



# Robots pour la guerre des mines : une évolution « darwinesque »<sup>1</sup> dans la lutte contre les mines

YVES DUPONT

Le capitaine de vaisseau Dupont a débuté sa carrière au sein de la Défense en tant qu'officier responsable de la maintenance à bord d'une frégate. Après avoir occupé divers postes au sein de la force navale, il poursuit sa carrière au sein des équipes de projet pour le renouvellement de la capacité de lutte contre les mines, d'abord au sein du projet « Dragueur de mines côtier », ensuite pour la modernisation des chasseurs de mines. Afin de mener à bien les divers projets qui lui sont confiés et de permettre d'être toujours à la pointe de la science et de la technologie, il sert d'interface entre la Composante et les chercheurs actifs au sein des diverses études menées par l'IRSD dans le cadre de la lutte contre les mines. Aujourd'hui, il occupe la fonction de chef de la section Naval Systems au sein de la direction générale Material Resources (DGMR).

*Mijnenbestrijding op zee is een gevaarlijke opdracht. Bij de eerste techniek wierpen vissersschepen hun netten boven de mijnevelden uit om die op te ruimen. Dit werd verbeterd door het invoeren van de mijnenveegtechnieken, maar die vereisten nog altijd dat de bemanning boven de mijnen moest varen. Met de introductie van de sonar in de jaren 70 probeerde men de afstand tussen de mijn en de zeeman te vergroten. Door de evolutie van de robotica is deze afstand nog groter geworden, door betere communicatie maar ook door meer autonomie die de directe controle van de gebruiker niet meer vergt. De tijd is misschien niet veraf dat men aan een groep onbemande systemen een opdracht toewijst, samen met een aantal gedragsregels, die het eindresultaat van de opdracht gaat rapporteren.*



## **LA GUERRE CONTRE LES MINES AUJOURD'HUI : L'APPROCHE PLATE-FORME CENTRÉE**

172

La Belgique s'est forgée, depuis la fin de la Deuxième Guerre mondiale, une réputation d'excellence dans la lutte contre les mines marines. Ces armes relativement bon marché et aisément disponibles (le stock mondial est estimé à plus de 250.000 mines dans plus de 50 pays) sont à même d'infliger de lourdes pertes non seulement aux bâtiments de guerre, mais également à notre économie en limitant fortement les échanges maritimes de matières premières ou de biens de consommation. Si une mine peut rapidement et facilement être déployée, la retrouver et la détruire peut s'avérer être une tâche extrêmement ardue. Bien avant les années 70, la seule technique disponible était le dragage, d'abord contre les mines ancrées, ensuite également contre les mines à influence. Cette technique requiert le passage du navire à proximité, voire au-dessus de la mine en remorquant une drague mécanique ou une drague à influence.

Le développement du sonar permettant de détecter la menace en avant du navire, ainsi que des premiers engins filoguidés donnant la possibilité de les détruire à distance, a permis de réduire considérablement le risque encouru par les équipages en gardant la plate-forme à une distance de sécurité jusqu'à l'explosion de la mine. Dans ce cas, l'opération se déroule de la manière suivante : le sonar situé sur la plate-forme habitée détecte les objets suspects avant que le navire ne pénètre dans la zone létale de la mine. Après avoir classifié l'objet comme une mine possible, l'opérateur peut décider d'envoyer soit un plongeur-démineur, soit un véhicule filoguidé, afin d'inspecter la cible et – le cas échéant – la détruire. Vu la complexité de l'environnement marin et des images sonar, la phase de détection-classification se base largement sur les compétences des opérateurs.

