



# LE MAGAZINE

## DES INGÉNIEURS DE L'ARMEMENT



# DRONES



**P05.** Préface du général Thierry Burkhart, Chef d'Etat Major des Armées

**DRONES :  
FAIRE AUTREMENT**

**P94.** SAFEAER UNE STARTUP POUR UN PROBLEME VIEUX DE 100 ANS  
*par Benoît Chandesris*

**N° 125 - MARS 2022**

# LA DÉFENSE, UNE FORCE AU SERVICE DU BIEN

A silhouette of a group of people playing soccer on a field at sunset. The sun is low on the horizon, casting a warm orange glow across the sky and illuminating the clouds. The players are in various poses, some with their feet on the ball, others in motion. The background is a gradient of blue and orange, with scattered clouds.

Pour préserver la beauté du monde, Airbus fournit aux États les solutions militaires qui leur permettent de protéger leurs citoyens, leurs valeurs et leurs infrastructures vitales. Avec nos technologies de pointe dans les domaines terrestre, maritime, aérien, spatial et cyber, nous avons pour mission d'ouvrir la voie à une industrie aérospatiale durable pour un monde sûr et uni. C'est pourquoi la protection est au cœur de toutes nos actions, en veillant à ce que le personnel en première ligne et les populations bénéficient du soutien dont ils ont besoin, au moment où ils en ont le plus besoin.

**AIRBUS**

# MOT DU PRÉSIDENT

## Perspectives 2022

En tant que nouveau Président de la CAIA, je suis très heureux de pouvoir m'adresser à vous pour la première fois au sein de notre revue. Tout d'abord, je tiens à vous faire part de l'honneur que j'éprouve de me retrouver à la tête de notre Amicale, mais surtout de la responsabilité que je ressens désormais d'œuvrer pour le bien et le rayonnement de notre communauté. Je sais pouvoir compter sur notre conseil et, au-delà, sur nombre d'entre vous pour assumer cette importante mission. Qu'ils en soient d'ores et déjà remerciés !

L'année 2022 sera bien entendu très importante pour notre pays avec l'élection du futur Chef des Armées, responsable de la politique de défense et de sécurité de notre pays. A ce titre, la plupart d'entre nous, au service de l'Etat comme au sein de l'industrie, prendront une part active à la mise en œuvre de cette politique. Elle pourrait être également très importante pour les ingénieurs de l'armement avec le projet de réforme des corps techniques de l'Etat. **A l'instant où je m'adresse à vous, le rapport demandé à ce sujet par le gouvernement auprès de la mission Berger – Guillou – Lavenir n'a pas été rendu public. Je formule ici un double vœu à propos des décisions qui seront prises à l'issue de sa publication.**

Tout d'abord, qu'elles permettent de pouvoir toujours attirer au sein de notre corps des ingénieurs de l'armement de qualité prêts à s'engager au service de l'Etat et de la Nation : ceci est essentiel pour maintenir le haut niveau de performance de notre écosystème de défense.

D'autre part, outre la contribution essentielle de notre communauté au profit de nos forces armées par le développement et la fourniture de leurs systèmes d'armes actuels et futurs, **que ces décisions renforcent plus largement encore la contribution des ingénieurs de l'armement au profit de l'Etat.** En effet, la stratégie à venir de ce dernier devra encore mieux intégrer les enjeux techniques, technologiques et industriels de plus en plus complexes auxquels il aura à faire face. Dans cette perspective, je suis convaincu que les ingénieurs de l'armement peuvent apporter à l'Etat leur concours dévoué et efficace. En effet, ces derniers peuvent offrir, comme le confirme le rapport Acacia, objet d'un article que vous trouverez dans cette revue, leur maîtrise des grands projets complexes mais également de leurs grandes compétences techniques reconnues dans des domaines très variés tels que l'électronique,

le numérique, les systèmes de systèmes, l'énergie... .

Soyez assuré que notre association agira au mieux pour que ces deux vœux deviennent réalité !



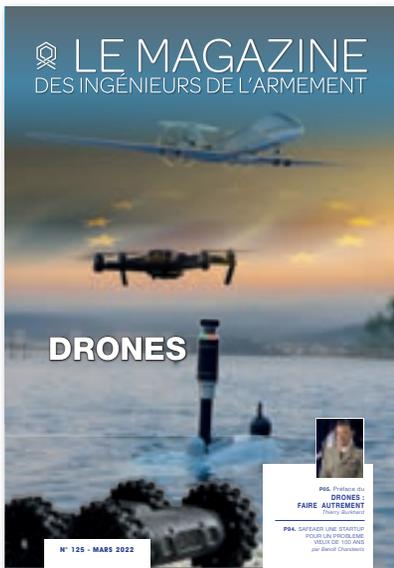
**L'année 2022 sera également importante et active pour notre communauté, avec le lancement de nouvelles initiatives visant notamment à mieux faire connaître le rôle et les capacités des ingénieurs de l'armement.** A ce titre, notre magazine y prendra toute sa place. Je tiens tout d'abord à remercier son rédacteur en chef, Jérôme de Dinechin, ainsi que son comité de rédaction qui œuvre depuis de nombreuses années avec dévouement pour nous permettre de disposer d'un magazine de grande qualité présentant les réalisations de notre communauté dans le domaine de l'armement. Je remercie également les rédacteurs d'articles et nos sponsors de leur engagement pour faire de cette revue un outil important dans le rayonnement et la réflexion de notre communauté.

**Une réflexion est en cours de lancement sous la responsabilité de Louis Le Pivain avec le concours de Jérôme de Dinechin pour renforcer encore la qualité et la richesse de notre revue.** Bien entendu, nous maintiendrons le cœur de notre magazine, à savoir son dossier thématique riche et ouvert. Nous réfléchirons sur sa présentation afin de le rendre encore plus clair et plus agréable à lire, et sur sa diffusion afin d'accroître son impact hors de notre communauté. Enfin, je souhaite que notre Amicale développe un pôle de réflexion afin d'apporter une plus importante contribution aux débats intéressant notre écosystème, mais également de nouvelles activités dont certaines pourront renforcer cette contribution. Notre magazine sera bien entendu l'outil majeur pour faire connaître le fruit de ces réflexions.

Dans l'attente de ces évolutions, je vous souhaite simplement de prendre un maximum de plaisir à la découverte de ce numéro 125 consacré aux drones, qu'ils soient terrestres, navals ou aériens et de ses nombreuses autres rubriques toujours aussi variées.

Bonne lecture ! 📖

**Olivier Martin, IGA**  
Président de la CAIA



## LE MAGAZINE DES INGÉNIEURS DE L'ARMEMENT

CAIA 16 bis, avenue Prieur de la Côte d'Or,  
CS 40300 - 94114 ARCUEIL Cedex  
Site : [www.caia.net](http://www.caia.net)  
E-mail : [contact@caia.net](mailto:contact@caia.net)  
Numéro de dépôt légal : 2265-3066

**DIRECTEUR DE PUBLICATION :**  
Olivier MARTIN

**RÉDACTEUR EN CHEF :**  
Jérôme DE DINECHIN

**RÉDACTEUR EN CHEF DÉLÉGUÉ :**  
Jean REIX

**COMITÉ DE RÉDACTION :**  
Bruno BELLIER, Amandine REIX,  
Yves DESNOËS, Flavien DUPUIS,  
Daniel JOUAN, Benoît DE LAITRE,  
Monique LEGRAND-LARROCHE  
Louis LE PIVAIN, Olivier MARTIN,  
Dominique MONVOISIN,  
Denis PLANE, Vincent SOL,  
Frédéric TATOUT

**CRÉDITS PHOTO :**  
ADP, Airbus, Air France, C. Cosmao  
(Dassault Aviation), DGA, Diane Bond  
(Airbus Helicopters), FOSIT, iXblue,  
ISAE-SUPAERO, Nexter, Safran,  
Thales,  
Th. Rostang (Airbus Helicopters),  
Yves Desnoës

**ÉDITION ET RÉGIE PUBLICITAIRE :**  
FFE 15 rue des Sablons 75116 Paris  
01 53 36 20 40 - [www.ffe.fr](http://www.ffe.fr)

**DIRECTEUR DE LA PUBLICITÉ :**  
Patrick SARFATI

**CHEF DE PUBLICITÉ :**  
Franck LEVI - 01 40 21 76 23  
[franck.levi@ffe.fr](mailto:franck.levi@ffe.fr)

Ingrid DUBOCQ - 01 40 09 68 47  
[ingrid.dubocq@ffe.fr](mailto:ingrid.dubocq@ffe.fr)

**MAQUETTE :**  
Matthieu ROLLAT  
[matthieu.rollat@gmail.com](mailto:matthieu.rollat@gmail.com)

**IMPRESSION :**  
ESPACE GRAFIC

N° ISSN-L 2265-3066

# SOMMAIRE

<b>MOT DU PRÉSIDENT</b> .....	1	<b>ROBOTIQUE TERRESTRE : LA NOUVELLE DYNAMIQUE VULCAIN</b> <i>par Delphine Dufourd-Moretti</i> .....	52
<b>ÉDITO</b> <i>par Jérôme de Dinechin</i> .....	3	<b>LES SYSTÈMES DE DRONES : INTÉGRATION ET INTELLIGENCE ARTIFICIELLE</b> <i>par Dominique Giannoni</i> .....	54
<b>PRÉFACE</b> <i>par Général d'armée Thierry Burkhard</i> ...	5	<b>LE FUTUR DE LA GUERRE DES MINES PASSE PAR LES DRONES</b> <i>par Sylvain Bussiere</i> .....	56
<b>INTRODUCTION DU DOSSIER</b> <i>par Jean Reix</i> .....	6	<b>DES NAVIRES, DES DRONES ET ... DES HOMMES !</b> <i>par Laurent Louvart</i> .....	58
<b>ÉTENDRE LA FORCE NAVALE</b> <i>par Eric Papin</i> .....	8	<b>LA LUTTE ANTI-DRONES (LAD)</b> <i>par Nicolas Cordier-Lallouet</i> .....	60
<b>LE DÉMONSTRATEUR DE DRONE SOUS-MARIN OCÉANIQUE</b> <i>par Eric Papin</i> .....	10	<b>TIRS MISSILES AU-DELÀ DE LA VUE DIRECTE</b> <i>par Stéphane Reb et J.R. Gourion</i> .....	62
<b>UNE CARRIÈRE DANS LES DRONES</b> <i>Interview de Damien Raby</i> .....	12	<b>20 PROJETS ABANDONNÉS EN 20 ANS</b> <i>par Denis Plane</i> .....	64
<b>AUTOMATISER L'INSPECTION D'AVION</b> <i>par Matthieu Claybrough</i> .....	14	<b>ARMES AUTONOMES</b> <i>par Michel Gostiaux</i> .....	66
<b>STRATOBUS : UNE SURVEILLANCE EN CONTINU DEPUIS LA STRATOSPHERE</b> <i>par Michel Masselin et Benoit Hancart</i> ..	16	<b>« AUTONOMIE » : POLYSÉMIE, CONFUSION, ÉTHIQUE</b> <i>par Catherine Tessier</i> .....	68
<b>L'IMAGINATION EST LA SEULE LIMITE À CE QUE PEUT FAIRE LE ZEPHYR</b> <i>par Thierry Baud</i> .....	18	<b>ÉVITER QUE LE CIEL NOUS TOMBE SUR LA TÊTE</b> <i>par Patrick Hadou</i> .....	69
<b>LES DRONES AÉRIENS AU SEIN DES FORCES ARMÉES AMÉRICAINES – AUJOURD'HUI ET DEMAIN</b> <i>par Marc Estève, Dominique Orsini et James Lynch</i> .....	20	<b>DRONE CIVIL OU MILITAIRE, UNE RÉGLEMENTATION POUR QUOI FAIRE ?</b> <i>par Bruno Even</i> .....	72
<b>MON AFFECTATION TEMPORAIRE CHEZ PARROT</b> <i>par Valentin Salvator</i> .....	23	<b>GALA DE L'ARMEMENT 2021</b> <i>par Nicolas Maffert et l'équipe organisatrice</i> .....	84
<b>MULES, ÉCLAIREURS ET OIP</b> <i>par Nicolas Chamussy</i> .....	24	<b>AMBITION ET CARRIÈRE DES INGÉNIEURS DE L'ARMEMENT</b> <i>par Isaure de Broglie, Victor Cauchois, Richard Castaing et Jules Vogt</i> .....	85
<b>ESSAIM DE DRONES</b> <i>par Thomas Sousselier</i> .....	26	<b>LE BAPTÊME DE PROMOTION 2021</b> <i>par Isabelle Tanchou et Bertrand Delmas-Marsalet</i> .....	87
<b>L'ISAE SUPAERO TIENT SON RANG EN RECHERCHE ET FORMATION</b> <i>par Jean-Marc Moschetta</i> .....	28	<b>LES IA 2021</b> <i>par Isabelle Tanchou</i> .....	88
<b>OÙ EN EST LA ROBOTIQUE AUTONOME ?</b> <i>par Jérôme Lemaire</i> .....	30	<b>LA FAMILIA 2022</b> <i>par Isabelle Tanchou et Pierre Dauchy</i> ..	89
<b>SYSTÈMES AUTOMATISÉS INNOVANTS POUR LE COMBAT AÉROTERRESTRE</b> <i>par Christian de Villemagne</i> .....	34	<b>PÉRIODE D'OUVREMENT INDUSTRIELLE</b> <i>par Ming Long</i> .....	90
<b>L'AUTONOMIE EN ÉNERGIE : L'AVENIR ?</b> <i>par Louis Le Pivain</i> .....	36	<b>MICROFLUIDIQUE ET IMMUNOTHÉRAPIES</b> <i>par Gustave Ronteix</i> .....	92
<b>« DRONES D'ANIMAUX » POUR UNE « DRONE DE GUERRE » ?</b> <i>par Xavier Lebacqz</i> .....	38	<b>DES SYSTÈMES COMPLEXES À LA RÉSISTANCE ANTIBIOTIQUE</b> <i>par Clément Roussel</i> .....	93
<b>AUTOMATISATION DES NAVIRES ET AERONEFS</b> <i>par Yves Desnoës</i> .....	40	<b>SAFEAER UNE STARTUP POUR UN PROBLÈME VIEUX DE 100 ANS</b> <i>par Benoît Chandesris</i> .....	94
<b>DRONES « AU CONTACT »</b> <i>par Marie-Line Falchi</i> .....	44	<b>TROPHÉES DES INNOVATEURS DE LA DÉFENSE</b> <i>par Patrick Aufort</i> .....	96
<b>AU CŒUR DE L'ACTUALITÉ UKRAINIENNE : LES DRONES DE L'OSCE DANS LE DONBASS</b> <i>par Xavier de Fontenay</i> .....	46	<b>LU POUR VOUS</b> .....	97
<b>LES DRONES AU HAUT-KARABAGH</b> <i>par Xavier Tarot</i> .....	48	<b>CAMARADES ÉCRIVAINS</b> .....	98
<b>LES DRONES, UNE RÉVOLUTION CAPACITAIRE</b> <i>par Johan Pelzer</i> .....	50	<b>LU AU JO - NOMINATIONS DGA - CARNET PRO</b> .....	100

# ÉDITO

Jérôme de Dinechin, *Rédacteur en Chef*



## En avant les consciences !

Six années ont passé depuis que nous avons proposé un dossier sur les robots. Auparavant, notre numéro 83 avait traité des drones, premier numéro où Arnaud Salomon me passait la suite de rédacteur en chef... en 2007.

