

Évolution de moyens de lutte contre les mines: quelle place pour l'opérateur en 2030?¹

Yves DUPONT, ir
Capitaine de Vaisseau IMM

I. Menace des mines

Les mines marines constituent une menace permanente pour le trafic maritime mais également un outil permettant facilement de réduire la liberté de mouvement des unités navales. Relativement peu onéreuse, la mine, de par sa discrétion et son aptitude à infligé des dégâts importants est souvent décrite comme l'arme du pauvre et a réussi par le passé à influencer largement sur la conduite des opérations et pourrait grandement perturber le trafic commercial maritime.

On estime aujourd'hui que plus de 250 000 exemplaires de 300 types différents existent dans les arsenaux d'une trentaine de pays. Arme simples, plus de 20 pays sont répertoriés comme exportateur de mine, et ceci sans tenir compte des engins explosifs improvisés.

Je me permettrais en guise d'introduction de reprendre deux épisodes illustrant l'effet causé par la pose de mines. Une première illustration de ce fait remonte à la première guerre mondiale et l'épisode des Dardanelles. Le détroit séparant la mer Egée de la mer de Marmara était la seule route possible pour ravitailler la Russie. Le passage de ce dernier était interdit pour tout navire de guerre depuis la convention de Londres de 1841 et était devenu impossible pour le passage de navire civil depuis son minage. Une importante flotte tenta de briser le blocus mais les batteries côtières et les champs de mines firent échouer la tentative qui se solda par de lourdes pertes du côté franco-britannique, tout en en laissant intacts les champs de mines, ce qui conduisit les forces alliées à envisagé une campagne terrestre qui ne sera pas plus couronnée de succès.

¹. Le texte de la communication présentée devant l'Académie le 8 décembre 2014 reflète la vision scientifique et personnelle du Capitaine de Vaisseau Dupont.

Le deuxième épisode se déroule durant la guerre du Golfe. Le mouillage de mines par le régime de Saddam Hussein a empêché toute opération amphibie et a conduit à l'endommagement des USS Tripoli ayant été atteint par une mine dérivante et l'USS Princeton endommagé par l'explosion d'une mine de type Manta.

II. Techniques de guerre des mines

Afin de lutter contre cette menace, diverses tactiques ont été développées que l'on regroupe, suivant les publications OTAN en deux groupes principaux : offensif et défensif.

Les tactiques dites offensives consistent en diverses opérations visant à détruire la capacité de l'opposant avant que ce dernier n'ait pu la mettre en œuvre. On peut dès lors envisager des opérations de sabotage, de destruction des stocks par bombardement ou la mise hors service des navires, sous-marins ou aéronefs chargés de déployer les champs de mines. Ceci relève donc souvent plus d'une guerre préemptive qui n'entre pas ou peu dans les plans développés par notre état-major. La Défense se concentre sur la deuxième catégorie de mesures : les moyens défensifs.

Les moyens défensifs ont pour vocation de répondre à la menace une fois que celle-ci est devenue réalité ou tout au moins que cette éventualité existe. Il s'agit donc bien ici de rétablir la liberté de mouvement limitée par la pose réelle ou supposée de mines. Il est particulier de constater que la possibilité que des mines soient déployées par un adversaire est suffisante pour nécessiter une réaction de la part de nos unités. Le mouillage de quelques engins dans des zones stratégiques peut largement perturber le trafic maritime et va forcer les forces armées concernées à mener des opérations de déminages importantes et/ou à changer leurs plans.

Les mesures dites passives sont des dispositifs permettant aux navires de traverser un champ de mine sans pour autant déclencher d'explosion. On parle dans ce cas de gestion des signatures des unités. La signature est le signal que la mine peut mesurer lors du passage d'un navire. Deux stratégies sont dès lors possibles, la réduction du signal jusqu'à un niveau

le rendant inutilisable ou la transformation de ce dernier de manière à empêcher l'arme de déterminer le moment de mise à feu – on parle alors de leurrage. Les moyens passifs ne protègent que le navire qui en est équipé.

Les moyens actifs ont pour but de neutraliser la mine, c-à-d. la rendre inopérante. Plusieurs tactiques sont dès lors possibles.