### **LE DRAGAGE PAR DRONE : UNE PREMIÈRE EXPÉRIENCE**

Une première série de drones a été introduite vers la fin du XX<sup>e</sup> siècle. On passera graduellement d'un mode téléopéré à un mode préprogrammé. Les premiers véhicules opérationnels travaillant sur ce principe sont les drones de dragage à influence de type *Seehund*. Entré en service en 1980, ce véhicule autonome de surface peut travailler en mode téléopéré ou autonome. Dans le mode autonome, le drone va suivre une route le menant d'un *way point* à un autre, jusqu'à ce qu'il ait rempli sa mission et revienne au point où le navire-mère le reprendra en charge. Il n'est pas étonnant que les moyens inhabités aient été d'abord affectés à la première technique, le dragage. En effet, les opérations de ce type répondent

parfaitement aux trois critères souvent utilisés pour justifier l'utilisation de drones (« *dirty, dangerous or dull* »). La mission est dangereuse car le dragage suppose le passage de la drague – et donc le navire la remorquant – à proximité (voire au-dessus) de la mine afin de la faire exploser. Cette tâche est également monotone : le navire parcourt la zone à nettoyer de façon répétitive et durant de longues périodes afin de contrer un éventuel ship count<sup>2</sup> ou en modifiant le signal émis pour simuler l'influence des navires à protéger ou s'adapter à la logique de la mine. Le premier drone sous-marin travaillant suivant le mode préprogrammé utilisé par la Défense belge est le Remus 100, dont le premier exemplaire date de 1995. Dans la version de base, encore largement utilisée, le véhicule collecte des données suivant un plan préétabli. Le dépouillement des données est réalisé par un opérateur une fois la mission terminée. Il est clair que cette manière de travailler est peu efficace, le temps de dépouillement étant au moins égal au temps de prise de vue et, en cas de mauvaise image sonar, la mission doit être recommencée.

### **L'UTILISATION D'UN DRONE POUR LA CHASSE AUX MINES**

L'introduction du sonar à balayage latéral et l'augmentation de la résolution des images a rendu possible le développement d'algorithmes de détection et de classification automatique. Ces avancées sont indispensables pour permettre une classification autonome par le robot. Une classification positive ou ambiguë peut donner lieu à une reprogrammation de la trajectoire du véhicule et ainsi éviter de devoir programmer à nouveau une mission afin d'acquérir les données manquantes. Le degré de confiance que l'on peut accorder à ces outils reste un sujet de polémique auprès des utilisateurs et la place à réserver pour l'opérateur humain, floue. Une approche étudiée pour la caractérisation de l'image et la définition d'un seuil à partir duquel l'intervention de l'humain est nécessaire est la mesure de la complexité de l'image. Suivant cette information, le système sera bientôt à même d'évaluer ses propres performances sur la base d'hypothèses liées à la CAC/CAD<sup>3</sup> et de vérifier si ces hypothèses sont valides. La reprogrammation dynamique d'un véhicule autonome dans le cadre de la chasse aux mines, en fonction des contacts rencontrés et des performances mesurées des senseurs, sort des laboratoires et commence à être intégrée sur des véhicules utilisés en mer.

Quel que soit le niveau de performance de ces algorithmes, la résolution (nombre de pixels correspondant à l'objet étudié) doit être importante pour fournir suffisamment d'informations aux algorithmes, afin de leur permettre de prendre

une décision appropriée. Cette augmentation va de pair avec une augmentation de la fréquence utilisée et implique donc une diminution de la portée effective du capteur et de la vitesse de balayage de la zone. Réduire la distance entre le capteur et la cible rend d'autant plus importante l'utilisation de systèmes inhabités pour la sécurité des équipages, la réduction de la vitesse de balayage imposant la mise en œuvre simultanée de plusieurs drones afin de maintenir la durée de l'opération de déblaiement dans des limites acceptables. Les véhicules ayant besoin de plus de temps pour explorer une surface définie, l'utilisation efficace de la capacité de leur batterie devient cruciale pour obtenir un rendement suffisant de leur mise en œuvre. Il faut donc soit améliorer les batteries, soit réduire l'énergie nécessaire au transit entre le navire-mère et la zone d'opération. Pour ce faire, il faut disposer d'un moyen de transport rapide de ces drones dans la zone potentiellement minée afin de délivrer les systèmes autonomes une fois arrivés sur zone. Répondre à l'ensemble de ces contraintes mène au développement de plates-formes dédiées à la lutte contre les mines alliant mesures d'autoprotection et de résistance aux chocs, de capacité d'emport et de déploiement robuste ainsi que de vitesse de transit élevée.