En relisant cette prose, nous pressentions déjà les progrès techniques, les difficultés éthiques et les développements à venir, à susciter, à décider. Nous y trouvions déjà : une préface du CEMA, un panorama des drones des différents milieux, les besoins opérationnels, les projets avancés, du nEURon au Héron en passant par Boston Dynamics et un projet de MALE européen,..., sans oublier une élection présidentielle !

A la fois rien n'a changé, et pourtant, que de transformations, de Tesla à la première guerre robotisée dont vous lirez un Retex dans ces pages.

Les drones et robots nous posent la question fondamentale de l'autonomie. Il existe comme le souligne Catherine Teissier une confusion sémantique : s'agit-il d'une capacité à enchaîner des actions individuelles, comme se saisir d'une tasse de café, ou une capacité à concevoir des réponses à des environnements nouveaux ? S'agit-il d'une séquence préprogrammée avec des choix, ou d'une réflexion en conscience devant une décision ayant des enjeux éthiques.

C'est d'abord à nous que la question est posée : comment vivons-nous cette autonomie, et quelle sens donnons-nous à nos actions, à nos engagements ?

1/ Inutile d'entrer dans la *pleine conscience* de chacune de nos actions, nous avons besoin d'une automatisation de nos routines et habitudes pour simplement vivre. Cette autonomie se construit depuis la petite enfance et lorsqu'elle se perd, il est bien difficile de la reprogrammer...

2/ Nous avons la responsabilité d'infléchir ces enchaînements en cas d'urgence. Ces dilemmes dans le feu de l'action correspondent à une éducation des consciences, une culture. *The moral machine experiment* publiée en 2018 dans Nature étudie des dilemmes liés à la voiture autonome auprès de 40 millions de personnes. Les résultats varient par région, mais on préfère écraser un criminel plutôt qu'un chien... Les premiers accidents de véhicules autonomes montrent la très grande difficulté de les modéliser.

3/ En amont de cet agir, même complexe, se trouve la réflexion préalable, celle qui s'élabore dans le silence, celle qui permet de trouver du sens. Quelle finalité est-ce que je vise ? Est-elle légitime ?

Dans le secteur de l'armement, il est difficile de faire l'impasse sur ces questions, qui peuvent être éclairées par les principes de *La guerre juste* de Thomas d'Aquin.

C'est aussi l'occasion de creuser les niveaux de sens ; A quel problème global est-ce que je réponds ? Dans quelle direction cela me fait-il progresser ? Quelle est mon utilité ?

Nous constatons que beaucoup de jeunes diplômés répondent positivement à ces questions, puisque le corps de l'Armement séduit les élèves de Polytechnique, dont il est aujourd'hui le premier recruteur, les diplômés d'autres grandes écoles et des ENS (dont Ulm cette année) tandis que le concours interne attire de nombreux candidats.

Les ingénieurs de l'armement ne manquent donc pas de vitalité, et cela se traduit, j'espère, dans notre magazine.

En attendant une évolution dans les mois qui viennent pour mieux prendre en compte vos aspirations, nous avons refondu le processus de mise en ligne pour vous permettre de profiter des magazines 104 à 124 sur notre site [www.caia.net](http://www.caia.net) dès aujourd'hui, et en particulier le 105 sur les robots... N'hésitez pas à nous écrire pour donner votre avis. ☺

2022

# EUROSATORY

13-17 JUIN 2022 / PARIS

## LE MONDIAL DE LA DÉFENSE ET DE LA SÉCURITÉ



**1 802**  
exposants **+14,7%**

de 63 pays  
65,9 % d'internationaux  
65 start-ups sur Eurosatory LAB



**98 721**  
Fréquentation totale



**227**  
Délégations officielles

de 94 pays  
et 4 organisations  
(représentant 760 délégués)



**696**  
journalistes  
de 44 pays



**75** Conférences  
**2 102** Rendez-vous d'affaires réalisés



Chiffres 2018

# PRÉFACE

**Général d'armée Thierry Burkhard**

## Drones : faire autrement

Par sa richesse et la variété des contributions, ce numéro du Magazine des ingénieurs de l'armement illustre toute la complexité du sujet de la robotisation, incontournable aujourd'hui. Mêlant nouvelles technologies, intelligence artificielle, numérisation ou encore organisation des structures de commandement et préoccupations éthiques, les drones et leur emploi constituent un exemple évident des défis qui nous sont posés en ce début de siècle.

Soyons lucides : dans ce domaine, la France a encore énormément à faire. Retard par rapport à certains de nos partenaires, retard par rapport à nos compétiteurs : nous ne sommes pas les premiers à nous lancer dans l'aventure. Or, l'aptitude à mettre en œuvre des systèmes automatisés, quel que soit le milieu, contribue de manière significative à la crédibilité d'une armée, et donc à sa capacité à peser dans les rapports de force. Le *Bayraktar* TB2 turc le montre bien : utilisé en Libye, en Syrie, au Haut-Karabagh et plus récemment en Ukraine, ce drone aérien jouit aujourd'hui d'une réputation sans aucun doute supérieure à son impact réel en opération.

Il me semble que nous ne devons pas tenter de combler ce retard en tentant simplement de reproduire ce qui existe déjà. Nos efforts doivent viser à transformer nos lacunes actuelles en opportunités et nous permettre de préparer la prochaine guerre. Pour y parvenir, il nous faut prendre en compte plusieurs points.

Le premier d'entre eux est l'importance d'effectuer un véritable bond intellectuel et conceptuel, pour penser les combats de demain (ou d'après-demain). Il s'agit notamment d'embrasser pleinement le potentiel des équipements robotisés, au-delà de leur fonction actuelle de substitut de capacités habitées existantes. Cela vaut pour l'emploi de drones par nos armées autant que pour la prise en compte des drones ennemis. Cela exige un investissement conséquent en termes de doctrine et d'expérimentation : les armées doivent développer des concepts exploratoires, expérimenter, éprouver. À partir de ces réflexions initiées par diverses avancées, notre ambition doit être plus grande. Dans le futur, ce sont probablement aussi des unités complètes de drones, sur terre, sur et sous les mers, dans les airs et – inévitablement – dans l'espace qui manœuvreront. À l'état-major des armées revient la charge d'anticiper et de cadrer l'ensemble de ces travaux et de s'assurer de leur pertinence et de leur efficacité.



Le deuxième est à mon sens de questionner notre rapport à la technologie. La prolifération des drones à laquelle nous assistons est rendue possible par le recours à une technologie maîtrisée, accessible à des coûts très réduits. L'emploi de ce type de drones gagne en pertinence si l'on intègre d'emblée la possibilité d'une attrition élevée. On a ainsi vu apparaître la notion de « drone consommable », par essence opposée à la logique qui prévaut aujourd'hui en France et qui aboutit à des coûts de nos équipements qui interdisent achats en grandes quantités et emploi « en masse ».

Le troisième tient au fait de changer radicalement notre manière de travailler. Nous devons gagner en agilité et en rapidité, faire de l'audace et de la prise de risque une culture solidement ancrée, y compris dans nos processus d'acquisition, si nous voulons suivre le rythme imprimé par les changements technologiques en cours. La préparation de l'avenir est une mission commune des armées et de la DGA, qui se traduit à mon niveau par des échanges réguliers avec le Délégué. Nous devons envisager en permanence l'évolutivité et l'intégration de nouvelles capacités, y compris au-delà de l'horizon traditionnel de la LPM. Bien sûr, audace et risques ne vont pas sans erreurs ni échecs. Il est alors tout aussi essentiel de faire preuve de lucidité et de courage pour le reconnaître, et pour, le cas échéant, mettre fin à un programme mal engagé ou sans avenir. C'est à ce prix que nous regagnerons des marges de manœuvre.

Ma conviction est que le domaine des drones peut nous permettre de démontrer toute l'étendue de nos capacités d'innovation, de notre ambition et de notre volonté de travailler autrement. Il en va de l'efficacité opérationnelle de nos armées tout autant que de la solidité de notre BITD. ☺

# DRONES

par Jean Reix, IGA, Rédacteur en chef délégué

Sujet récurrent et déjà traité dans ces pages il y a 15 ans, les drones ont déjà une longue histoire. Que n'a-t-on pas entendu s'agissant de la France : retards à l'allumage, virage complètement raté, on ne fait que courir derrière les américains ou les israéliens sans espoir de ne jamais les rattraper.... Ces critiques sont-elles fondées ? Il est vrai que certains conservatismes ont pu un temps l'emporter sur l'innovation et les remises en cause qu'elles induisent. De même, le lancement de programmes, qui suppose une synchronisation entre volonté politique, écosystème industriel structuré, capacité de financement, voire ici acceptabilité culturelle, n'a jamais été une tâche aisée. Sans compter, pour simplifier l'équation, l'ajout à cela d'une ambition de coopération ! Pour autant, le drone MALE européen va quitter son éternel rôle d'arlésienne, et le nombre de systèmes déjà utilisés quotidiennement dans les forces traduit l'engagement des armées françaises dans ce domaine foisonnant, conscientes qu'il est d'un enjeu que les derniers conflits ne font que confirmer.

Le drone aérien de type MALE, qui a principalement focalisé ces critiques, n'est-il pas l'arbre qui cache la forêt ? Chez les grands maîtres d'œuvres comme dans les start-ups, le domaine des drones n'a jamais été aussi actif et dynamique : ces pages vous le démontreront. Pour les ingénieurs que nous sommes, il est assez enthousiasmant de constater que de nouveaux types de drones apparaissent, avec autant de nouveaux usages potentiels, de nouvelles opportunités donc à saisir pour nos forces comme pour notre industrie. Et cela dans tous les milieux. Si le domaine aérien est donc le plus médiatique, la nouvelle stratégie de maîtrise des fonds marins devrait par exemple permettre de mettre en lumière et soutenir le domaine des drones navals, lui aussi riche et très innovant. De même, le domaine terrestre apporte son lot de nouveautés, et pourrait lui aussi constituer un démultiplicateur de force indispensable.

Et ce, en gardant une certaine prudence sur le mythe de l'autonomie à court terme, comme nous le constatons dans le secteur automobile. De plus, l'enjeu est d'avancer sans jamais perdre de vue les indispensables sûreté et sécurité, et avec une conscience aiguë des dimensions éthiques associées.

Passionnant, le domaine des drones représente une synthèse d'un très grand nombre de technologies de pointe (Intelligence Artificielle, énergie, navigation, liaisons de données, etc.). Ils représentent également de nouvelles menaces potentielles qui nous obligent à imaginer de nouvelles solutions technologiques. Les États-Unis l'ont bien compris et multiplient les développements tous azimuts dans les drones. Les moyens financiers plus limités de la France ne nous ont jamais interdit d'avoir des équipements au meilleur niveau mondial. Nous, ingénieurs de l'armement, dans des structures étatiques ou industrielles, avons donc toute la matière et capacités pour nourrir et soutenir la réflexion conceptuelle et l'audace que prône le CEMA. Alors pas de complexe, à nous de démontrer que nous ne serons pas en retard sur des concepts déjà éprouvés, mais bien en avance sur les prochains, ceux-là mêmes qui seront nécessaires dans les confrontations de demain plutôt que celles d'hier ! 🌀



**Jean Reix**  
IGA, chef de cabinet du Délégué général pour l'armement

Diplômé de l'ENSTA Bretagne, et auditeur du CID et de l'IHEDN « Armement et Économie de Défense », Jean Reix a débuté sa carrière dans les systèmes d'information. Il a dirigé des programmes d'armement dans les systèmes d'information (SICF), les drones tactiques (SDT), et le système de système SCCOA. Il s'est ensuite occupé de préparation de l'avenir comme architecte de système de défense Commandement et Maîtrise de l'Information (CMI). Il est depuis janvier 2022 chef de cabinet du Délégué général pour l'armement.