Une première série de mesures visent à réduire la signature du navire afin de la rendre indétectable pour la mine (rendre le navire invisible), à la modifier afin de la rendre inutilisable (rendre le navire méconnaissable) ou encore à saturer le senseur (aveugler la mine). Ces mesures ne protègent que le navire qui en est équipé.

La deuxième technique est celle dite du dragage. Il existe 2 types de dragage : le dragage mécanique et le dragage à influences.

Le dragage mécanique a été développé afin de lutter contre les mines à orins. Le dragueur remorque des câbles équipés de cisailles pouvant être explosive. Le but est de sectionner l'orin, ce qui entraîne la remonter de la mine à la surface où elle devra être détruite en utilisant un canon de faible calibre. C'est pourquoi le dragage mécanique ne se pratique que le jour. Divers systèmes (tronçon en chaîne sur l'orin, roue à rocher, mines bouquet...) réduisent aussi son efficacité.

Vu la complexité de la mise à l'eau, les soucis pouvant survenir lors de la mise en œuvre et la nécessité de détruire la mine en surface, ce type de dragage n'est pas encore mise en œuvre à partir de véhicules autonomes.

Le dragage à influences fait exploser la mine en générant un signal qui trompe la mine, lui faisant croire au passage d'un navire (*target setting mode*) ou qui répond aux conditions de mise à feu de cette dernière (*mine setting mode*). Le concepteur de drague doit faire face à des algorithmes de mise de feu des mines de plus en plus performants basés par exemple sur une sélection des bandes de fréquence acoustique correspondant à un type déterminé de navire ou demandant un certain nombre de passage avant de s'activer ou n'étant actif qu'à certains moments de la journée.

Le dragage à influence peut se pratiquer le jour ou la nuit et des moyens autonomes de dragages sont disponibles. Le système Troïka allemand en est l'illustration la plus ancienne. Le niveau d'autonomie atteint est celui de la pré-programmation qui sera discuté plus tard.

Les résultats d'une opération de dragage se traduit en probabilité de neutralisation des mines présentes et n'est plus pratiqué dans les marines modernes que dans des endroits où la chasse (voir ci-après) est inopérante.

La chasse aux mines consiste à rechercher les mines posées sur le fond à l'aide d'un sonar, de les localiser et finalement de les détruire. Le processus est plus lent mais produit en effet plus facilement mesurable et plus sûr pour autant que le senseur soit efficace.

Grâce à l'introduction du sonar, le navire de guerre des mines peut à présent détecter devant lui un objet suspect (phase de détection) et s'en approcher pour s'assurer qu'il s'agit d'une mine (phase de classification) et la détruire si nécessaire (phase de neutralisation).

Outre le fait de permettre au commandement d'avoir une meilleure idée du niveau de nettoyage obtenu (existe-t-il encore des contacts suspects ou non) par rapport à la technique de dragage qui n'offre qu'une évaluation statistique, cette tactique permet d'augmenter la distance entre la mine et le navire et ainsi la sécurité de l'équipage, le dragueur devant passer avant sa drague au-dessus des mines.

Une première évolution fut l'introduction du sonar à balayage latéral. Contrairement au sonar de l'avant qui offre une image du fond devant le navire et qui évolue avec le temps – on peut parler d'une vidéo avec un effet de zoom au fur et à mesure que l'on s'approche de la cible- le sonar à balayage latéral prend une « photo » de la scène de part et d'autre du porteur. L'avantage de cette technique est que l'on peut plus facilement y appliquer des technique de traitement d'images classiques et que ces vues sont plus facilement interprétable par un opérateur non entraîné.

Un autre avantage de ce type de sonar est qu'il plus facilement intégrable à un véhicule de petite taille, plus facile à manipuler, offrant

moins de résistance à l'avancement et donc à batterie égales une endurance bien plus importante.

Il faut néanmoins admettre que comme le sonar de l'avant, la résolution est fonction de la distance à laquelle se trouve la cible. En effet si la résolution en distance est fonction de la largeur de l'impulsion et donc de la bande passante, la résolution angulaire dépend des dimensions de l'antenne. Pour une haute fréquence (400 kHz) et une taille d'antenne importante (1,5 m), la résolution angulaire est de 0.15° , ce qui correspond à 0.39m à 150m de l'antenne alors que la résolution en distance est, dans le cadre du sonar de nos chasseurs de mines de l'ordre de quelques centimètres.