### **LA PROCHAINE ÉTAPE : LE TOOLBOX**

Le véhicule autonome tel qu'envisagé ci-dessus ne remplit cependant qu'une partie du cycle de chasse aux mines. La partie neutralisation n'est pas encore prise en compte. Les scénarii développés aujourd'hui prévoient une scission du processus en deux étapes : d'abord détection et classification, ensuite réacquisition, identification et neutralisation, avec intervention de l'opérateur entre les deux phases et validation des résultats avant la neutralisation. Il est pourtant tout à fait imaginable de concevoir un système (intelligent) composé de plusieurs véhicules, identiques ou non, ayant des rôles différents et accomplissant l'ensemble du processus de chasse. Ce processus se déroulant de la détection jusqu'à la neutralisation des cibles sans que l'opérateur n'intervienne pour assigner des tâches ou jouer un rôle dans le processus de classification et de réacquisition, le rôle de l'homme se limite à la surveillance du bon déroulement de l'opération avec une fonction de red card holder pour la phase de neutralisation. Cette ultime évolution peut paraître utopique et soulève certainement des questions éthiques<sup>4</sup>, mais au vu du but recherché, des risques possibles et des bénéfices escomptés, il est légitime de poursuivre les recherches devant mener à la mise à disposition d'un ensemble de véhicules autonomes capables de réduire le risque posé par les mines dans des zones définies et de rapporter de manière non ambiguë le résultat des opérations menées.



Self Propelled Variable Depth Sonar (SPVDS)

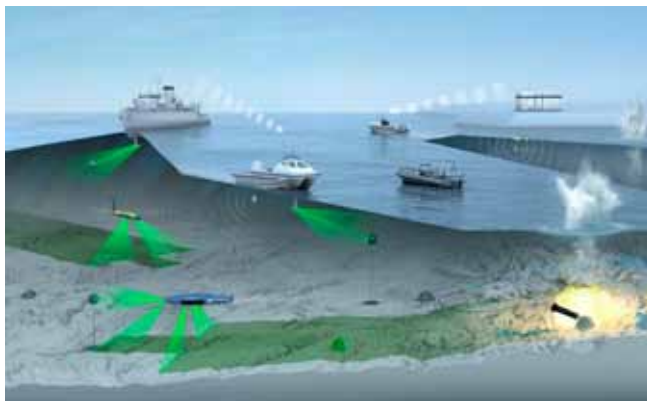
Nous nous trouvons donc en face d'un ensemble de véhicules se déplaçant dans ce que l'on qualifie aujourd'hui de battle space, l'espace où les engagements se déroulent, des véhicules ayant une mission à remplir mais ne pouvant s'échanger qu'une quantité limitée d'informations. En effet, les ondes acoustiques qui sont les plus à même d'assurer le transport d'information en milieu aquatique ont une bande passante intrinsèquement réduite, ce qui rend impossible l'échange de données brutes au sein de l'essaim de véhicules déployés. Sur cette base, le contrôle de celui-ci peut se concevoir à plusieurs niveaux : le premier – et le plus proche de nos habitudes – est celui d'une architecture centralisée où un organe centralisateur planifie l'opération, reçoit les évaluations de chacun des membres et vérifie que les actions en cours vont permettre d'atteindre l'objectif fixé en termes de taux de déblaiement et de durée de l'opération. Ce mode de fonctionnement permet de calculer un optimum global pour la planification de l'exécution de la mission, d'avoir à tout moment une idée claire du déroulement de celle-ci, mais est intrinsèquement le moins robuste. Non seulement, le leader constitue un point unique de défaillance, mais les hypothèses faites sur l'accès pour le leader à l'ensemble des informations sont discutables dans le cas de véhicules sous-marins opérant à grande distance (en pratique une distance supérieure à 1000 mètres entre véhicules). Il est néanmoins possible de rendre le système plus robuste en intégrant un système d'élection du leader, mais ceci se fait au détriment de la bande passante (les informations disponibles dans le

nœud central doivent être dupliquées) et impose des contraintes supplémentaires à la topologie de l'essaim.