1365 CLOS DES LAMBRAYS 1593 CHÂTEAU D'YQUEM  
1668 DOM PÉRIGNON 1729 RUINART 1743 MOËT &  
CHANDON 1765 HENNESSY 1772 VEUVE CLICQUOT  
1780 CHAUMET 1815 ARDBEG 1817 COVA 1828 GUERLAIN  
1832 CHÂTEAU CHEVAL BLANC 1837 TIFFANY&CO  
1843 KRUG 1843 GLENMORANGIE 1846 LOEWE 1849  
ROYAL VAN LENT 1849 MOYNAT 1852 LE BON MARCHÉ  
1854 LOUIS VUITTON 1858 MERCIER 1860 TAG HEUER  
1860 JARDIN D'ACCLIMATATION 1865 ZENITH 1870  
LA SAMARITAINE 1884 BULGARI 1895 BERLUTI 1898  
RIMOWA 1908 LES ECHOS 1914 PATOU 1916 ACQUA DI  
PARMA 1923 LA GRANDE ÉPICERIE DE PARIS 1924 LORO  
PIANA 1925 FENDI 1936 FRED 1944 LE PARISIEN 1945  
CELINE 1947 DIOR 1947 EMILIO PUCCI 1947 PARFUMS  
CHRISTIAN DIOR 1952 GIVENCHY 1955 CHÂTEAU DU  
GALOUPET 1957 PARFUMS GIVENCHY 1958 STARBOARD  
CRUISE SERVICES 1959 CHANDON 1960 DFS 1969 SEPHORA  
1970 CAPE MENTELLE 1970 KENZO 1972 PERFUMES  
LOEWE 1976 BELMOND 1976 BENEFIT COSMETICS  
1977 NEWTON VINEYARD 1980 HUBLOT 1984 MARC  
JACOBS 1984 MAKE UP FOR EVER 1985 CLOUDY BAY 1988  
KENZO PARFUMS 1991 FRESH 1992 COLGIN CELLARS  
1993 BELVEDERE 1998 BODEGA NUMANTHIA 1999  
CHEVAL DES ANDES 1999 TERRAZAS DE LOS ANDES 2006  
CHÂTEAU D'ESCLANS 2006 HÔTELS CHEVAL BLANC  
2008 KVD VEGAN BEAUTY 2009 MAISON FRANCIS  
KURKDJIAN 2010 WOODINVILLE 2013 AO YUN 2013 MARC  
JACOBS BEAUTY 2017 CLOS19 2017 FENTY BEAUTY BY  
RIHANNA 2017 VOLCAN DE MI TIERRA 2020 EMINENTE

LVMH

# ETENDRE LA FORCE NAVALE

Par Eric Papin, ICA

Alors que dans le domaine aérien, les drones sont depuis de nombreuses années au stade de l'exploitation opérationnelle, il n'en est pas de même dans le domaine naval, en particulier pour ce qui est des drones de surface ou sous-marins (à l'exception des torpilles et des cibles sous-marines de dernière génération, assimilables à des drones compte tenu de leur autonomie décisionnelle avancée, mais dont la durée de mission reste courte). On note toutefois une forte accélération des projets visant à développer cette capacité opérationnelle indispensable dans la perspective du combat naval futur.

En effet, les drones peuvent démultiplier l'efficacité d'une force navale pour l'ensemble des missions qu'elle est susceptible de réaliser. Ils permettent :

- D'augmenter le nombre de senseurs ou d'effecteurs pour surveiller, protéger ou déminer une zone,
- De projeter des moyens dans des zones difficiles d'accès ou fortement contestées par l'ennemi pour préserver les hommes et les « High Value Units »,
- De préparer des opérations en recueillant des informations de nature océanographique, hydrographique ou des renseignements militaires,
- Ou encore de saturer les forces ennemies avec de nombreuses menaces difficiles à détecter / identifier / classer.

Ils offrent aussi un potentiel d'évolution rapide des performances, comme en témoignent les véhicules autonomes, les drones aériens, et les navires civils, même en prenant en compte les spécificités et difficultés du domaine naval de défense.

De très nombreuses marines ne s'y trompent pas qui, après une phase d'hésitation légitime face à des nouvelles technologies dont les performances accessibles doivent être caractérisées, lancent des développements de démonstrateurs. Elles cherchent à expérimenter très rapidement pour affiner leurs besoins

en fonction des concepts d'emploi envisageables des drones (seuls, en meute, en essaim) en imaginant leurs interactions avec les forces « traditionnelles ». Ainsi, les marines américaine, britannique, allemande, scandinaves, japonaise, singapourienne, turque, israélienne, russe ou chinoise, pour ne citer qu'elles, ont lancé, avec leur BITD nationale, plusieurs programmes de drones navals, de surface ou sous-marins. Plusieurs autres marines sont en phase d'élaboration de leurs besoins et pourraient exprimer des demandes dès lors qu'elles constateraient chez d'autres l'efficacité des concepts opérationnels basés sur ces nouveaux systèmes navals.

## « ORGANIQUES OU OCÉANIQUES »

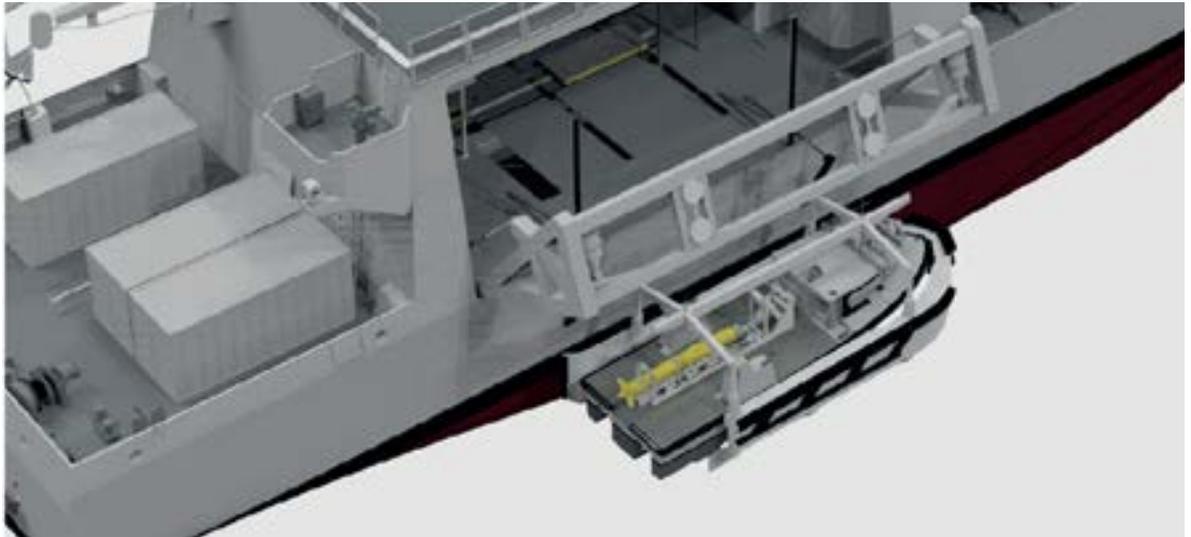
Au-delà de la typologie des drones, qui peuvent être aériens, de surface et sous-marins, il faut distinguer ceux qui sont « organiques », c'est-à-dire opérés par et depuis un navire qui les porte, les drones de petite taille et les drones « océaniques » dotés d'un rayon d'action autonome très supérieur aux précédents.

Parmi les drones organiques, on trouve les drones aériens à voilure tournante qui peuvent compléter ou remplacer l'hélicoptère, les drones de surface de taille modérée ( $L < 12$  m) qui complètent la drome et les drones sous-marins au format torpille (diamètre  $\leq 21$  in).

Les drones de petite taille, aériens, de surface ou sous-marins, sont utilisés seuls, en meute ou en essaims pour réaliser des missions de surveillance ou d'interdiction navale ou des attaques fulgurantes.

Les drones océaniques sont de grande taille, de surface (USV-M entre 12 et 50 m, USV-L au-delà de 50 m) ou sous-marins (UUV-L pour diamètre de 21 à 84 in et UUV-XL pour diamètre  $> 84$  in), pour pouvoir assurer des missions aux côtés des forces navales traditionnelles (souveraineté maritime, projection de force).

Ces différents types de drones posent des défis très variés, qu'il s'agisse de leur propre conception, de leur intégration fonctionnelle au navire qui les porte ou à la force navale au sein de laquelle ils opèrent (les communications étant en elles-mêmes un défi), de leur intégration physique sur le navire qui les met en œuvre, les ravitaille et les maintient en conditions opérationnelles ou de la conception de navires spécialisés porte-drones. Il faut aussi garder à l'esprit que tout ceci n'est viable qu'à la condition que le prix de ces drones et des servitudes associées reste assez bas pour que le risque de les perdre (qui ne sera jamais nul, même en temps de paix !) soit acceptable et pour qu'ils soient significativement moins chers que les navires traditionnels qu'ils complètent.



Système de mise à l'eau et de récupération d'USV et d'AUV (Naval Group / ECA Robotics)

C'est donc un nouveau champ d'activité pour les architectes navals et les architectes des systèmes de combat, qui doivent appliquer leurs compétences à des engins très différents des navires habituels (les drones eux-mêmes) et à des systèmes navals (les navires et les drones, opérant de concert).

La première rupture qui doit être prise en compte est d'être capable de mettre en œuvre ces systèmes de manière coordonnée et collaborative pour répondre à une menace en étant le moins vulnérable possible et en allouant à chacun sa part de la mission. C'est bien la maîtrise du système de combat de force navale qui donnera l'avantage informationnel (veille collaborative navale, pour faire la synthèse en temps réel des informations glanées par les senseurs de la force) et la supériorité dans l'engagement (combat collaboratif, pour pouvoir engager des armes depuis une plateforme différente de celle qui a détecté la menace ou de celle qui l'a désignée comme objectif), tandis que la coordination de la logistique navale (énergie, munitions, vivres, maintenance) assurera la permanence à la mer de l'ensemble.

La deuxième rupture majeure concerne la capacité des drones à opérer en totale autonomie qui, pour

pouvoir à terme augmenter significativement les capacités de la force navale, ne devront pas être un « maillon faible » qui mobiliserait une partie de l'équipage pour les contrôler, les téléopérer, les recharger ou les dépanner. Les développements, basés sur l'intelligence artificielle de confiance, vont concerner les domaines de la perception de l'environnement, de l'analyse des données, de la décision autonome et de la mise en œuvre d'effecteurs, tout cela de manière sûre, discrète et cybersécurisée. Il y aura évidemment des fonctions pour lesquelles l'homme restera dans la boucle de décision temps réel.

### « TROIS RUPTURES POUR LES ARCHITECTES NAVALS »

La troisième rupture à prendre en considération concerne l'intégration physique des drones, en particulier ceux qui sont de grande taille, à bord des navires. En effet, les dispositifs de Lancement / Récupération / Stockage / Maintenance des drones vont avoir une empreinte très forte sur l'architecture des navires :

- Pour un bâtiment de surface, qu'il soit spécialisé dans l'emport des drones ou pas, la mise

à l'eau et la récupération des drones par l'arrière ou le long du navire nécessitent de réserver de très gros volumes et posent des problèmes de ralliement et de stabilisation simultanée des plateformes pour garantir la sécurité et la mise en œuvre par tous les temps (jusqu'à mer 4 au moins).

- Pour un sous-marin, la problématique consiste à lancer et récupérer les drones (sur le pont avec un système de docking humide ou sec, ou en utilisant les tubes lance-torpilles). Cela nécessite de maîtriser la sécurité de navigation pendant les phases de ralliement et requiert une gestion fine de la pesée. Il faut aussi une source d'énergie pour recharger le drone et un moyen sûr de transfert des données de mission.

Enfin, dans un futur plus lointain, on peut imaginer un véritable écosystème naval dédié aux drones pour déployer des réseaux de communication ad hoc, pour installer en profondeur des stations de docking et de recharge en énergie, ou encore pour disposer de navires spécialisés capable de les récupérer et de réaliser leur « grand carénage » sans nécessiter leur retour à leur port base. ☺

# LE DÉMONSTRATEUR DE DRONE SOUS-MARIN OCÉANIQUE

Par Eric Papin, ICA

La Lutte Sous la Mer (LSM) réapparaît comme un enjeu clé sur la décennie et cela se traduit naturellement par une évolution des besoins en termes de systèmes navals. La Marine Nationale, à l'instar des marines américaine, russe ou encore chinoise, devra faire face rapidement à une menace plus dangereuse en qualité et en quantité.

Pour y répondre, l'utilisation de drones s'impose, et leur développement s'appuie déjà sur des démonstrateurs sous-marins.

Pour accompagner et exploiter ce bouleversement en conservant la supériorité au combat par la technologie, mais avec des moyens budgétaires contraints limitant le nombre de navires habités, la Marine devra mettre en œuvre de nouvelles capacités innovantes basées sur la supériorité de l'information et sur le combat collaboratif, pour lesquels les drones navals, organiques ou océaniques, joueront un rôle important en augmentant les performances des forces navales au sein desquelles ils seront déployés, sans pouvoir les remplacer complètement.

Pour parvenir à caractériser le besoin technologique associé à ces drones navals, le recours aux démonstrateurs est une solution simple et rapide qui a été identifiée par la Marine Nationale dans le plan Mercator 2030. Ces démonstrateurs technologiques permettent de gagner en agilité dans les processus de développement au regard des capacités opérationnelles recherchées et accessibles, sur les temps d'acquisition des systèmes de série et sur les mises à niveau rapides par incréments.

