



Daniel SCOURZIC

Directeur Marketing Systèmes UMIS – ECA GROUP

Hervé KERMORGANT

Expert Technique – ECA GROUP

Avec la contribution de :

Christian CANOVA

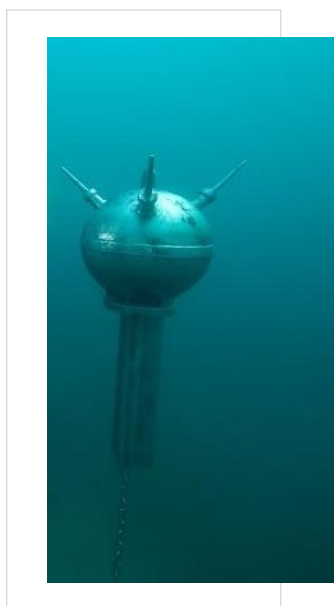
Vice-Amiral d'Escadre (2S) – VADM (Ret.) – Conseiller Défense & Opérationnel – ECA GROUP

LA DESTRUCTION DES MINES SOUS-MARINES

INTRODUCTION	5
LES SOLUTIONS.....	6
LE SUCCÈS DES ROV FURTIFS	6
▪ Le PAP : Identification & Neutralisation des Mines	6
▪ Les Minekillers	9
LES ROVS NON FURTIFS	12
DE NOUVEAUX EFFECTEURS	13
UN SCENARIO EXIGEANT : LA PRÉPARATION D'UNE OPÉRATION AMPHIBIE	14
LA MISE EN OEUVRE	15
LE FUTUR.....	15
CONCLUSION.....	15

Les menaces sous-marines sont des dispositifs susceptibles d'endommager les navires

LES MINES : PRINCIPALES MENACES SOUS-MARINES



Une grande partie de ces menaces est constituée de **mines**, dont le but est au minimum d'endommager les navires, voire de les faire couler et les détruire.

Mais les **bombes** larguées par les bombardiers pendant la deuxième guerre mondiale notamment, mais aussi pendant les conflits plus récents, sont également des menaces quand elles sont situées au fond d'une rade, sur des zones de pêche etc. car **leurs matières explosives peuvent être encore actives malgré des dizaines d'années passées dans l'eau de mer**, ou être devenues instables avec le temps ce qui les rend potentiellement encore plus dangereuses.

La détection des menaces et leur destruction : deux opérations distinctes et complexes

Si la détection des mines sous-marines et munitions anciennes¹ situées dans les fonds marins est une opération difficile, leur destruction par des plongeurs l'est également en raison des **contraintes environnementales** (courant marin, profondeur, ...) et des **effets liés à toute explosion sous-marine**.

Ceci a incité les Marines et les acteurs industriels à imaginer des dispositifs permettant de réduire les risques liés à la destruction des menaces tout en recherchant une grande efficacité, c'est-à-dire permettre la destruction d'un grand nombre de menaces dans une faible durée.

¹ Connues sous le nom de « UXO » (Unexploded Ordnance)

LE SUCCÈS DES ROV FURTIFS

Un des premiers dispositifs efficaces proposés pour la destruction des menaces est principalement issu de la **volonté de la France de s'équiper d'une composante sous-marine pour la dissuasion nucléaire**.

Les « sous-marins nucléaires lanceurs d'engins » (SNLE) étant basés dans la rade de Brest, il était primordial pour la Marine Française de pouvoir **détecter et détruire toute menace placée sur les routes d'accès des SNLE à leur port d'attache**.

■ ■ ■ Le PAP : Identification & Neutralisation des Mines



Ceci a conduit à imaginer les **sonars de chasses aux mines** et les **sonars remorqués de surveillance** pour la détection de ces menaces mais également à inventer le concept du **Poisson Auto Propulsé (PAP)**, véhicule téléguidé permettant d'identifier et de déposer une charge explosive près d'une mine, même dans des conditions environnementales difficiles.

