engins explosifs ou, plus simplement, le nettoyage des concrétions afin d'éviter une mise en cale sèche.

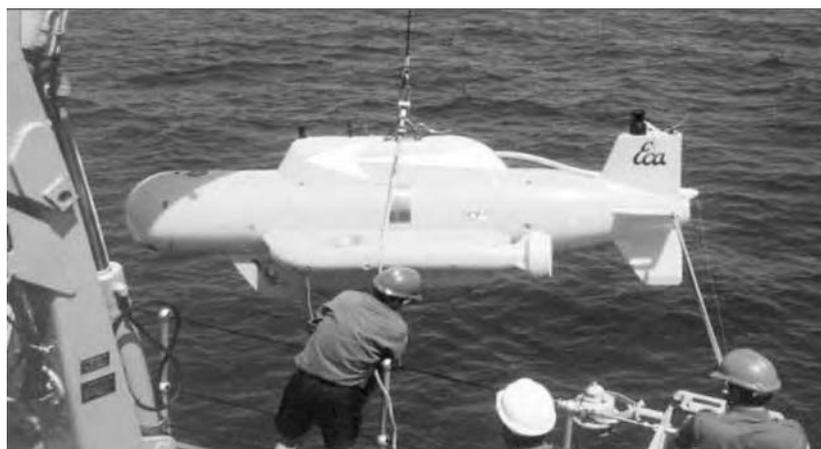


**Photo 7 :** Le ROV Roving Bat.  
(Source : ECA).

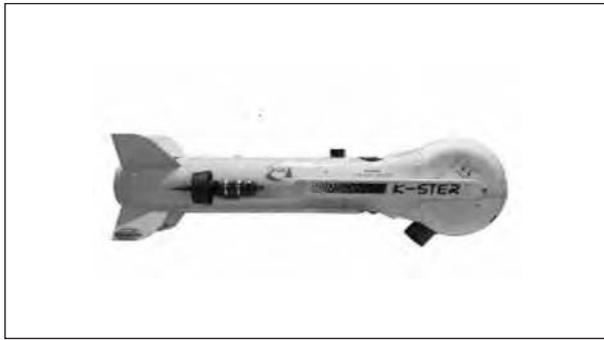
Un mot des applications militaires qui financent une bonne partie de la R&D nécessaire à la mise au point de ces robots. L'usage le plus ancien est celui de la guerre des mines. De nombreuses mines sous-marines ont été (et sont encore) déposées par des Etats pour protéger ou empêcher l'accès à des zones sensibles : ports, installations militaires, chenaux d'accès, passages maritimes. Les mines les plus modernes, réagissant à des signatures acoustiques ou magnétiques de navires, sont peu accessibles aux techniques de dragage. Il y a plus de trente ans, l'idée est née d'envoyer des robots les neutraliser. L'un des premiers de ces robots à avoir été utilisé est le PAP (Poisson Autopropulsé Piloté) mis au point par ECA au début des années 1980 (voir la photo 8).

Ce robot télé-opéré grâce à une liaison coaxiale (puis à fibre optique) avec un navire chasseur de mines déposait une charge explosive près de la mine à neutraliser. La mise à feu à distance de cette charge neutralisait la mine, par influence, et donc sans exposer la vie de plongeurs démineurs. Le PAP a été vendu à près de 500 exemplaires, et a été utilisé par de nombreuses marines de par le monde, certaines continuant de l'exploiter. Depuis lors, la technologie a évolué, avec les concepts de *Mine Killers*, des robots « kamikazes » qui reprennent le même principe, à ceci près qu'ils explosent avec la mine (voir la photo 9 de la page suivante). En revanche, ils sont plus maniables, et moins onéreux.

La localisation des mines a également progressé. La localisation classique, à partir d'un sonar de coque ou d'un sonar tracté, présente l'inconvénient d'exposer un navire. L'utilisation d'AUV, seuls ou en coopération avec un USV (*Unmanned Surface Vehicle*), est un nouveau concept qui se développe aujourd'hui. C'est l'objet du plan d'étude amont Espadon, conduite par la Direction Générale de l'Armement (DGA) et réalisée en coopération entre le groupe DCNS, Thales Underwater Systems et ECA en vue de valider ces concepts innovants (qui seront déployés au sein de la Marine Nationale à l'horizon de 2017).