Cette méthode a été utilisée il y a quelques années par la marine américaine en testant les démonstrateurs de drone sous-marin de Boeing (Echo Seeker, Echo Voyager) avant de commander à Boeing et Lockheed Martin plusieurs



Démonstrateur de Drone Océanique Naval Group

drones de la classe Orka (20-30m, 45 t). La marine japonaise de son côté a testé à la mer le LCAUV2 de Jamstec et Mitsubishi. Et ce sont au total au moins 9 nations qui ont initié des développements sur des drones sous-marins de grande taille, en affichant des objectifs duaux (océanographie, hydrologie, travaux offshore, surveillance des fonds et câbles sous-marins, chasse aux mines, etc.).

En tant que maître d'œuvre de systèmes navals, Naval Group a développé sur fonds propres un premier Démonstrateur de Drone sous-marin Océanique (DDO), plateforme d'expérimentation destinée à évaluer, développer et qualifier de manière accélérée des technologies susceptibles de répondre aux besoins opérationnels futurs. Il a été présen-

té lors des derniers Naval Innovation Days en octobre 2021 à Paris.

Ce démonstrateur d'une longueur de 10 m et d'un diamètre de 1,5 m environ est conçu avec une architecture modulaire (sections pouvant être assemblées très rapidement) et évolutive (charges utiles variées, système de stockage et de production d'énergie ajustable), permettant une navigation en plongée jusqu'à 8 Nd et 200 m d'immersion.

Parmi l'ensemble des technologies qui seront expérimentées à bord de ce démonstrateur de drone sous-marin océanique, on peut citer plusieurs technologies qui sont indispensables pour lui conférer une réelle autonomie :

1. Un système de mission, pour préparer, allouer et vérifier les diffé-

rentes séquences d'action qui vont être demandées au drone quand il sera déployé et ne pourra plus être en communication permanente avec son centre de commandement à terre ou embarqué,

2. Une autonomie décisionnelle contrôlée, pour permettre au drone de naviguer en sécurité, de gérer son énergie, de communiquer et d'utiliser ses charges utiles à bon escient en fonction des séquences de sa mission, de se reconfigurer en cas d'imprévu technique ou opérationnel, dans un cadre strict d'action vérifié par un système de supervision indépendant autonome,

3. Un système de communication intermittent basé sur les moyens propres du drone, mais aussi sur un réseau de moyens extérieurs déployés en fonction du besoin des missions assignées,

4. Des systèmes de stockage et de production d'énergie, adaptés aux différentes missions à réaliser,

5. Des charges utiles très variées, pour permettre des missions de renseignement, de surveillance ou de reconnaissance, sous l'eau ou en surface, pour stocker de manière fiable et cybersécurisée les informations collectées et pour réaliser de premiers traitements de données dans le cadre de l'autonomie de mission.

Une partie de ces développements sont mutualisés avec ce qui se fait pour les sous-marins militaires habités, ou avec ce qui est utilisé pour des véhicules sous-marins téléopérés, que ce soit pour le domaine offshore, l'océanographie ou la guerre des mines. Toutefois, même quand c'est le cas, une mise à l'échelle est requise pour tenir compte de la taille du drone et du besoin de permanence à la mer en totale autonomie.

En complément de ces travaux technologiques, il a aussi été nécessaire de travailler sur les référentiels techniques et réglemen-

taires suivant lesquels un tel système devait être conçu et réalisé. Si l'absence d'équipage à bord permet de simplifier bon nombre de systèmes de sécurité par rapport à ce que l'on fait sur un sous-marin habité, l'autonomie de fonctionnement pendant plusieurs jours / semaines, nécessite l'ajout de nouveaux systèmes d'analyse de l'environnement, de contrôle de toutes les fonctions et d'élaboration de décisions pour garantir la sécurité de navigation, pour le drone lui-même, mais aussi bien sûr pour les autres usagers du domaine maritime où il sera déployé.

En exploitant ce démonstrateur, il va être possible d'ici 2025 :

1. De définir les paramètres essentiels pour répondre aux priorités opérationnelles de la Marine dans les différents champs d'action possibles : missions océanographiques et hydrographiques, exploration sous-marine, seabed warfare, Intelligence-Surveillance-Reconnaissance, opérations spéciales, lutte antinavire, lutte anti-sous-marine, interdiction navale, entraînement des forces navales, etc.

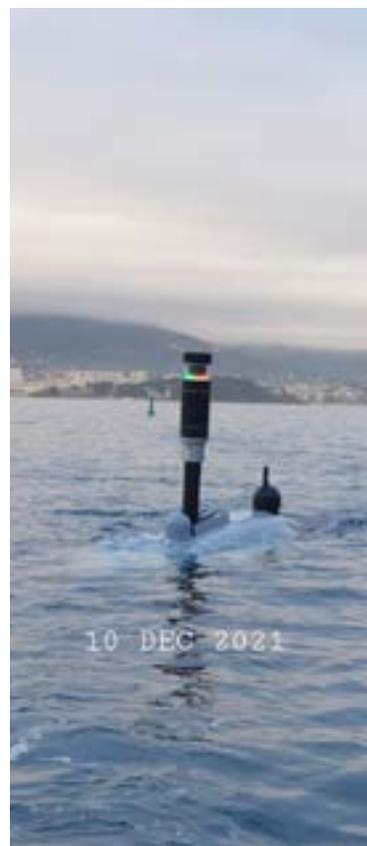
2. De déterminer, par analyse de la valeur, quelle solution technique répondrait le mieux à chaque besoin en termes de taille de drone (format torpille, format océanique), de charges utiles, de spécialisation (missions duales, mission dédiée), de mise en œuvre (par bâtiment de surface, par sous-marin, par navire spécialisé porte-drones, directement depuis la terre, aérotransporté, etc.)

3. De lancer, en parallèle, les développements incrémentaux nécessaires pour disposer le moment venu des technologies et de l'autonomie décisionnelle contrôlée requises.

Un nouveau champ d'action s'ouvre pour la Marine Nationale avec la mise en œuvre collaborative de différents moyens (navires, drones or-

ganiques, drones océaniques, ROV, stations de docking, ...) au service des missions opérationnelles qui lui sont ou lui seront confiées.

La France a tous les atouts pour jouer un rôle de premier plan dans cette transformation du combat naval, sous réserve de poursuivre résolument les efforts amorcés et de les amplifier pour disposer des solutions nécessaires à l'horizon 2030. ☺



D2O en essai à Toulon



**Eric PAPIN, ICA**  
EVP, Directeur  
Technique et  
Innovation  
NAVAL Group

Né en 1967, il est diplômé de l'ENSTA Paris, d'Audencia et auditeur de la session « Armement et Economie de Défense » de l'IHEDN.

Il a fait toute sa carrière à Naval Group d'abord comme architecte propulsion à Indret puis comme architecte d'ensemble au département Sous-Marins. Il a ensuite été Directeur Industriel du site d'Indret et depuis 2015, il est chargé de la direction technique et de l'innovation.



# UNE CARRIÈRE DANS LES DRONES

INTERVIEW DE DAMIEN RABY, ICA

Par Damien Raby, *Naval Group*

Damien Raby, X88, SUPAERO, Ecole de l'Air, a été ingénieur de marque Mirage 2000-5 export puis France au CEV d'Istres. Il rejoint Naval Group en 2002 comme chef de projet systèmes de combat Barracuda puis directeur de la R & D et de l'Innovation. Il est maintenant Directeur de la Business Unit Armes sous-marines.



Le Petit Duc AVE, prototype de drone furtif lancé en 1999 par Dassault Aviation. La signature radar est celle d'un moineau

**La CAIA : Damien, tu es passé de pilote de chasse à expert en aéronefs sans pilotes, peux-tu nous raconter ton parcours ?**

**Damien Raby :** Entré à la DGA par le Centre d'Essais en Vol, j'ai eu la chance de suivre la formation de pilote militaire. Bien que ce fut une expérience exaltante, je trouvais rapidement que quelque chose « clochait ». Être aux commandes d'un engin m'imposant des facteurs de charge susceptibles de causer mon évanouissement, être soumis pendant la mise en route, voire au roulage, à une température de 40°C en été et 10°C en hiver, ne pas avoir le droit de porter des lunettes, pouvoir difficilement manger et boire, sans parler du reste..., perdre 1 à 2 litres d'eau par heure de mission... Et tout cela en mobilisant égoïstement un volume de près d'1 m<sup>3</sup> dans un avion où chaque litre est compté. Jusqu'à quel point étais-je réellement nécessaire à bord ? Dès cette époque (1995), je me dis que le progrès technologique ne mettrait pas longtemps à sortir l'homme du cockpit et que je faisais probablement partie des derniers « dino-

saures » à se faire épingler deux ailes sur son uniforme d'apparat.

Pour ce qui est de la vitesse de cette révolution, j'avoue que je me suis un peu trompé !

Pour autant, en 2000, en marge de mes autres attributions, je fus chargé d'instruire la demande d'une équipe de type « skunk works » de Dassault Aviation qui voulait faire voler son drone à réaction *Petit Duc* depuis la base d'essais d'Istres. Ce drone était le précurseur du démonstrateur *nEURon*. Le but de Dassault Aviation était de profiter des moyens du Centre d'Essais en Vol pour explorer tout le potentiel de son drone, notamment en terme de rayon d'action et de manoeuvrabilité ; cela impliquait un survol inévitable de populations.

Au fil de l'instruction de cette demande, en liaison avec la DGAC, et jusqu'au jour du 1<sup>er</sup> vol quelques mois plus tard, je pris davantage conscience de la transformation qu'allaient apporter les drones. Cette même année, Daniel Reydellet, qui dirigeait alors la Direction

des Centres d'Expertise et d'Essais (DCE), décida de mettre en place des Responsables de Domaines d'Expertise (RDE). Je fus le 1<sup>er</sup> RDE « drones ». Je visitai, à ce titre, le GESMA, le GERBAM, le CEPR, le LRBA, le CEL et rencontrai les industriels français pionniers dans le domaine des drones de tous milieux, pour établir la première cartographie de la BITD associée.

Dix ans plus tard, en 2010, l'USAF achetait davantage de drones que d'aéronefs habités et pour l'Armée de l'Air Française il faudra encore attendre quelques années.

**La CAIA : Tu as ensuite rejoint le milieu naval avec une mission clairement orientée « drones ». Quelles étaient tes convictions ?**

**DR :** En 2002 en effet, j'entre à Naval Group, à la Direction des Systèmes de Combat.

Pour découvrir l'entreprise et assurer une bonne transition entre le milieu que je quittais et celui que je découvrais, je fus chargé d'esquisser



Le D19 présenté par Naval Group sur le site d'Ollioules (Photo : Jean-Marc Tanguy)

ce que les drones « organiques » (cf. article d'Eric Papin) pourraient apporter à la Marine Nationale et à ses partenaires s'ils étaient bien intégrés à leur porteur. Je rédigeai alors, avec l'aide d'un collègue de Lorient qui connaissait parfaitement le monde sous-marin, un ensemble de documents de différentes natures : concepts d'emploi des drones aériens et sous-marins, recommandations pour l'intégration physique et fonctionnelle de ceux-ci, proposition de feuille de route pour leur développement.

Peu de temps après, pour achever l'appropriation de mon nouveau milieu, et avant de prendre le poste de chef de projet du Système de Combat du SNA type Barracuda, j'eus la chance d'embarquer une dizaine de jours sur un SNA type Améthyste et d'être témoin d'une intense période d'entraînement de l'équipage qui m'accueillit. J'en ressortis avec un avis moins formel que celui que je formai sur les aéronaves. Toutefois, la rigueur de la vie de sous-marinier me convainquit que cette population de marins ne serait probablement pas en

expansion au 21<sup>ème</sup> siècle et que des drones viendraient très rapidement les épauler pour les délivrer des missions les plus « dirty, dull and dangerous ».

**La CAIA : « Très rapidement » peut être relatif en matière de programmes d'armement... Quels sont les changements dont tu as été témoin ou acteur ?**

**DR :** De nombreux petits pas ont été réalisés depuis vingt ans.

Parmi ceux qui m'ont le plus marqué, je citerais d'abord le premier essai réussi, par une équipe varoise, de docking autonome d'un drone de forme torpille sur une station posée sur le fond, en 2008, à l'aide d'une combinaison de capteurs et émetteurs LASER et acoustiques, pour le positionnement et la communication. A la même époque, nos collègues de Lorient faisaient atterrir un drone aérien S100 de la société Schiebel sur la frégate Montcalm. Quelques années plus tard, en partenariat avec la société RTSys, avec une autre équipe, nous fîmes docker un petit drone sous-marin sur une

station en mouvement. Et avec une autre encore, nous démontrâmes expérimentalement la possibilité de transférer de l'énergie par induction entre la station de docking et un drone.

En 2017, une équipe tropézienne fit la démonstration de son dernier drone D19 devant plusieurs autorités de la DGA. La même année, il participa à une démonstration de mission multi-drones en rade de Toulon.

Et en 2021 enfin, le Démonstrateur de Drone sous-marin Océanique fit sa première sortie en mer, moins de 3 ans après le lancement du projet.

**La CAIA : Qu'est-ce qui te pousse à avancer dans ce domaine et vers quoi allons-nous selon toi ?**

**DR :** Dans tous les postes que j'ai occupés jusqu'à ce jour, j'ai tenté de contribuer, à travers mes travaux d'ingénieur, mes arbitrages de manager ou simplement par un travail de conviction, à ce que la France tienne son rang dans le domaine naissant des drones de tous les milieux. J'ai souvent été trop optimiste sur la célérité de la transformation associée, mais celle-ci s'accomplit malgré tout et je suis convaincu qu'elle s'accélérera encore. J'espère en être encore très souvent le témoin et l'acteur.