Grâce aux images prises par la **caméra du véhicule** et transmises par une liaison filaire, un opérateur humain situé sur un navire éloigné de la menace, et donc à distance de sécurité, peut guider le véhicule avec un joystick et activer la dépose de la charge explosive de neutralisation près de la mine.

Cette charge de neutralisation est ensuite mise à feu par un opérateur au moyen d'un **dispositif acoustique**, l'explosion de la charge de neutralisation entraînant l'explosion de la mine « **par sympathie**² ».



PAP MK6 ROV : « Poisson Autopropulsé » de dernière génération d'ECA Group

² La mine explose grâce à l'onde de choc générée par l'explosion de la charge de neutralisation

UNE CONCEPTION ADAPTÉE AUX CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES

Le succès du PAP auprès de très nombreuses Marines³ est dû à certains choix de conception :

- L'intégration d'une **batterie électrique rechargeable**, permettant au véhicule de s'affranchir d'un câble électro-porteur alimentant le véhicule qui limite, par sa traînée, la manœuvrabilité du véhicule dans un courant marin. Cette absence de câble électro-porteur est d'autant plus fondamentale que le véhicule doit pouvoir **aller à plusieurs centaines de mètres du navire** à partir duquel il est mis en œuvre, par des **fonds pouvant atteindre 300m** et des **courants de 3 nœuds**, voire plus.
- Le développement de moteurs de propulsion à **faible rayonnement magnétique**, permettant au véhicule de s'approcher des mines à influence qui explosent quand elles détectent une modification du champ magnétique local.
- L'intégration d'une **bobine de fibre** permettant la communication entre le véhicule et son opérateur. Cette bobine se dévide depuis le véhicule avec le courant, comme pour certaines torpilles, et permet de **réduire à zéro l'impact de la traînée de la fibre sur le véhicule**.
- L'usage d'un **« guiderope »** (chaîne lestée), permettant d'assurer une navigation à altitude constante sans capteur, ni actionneur, ni loi de pilotage.

Le PAP est ce que l'on pourrait appeler aujourd'hui un véhicule furtif, c'est-à-dire **un véhicule aux rayonnements magnétique et acoustique suffisamment réduits** pour permettre de manœuvrer près d'une mine, avec une très faible probabilité de la faire déclencher, permettant ainsi de l'identifier et de déposer une charge pour la détruire.

Si le PAP est adapté aux mines posées sur le fond, il est un peu moins adapté aux mines à orin dont le flotteur contenant l'explosif se situe entre deux eaux. Contre les mines à orin, le PAP est équipé de cisailles explosives. Ces cisailles permettent de couper l'orin. La mine devient une mine flottante qu'il faut alors retrouver pour la détruire avec des armes (mitrailleuse) disponibles sur le navire 'Chasseur de Mine'.

³ Le PAP a été produit à environ 500 exemplaires par ECA Group et vendu à une vingtaine des marines dans le monde.

LES CONTRAINTES DE L'UTILISATION DU PAP

Si le PAP a des qualités, il a aussi des défauts : c'est un véhicule qui peut être **difficile à récupérer** à bord d'un navire pour les états de mer élevés.

De plus il ne transporte qu'une charge explosive à chaque mission : la destruction d'un champ de mines étendu est donc une **opération longue**, qui nécessite la récupération du véhicule après chaque mission de destruction.

Enfin, **il ne permet pas la destruction directe des flotteurs des mines à orins.**

■ ■ ■ Les Minekillers

Les « minekillers » ont été conçus pour répondre aux points faibles des véhicules de type PAP.