De plus, s'il est déployé depuis une plate-forme habitée, comme dans le cas du dragueur, le navire doit traverser le champ de mine.

La résolution angulaire limite bien évidemment la portée utile des sonars à balayage latéral. Afin d'augmenter cette dernière, il est fait appel à une technique développée pour les radars : l'ouverture synthétique. L'idée est d'augmenter la taille de l'antenne en combinant les échos obtenus après plusieurs émissions. La scène étant réputée fixe durant ce laps de temps, ceci paraît tout à fait légitime.

Une des conséquences inattendues de l'application de cette technique est une résolution parallèle à l'avancement qui n'est plus fonction de la distance à l'antenne. En effet, la taille de l'antenne synthétique croît avec la distance au porteur de manière inversement proportionnelle à la diminution de la résolution.

La technique du SAS permet, pour une taille d'antenne donnée, d'augmenter et d'homogénéiser la résolution de l'image, ce qui ouvre la voie à des traitements de données performants assurant une haute probabilité de détection et de classification et par là-même à l'utilisation de moyens déportés autonomes ayant leur propre intelligence.

Un système d'*Automatic Target Recognition* ou ATR, comprend un premier traitement permettant de réduire le niveau de bruit de l'image (*speckling*). Ensuite, un algorithme de segmentation définit les contours

des objets se trouvant dans la scène. Les propriétés liées à ces contours autorisent une détection et une classification automatique dont la performance est liée à la complexité de la scène (présence de contour « parasite » engendré par des dunes par exemple).

Une approche, présentée sur ce transparent, divise la région d'intérêt en trois zones : l'écho dont l'énergie réfléchie est la plus grande, l'ombre où l'énergie réfléchie est nulle et finalement une région intermédiaire appelée *low back-scattered*. On ne dénombre pas moins de 30 caractéristiques géométriques réparties sur les trois zones (26 dans la zone écho, 13 dans l'ombre et quatre dans la zone *low-scattered*). Ces dernières sont basées sur des calculs type fitting dans une ellipse, séparation ombre/écho,... On regarde alors si l'ensemble de ces paramètres rentrent dans un gabarit définis pour chaque type de cible et sur cette base, on procède à la classification. Dans l'exemple, on voit la variation du rapport longueur/largeur de l'ombre en fonction de l'angle de prise de vue pour deux types de cibles, la Manta et un cylindre.

Mais ces algorithmes calculent également un degré de confiance des résultats proposés et il est dès lors possible de définir une probabilité de détection et un taux de fausses alarmes en fonction de paramètres mesurés par le senseur principal. Si en travaillant sur les paramètres du traitement, il est aisé d'obtenir une probabilité de détection importante (99%), cela s'obtient généralement au détriment du taux de fausses alarmes. Si celui-ci est trop important, la procédure automatique est de peu d'intérêt. Basé sur la mesure du degré de confiance de la classification, le système peut de manière autonome décider d'augmenter l'information disponible en prenant d'autres angles de vues et ce jusqu'à ce que le degré de confiance atteigne un niveau prédéfini ou en marquant la cible et en demandant à l'opérateur de prendre une décision.

Nous avons jusqu'à présent parlé de l'évolution du senseur principal de chasse au mine rendant envisageable une détection et classification automatique des mines ouvrant la voie à une nouvelle manière de mener ces opérations en tirant profit du concept de marsupialisation. Ce dernier, tel que décrit par Joseph Henrotin dans « Les Fondements de la

stratégie navale au XXI siècle »¹, repose sur trois caractéristiques des systèmes : la portée, la projection et la connectivité.

Depuis l'antiquité, la guerre sur mer est basée sur des navires qui embarquent leurs systèmes d'armes, et la distance à laquelle ils peuvent atteindre leurs adversaires n'a fait que croître avec le temps. Dans les premiers jours, les navires devaient en arriver au contact afin de pouvoir éperonner ou prendre à l'abordage le navire ennemi. Depuis, l'introduction de l'artillerie et des missiles a permis de faire croître cette distance, mais les systèmes d'armes sont toujours opérés à partir du navire.