Dans le domaine des drones sous-marins, la parution récente de la réglementation permettant d'encadrer la navigation en autonomie supervisée des drones sous-marins est une opportunité qu'il ne faut pas négliger et qui va permettre d'amplifier la transformation. Le plan Mercator de la Marine Nationale, qui prévoit que tout navire soit équipé d'au moins un drone organique d'ici 2030, sera également, à n'en pas douter, un puissant moteur. 🐼

# AUTOMATISER L'INSPECTION D'AVION

## DIVISER PAR 10 LE TEMPS D'INSPECTION

Par **Matthieu Claybrough**, *Président de Donecle*

On connaît les drones utilisés pour inspecter les ouvrages d'art. Il fallait de l'audace pour appliquer cette technologie à l'inspection d'aéronefs. C'est ce que propose la startup Donecle depuis 2019, avec des résultats concluants sur de nombreux avions civils et militaires.

Un avion commercial est foudroyé en moyenne une fois par an, suite à quoi une inspection visuelle rigoureuse doit être menée dans le but de rechercher des dommages potentiels de quelques millimètres carrés. Cette inspection, fastidieuse et nécessitante du travail en hauteur, dure typiquement de 8 à 16 heures avec plusieurs inspecteurs.

Civil ou militaire, l'aéronautique doit faire face à de nombreux cas de maintenance comme celui-ci immobilisant l'aéronef pour une durée variable, limitant ainsi les opérations et engendrant des coûts. C'est pourquoi l'optimisation de la maintenance est devenue un enjeu crucial à tous les niveaux.

Innovation, automatisation et digitalisation sont pour Donecle une des clés de cette problématique. Après plusieurs années de recherche et développement, l'entreprise com-

L'inspection par drone Donecle permet de diviser par dix le temps d'inspection manuel et donc de réduire la durée d'immobilisation de l'aéronef. Il faut compter en moyenne 15 minutes pour l'inspection complète d'un avion de chasse ou petit hélicoptère et seulement 1 heure pour un A320, B737, AWACS ou encore Atlantique 2.

mercialise en 2019 un drone totalement automatique. Sans pilote ni GPS, le drone se repère et évolue autour de l'aéronef grâce à une technologie laser embarquée. A partir des milliers d'échos lasers, des algorithmes calculent en temps réel la position du drone par rapport à la carlingue. L'acquisition d'image lors de l'inspection permet de détecter des défauts et dommages difficilement visibles à l'œil nu, tels que : de la corrosion ou érosion, des enfoncements et bosses, des impacts de foudre...

Dans le but d'optimiser le processus à tous les niveaux, Donecle a

déployé des algorithmes d'intelligence artificielle pour détecter les défauts les plus courants. Lors de son vol, le drone, équipé d'une caméra haute résolution sur nacelle 270°, capture des photos de toute la surface extérieure de l'aéronef. Les données acquises sont ensuite disponibles sur un logiciel d'analyse automatisée.

En fonction du cas d'usage, une première étape consiste à faire annoter les acquisitions par des experts humains, afin de fournir un ensemble de données nécessaires à l'entraînement des algorithmes d'intelligences artificielles. Notre



En action autour du Rafale, © C. Cosmao – Dassault Aviation



Des défauts détectés dix fois plus rapidement sur avion comme hélicoptère

méthode repose sur l'utilisation de deux réseaux de neurones : un premier destiné à la détection rapide des défauts et un second à la classification des défauts à partir de régions extraites sur les images en pleine résolution. Ainsi, les défauts potentiels (objets petits ou ambigus) sont rassemblés pour une étape supplémentaire de classification.

Traiter la reconnaissance des défauts comme un problème de classification d'images permet d'utiliser des techniques avancées qui sont beaucoup plus complexes à introduire dans un algorithme de reconnaissance d'objets en une seule étape, dans lequel la détection et la classification sont indissociables. L'analyse et classification des défauts sont effectuées automatiquement et en temps réel. Après revue par un inspecteur, un rapport d'inspection exhaustif peut être généré. Les défauts peuvent ensuite être stockés dans un espace dédié permettant de retracer l'historique des inspections et d'observer l'évolution des défauts à long terme.

Depuis sa création, cette technologie a démontré des résultats

concluant sur de nombreux avions et est déployée dans de nombreux programmes. Les systèmes Donecle sont notamment utilisés dans le civil sur une vingtaine de type d'avions, des Falcons au A320 et B737 en passant par les Embraer, avec clients tels que Airbus, Air France, AAR, Austrian Airlines, Latam, Regional Jet Center, etc. La solution fait également l'objet d'expérimentations longues durées sur le terrain militaire, notamment sur les aéronefs Rafale, AWACS, Atlantique 2 et A400M. Naviguant de façon répétable et sécurisée autour de ses aéronefs, le drone se démontre comme une méthode de capture d'image rapide et fiable.

Un des programmes phares est réalisé sur le Rafale et a pour objectif d'adapter les algorithmes d'intelligences artificielles aux dommages pouvant survenir sur ce dernier. Le projet pluriannuel, réalisé en partenariat avec Dassault, la DGA, la Marine Nationale et l'Armée de l'Air et de l'Espace, comporte une phase d'acquisition de données suivi d'une phase d'évaluation en conditions réelles. C'est ainsi que plus de cent inspections Rafale par

drone ont été réalisés en 2021 et se poursuivent en 2022 sur les différentes bases d'emplois. Les premiers résultats et retours utilisateurs sont très positifs, avec plusieurs cas d'usages identifiés.

D'inspection en inspection, l'historique numérique permettra de suivre au mieux les tendances des dommages, l'évolution des structures et de manière générale améliorer notre compréhension de la vie du fuselage d'un avion pour mettre en place une maintenance prédictive. Chacune de ces étapes contribue à l'optimisation des opérations de maintenance de l'aéronef pour *in-fine* améliorer sa disponibilité. ☺



**Matthieu Claybrough,**  
Président de  
Donecle

Diplômé de l'École Polytechnique et de Supaéro (X2009 & S2013), Matthieu Claybrough s'est spécialisé en automatique et aéronautique, menant notamment des travaux sur la navigation automatique des drones. Après trois ans chez Thales Avionics à travailler sur les lois de pilotages de plusieurs aéronefs, il cofonde Donecle en 2015 en tant que directeur technique avant d'en devenir Président en 2020.

# STRATOBUS : UNE SURVEILLANCE EN CONTINU DEPUIS LA STRATOSPHERE

Par Michel Masselin, VP vente Stratobus, Thales Alenia Space et par Benoît Hancart, ICA

Pour le renseignement et les télécommunications, un nouveau segment est apparu, celui des HAPS, qui évoluent à haute altitude, en complément du spatial, de l'aérien classique et du terrestre. Stratobus y présente une solution originale de dirigeable.

## L'ambition : efficacité et permanence sur de vastes étendues

Les missions de surveillance et de télécommunication sont classiquement confiées à des moyens terrestres, mais aussi à des aéronefs ou des satellites lorsque la topologie des déploiements l'exigent, notamment dans des zones maritimes, désertiques ou montagneuses. Les récents progrès technologiques permettent d'envisager une nouvelle capacité pour remplir ces missions à base de drones : les HAPS (High Altitude Permanent Systems).

Ces drones sont situés non pas dans l'atmosphère mais dans la stratosphère (entre 18 et 20 km d'altitude) qui possède d'énormes avantages. En effet, les vents y sont limités en particulier dans la zone tropicale et équatoriale, les conditions environnementales y sont stables et prédictibles, l'humidité y est faible ce qui permet de se connecter à des satellites ou à d'autres HAPS grâce à des liaisons laser et enfin, comme l'occupation de cet espace est réduit (pas de circulation aérienne), le contrôle aérien

est de fait simplifié. Ces HAPS, qui utilisent l'énergie solaire, peuvent mener des missions de très longue durée et sont capables, grâce à leur propulsion électrique, de rester en permanence au-dessus d'un point fixe, de décrire des hippodromes ou de rallier n'importe quel zone du globe. Trois grands types de HAPS se dégagent : les drones à voilure fixe, plus lourds que l'air, les ballons stratosphériques à contrôle d'altitude, ou les dirigeables stratosphériques comme Stratobus.

## La France a choisi de développer un dirigeable stratosphérique : le Stratobus

Le Stratobus est un dirigeable stratosphérique doté d'une enveloppe souple, maintenue en forme par de l'hélium en surpression par rapport à l'air ambiant, avec un système de propulsion électrique entièrement autonome. Avec 140m de long, une propulsion par 4 moteurs électriques, plus de 1000 m<sup>2</sup> de cellules solaires, il est capable d'emporter une charge utile de 250 kg et de puissance 5 kW. Depuis le début du projet, la Direction générale de

l'armement a été impliquée dans la définition et la conception de cette nouvelle capacité. En 2016, le Plan d'Investissements d'Avenir, la région SUD, le fonds européen FEDER et les sociétés partenaires ont permis de soutenir financièrement la première phase de R&D pour un montant total de l'ordre de 60 M€. La faisabilité technique a été prononcée en 2019. Des échanges avec l'Agence européenne de la sécurité aérienne ont permis d'initier le processus de certification. Son soutien va continuer dans le cadre du Fond européen de défense.

## Des dirigeables stratosphériques : pourquoi c'est intéressant ?

Ce concept a été préféré aux autres pour sa permanence, avec une capacité de rester en vol jusqu'à un an, sa capacité d'emport de 250 kg, ce qui permet d'embarquer des charges utiles puissantes notamment pour la surveillance sur une zone d'environ 500 km de rayon, et surtout du fait de l'absence de tout moyen de soutien au sol à déployer sur le théâtre d'opération.

Par comparaison à d'autres vecteurs, les performances de Stratobus sont les suivantes :

Vecteur	« classiques »				Stratosphériques	
	terrestre	ballon captif	drone / avion	satellite d'obs.	drone	<b>Stratobus</b>
permanence du système	+++	+	--	-	+	++
portée du système*	--	- à +	- à ++	+++	--	++
empreinte logistique	--	-	- à ++	+++	+ à ++	++

Comparaison des vecteurs pour les missions de surveillance



Le Stratobus - une permanence assurée sur les grands espaces

Une des caractéristiques fondamentales recherchée est aussi le coût réduit des opérations par heure d'opération et par kilogramme de charge utile embarquée. Le coût estimé est beaucoup plus compétitif que celui des avions et des drones grâce à un nombre annuel d'heures effectives très élevé : typiquement 8000h, à comparer à 600h ou 1000h pour des avions. Une fois en l'air, son contrôle est simplifié et automatisé, similaire au contrôle des satellites, ce qui ne nécessite pas de pilote. Sa maintenance n'est qu'annuelle et son système énergétique autonome évite les coûts d'achat et d'acheminement de carburants sur la zone de déploiement.

### Des dirigeables stratosphériques : pour quoi faire ?

Le Stratobus est doté d'une grande polyvalence, grâce à la grande variété de charges utiles qu'il peut supporter.

### Surveillance

On peut penser à la surveillance radar, par des détections de cibles en mouvement avec des portées étendues et une capacité tout temps (utile pour la surveillance maritime). On peut aussi s'orienter sur la surveillance optique (caméras optiques ou infra-rouge, imagerie LIDAR, pour détecter et classifier des cibles, même partiellement couvertes par de la végétation ou caméras hyperspectrales pour les applications de détection des camouflages, de bathymétrie, etc.).

### Télécommunication

Côté télécommunication, il permet de construire un réseau maillé à haut débit pour connecter différents acteurs, mobiles ou fixes, comme des postes de commandement, des avions, des drones ou des navires, d'être un relais aéroporté pour des communications et des liaisons de données tactiques ou pour des stations aéroportées cellulaires en 4G/5G permettant d'assurer des services directe-

ment auprès des utilisateurs tels que les forces de sécurité (gardes côtes, douanes, pompiers, etc...) dans le cadre de leurs missions régulières ou dans le cas de catastrophes.

### Et au-delà

Enfin, on peut également penser à la guerre électronique COMINT ou ELINT, ou la détection avancée de missiles balistiques ou hypersoniques.

Permanence et polyvalence, deux atouts clés du Stratobus, au service des forces. ☺



**Benoît Hancart,**  
ICA  
Directeur des relations institutionnelles France  
Thales Alenia Space

Benoît Hancart (X 87 - ISAE) a débuté sa carrière en 1992 au LRBA dans le domaine de la navigation, puis au sein de différents services de la DGA, et a fait carrière dans le domaine spatial. En 2004, il est nommé attaché d'armement en Italie ; en 2007, il rejoint Thales Alenia Space comme Key Account Manager Défense, puis directeur des relations institutionnelles France.

# L'IMAGINATION EST LA SEULE LIMITE À CE QUE PEUT FAIRE LE ZEPHYR

Par Thierry Baud, IGA

À cette altitude, trop élevée pour les avions commerciaux, mais trop basse pour les satellites, les températures descendent à  $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$  et la stratosphère s'étend jusqu'à 50 km au-dessus de la météo et du jet-stream. C'est dans ce milieu particulier que cette plateforme de haute altitude (HAPS) fait ses débuts remarquables et viendra bientôt compléter d'autres plateformes plus conventionnelles.



Il décolle pour ne jamais redescendre ?

Si les satellites se distinguent par leur endurance et leur portée mondiale, les drones et les avions de mission offrent précision et faible latence à des prix abordables. Le HAPS associera l'endurance et la portée d'un satellite à la flexibilité et à la précision d'un drone, à des coûts réduits. Il complètera non seulement les zones d'opération des satellites et des drones, mais favorisera également le développement de nouveaux marchés en apportant une solution aux difficultés jusqu'ici non résolues des clients.