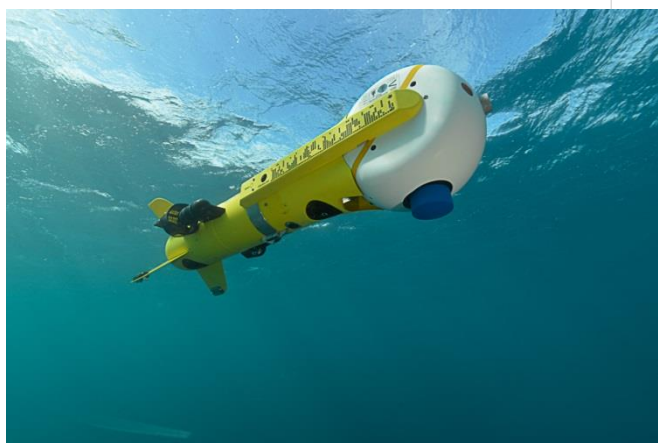
LES MINEKILLERS DE COMBAT : VÉHICULES CONSOMMABLES A CHARGE CREUSE

Dans la version initiale ('dite de combat'), **ce sont des véhicules consommables munis d'une charge explosive à jet dirigé (charge creuse)**. Par conception ce sont des véhicules qui ne sont pas récupérés.

Comme le PAP, les minekillers sont reliés au navire ou embarcation en surface par une **fibre optique**, et ils sont dirigés vers la mine grâce à un opérateur.

Par contre, la destruction de la mine ne se fait pas par la dépose d'une charge de 100 Kg d'explosif près de la mine, mais par l'explosion de la **charge creuse** qui équipe la partie avant du minekiller.

Si le minekiller est orienté vers la mine, le jet de charge creuse intercepte la partie explosive de la mine et entraîne son explosion, qui détruit également le minekiller.



Le minekiller (ROV de neutralisation) d'ECA Group [K-STER C](#)

Par conception, il n'est pas nécessaire que le minekiller de combat soit furtif : si la mine détecte le champ magnétique du véhicule, ceci peut entraîner l'explosion de la mine, mais c'était le but recherché. Cependant, **un soin particulier doit être apporté à sa signature magnétique** lorsqu'il est embarqué à bord d'un navire anti-mines afin de ne pas perturber la signature magnétique du navire lui-même.

Par ailleurs, **pour des raisons de sécurité**, une fois le minekiller de combat lancé, il n'est pas récupéré.

LA PROBLÉMATIQUE DE L'AXE DE TIR

L'efficacité opérationnelle des minekillers de combat est très liée à la **maîtrise de l'orientation de l'axe de tir de la charge creuse** et à leur capacité à rester stable et à se positionner précisément très proche de la mine à détruire.

Si cet axe de tir n'est pas précisément orienté vers la mine, et si possible vers la zone de la mine contenant la matière explosive, **le tir peut s'avérer inefficace ou ne conduire qu'à la neutralisation de la mine** (par l'endommagement de sa mise à feu par exemple) mais pas à la destruction de la matière explosive de la mine.

En face de ce problème, deux types de minekillers ont été développés :