Le concept de marsupialisation, qui peut être aisément illustrée par la bête tachetée de Franky, envisage par contre d'utiliser comme arme ou senseur un moyen déporté, capable de frapper l'adversaire loin du navire-mère mais sous son contrôle, tel le Marsupilami qui utilise l'extrémité de sa queue afin d'atteindre l'ennemi. L'aéronavale est un exemple type de ce concept. L'avion ou l'hélicoptère, système d'armes déporté, effectue sa mission loin de son navire de lancement, tout en gardant le contact avec le centre des opérations. Ce dernier est en charge de la planification, de l'appui logistique et du partage des informations nécessaires afin de coordonner et d'optimiser les moyens mis en œuvre pour obtenir un effet maximal.

L'évolution des télécommunications et l'avènement des opérations infocentrées en réseau (Network Enabled Capability en anglais) ont apporté une dimension supplémentaire à ce concept. Les systèmes déployés ne sont plus seulement connectés au navire-mère, mais ils le sont également avec l'ensemble des autres moyens déployés, au sein d'un réseau où la connaissance est partagée et où la prise de décision peut être décentralisée (chaque système décide seul de ses actions) ou au

¹. HENROTIN J., *Les fondements de la stratégie navale au XXIe siècle*, Economica, Paris, 2011.

contraire centralisée (un système dicte les actions à entreprendre par les autres systèmes), en fonction de l'effet souhaité.

L'avènement de senseurs et les évolutions de la robotique ouvrent une nouvelle voie pour les systèmes de guerre des mines.

La sécurité des équipages étant un souci permanent du commandement, on essaie d'accroître la distance entre la mine et l'opérateur pour arriver au concept idéal de « *man out of the minefield* » tout en gardant « *the man in de loop* », même si ce dernier aspect est sujet à débat.

III. Quelles étapes pouvons-nous identifier pour arriver à ce terme ?

Les plongeurs-démineurs, toujours utilisés de nos jours, sont le premier moyen pour s'approcher de l'objet suspect, pour l'identifier et pour poser si nécessaire une charge explosive sur la mine afin de la détruire. Vu les risques encourus et grâce aux progrès de la robotique sous-marine, des véhicules télé-opérés ont été développés afin de remplacer les plongeurs dans ces tâches et permettre au navire et à son équipage de rester à distance suffisante de la mine. Le PAP 104, développé par ECA Robotics, a été le premier robot filoguidé utilisé par la Marine belge pour identifier et neutraliser les mines. Le PAP transporte une caméra et une charge explosive. Il est relié au navire-mère par un câble qui transmet les signaux de commandes du robot et les données recueillies par ses senseurs. L'opérateur amène le véhicule près des mines depuis le navire-mère, l'engin largue sa charge et est récupéré avant de procéder à la neutralisation de la mine.

La deuxième évolution dans la technologie de la chasse aux mines, apparue dans le courant des années nonante, a été de déporter le senseur. Le SPVDS (*Self Propelled Variable Depth Sonar*) est né. Dans cette configuration, l'ensemble de la chasse aux mines, de la phase de détection jusqu'à la phase de neutralisation, est effectuée par des moyens

déportés sous le contrôle direct d'un opérateur qui se trouve à bord du navire-mère.

L'engin étant mis à l'eau pour une longue durée, le câble sert non seulement à acheminer les ordres et les informations de et vers le navire mais également de fournir l'énergie nécessaire à la conduite de l'opération.

L'utilisation d'un porteur ayant une signature plus faible que le navire mère permet de rapprocher le senseur de la cible et de modifier l'angle de vue. Dans le cadre de sonar classique de l'avant, ceci permet d'améliorer fortement la cellule de résolution, mais aussi de fournir à l'opérateur diverses ombres de l'objet, voire de proposer une reconstruction tridimensionnelle de la mine.

Un autre avantage consiste en l'augmentation de la distance entre l'objet suspect et la plate-forme durant la phase de détection et de classification. En effet, si la distance par rapport au sonar reste du même ordre, le senseur peut être placé environ 500 mètres en avant de la plateforme, augmentant d'autant la « stand-off » distance.