Zephyr est le nom du HAPS d'Airbus. Il s'agit d'un aéronef ultra léger de 75 kg pour une envergure de 25 m, conçu et optimisé pour évoluer dans la stratosphère pendant des mois. Équipé de panneaux photovoltaïques qui chargent les batteries pour alimenter les vols de nuit, le Zephyr est capable de survoler en continu un point ou une zone spécifique pouvant s'étendre sur plusieurs milliers de kilomètres

sans interruption pendant de longues périodes, offrant ainsi des capacités uniques pour les opérations commerciales, institutionnelles et militaires.

Cumulant plus de 2 000 heures de vol dans la stratosphère, le Zephyr détient plusieurs records mondiaux, notamment celui du vol le plus long d'un HAPS à voilure fixe dans la stratosphère avec un vol sans escale de près de 26 jours, le record d'altitude de sa catégorie à 76 100 ft (23 000 m) et la première autorisation jamais accordée à un drone de sortir de l'espace aérien réservé pour évoluer dans l'espace aérien national des États-Unis (National Airspace System – NAS), pour ne citer que quelques exemples.

Pour y parvenir, Airbus a constamment repoussé les limites de ce programme de recherche et développement au cours des 15 dernières années, dans des domaines technologiques aussi variés que la

gestion des batteries, les cellules et les matériaux composites, l'endurance environnementale, la charge utile, l'avionique, le contrôle de mission et les modèles de prédictions météorologiques. Le groupe a également tiré parti d'innovations majeures issues des communautés Airbus pan-européennes ainsi que des partenaires clés.

Nous avons rencontré et surmonté de nombreux défis techniques. Ainsi, la structure légère et flexible en fibre de carbone de cet aéronef de grande envergure ne ressemble à celle d'aucun appareil construit jusqu'ici. L'exploitation de charges utiles non pressurisées et partiellement ouvertes sur la stratosphère, avec un contrôle spécifique de l'environnement et de la température en est un autre exemple. La campagne d'essais en vol menée au cours de l'été 2021 dans l'Arizona a permis au programme de franchir une étape importante, notamment en ce qui concerne les technologies

de pointe requises pour un système HAPS aussi avancé. La charge utile de l'un des vols a permis de mesurer les contraintes, les déformations et l'écoulement et de tester le comportement de l'appareil dans la troposphère.

À présent, grâce à sa conception flexible qui lui permet d'embarquer différentes charges utiles, le Zephyr est en mesure d'effectuer différents types de missions civiles et militaires d'observation de la Terre, de connectivité ou d'intelligence, surveillance et reconnaissance (ISR).

Nous poursuivons la maturation des technologies clés en testant les composants dans les environnements les plus adaptés. Dans le domaine des technologies liées à la gestion des batteries, à la propulsion et aux aérostructures, nous souhaitons améliorer la gestion de l'énergie et réduire le poids afin d'augmenter la masse de la charge utile et la puissance offerte aux clients. Nous cherchons par ailleurs à accroître l'endurance générale des missions en réduisant les coûts opérationnels et en facilitant la reprogrammation en vol afin de soutenir plusieurs missions avec la même charge utile.

Dans le domaine des technologies liées à la gestion des missions et au système de contrôle, nous souhaitons augmenter l'autonomie en vol, automatiser davantage la surveillance du système, réduire le nombre d'opérateurs par appareil et limiter ainsi les coûts opérationnels tout en permettant au Zephyr de réagir plus rapidement que ses concurrents aux commandes de la station.

Concernant les technologies de charges utiles, Airbus a conçu OPAZ, sa charge utile d'observation de la Terre, développée sur le site de Toulouse et testée en vol dans la stratosphère. Seule solution de bout en bout disponible sur le mar-

ché, elle fournit des images et des vidéos en temps réel. Son capteur électro-optique offre une résolution de 18 cm, tandis que le capteur infrarouge (MWIR) d'une résolution de 70 cm permettra prochainement des opérations nocturnes. Lors de la campagne de vol de 2021, OPAZ a collecté plus de 20 000 images de haute résolution en un seul vol.

Dans le domaine des technologies liées à la connectivité commerciale, le Zephyr sera bientôt en mesure de fournir aux utilisateurs des services « direct-to-device » à l'aide des technologies 4G et 5G avec une infrastructure terrestre réduite grâce à sa position plus proche de la Terre et à sa capacité à rester à poste. Il offrira ainsi une connectivité omniprésente, fiable et transparente à faible latence. Cette capacité à connecter des personnes sans avoir recours aux infrastructures terrestres ou spatiales traditionnelles qui exigent beaucoup de capitaux permet de surmonter les principaux obstacles à l'augmentation de la couverture. Les opérateurs de réseaux mobiles (ORM) auront ainsi la possibilité d'offrir des services sur de nouveaux marchés où la connectivité n'était pas possible jusqu'à présent, en limitant les risques. Divers essais ont récemment démontré la viabilité et la polyvalence du spectre 2 GHz pour les services HAPS, ainsi que l'utilisation possible d'une bande étroite (450 MHz) pour fournir des services de connectivité dans un rayon de 140 km autour de la station de base.

La connectivité est également une application majeure pour les opérations militaires. Dans ce cadre, le Zephyr peut servir de nœud de communication afin d'étendre le réseau et d'assurer l'interopérabilité des ressources dans tous les domaines : maritime, pour les grandes régions océaniques, aérien, pour les avions évoluant à basse altitude, ou terrestre, pour les vastes zones comme les déserts.



Images et vidéos avec une résolution de 18 cm et bientôt 70 cm en infrarouge

L'un des prochains défis techniques à relever sera le vol en formation du Zephyr en vue de fournir une connectivité régionale ou un appui ISR multimissions. Outre la plateforme, la charge utile et l'infrastructure terrestre, Airbus se penche actuellement sur l'automatisation et l'orchestration d'une flotte de HAPS, qui permettra à différents Zephyr de communiquer entre eux, décuplant ainsi de manière exponentielle la couverture de communication et de surveillance déjà massive qu'ils sont à même de fournir.

La commercialisation de la stratosphère ne fait que commencer et le Zephyr d'Airbus est en tête de cette course de HAPS à voilure fixe. Système de plateforme à haute altitude de huitième génération, le Zephyr S est l'aéronef le plus mature et le plus avancé du marché, et se rapproche sans cesse de sa mise en service prévue en 2024. La flexibilité de sa charge utile, combinée à des conditions de vol extrêmement stables, lui confère des possibilités infinies. Votre imagination est la seule limite à ce que le Zephyr d'Airbus peut faire dans les airs. ☺



**Thierry Baud,**  
*IGA, Directeur Commercial France Défense et Sécurité d'Airbus*

X85 ENSTA, il débute à Indret sur la propulsion du Triomphant, puis à Paris comme chef de département Ingénierie de la DCN. Il poursuit sa carrière sur deux frégates en coopération avec l'Italie : Horizon puis FREMM, au SPN et à l'OCCAR. En 2011, il revient à la DGA comme adjoint puis chef d'unité de management Missiles et Drones puis ESIO en 2014. Il rejoint AIRBUS en septembre 2021.

# LES DRONES AÉRIENS AU SEIN DES FORCES ARMÉES AMÉRICAINES – AUJOURD'HUI ET DEMAIN

Par Marc Estève, ICA, Dominique Orsini, Colonel et James Lynch, U.S.-CREST Group

Motivée par les besoins opérationnels urgents des opérations d'Afghanistan puis d'Iraq, poussée par le pouvoir politique et un fort lobby industriel dominé par la société General Atomics, l'utilisation d'une nouvelle catégorie de drones aériens — relativement lents et vulnérables — est allée croissante au sein des forces américaines au cours des vingt ans passés.

L'adoption par l'armée de l'air américaine (USAF) de la version armée du drone Predator de General Atomics reste l'exemple le plus emblématique de cette période, avec, à la suite, le développement rapide du Reaper qui représente aujourd'hui une part non négligeable du parc des aéronefs de l'USAF.

Cette période a aussi vu l'accroissement marqué du nombre de drones de petites dimensions, utilisés aux échelons tactiques les plus bas. Cette tendance à la miniaturisation des drones aériens stimule maintenant les réflexions quant à leur utilisation coordonnée en essaims à des fins de saturation et la notion de convergence entre drones et missiles.

En parallèle, des développements de drones de reconnaissance plus lourds ou de futurs drones de combat à plus hautes performances se sont poursuivis mais de façon plus limitée.

Les systèmes aériens sans équipage à bord sont désormais solidement implantés dans l'arsenal des armées américaines, malgré le déclin des opérations qui ont vu



L'USAF exploite des RQ-170 sentinel produits par Lockheed Martin  
crédit photo Matt C. Hartman/Shorealonefilms.com

naître la majorité d'entre eux. Des réflexions pour les rendre davantage aptes à des environnements plus difficiles sont en cours et de nouveaux systèmes en développement font partie intégrante des futurs concepts de moyens aériens appelés à répondre à des menaces plus sophistiquées.

## Tour d'horizon des systèmes actuels et des développements engagés

L'USAF exploite la flotte la plus importante de drones MALE (Medium-Altitude Long Endurance) et HALE (High Altitude Long Endurance) avec près de trois cents MQ-9A Reaper et une trentaine de Global Hawk. Mono turbopropulseur de 20 m d'envergure et de près de 5 t d'une part et monoréacteur de près de 40 m d'envergure et 15 t d'autre part, le Reaper et le Global Hawk peuvent effectuer des missions de plus de 24 h. Le MQ-9 est équipé de différents capteurs et peut emporter un armement diversifié allant du missile à la bombe guidée. Le Global Hawk, de la société Northrop Grumman, est non armé, utilisé pour des missions de reconnaissance (RQ-4) et comme relais de communications (EQ-4).

Comme démontré par différents incidents au-dessus du Yémen ou du Golfe arabo-persique, ces aéronefs ne peuvent véritablement opérer efficacement qu'en environnement permissif. Si le futur du MQ-9 est assuré dans l'USAF, au moins jusqu'en 2030, celui du Global Hawk est plus compromis avec le retrait de service de près de deux tiers de la flotte actuelle prévue par l'Air Force à partir de 2022.

L'USAF met aussi en œuvre le RQ-170 Sentinel pour des missions de reconnaissance à propos desquelles la communication officielle reste plus que discrète. Produit en nombre réduit par la société Lockheed Martin, le RQ-170 est une aile volante monoréacteur furtive de 12 m d'envergure environ.

La presse technique a fait état depuis quelques années du développement d'un autre drone furtif de reconnaissance stratégique identifié comme le RQ-180 ; aussi une aile volante, attribuée à la société Northrop Grumman, que certains observateurs pensent avoir saisi en vidéo ou en photo au-dessus de la Californie et des Philippines. Le RQ-180, qui porterait le surnom de « Great



Un Gray Eagle, UAV MALE développé par General Atomics, utilisé par l'US Army

White Bat » (la grande chauve-souris blanche), serait un biréacteur d'une envergure supérieure à celle d'un Boeing 737 (36 m).

Aujourd'hui, l'ambition affichée de l'USAF est de développer d'ici la fin de la décennie une nouvelle famille de moyens de reconnaissance furtifs capables d'opérer dans des environnements particulièrement défendus. Il est aussi question depuis quelques années d'un autre programme qui devrait voir la mise en service au début des années 2030 d'un drone de reconnaissance capable de vitesses hypersoniques (> Mach 5).

L'USAF s'intéresse également, pour la fin des années 2020, au développement de drones multi-missions capables de performances s'approchant de celles d'un avion de combat, mais d'une masse encore relativement modeste (entre 2,5 et 5 t environ pour les concepts actuellement évalués) sous l'expression générique de « Loyal Wingman » (aillier fidèle). Ces drones doivent être conçus pour, soit accompagner des avions de combat pilotés, soit conduire des actions autonomes suivant un spectre élargi de missions. Le coût d'acquisition visé pour ces futures plateformes, entre quelques millions et une vingtaine de millions de dollars suivant les configurations envisagées, est un critère important pris en compte dans leur développement.

L'US Army, quant à elle, utilise de nombreux drones de petite taille pour des missions de reconnaissance au profit de ses unités tac-

tiques, mais elle s'est aussi dotée d'un système intermédiaire, le Shadow de la société Textron (6 m d'envergure, masse de l'ordre de 200 kg) et du Gray Eagle (17 m d'envergure et une masse maxi de l'ordre de 2 t), dérivé du Predator de General Atomics, capables de missions d'appui feu. Le Shadow et le Gray Eagle peuvent aussi être pris sous le contrôle direct d'hélicoptères d'attaque pour servir d'éclaireurs et éventuellement de moyens de frappe. Pour le futur, l'Army recherche des moyens opérant sans piste de décollage ou d'atterrissage et développe une famille de drones/munitions de petites dimensions dite ALE (Air Launched Effects) portée par ses futurs moyens aériens pilotés.

Après s'être largement appuyé sur des drones de plus petites dimensions, de type Shadow puis Blackjack (Boeing Insitu) et avoir recherché une solution MALE à décollage et atterrissage vertical, le Corps des Marines (USMC) a plus récemment adopté le MQ-9A pour satisfaire son besoin de capacité drone à longue endurance. Ces MQ-9 sont dédiés aux missions de reconnaissance et de frappe au profit des troupes déployées, y compris en appui de nouvelles unités littorales dotées de missiles antinavires mobiles terrestres. L'USMC a également fait quelques expériences avec des drones à voilure tournante en Afghanistan pour fournir un soutien logistique aux avant-postes éloignés mais aucune suite n'a été donnée en termes de programmes.

L'US Navy de son côté utilise ou développe de nombreux drones allant de l'hélicoptère à l'avion embarqué robotisé. La Navy dispose notamment de drones à voilure tournante comme le MQ-8C Fire Scout, dérivé de l'hélicoptère léger Bell 407, qui opère à partir de bâtiments de combat de faible tonnage. La Navy

commence aussi à mettre en œuvre le MQ-4C Triton de Northrop Grumman, basé à terre et dérivé du Global Hawk, conçu principalement pour des missions de reconnaissance maritime de longue durée. Une vingtaine de Triton ont été commandés et plus d'une soixantaine sont prévus par la Navy dans les années qui viennent afin d'assurer, en profondeur, la couverture la plus vaste possible de ses zones d'opérations.