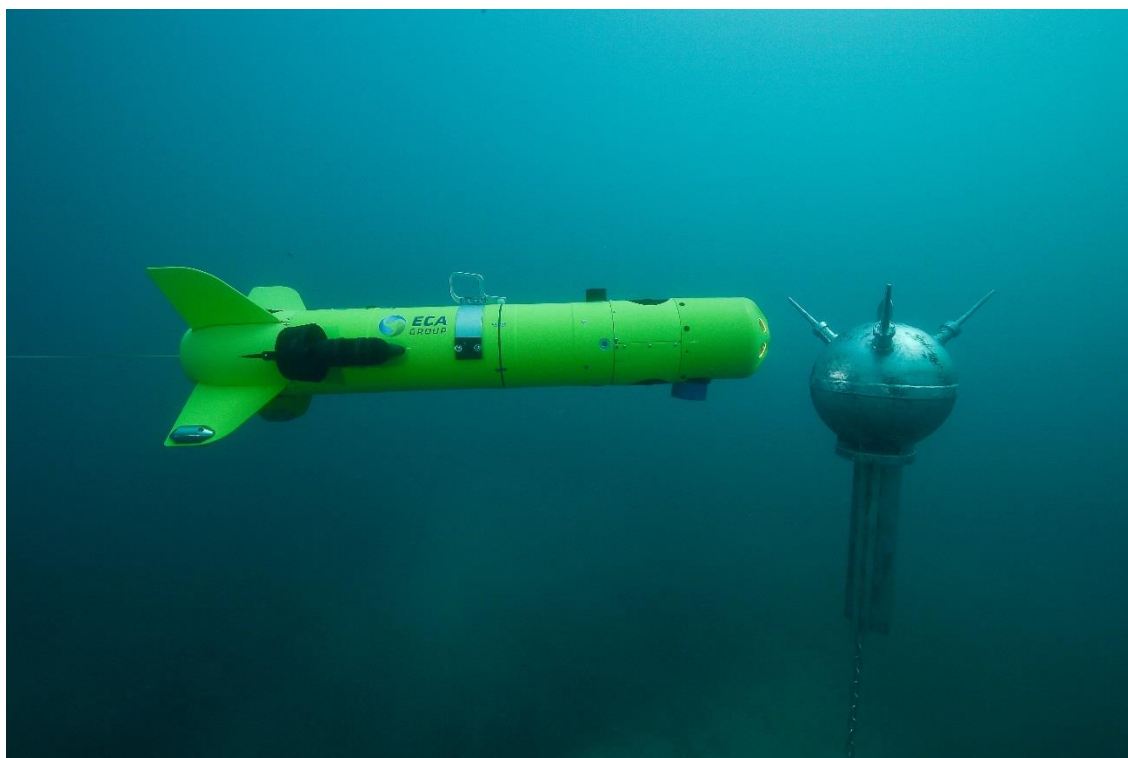
- Ceux où **l'axe de tir est l'axe longitudinal du véhicule** : l'orientation de l'axe de tir nécessite une grande manœuvrabilité du véhicule qui doit entièrement s'orienter dans un éventuel courant marin. Cette approche est historiquement la première, avec le développement du Seafox d'Atlas.
- Ceux où le **corps principal du minekiller reste horizontal et où la charge creuse est orientable vers le haut ou vers le bas par rapport à l'axe du minekiller**. Cette disposition a le grand avantage de permettre une grande manœuvrabilité et stabilité du véhicule très près de la mine et une **orientation stable et précise** de l'axe de tir, indépendamment des courants marins. C'est le choix effectué pour le **K-STER d'ECA Group**.

Les minekillers peuvent être très efficaces contre les mines de fond, mais cette efficacité est moindre contre les mines à orins dans un fort courant marin.

En effet, dans cette configuration opérationnelle, l'orin peut osciller transversalement au courant (dû à l'effet de strumming) et de même pour le flotteur de la mine. Le minekiller n'étant pas soumis au même phénomène d'interaction fluide-structure, l'alignement de l'axe de tir de la charge creuse avec la mine peut être difficile à réaliser même si **une architecture de type K-STER restera toujours beaucoup plus efficace qu'une architecture de type Seafox**.

LES VÉHICULES D'IDENTIFICATION : SANS CHARGE EXPLOSIVE

Les fausses alarmes n'étant pas rares dans l'environnement sous-marin, il s'est avéré nécessaire de **concevoir un véhicule d'identification** dérivé du minekiller de combat et non pourvu de charge creuse, à seule fin d'identifier les objets pouvant être des mines avant une éventuelle destruction. ECA Group a développé le K-STER I et le SEASCAN à cet effet.



Le ROV d'identification [SEASCAN MK2](#)

LES ROVS NON FURTIFS

Si les minekillers et les PAP sont des composantes de base pour la destruction des mines, il n'en est pas de même pour les ROV 'classiques', c'est-à-dire des véhicules **téleguidés** par un opérateur en surface et **alimentés par des câbles** de puissance **depuis les navires ou les drones de surface (USV)** qui les mettent en œuvre.