Durant la même période, les premiers engins « autonomes » de détection/classification sont apparus. Ces véhicules, préprogrammés pour effectuer à distance et sans contrôle permanent une patrouille dans une zone donnée, et pour ramener les informations récoltées au navire-mère, font partie de notre arsenal actuel. L'opérateur, qui se trouve à bord du navire-mère, doit analyser au retour du véhicule les données récoltées, et évaluer la menace présente dans la zone. Il va marquer les objets suspects et éventuellement reprogrammer l'engin afin qu'il rassemble des données supplémentaires pour lui permettre de s'assurer de la qualité de la phase de détection, ou planifier les phases d'identification et de neutralisation. Ces dernières sont toujours effectuées par des véhicules filoguidés déployés depuis le navire-mère, ce qui implique qu'il n'est pas encore possible d'opérer hors du champ de mine.

La prochaine génération de robots sera sans nul doute réellement autonome et permettra de réaliser l'ensemble des phases de la guerre des mines en permettant au navire-mère de rester en dehors de la zone dangereuse. Pour décrire comment ils pourraient être utilisés, commençons par définir ce que nous entendons par autonomie et le niveau d'interaction associé. On peut, de manière arbitraire définir quatre niveaux d'autonomies :

Le premier niveau d'autonomie est celui des véhicules télé-opérés. Dans ce mode, l'engin déporté reste sous le contrôle direct et positif de l'opérateur à bord du navire-mère. Ceci ne signifie pas forcément que le système soit filoguidé, mais bien qu'il y ait en tout temps « un pilote à bord ». Ceci peut se faire par exemple par communications radio lorsque l'engin est en surface ou par communications acoustiques lorsqu'il est immergé. Dans le cas présent, on ne peut pas vraiment parler d'autonomie. Le PAP et le SPVDS dans son mode d'utilisation de base, sont de bons exemples de ce genre de robot.

Le niveau suivant est celui des véhicules préprogrammés, qui représentent la première génération de véhicule avec une autonomie embarquée. Toutefois, l'autonomie est limitée aux divers mouvements et actions prédéfinis que le robot peut entreprendre. Ce dernier exécute en réalité une série d'actions définies par l'opérateur dans un script préétabli. La navigation est généralement limitée à des déplacements de point à point. Si pour une raison ou une autre la suite des actions du robot est interrompue, son système de contrôle arrête la séquence et l'automate de commande se met dans un mode stable. Le robot remonte alors en surface pour être récupéré ou au contraire, plonge et se pose sur le fond. L'exemple actuel le plus connu de ce genre de robot est sans aucun doute le REMUS 100. Mais d'autres véhicules filoguidés peuvent également, à côté de leur mode télé-opéré avoir un mode préprogrammé. Le SPVDS, ainsi que le SEAFOX possèdent ces deux modes. Chaque fabricant a d'ailleurs choisi une stratégie différente en cas d'arrêt du programme : le SPVDS va refaire surface tandis que le SEAFOX va se poser sur le fond. Le choix entre ces deux possibilités est lié au coût des

engins (plus d'un million d'euros face à quelque dizaine de milliers d'euros) mais aussi au danger présenté par ces véhicules (le SEAFX est équipé d'une munition). Les défis majeurs liés à l'utilisation des engins préprogrammés sont la précision de la navigation sous-marine (pas de signal GPS sous-marin), et les communications sous-marines qui sont caractérisées par une bande passante ainsi qu'une portée limitée. Ceci implique que, dans le mode sans fil, on ne peut pas garantir que l'opérateur ait toujours un contrôle direct et positif sur l'engin en cas de problème.

La prochaine évolution, en cours de développement, tend à donner plus d'autonomie aux véhicules. L'autonomie se situera à deux niveaux : le bas, qui consiste à pouvoir se déplacer de manière sûre et sans intervention humaine dans un milieu (partiellement) inconnu, et le haut, qui consiste à pouvoir adapter son comportement en fonction de l'objectif à atteindre et des observations. Le bas niveau consiste en particulier à pouvoir éviter des obstacles lors des déplacements, mais également à pouvoir détecter toute panne et prendre les actions nécessaires pour y remédier ou retourner au navire-mère pour être réparé. Le haut niveau est plus riche en possibilités. Il peut par exemple consister à savoir planifier sa trajectoire afin de couvrir une zone définie en fonction de l'environnement (courant, visibilité, portée des senseurs), et l'adapter continuellement. Dans le cadre d'un système SAS, la corrélation entre deux émissions permet d'évaluer le mouvement relatif du véhicule. Si celui-ci est trop important, l'antenne synthétique ne pourra être créée et le sonar fonctionnera alors en mode normal. Ceci a pour effet que l'écartement entre les rails devra être diminué afin de garantir une résolution suffisante. Il peut également consister à investiguer de plus près un objet suspect, en prendre des photos, remonter à la surface et transmettre par radio la position de l'objet ainsi que les photos, et puis reprendre la mission.