176

### **LE FUTUR : UNE ENTREPRISE COLLABORATIVE**

Afin de répondre à ces manquements, un mode de fonctionnement collaboratif peut être envisagé. Il existe de multiples manières de définir les interactions entre les divers mobiles et nous nous contenterons ici de décrire un mode de fonctionnement possible, facilement généralisable. Le groupe de robots se voit attribuer une mission à remplir, celle-ci étant divisée en un certain nombre de tâches. Chaque véhicule communiquera aux autres véhicules l'effort nécessaire à la réalisation de sa tâche. Ce calcul tiendra compte de la position du mobile, de ses capacités en termes de déplacement, mais aussi des performances de ses senseurs. Un véhicule équipé d'un sonar de classification de plus faible portée demandera un effort plus important pour réaliser une tâche de surveillance qu'un système doté d'un sonar de grande portée à ouverture synthétique. Lors de l'accomplissement d'une tâche, le mobile peut créer d'autres tâches. Par exemple, lors d'une mission de surveillance, une tâche pour la classification de chaque objet suspect sera créée. La mission est considérée terminée lorsque l'ensemble des tâches est accompli ou lorsque le temps imparti est écoulé. L'avantage de ce mode de fonctionnement est que tant qu'un mobile est actif, la mission continue, mais le désavantage est qu'il n'existe plus d'image globale de l'avancement des travaux, ni de la topologie du groupe. De plus, il est plus que probable que les divers algorithmes d'optimisation de l'utilisation des ressources débouchent sur des minima locaux, donc sur une utilisation suboptimale des moyens disponibles.



Concept futur

## CONCLUSION

Quel que soit le système de gestion des mobiles que l'on retiendra, la nécessité de s'approcher toujours plus des cibles potentielles afin de pouvoir les détecter et les classifier avec un degré de confiance plus élevé rend l'utilisation de groupes de robots indispensable à la conduite d'une mission de lutte contre les mines dans un délai compatible avec la conduite de ces opérations. Il est également clair que dans un futur proche, il sera toujours fait appel à un opérateur humain comme maillon de la chaîne de traitement et de décision, ce qui imposera des contraintes sur les topologies des essaims dans un environnement où les communications sont limitées et permettra, pour la plate-forme-mère, de transporter, déployer, récupérer et commander les divers véhicules nécessaires à l'accomplissement de la mission.

Le futur de la lutte contre les mines passe par l'usage de véhicules de plus en plus autonomes, mais nous ne pourrons faire l'économie – dans un avenir proche – de la présence de l'opérateur dans la chaîne de décision.

Reageren? Réagir?: [BMT-RMB@mil.be](mailto:BMT-RMB@mil.be)



**Mots clés : mines marines**

---

<sup>1</sup> « *AI technology has reached a point where the deployment of (autonomous weapons) is – practically if not legally – feasible within years, not decades, and stakes are high: autonomous weapons have been described as the third revolution in warfare after gunpowder and nuclear arms* ». Lettre de Musk, Hawkins & CO présentée à la *International Joint Conference on Artificial Intelligence* à Buenos Aires en 2015.

<sup>2</sup> Le « *ship count* » ou compteur de navire est un mécanisme par lequel une mine n'est mise à feu qu'après le passage de plusieurs navires. Ce système permet de créer un effet de surprise mais aussi de rendre l'évaluation d'une opération de dragage plus complexe.

<sup>3</sup> *Computer-Aided Detection/Computer-Aided Classification*.

<sup>4</sup> *Autonomous Weapons: an open letter from AI en Robotics researchers*, conférence IJCAI en 2015.