Cette solution est a priori séduisante pour des raisons de coût, en raison des technologies éprouvées utilisées et de la simplicité de la maintenance (peu de pièces consommables). Dans les faits, elle n'est adaptée que dans des cas de munitions historiques, dans les **zones à faible courant**, car :

- **Le câble d'alimentation, par sa traînée, ne permet pas au système 'Câble + ROV' d'être facilement utilisés dans des courants marins.** Augmenter la puissance des moteurs du ROV induit une augmentation de la section du câble qui augmente la résistance à l'avancement, etc. Si le processus peut converger vers des solutions faisables, elles conduisent, pour des environnements réalistes, à des systèmes très lourds, très encombrants, et finalement peu efficaces.
- De plus, **le câble d'alimentation peut propager les mouvements du navire vers le ROV**, ce qui nuit à sa stabilité et à sa capacité à identifier les mines et à les détruire lorsque l'état de mer est élevé.
- Enfin, les moteurs des ROV classiques qui doivent être puissants pour contrer de forts courants marins (généralement 3 voire 4 nœuds) vont **générer du bruit et rayonner des champs magnétiques facilement détectables par les mines à influence**, et ces niveaux de bruits et de champs augmentent avec la puissance de propulsion des ROV.

L'utilisation des ROV classiques peut être envisagée pour l'identification et la neutralisation de munitions historiques (UXO) situées dans des zones à faible courants.

En effet ces munitions historiques ou les mines à contact, contrairement aux mines sous-marines à influence, **ne sont pas équipées de mises à feu susceptibles d'être déclenchées par le bruit rayonné et le champ magnétique générés par le ROV.**

Les munitions historiques peuvent être des bombes datant de conflits anciens ou récents et qui existent en plusieurs dizaines de milliers d'exemplaires à travers le monde. Elles peuvent, par exemple, être retrouvées dans les corridors de pose de pipelines et de câbles sous-marins, dans des zones portuaires etc.

DE NOUVEAUX EFFECTEURS

En parallèle des développements sur les véhicules, les acteurs industriels ont imaginé l'intégration de différents effecteurs pour détruire les mines.

La charge OTAN utilisée par le PAP est réputée pour son efficacité, mais elle est lourde (environ 125 Kg) et ne peut être mise en œuvre que par des véhicules de plusieurs centaines de Kg.

Des charges plus petites ont été développées, tel que la charge Damdic, mais, pour être efficace, elles doivent être placées plus près de la mine que la charge OTAN. Ceci n'est possible qu'avec des véhicules qui doivent être encore plus furtifs que le PAP.....ou des véhicules consommables.

Enfin, la compacité des charges creuses (à jet dirigé) les rend bien adaptées aux minekillers.

Les canons sous-marins, portés par des minekillers, sont des solutions concurrentes des charges creuses, mais leur longueur les rend moins facile à intégrer dans un véhicule de type minekiller et à orienter qu'une charge creuse en raison de leur dimension.

UN SCENARIO EXIGEANT : LA PRÉPARATION D'UNE OPÉRATION AMPHIBIE

Les principaux scénarios de guerre des mines peuvent être classés en 3 types :

- Défense des ports.
- Défense des routes maritimes.
- Soutien aux opérations amphibies.

Si les deux premiers scénarios synthétisent bien le besoin opérationnel français en guerre des mines pendant les trente glorieuses (1945-1975), **le troisième scénario est un besoin opérationnel exprimé plus récemment qui met en jeu de nouveaux concepts d'emploi.**

En particulier, pour des raisons de temps et de discrétion, **les opérations d'identification et de destruction des mines deviennent séparées.** De plus, l'explosion de la première mine rompant la discrétion des opérations, la **durée de destruction d'un champ de mine protégeant un littoral doit être suffisamment courte** (et idéalement simultanée) pour permettre le débarquement des forces militaires dans de bonnes conditions de sécurité.

La phase de destruction du champ de mines peut être efficacement réalisée si des charges explosives ont été placées, de manière discrète au moment de la phase d'identification, près ou au contact des mines que l'on souhaite détruire.

Le navire support restant loin de la côte pour des raisons évidentes de **discrétion**, des ROV (furtifs ou non) ne peuvent réaliser ce type d'opération avec des charges destruction de mines de type OTAN.

De même, **l'utilisation de drones de surface (USV) munis de minekillers reliés aux USV** par une liaison filaire et placés en stationnaire devant chaque mine, attendant l'ordre de tir, semble **peu réaliste dès que le nombre de mines devient important.** Ceci est particulièrement évident dans le cas d'un champ de mines à orin en présence d'un fort courant marin.