La Navy a aussi expérimenté avec succès un démonstrateur de drone de combat de plus hautes performances (pour la reconnaissance et la frappe en environnement contesté), le X-47B de Northrop Grumman, capable d'opérer depuis un porte-avions, mais n'a pas directement poursuivi dans cette voie. Après une révision du besoin, ces travaux ont finalement débouché sur le développement du Boeing MQ-25A Stingray dont la mission première sera le ravitaillement en vol (avec l'objectif de pouvoir délivrer près de 7 t de carburant à 500 nautiques du porte-avion). Le Stingray doit rejoindre les flottilles embarquées au milieu de cette décennie. Outre la capacité de ravitaillement en vol, le MQ-25 offrira un complément de capacité de reconnaissance et devra permettre à terme l'intégration d'armes. Ce premier avion embarqué robotisé opérationnel permettra de soulager le Super Hornet de la mission de ravitaillement en vol et d'apprendre à maîtriser les différents aspects de la mise en œuvre de ce type d'aéronef depuis un porte-avions, d'abord localement, puis à des distances croissantes avec intervention de plates-formes aéroportées comme l'E-2D ou le Super Hornet biplace pour assurer la fonction contrôle et supervision de ses missions. Le coût moyen du MQ-25, pour une série de 76 appareils, est cependant actuellement évalué à plus de 150 millions de dollars par aéronef, soit plus qu'un F-35C.



Une voilure tournante pour l'US Navy avec le MQ-8C Fire Scout

**Demain ... vers des missions de combat plus complexes mais l'avion de combat piloté demeure et l'opérateur distant reste un élément clé de la chaîne de décision pour les drones**

Dans le domaine ouvert, l'USAF travaille depuis quelques années sur différents programmes technologiques devant contribuer à la mise en œuvre du concept de « Loyal Wingman » (ailier fidèle) d'ici la fin de cette décennie.

Une première ligne d'effort, centrée sur le programme LCAAT (Low Cost Attributable Aircraft Technology) de l'AFRL (Air Force Research Lab) a pour but de développer des cellules de drones relativement performants (haut subsonique, pouvant manœuvrer sous un certain nombre de g, long rayon d'action...) mais à durée de vie limitée et d'un coût réduit (de l'ordre de quelques millions de dollars) — et donc de dimensions et de masse relativement modestes. Le XQ-58 de Kratos, utilisant une rampe de lancement et récupéré sous parachute, avec ses 9 m de long et une masse maxi de l'ordre de 2,7 t est un exemple représentatif d'un produit d'entrée de cette gamme. Ces drones doivent également être modulaires, avec des charges utiles interchangeables en fonction des missions. D'autres lignes d'effort, comme le programme Skyborg, contribuent aux développements logiciels per-

mettant une autonomie croissante de ces appareils, et comprenant un noyau commun (ACS – Autonomous Core System) quel que soit le type de cellule. D'autres développements sont prévus pour satisfaire aux différentes fonctions de ces aéronefs (comme la mise en œuvre de capteurs, air-air ou air sol, la conduite de missions d'attaque, ou de guerre électronique, par exemple).

Les premiers démonstrateurs équipés du noyau logiciel développé par le programme Skyborg ont commencé leurs essais, avec notamment le XQ-58 Valkyrie de Kratos. Le Boeing ATS (Air Teaming System, de catégorie 5 t environ), développé par Boeing Australia sur financement du gouvernement australien, doit aussi rejoindre la campagne de démonstration aux États-Unis en 2022. D'autres solutions existent, chez Northrop, General Atomics... certains faisant l'objet de moins de publicité que d'autres et Kratos a récemment annoncé un nouveau membre de sa famille de « drones tactiques », pouvant cette fois-ci décoller et atterrir de façon conventionnelle et doté d'une capacité d'emport permettant de mieux prolonger les capacités d'un avion de combat piloté.

L'autonomie de ces plateformes s'appuie peu à ce stade sur les technologies de l'intelligence artificielle (IA) mais des développements parallèles existent, comme le programme ACE (Air Combat Evolution) de la DARPA. Celui-ci vise par le biais de l'IA, et notamment des techniques d'apprentissage par renforcement profond, tant à soulager la charge de travail d'un pilote d'avion de combat, en particulier sur un monoplace (seule configuration existante pour le F-22 et le F-35) qu'à augmenter l'autonomie d'un ou plusieurs drones sous la supervision du pilote de ce même appareil.

Pour l'Air Force, le traitement de l'ambiguïté, qui devrait rester partie intégrante des missions de l'aviation de combat, demeure une limitation majeure et jugée insurmontable à horizon prévisible au remplacement complet de l'homme par la machine, d'où l'approche actuelle combinant d'une part des drones de combat de dimensions réduites et moins coûteux et, d'autre part, des développements visant à soulager la charge de travail des pilotes des avions de combat qui auront la charge de l'emploi et de la supervision de ces drones.

Avec la récente annonce par l'USAF de son intention de lancer deux programmes classifiés de drones de combat en 2023, destinés à opérer de concert avec les avions de combat de 5<sup>e</sup> et 6<sup>e</sup> génération et le futur bombardier furtif B-21, il est probable que ces développements seront moins observables dans les années qui viennent. Cette annonce renforce en revanche la perspective de voir effectivement aboutir ce type de capacité d'ici la fin des années 2020. ☺



Le démonstrateur XQ-58A, loyal wingman d'entrée de gamme pour l'USAF (source wikipedia)



**Marc Esteve,**  
ICA, Chairman &  
CEO, U.S.-CREST  
Group

Impliqué dans les relations transatlantiques de défense et de sécurité depuis une vingtaine d'années, l'ICA Marc Esteve a été en poste au SAA de Washington de 1993 à 1996 et de 2002 à 2006. Il est chairman & CEO de U.S.-CREST Group et est diplômé de l'ICAF (Industrial College of the Armed Forces).

# MON AFFECTATION TEMPORAIRE CHEZ PARROT

Par Valentin Salvador, IA

Parrot est l'un des leaders du marché des micro-drones (dont le poids est de l'ordre du kilo) aux côtés du chinois DJI. Depuis presque 30 ans Parrot conçoit des produits électroniques parfois très innovants comme en 2000 le premier kit main libres Bluetooth et en 2010 le premier drone quadrirotor grand public. Pour la première fois depuis sa création, un IA rejoint les équipes de R&D en affectation temporaire.



3 caméras, 500g, l'Anafi UA équipe les armées depuis 2020

## L'automatique au cœur des systèmes aéronautiques

Si j'ai choisi cette période d'ouverture c'est qu'elle permet de croiser certains domaines qui me passionnent. L'aéronautique évidemment mais aussi la physique et l'informatique qui sont les deux piliers de l'automatique. Cette discipline devient incontournable dans les systèmes aéronautiques, qu'il s'agisse du guidage des missiles, de la stabilisation des virages à 120° d'inclinaison de l'A400M ou du contrôle des futurs effecteurs déportés du SCAF.

Pour se construire un solide bagage technique les drones quadrirotors sont idéaux car par nature instables : ils ne peuvent pas voler sans automatique embarquée. Ajoutez à cela les impératifs de coût et masse des composants sur un objet de quelques centaines de grammes et vous obtenez des équipes de haut niveau à la pointe de la technologie.

## Une évolution sinueuse jusqu'aux drones militaires

Créée en 1994 Parrot a commencé dans le domaine des PDA (Personal Digital Assistant) puis quelques

années plus tard débarque dans l'équipement automobile. Référence des kits mains-libres l'entreprise devient ensuite intégrateur de système d'info-divertissement pour quelques marchés de niche (McLaren, camions, ...). De 2010 à 2018 Parrot expérimente divers produits d'électronique grand public : drones, casques audio, enceinte connectée. En 2018, face au déclin du drone grand public Parrot se recentre exclusivement sur le drone professionnel (civil et militaire/défense) et cède l'ensemble de ses activités automobiles à Faurecia.

## Des drones Parrot au sein des armées

Depuis longtemps déjà les militaires ont compris l'intérêt des micro-drones. Les modèles du commerce utilisés au départ ont vite montré leurs limites et les besoins spécifiques ont fait émerger de nouveaux modèles. L'armée américaine par exemple a financé le développement de drones sur-mesure chez six industriels/startups dont Parrot était la seule non-américaine ! Une partie a été éliminée lors d'évaluations intermédiaires mais le produit développé par Parrot : l'Anafi USA a démontré ses capacités et est aujourd'hui en dotation au sein des forces Américaines.

En France c'est le COS qui manifeste le premier son intérêt pour ce système, avant que la DGA n'en commande plusieurs centaines. Le Loki (partenariat Parrot - SkyHero)

est également utilisé par les forces spéciales et le GIGN.

Récemment la DGA a passé une nouvelle commande d'une centaine de systèmes comprenant également des développements spécifiques qui concernent mon équipe.

## Une culture défense à parfaire

Malgré l'intérêt croissant des forces pour les micro-drones ce n'est que très récemment que la DGA est devenue un des clients principaux de Parrot. Le manque de culture défense est parfois flagrant notamment sur l'ergonomie et la conception mécanique mais les équipes sont demandeuses de retext et les problématiques spécifiques sont peu à peu intégrées.

C'est aussi dans ce cadre que l'affectation temporaire est intéressante pour l'ensemble des parties car étant le plus important fabricant de drones non Chinois, Parrot est voué à collaborer avec la DGA. ☺



**Valentin Salvador,**  
IA, DGA/EV/Istres  
noter dans sa  
bio un guillemet  
orphelin

Valentin Salvador a effectué le parcours « systèmes autonomes » à SUPAERO. Après un stage opérationnel au sein de la cellule « drones » du COS, il a pris en septembre 2021 un poste dans l'équipe « automatique » qui s'occupe de toute la chaîne entre l'acquisition des données des capteurs et l'envoi des commandes aux moteurs.

# MULES, ÉCLAIREURS ET OIP

## DES NOUVEAUX OPÉRATEURS DANS LE TERRESTRE

Par Nicolas Chamussy, ICA

Depuis la première utilisation significative de robots terrestres militaires dans des conflits asymétriques en Irak et en Afghanistan, les progrès technologiques significatifs accomplis promettent à ces systèmes une place incontournable dans le combat aéroterrestre asymétrique ou symétrique, y compris de haute intensité. Au plan opérationnel, les robots permettent de générer de la masse à coût contenu du fait de leur nature consommable, en complément de systèmes d'armes modernes plus complexes et plus couteux.

### Etat des lieux

Les premières utilisations de robots visaient à préserver les personnels des engins explosifs improvisés (EEI) et à fournir une assistance dans la reconnaissance de lieux confinés. Il s'agissait essentiellement de petits engins télécommandés (de quelques centaines de grammes pour des « caméras à roulettes » jusqu'à 200 ou 300 kg pour les engins de déminage les plus lourds), équipés de caméras (reconnaissance) et/ou de bras manipulateur (lutte contre les EEI), employés à plusieurs milliers d'exemplaires sur le terrain. L'US Army estime que ces microrobots ont permis de sauver plusieurs dizaines de vies et ont acquis une légitimité opérationnelle qui les rend désormais incontournables.

### Enjeux et axes d'effort technologiques

Cette première génération de robots ne constituait cependant qu'une évolution technologique des moyens mis

à la disposition du combattant avec quelques ajustements de la doctrine, mais sans changement radical des modes opératoires du combat. L'efficacité prouvée sur le terrain, associée à une maturation rapide des technologies utilisées, permet désormais leur développement dans deux directions :

- **l'extension des missions réalisées** : la possibilité de confier à des robots les tâches « 3D » (Dangerous, Dull and Dirty) reste l'une des principales motivations de leur emploi opérationnel : on préserve l'opérateur du danger, notamment en l'éloignant des zones à hauts risques, tout en le déchargeant des tâches ingrates afin qu'il puisse se concentrer sur celles à forte valeur ajoutée. Le robot est maintenant aussi considéré comme un potentiel élément de rupture, capable de créer la surprise sur le terrain grâce à la diversité des solutions techniques qu'il permet de mettre en œuvre ; cette approche « techno-push » constate tout d'abord les capacités techniques accessibles et cherche les effets opérationnels qu'elles permettraient d'obtenir. Les récents conflits asymétriques sont la parfaite illustration de cette démarche, des microdrones aériens disponibles sur catalogue pour quelques centaines d'euros ayant par exemple été transformés en mini-bombardiers capables d'agresser des personnels au sol. Des microrobots capables de reconnaître puis percer les roues de véhicules postés ou encore des microdrones capables de déposer de

la peinture sur les épiscopes d'un véhicule pour l'aveugler, sont deux exemples d'applications de rupture que l'Intelligence Artificielle rend désormais accessibles à moindre coût. La polyvalence et la modularité des microrobots NERVA de Nexter, dont l'armée de Terre vient de faire une première acquisition, s'inscrivent parfaitement dans ce schéma qui dote les forces d'une réactivité nouvelle ; le potentiel opérationnel accessible nécessite clairement un ajustement de la doctrine, afin de pouvoir tirer un profit maximal de ces nouveaux moyens.