**Photo 8 :** Le PAP, mis en œuvre sur un navire-chasseur de mines.  
(Source : ECA).



**Photo 9 :** Le *mine-killer* K Ster.  
(Source : ECA)

Ces études (réalisées en France, mais également dans d'autres pays) permettent de progresser considérablement dans les technologies mises en œuvre : sonars, énergie, propulsion, navigation autonome... Il s'agit là, typiquement, de technologies duales : les retombées dans le domaine civil concernent toutes les applications déjà mentionnées, et il en reste sans doute encore bien d'autres à imaginer.

## LE MARCHÉ DES ROBOTS SOUS-MARINS

C'est un marché de niche, sur lequel le nombre des acteurs est limité. Ce sont néanmoins les Européens qui sont les plus présents sur ce secteur, sans doute du fait des champs pétroliers de la Mer du Nord, et aussi parce que, dans le domaine militaire, les marines européennes sont sensibilisées (depuis la Deuxième guerre mondiale) aux problèmes du déminage de leurs zones côtières.

Les constructeurs de robots sous-marins sont soit des systémiers qui ont développé de tels équipements pour répondre à leurs besoins propres (Kongsberg (Norvège), SAAB (Suède), BAe (Royaume-Uni) ou STN Atlas (Allemagne)) ou des sociétés spécialisées

dans les technologies de la robotique (ECA (France, avec une offre large d'AUV, d'USV, de ROV, de *Mine-killers*, mais aussi de robots terrestres), ISE (Canada - AUV et ROV), Hafmynd (Islande)) ou encore quelques fabricants uniquement spécialisés dans la fabrication de ROV à usage civil.

A côté de ces quelques industriels, de grands clients font progresser la technologie soit par le financement de programmes de développement de démonstrateurs (c'est le cas de la DGA, en France), soit parce qu'ils sont eux-mêmes des utilisateurs et qu'ils disposent d'équipes de R&D qui font émerger de nouveaux concepts (c'est le cas notamment de l'Ifremer).

Les utilisateurs finaux ont déjà été cités plus haut, pour la plupart. Il convient cependant de mentionner, dans le secteur de l'industrie pétrolière *offshore*, le rôle des sociétés de services (telles que Technip, Bourbon, Oceaneering,...), qui investissent dans ce type d'équipement pour réaliser leurs prestations au profit des compagnies pétrolières, lesquelles jouent plutôt dans ce domaine le rôle de prescripteur.

Ce marché est loin d'avoir atteint sa maturité, il est donc difficile de l'évaluer et de positionner les différents acteurs. D'ailleurs, rares sont les spécialistes indépendants des études de marchés à s'être penchés sur le sujet. Néanmoins, les publications font état de volumes annuels mondiaux de l'ordre de quelques dizaines de millions d'euros, pour les ROV. En ce qui concerne les AUV, le marché civil est encore naissant, et les estimations sont de l'ordre de 20 à 30 millions d'euros/an, avec cependant un taux de croissance élevé (de 15% par an, à partir de 2015).

En conclusion, la robotique sous-marine n'en est encore qu'à ses débuts. Mais, d'ores et déjà, les applications imaginables sont nombreuses. Les problèmes techniques à résoudre pour faire progresser cette discipline sont variés, et enthousiasmants, pour de jeunes ingénieurs. Dans ce secteur, les moyens de financement de la R&D existent et ne sont pas négligeables. Nul doute que les grands fonds sous-marins constitueront notre « Nouvelle Frontière »...

### À propos d'ECA

Créée en 1936, l'entreprise ECA est connue partout à travers le monde grâce à son robot sous-marin de déminage, le PAP (Poisson Autopropulsé Piloté), utilisé par plus d'une vingtaine de marines militaires. Son entrée en bourse (en 2004) lui permet de se développer dans le domaine plus large de la robotique pour les milieux hostiles : robotique sous-marine, robotique de surface, robotique terrestre, robotique nucléaire. ECA développe également ses activités dans des secteurs de technologies connexes et notamment dans la simulation et dans les équipements de sécurité. Son modèle économique est fondé sur une R&D soutenue, une forte présence à l'export et une politique orientée produits. ECA réalise 120 millions d'euros de chiffre d'affaires ; son effectif de 600 salariés est composé essentiellement d'ingénieurs et de techniciens.