Cette planche reprend le trajet d'un véhicule équipé d'un l'ATR, de l'adaptation automatique de l'écartement de rail et de l'inspection des cibles.

Tout ceci doit se faire dans le cadre d'une mission définie qui, en lutte contre les mines, est généralement de patrouiller dans une zone et d'assurer une probabilité minimale suffisante de détection et de classification des mines. A cela peuvent s'ajouter d'autres contraintes comme par exemple de réaliser la mission le plus rapidement possible ou encore sans remonter à la surface (pour ne pas être vu/capturé par l'ennemi ou être endommagé par le trafic maritime dans la zone).

Il est cependant parfaitement imaginable que les règles de comportement et l'autonomie du robot diffèrent en fonction de l'endroit où il se trouve et de la phase de mission. Dans le cas d'une mission de reconnaissance (déterminer si des mines se trouvent dans une région particulière), la phase d'approche vers la zone se fera sans doute sous la supervision d'un opérateur (télé-opéré ou semi-autonome) afin de tenir compte du trafic environnant, alors que la mission de recherche de contacts proprement dite pourra être réalisée de manière entièrement autonome, vu que le risque de rencontrer un autre contact dans une zone potentiellement dangereuse est jugé suffisamment faible que pour être considéré comme acceptable. Définir correctement les règles en vigueur et évaluer la mission sur base des données fournies par la machine seront du domaine de l'opérateur qui devra correctement évaluer les conséquences de ses choix, le traitement des données devenant celui de la machine.

Après avoir rendu le véhicule autonome, l'étape suivante (on peut presque parler de révolution) consistera à déployer un certain nombre de véhicules autonomes ayant pour mission de nettoyer une zone, afin de permettre le passage d'un groupe de navires ou de rétablir la libre navigation. On parlera alors de véhicules autonomes coopératifs. Remarquons que les véhicules ne doivent pas être forcément du même type. On peut très bien mettre en œuvre des robots de surface avec des robots sous-marins (groupe hétérogène de robots), mais également uniquement des robots sous-marins (groupe homogène de robots), avec soit des robots identiques (membres polyvalents) ou des robots équipés de senseurs différents et complémentaires (membres spécialisés). La

coopération sera bien entendu plus difficile à implémenter dans un groupe hétérogène de robots spécialisés.

Un tel dispositif est actuellement à l'étude au sein du Centre de Recherche et d'Expérimentation Maritime de la Spezia. Un véhicule est chargé de la détection, un véhicule de surface de la ré-acquisition des cibles trouvées et de diriger les « killers » vers les mines.

Plusieurs stratégies de contrôle ou d'organisation sont envisageables :

Dans un premier modèle, chaque véhicule du groupe réalisera sa propre mission mais des interactions prédéfinies seront possibles. La mission à accomplir et son exécution (actions à prendre, trajectoire) seront définis par un opérateur pour chaque membre du groupe et le planning de l'opération globale pourra être préprogrammé ou adaptatif. L'interaction entre les divers véhicules se traduira par une synchronisation des tâches allouées. Les communications nécessaires se limiteront à l'échange du degré d'avancement de la réalisation des tâches individuelles et à l'échange d'ordre entre les véhicules et/ou le navire-mère. Pour illustrer ce modèle, nous pouvons imaginer plusieurs AUV en train de patrouiller dans une zone définie pour y détecter des mines potentielles. La zone peut être répartie entre les différents véhicules. Durant sa mission, un AUV va informer le navire-mère de l'avancement de sa mission et, en fonction des données recueillies, l'opérateur pourra décider de mettre en œuvre d'autres AUV (pour l'aider si sa mission ne progresse pas assez rapidement ou pour balayer la zone avec d'autres senseurs par exemple).