Pour les mines placées à faible immersion, la phase de destruction peut être réalisée par des plongeurs démineurs amenés près des mines par un **véhicule de transport sous-marin discret (Swimmer Delivery Vehicle)**. Les plongeurs peuvent placer, près des mines, des charges explosives munies de mise à feu qui seraient activées par une commande acoustique.

Cette façon de procéder est néanmoins inadaptée aux mines situées dans des courants incompatibles avec l'utilisation de plongeurs et aux mines profondes, sauf à utiliser des plongeurs munis de scaphandres spéciaux amagnétiques, ou des plongeurs placés initialement dans des caissons à saturation.

Pour les mines placées hors de portée des plongeurs (pour des raisons physiologiques), plusieurs principes ont été imaginés tels que les **minekillers autonomes** (par exemple le projet Franco-Norvégien VAMA (2006-2009)) ou le **tagging**, c'est-à-dire la pose d'une petite charge explosive sur, près ou attachée à une mine par un véhicule.

- **Les minekillers autonomes semblent efficaces pour la destruction des mines, mais l'absence de lien filaire rend difficile la validation de la relocalisation et l'identification de la mine à détruire.** Par ailleurs, leur prix sera élevé pendant longtemps encore (sauf à être produits en très grandes séries) car ils devront être équipés de capteurs de navigation et de moyens de traitement de l'information performants.
- **Le tagging par perçage/cloutage de la coque de la mine est également confronté au problème de discrétion**, non seulement vis-à-vis des mines à influence mais également vis-à-vis de toute mine munie d'accéléromètres ou de capteurs acoustiques adaptés à la signature du perçage ou de l'impact du système d'accrochage. En particulier, le tagging discret des mines à orin par un véhicule est une opération quelque peu aléatoire et probablement incompatible avec le scénario de préparation d'un débarquement.

Le tagging par collage d'une charge sur la coque de la mine est confronté au même problème de discrétion. La maturité technologique du collage en milieu marin est à vérifier, même si quelques coquillages ont résolu le problème depuis la nuit des temps.

Les systèmes évoqués dans les paragraphes précédents présentent des caractéristiques différentes qui auront un impact sur les plateformes qui les mettront en œuvre.

Des véhicules de type **PAP** sont autonomes en énergie, seule une faible source d'énergie est nécessaire pour la recharge des batteries, mais ils sont encombrants et ont des masses de plusieurs centaines de kg qui vont nécessiter un moyen de manutention et un navire adapté.

Ce sont des véhicules lourds qui seront tolérants aux erreurs de pilotage en raison de leur inertie, et performants dans des conditions d'environnement difficiles.

Les minekillers, sont également autonomes en énergie et ne nécessitent donc pas de source d'énergie importante. De plus, ils sont compacts et légers et donc faciles à intégrer sur des plateformes de petite taille, des drones de surface notamment, mais seront plus sensibles aux conditions d'environnement et moins tolérants aux erreurs de pilotage.

Les ROV classiques quant à eux, présentent l'avantage d'avoir une endurance théorique illimitée par rapport aux véhicules de type PAP ou aux minekillers, mais leur utilisation est contrainte dans le courant par le câble-électro-porteur.

Par ailleurs, leur impact est très important sur la plateforme à partir desquelles ils sont mis en œuvre. En effet, une source d'énergie importante est nécessaire à l'alimentation du système et le câble électro-porteur d'un diamètre de l'ordre de 15mm, voire plus, et de plusieurs centaines de mètres de longueur devra être stocké sur un treuil installé sur le navire.

Le déminage maritime a traditionnellement été réalisé depuis les années 70 par des navires dédiés appelés des chasseurs de mines.

La détection et la classification des mines sont faites grâce à des sonars de chasse aux mines installés sous la coque des navires et à des opérateurs à bord des navires qui analysent ces images.