Le deuxième modèle se base sur un comportement de meute avec un leader. Dans ce cas, la mission à accomplir est attribuée au groupe et c'est le leader (un des véhicules déportés) qui coordonne de manière centralisée l'ensemble des tâches à exécuter. Les différents véhicules vont dès lors rendre compte de l'avancement de leur mission ainsi que des résultats obtenus au leader qui peut alors à tout moment modifier les tâches des membres de la meute. Chaque véhicule garde toutefois l'autonomie nécessaire pour réaliser les tâches qui lui sont attribuées (évitement d'obstacle, planification adaptative). Dans le cadre de la chasse aux mines, nous pourrions imaginer un groupe de véhicules

autonomes de trois types (spécialisation) : des véhicules permettant un balayage rapide de la zone avec une probabilité de détection importante mais présentant un taux de fausse alarme élevé, des véhicules permettant d'identifier visuellement (donc à portée faible) les mines, et des véhicules de neutralisation. Dans un premier temps, la zone serait divisée entre les divers véhicules du premier type. Durant la phase de détection, le nœud central pourrait redéfinir les zones allouées en fonction des résultats obtenus par les divers systèmes. Par exemple, il pourrait décider d'envoyer plus de moyens dans les zones difficiles. Parallèlement, il pourrait envoyer un véhicule de type identificateur sur l'ensemble des points d'intérêt qui lui ont été rapportés. L'optimisation de l'utilisation de tel ou de tel véhicule serait réalisée de manière centrale par le leader. Finalement, ce dernier désignerait un véhicule pour la neutralisation des contacts reconnus comme étant des mines. Dans la description de la tâche à accomplir, le leader devra tenir compte du moment auquel une explosion pourra avoir lieu afin de permettre/ordonner aux autres véhicules de s'éloigner de la zone d'explosion et éviter ainsi tout dégât collatéral. Dans ce scénario, il est donc essentiel que le nœud central ait une image consolidée et récente de la situation sur base de laquelle ses décisions sont prises. Les informations suivantes doivent donc être échangées : positions des véhicules, positions des contacts, ordres et degré d'accomplissement des diverses tâches. Le point faible de ce modèle réside dans le leader. Si ce dernier venait à être indisponible (défectueux ou détruit), les autres véhicules devraient pourvoir s'en rendre compte et élire en interne un nouveau leader qui réorganiserait alors le groupe.

Finalement, le comportement le plus coopératif envisageable est celui d'un groupe de véhicules s'organisant sans leader et dont la composition n'est pas fixée à l'avance. Chaque véhicule entrant dans la zone peut s'incorporer dans le groupe (on parle aussi d'essaim). Il s'attribue alors une tâche en fonction de la mission que le groupe doit réaliser et en fonction des perceptions qu'il a des autres véhicules (via ses senseurs et/ou des communications qu'il a pu établir). La planification est donc décentralisée. Le reste du groupe doit être directement ou indirectement informé de la présence d'un nouveau membre, et s'auto-réorganiser afin

de remplir le reste de la mission de manière optimale. Ce comportement adaptatif du groupe permet également de tenir de compte de défaillance éventuelle d'un membre, de son retrait de la zone ou de la moindre performance de ses senseurs. La coordination des activités se fait donc grâce aux interactions entre les divers intervenants. Une forme de consensus, ou de hiérarchie « acceptée », permet la distribution des rôles en fonction des circonstances. Au début de l'opération, alors qu'aucun contact n'a été rapporté, les véhicules de type identificateur peuvent très bien être utilisés en tant que vecteur de détection, jusqu'au moment où un senseur détecte la présence d'un objet suspect. L'information est alors disséminée au sein de l'essaim et un véhicule va prendre sur lui la tâche d'investiguer le contact. Ici nous devons nous rendre compte que la décision sera prise par des acteurs ne partageant peut être pas complètement la même perception de la situation. Il est effet illusoire de croire que l'ensemble des données disponibles pour chaque véhicule sera partagé avec tous les autres intervenants : la bande passante et la portée des communications ne le permettent pas. Un véhicule se trouvant à une certaine distance disposera peut être de données sur le courant ou sur la présence d'un obstacle qui lui indiquera que même si il est plus proche de la cible qu'un autre, l'effort nécessaire pour y parvenir est plus important et qu'il peut être plus judicieux de dépêcher un autre véhicule sur les lieux. Il ne peut envoyer l'ensemble de ses perceptions aux autres robots pour qu'ils comprennent qu'il ne peut pas prendre cette tâche. Il vaut mieux qu'il envoie un message simple indiquant qu'il reste sur sa tâche. Le seul moyen de s'affranchir des contraintes de communications est donc de restreindre fortement les informations nécessaires à la prise de décision, ceci permettant de s'assurer que l'ensemble des nœuds ont accès à la même information pour prendre une décision. Mais ceci implique que nombre d'informations utiles ne seront pas exploitées et que la solution proposée pourrait être sous-optimale (no free lunch). De plus, un mécanisme de gestion des conflits devra être implémenté, afin d'éviter que plusieurs robots soient occupés à la même tâche. Le modèle le plus simple est un système dans lequel chaque véhicule est capable d'évaluer la contribution qu'il apporterait à la mission s'il exécutait la tâche proposée, et de la transmettre aux autres véhicules. Les autres véhicules compareraient alors cette contribution à la leur et le meilleur s'attribuerait la tâche. Chacun comprend tout de suite que ce niveau de

coopération est le plus difficile à implémenter et va demander encore des années de recherche avant de pouvoir être fiable et utilisé par des militaires. De plus, en plus des règles de comportement définies pour chaque robot, l'opérateur devra définir à l'avance et en fonction de la mission les lois de règlement de conflit au sein du groupe et les limites laissées à l'autonomie des véhicules

Avant la mise en œuvre de ces idées, les défis suivants devront avoir été relevés :

- Pour certaines menaces, telles les mines dérivantes et les mines enfouies, nous ne possédons pas encore de réponse validée. Sans tenir compte de l'apport éventuel des véhicules autonomes, les senseurs transportés ne permettent pas encore de contrer la menace.
- Des systèmes anti-UXV peuvent être imaginés. Un filet de pêche peut sans problème rendre inopérant un véhicules autonomes (arrêt des hélices ou entrave de mouvement du véhicule).
- Il existe encore des interrogations quant aux performances supposées de ces nouveaux senseurs. Quel est l'impact du courant ou de la végétation sur les performances intrinsèques des senseurs et des logiciels associés.
- Comme dans le cas des véhicules aériens autonomes, des débats entre juristes au sujet de la responsabilité d'individus lors de fonctionnement non voulu du système ont lieu. Quid si la décision autonome d'un véhicule met des personnes ou des bien en danger ? Si certains ouvrages d'anticipation voient la mise hors tension d'un robot comme étant une punition, je crois que nous ne sommes pas encore prêts à traduire en justice (pénale) des entités ne possédant pas de libre arbitre.
- Le comportement coopératif demande l'adoption d'un langage commun et d'interfaces définis et ouverts.

On le voit, même si des avancées substantielles ont été faites vers plus d'autonomie pour les véhicules, l'humain doit rester au cœur du système parce que lui seul porte la responsabilité et quand le système ne peut apporter une réponse, il est le seul à pouvoir débloquer la situation, de par ses capacités mais aussi parce qu'il est et reste responsable. Mais

pour pouvoir assumer cette charge, il est indispensable que l'opérateur puisse comprendre et prévoir comment les divers systèmes vont interagir.

Les mines font peser une lourde menace sur nos intérêts économiques. Le mouillage, même supposé de l'une de ces armes, peut sérieusement perturber le trafic entrant et sortant de nos ports. Vu la dépendance de notre économie au commerce maritime, l'effet de l'occurrence d'un tel événement serait désastreux, ce qui justifie amplement le développement d'une capacité de guerre des mines au sein des marines occidentales.

La lutte contre les mines marines est une activité dangereuse et il est donc recommandé d'exposer le moins possible le personnel. Sur base de cette constatation, des systèmes filoguidés ont vu le jour, mais tous travaillent encore en mode télé opéré ou préprogrammé. L'amélioration continue de la résolution des images sonar a rendu la détection automatique de mines fiable. Cette avancée, conjuguée aux progrès réalisés en robotique ouvre la voie à la conception de véhicule autonome pouvant réaliser des missions de guerre des mines, seuls ou au sein d'un groupe. Il reste à savoir maintenant quel sera la place de l'opérateur dans cette nouvelle configuration. Celle-ci sera non seulement fonction de progrès technologique mais aussi du cadre légal, voir éthique, et culturel entourant l'utilisant de ces véhicules autonomes.

* *
*

Évolution de moyens de lutte contre les mines