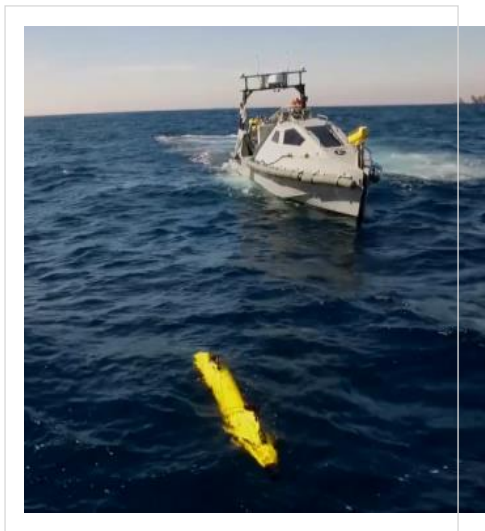
Lorsque les objets détectés sont susceptibles d'être des mines, un véhicule d'identification et de neutralisation de mines, de type [PAP](#) ou [minekiller](#), est mis en œuvre pour identifier et neutraliser la mine.

Le coût de ces navires dédiés est élevé voire très élevé car ils doivent pouvoir rentrer dans les champs de mines pour les détecter sans être détectés eux-mêmes par la mine, ce qui déclencherait leur explosion.

Dans l'éventualité d'une explosion de mines, ils doivent de plus pouvoir résister ou au moins survivre à une explosion de mines. En conséquence, les opérations réalisées par ces moyens traditionnels sont lentes.

De nouveaux moyens existent aujourd'hui qui utilisent des robots navals.

Ces robots peuvent être sous-marins et autonomes, ce sont les [AUV \(Autonomous Underwater Vehicles\)](#)⁴, ou en surface, ce sont les [USV \(Unmanned Surface Vehicles\)](#)⁵.



Ils sont déployés à distance du champ de mines depuis un navire non spécialisé ou depuis la terre.

Pour la détection et la classification des mines, ils portent ou remorquent des capteurs acoustiques.

Pour l'identification et la neutralisation des mines ces robots navals, notamment les USV, déploient d'autres robots qui seront pilotés à distance depuis le navire support ou depuis la terre.

Un exemple de ce type de système est le système [UMIS \(Unmanned Maritime Integrated System\)](#) d'ECA Group.

⁴ Par exemple les AUV A9, A18 et A27 d'ECA Group

⁵ Par exemple l'USV INSPECTOR d'ECA Group

Pour l'identification et la neutralisation de mines, le [système UMIS](#) utilise un [USV \(INSPECTOR\)](#) mettant en œuvre successivement un véhicule d'inspection ([SEASCAN](#) ou [K-STER I](#)) puis un minekiller de combat ([K-STER C](#)) pour la destruction de la mine.

L'ensemble est supervisé par un opérateur situé dans un navire resté loin de la zone dangereuse ou à terre. Dans cette configuration, les minekillers sont téléguidés par un lien radio depuis le navire vers l'USV, puis par un lien filaire (fibre optique) entre l'[USV](#) et le minekiller d'inspection ou de combat.



Le système de robots UMIS d'ECA Group - Unmanned Maritime Integrated System

Aucun des systèmes ne permet de répondre à l'ensemble des besoins de neutralisation. Les différents types de systèmes sont complémentaires :

- Les ROV classiques ont une place pour l'identification et la neutralisation des munitions historiques, bombes ou mines à contact. Ces opérations de temps de paix gagnent à être réalisées par ROV pour limiter le risque pour les plongeurs et elles sont à réaliser lorsque le courant est faible en raison de l'impact très important du câble électro-porteur sur le comportement hydrodynamique du système ROV.
- A contrario, dès que le courant est fort ou l'immersion importante, les véhicules autonomes en énergie l'emportent. Avoir la suprématie dans un conflit où le lieu et le moment pour une opération de déminage ne sont, par définition, pas prévisibles suppose l'utilisation de véhicules sans câble électro-porteur de type [K-STER](#) ou [SEASCAN](#).



Suivez notre actualité sur :

<https://www.ecagroup.com/en/news-stories>