- **Le deuxième axe d'effort concerne l'autonomie**, qu'elle porte sur la Mobilité (robot capable de naviguer sans télécommande par un opérateur) ou qu'elle soit Décisionnelle (robot capable d'analyse et de prise de décision). Ces développements permettent à ces systèmes d'agir en groupes coordonnés ou en concertation avec des éléments habités, d'envisager des emplois nouveaux dans lesquels le robot n'est plus uniquement considéré comme un substitut à l'homme. Même si cet axe d'effort s'applique également aux microrobots, il est considéré comme un différentiateur majeur dans le développement récent des robots plus lourds (les Robots Tactiques Polyvalents : RTP). Ce nouveau segment est exploré par de nombreux pays, y compris par certains qui n'étaient pas considérés comme des puissances militaires majeures et qui voient dans la robotique un moyen de conquérir la place qu'ils revendiquent, notam-



Les robots télécommandés NERVA-LG et NERVA-XX



La Mule ULTRO-600 permet de transporter 600 kg à 18km/h

ment grâce aux possibilités de « nivellement capacitaire » qu'un emploi massif de la robotique laisse entrevoir.

Un accroissement de l'autonomie des systèmes robotisés conduit également à reconsidérer en profondeur les interactions avec les opérateurs humains. Les robots ne seront à l'avenir plus entièrement télécommandés comme les premières générations de microrobots (dont un opérateur humain assurait 100% du contrôle), et ne seront pas non plus entièrement autonomes à court terme (ce n'est d'ailleurs pas la finalité recherchée). L'enjeu consiste à répartir les tâches entre l'opérateur humain et le robot, au prorata de leurs capacités respectives et des besoins de la mission, de manière à ce que le couple opérateur humain - robot fournisse une performance optimisée. Cette répartition évoluera au fur et à mesure de la maturation technologique jusqu'à ce que le robot acquière un véritable statut « d'équipier » du combattant. Les efforts portent aujourd'hui essentiellement sur l'accroissement de l'autonomie de mobilité sous forme d'assistances au déplacement (notamment en milieu non structuré) telles que le « suivi en convoi », le « suivi de personnel débarqué », le « suivi de route ou chemin », le « ralliement d'objet », etc. Ainsi déchargé des tâches de gestion de la mobilité, l'opérateur humain peut ainsi se concentrer sur le cœur de la mission opérationnelle.

### Applications opérationnelles considérées

Au-delà des applications « histo-

riques » de la microrobotique, notamment la reconnaissance, la gestion des EEI et les tâches EOD (Explosive Ordnance Disposal), l'emploi opérationnel de la robotique lourde (RTP) est actuellement activement considéré pour les missions suivantes :

- **reconnaissance** : missions identiques à celles des microrobots mais avec des capacités supérieures (mobilité en tout terrain, allonge, portée des capteurs, ...) rendues possibles par le gabarit des plateformes ;
- **surveillance de site sensible** : avec notamment des capacités de patrouille entièrement automatiques alliées à des capacités de détection d'intrusion ou plus généralement « d'événement anormal ». Des solutions impliquant une coopération entre drone aérien et robot terrestre sont aussi accessibles ;
- **transport logistique automatisé (« Mule »)** : des solutions autonomes sont d'ores et déjà proposées pour transporter des équipements sur un itinéraire donné ou pour suivre automatiquement un groupe de combat sur le terrain ;
- **ouverture d'itinéraire Piégé (OIP)** : les robots ouvrent la voie afin de détecter, leurrer ou neutraliser d'éventuelles menaces (EEI ou autres) placées sur l'itinéraire ;
- **combat** : le « robot armé » est une extension des tourelles téléopérées équipant la plupart des véhicules de combat actuels, l'opérateur humain se trouvant simplement plus éloigné de l'arme qu'il ne l'est dans un véhicule. Il convient de noter que de nombreux pays, dont la France, interdisent l'utilisation de Systèmes d'Armes Létaux Autonomes (SALA), qui décideraient seuls de la cible et du tir. Pour autant, il est néanmoins indispensable d'étudier dans ce cadre les moyens qui permettraient de lutter contre d'éventuels SALAs dé-

ployés par des armées évoluant dans un cadre éthique différent ;

Des solutions existent dès à présent pour toutes les applications citées et les axes d'effort portent sur l'extension du domaine de fonctionnement accessible : accroissement de l'autonomie, extension des conditions d'emploi (typologie des terrains, conditions climatiques, ...), augmentation de l'allonge, couplage étroit avec les systèmes d'armes existants, etc.

Quelles que soient les évolutions technologiques envisageables pour améliorer les performances des robots terrestres militaires, il importe de ne pas perdre de vue que l'opérateur humain restera au cœur de l'engagement, le robot devant d'une part rester un moyen à son service, et le couple opérateur humain - robot devant d'autre part conserver une capacité globale de résilience le rendant capable de mener à bien la mission y compris avec des modes dégradés. ☺



OPTIO 20, un drone terrestre lourd THeMIS équipé d'un canon de 20mm



**Nicolas Chamussy,**  
ICA, CEO de  
Nexter

Nicolas Chamussy (X, ENSTA) a été conseiller au cabinet du ministre de la Défense, avant de rejoindre la direction du budget du ministère de l'économie et des finances. Après divers postes chez EADS, il devient directeur de cabinet du PDG d'EADS et est nommé en 2016 directeur des systèmes spatiaux de la division Airbus Défense & Space.

# ESSAIS DE DRONES

## UNE NOUVELLE DONNE OPÉRATIONNELLE ?

Par Thomas Sousselier, IPA

Peut-être avez-vous déjà assisté à un spectacle de drones ? Ils deviennent légion dans le milieu du divertissement, que ce soit à l'Exposition Universelle de Dubaï, ou au Puy du Fou. De manière plus inquiétante, des théâtres comme le Haut-Karabagh ou le Yémen sont le lieu d'attaques coordonnées de drones, de salves manœuvrantes. Face à cette menace, demandons-nous comment nous pourrions intégrer rapidement ces nouveaux outils et surtout quels en sont les enjeux capacitaires et technologiques.

### Quand le secteur civil mène l'innovation ...

Les nuées de robots, fantômes de la science-fiction, sont au cœur de nombreux projets. Citons entre autres les différentes recherches américaines, de la DARPA et de l'US Navy, dont OFFSET et LOCUST, les annonces du côté de l'Inde et de la Chine, ou encore la Turquie, qui devient un acteur incontournable des systèmes de drones.

Pourtant, ces essaims ne sont pas apparus en premier sur les champs de batailles comme le laissait présager la littérature, mais dans les entrepôts d'Amazon.

Pour gagner en efficacité, le grand groupe américain a développé une forte compétence dans la gestion d'une flotte de robots-étagères, de manière totalement automatisée. L'homme ne se déplace plus jusqu'à l'étagère, l'étagère vient directement à lui grâce aux progrès de l'IA.

Par ailleurs, la miniaturisation continue des drones, jusqu'à en faire de simples jouets pour enfant, a démocratisé leur usage auprès du grand public, et a permis de pénétrer le marché de défense et sécurité.

Et c'est finalement le monde du divertissement qui nous a surpris. En hybridant astucieusement ces deux avancées, la miniaturisation et l'émergence de l'IA collective, il est devenu possible de faire évoluer plusieurs milliers de drones de façon coordonnée.

Cette évolution très rapide dans le

monde civil, qui pourrait s'étendre à l'agriculture dans les années à venir, rend accessible ces innovations à un rythme effréné difficilement compatible du tempo de nos programmes d'armement.

### ... nous devons explorer d'autres méthodes.

Au vu des enjeux opérationnels, offensifs, défensifs, de massification des conflits..., il faut nous demander comment réussir à se saisir de ces innovations dans des délais très courts.

C'est là que l'innovation ouverte, au sein de l'AID, prend tout son sens. Outre une détection, qui demande à sortir de la BITD pour aller chasser des start-ups, il s'agit surtout de construire les bons projets au bon moment, c'est-à-dire en respectant les feuilles de route civiles de la start-up et nos intérêts propres.

Ces nouvelles méthodes, au plus proche des start-ups, avec une temporalité très rapide, pour ne

pas dire agiles, permettent de faire réagir le capacitaire. En proposant rapidement aux forces de se familiariser avec une simple maquette, nous ouvrons la voie à l'élaboration de nouveaux concepts qui alimenteront à leur tour nos réflexions. En itérant, les utilisateurs finaux seront alors en mesure de penser de nouveaux cas d'usages voire de projeter un usage opérationnel.

Après cette phase itérative de maquettage/démonstration, la dernière étape consiste alors à réussir à passer à l'échelle, en déployant la solution dans les forces ou en l'intégrant dans une opération d'armement.

En appliquant concrètement cette méthodologie aux essaims de drones, nous allons explorer une partie du champ des possibles en mettant dans les mains des armées un essaim simple mais utilisable. Ce maquettage permettra de dégager une cartographie des briques technologiques à explorer pour atteindre un produit opérationnel.



Dronisos, société bordelaise leader mondial des shows de drones

## Les shows de drones, véritables laboratoires d'expérimentations

Les spectacles ce sont multipliés ces dernières années. Certaines sociétés françaises sont à la pointe de cette technologie qui nécessite de disposer d'un vecteur petit et fiable pour pouvoir être mis en œuvre en respectant la réglementation. Par ailleurs, la complexité réside dans la coordination des drones dont la trajectoire est individuellement calculée avant le show. Chaque individu du groupe n'est donc pas « conscient » de ses voisins, mais seulement de sa propre trajectoire.

### De nouveaux concepts d'emploi ...

S'il est, par essence, impossible d'anticiper les nouveaux cas d'usages qui seront imaginés par les forces grâce à ces méthodes, nous disposons de quelques pistes sur les enjeux opérationnels esquissés par les essais.

L'arrivée des essaims sur les théâtres d'opération apportera la massification. Cette massification, outre l'impact qu'elle pourrait avoir sur l'intensité du conflit, va induire deux effets majeurs : la sidération et la saturation. Même sans mettre en œuvre des technologies très pointues, il semble en effet concevable avec un essaim d'un millier de drones de plonger l'ennemi dans un état de sidération, ne serait-ce qu'avec des fumigènes, du son et des jeux de lumières, en s'inspirant par exemple des shows de drones actuels. De même, il semble envisageable de saturer un système de détection avec un grand nombre de vecteurs évoluant à proximité immédiate. Cette vision des essais implique des vecteurs simples et peu onéreux, à considérer finalement comme des consommables. Mais penser l'attaque implique nécessairement de penser la défense. Ainsi, les systèmes de lutte anti-drones doivent dès à présent être conçus en anticipation de cette nouvelle menace et donc s'adapter rapidement à l'apparition de nouvelles capacités adversaires.

Il devient également possible de voir l'essaim comme une nouvelle barrière défensive, en le plaçant facilement en surveillance/protection d'un convoi, comme élément de défense d'un bâtiment de la Marine voire en imaginant un essaim de

drones interceptant un autre essaim de drones malveillants.

Finalement, en considérant les essaims de drones comme un nouveau paradigme, au même titre que l'introduction du char ou de l'aviation ont pu l'être à leur époque, les cas d'usage semblent ne se limiter qu'à l'esprit de ceux qui les imaginent et demandent donc une bonne ouverture d'esprit.

### ...appellent de nouveaux développements technologiques.

Penser ces concepts futurs requiert une bonne connaissance de l'existant technologique mais doit aussi permettre de sélectionner les axes de recherche à explorer. Si la miniaturisation va se poursuivre, les futures briques technologiques s'articuleront sans surprise autour de l'autonomie, aussi bien en énergie qu'en décision, sur la localisation des vecteurs et sur les moyens de communication, tous deux primordiaux pour assurer la bonne coordination du groupe.

En terme d'autonomie énergétique, il convient de poursuivre les recherches sur les batteries, mais aussi sur le couplage de nouvelles énergies (solaire, hydrogène...) et la réduction de la consommation des moteurs mais aussi des outils de calculs embarqués.

La littérature scientifique est déjà prolixe sur les algorithmes d'autonomie décisionnelle, et j'ai moi-même contribué à la recherche sur ce sujet il y a plus de 10 ans. Pourtant ces algorithmes souffrent encore d'une confrontation insuffisante avec les cas réels pour confirmer leur pertinence opérationnelle afin de devenir tout à fait matures.

Enfin, l'évolution en groupe demande notamment de s'intéresser à des moyens de communications sûrs et frugaux, et d'explorer la navigation sans satellite, ni infrastructure, à base d'odométrie visuelle par exemple.

Ces nouvelles briques technologiques viendront elles-mêmes décupler les nombreux cas d'usages, issus de la nécessaire appropriation du concept par les utilisateurs finaux. Certains s'avéreront non pertinents, d'autres émergeront

Les essais de drones ne sont plus de la science-fiction, ni même de l'anticipation : toutes les briques sont disponibles pour proposer un premier concept, qui nous permettra de mieux comprendre et maîtriser les enjeux de cette nouvelle donne opérationnelle. Charge à nous de poursuivre nos efforts et d'amener rapidement ces nouveaux outils et usages dans les mains des forces. ☺



Essaim de drones par Icarus Swarms



**Thomas Sousselier,**  
IPA, *Manager de Portefeuille d'Innovations à l'AID*

À la suite d'un doctorat sur les essaims de robots sous-marins pour la guerre des mines, il rejoint le programme SYRACUSE, pour préparer le futur segment sol. Il prend ensuite le poste de chef de la Section Innovation de la Brigade des Sapeurs-Pompiers de Paris, et rejoint enfin l'Agence de l'Innovation de Défense pour contribuer à l'Innovation Ouverte.

# L'ISAE SUPAERO TIENT SON RANG EN RECHERCHE ET FORMATION

Par Jean-Marc Moschetta, ISAE-SUPAERO

Les premiers drones ont été développés dans les années 1980 sous l'appellation Remotely Piloted Vehicles (RPV). Secteur de fortes innovations dans le domaine de la recherche, les drones constituent une formidable plateforme pédagogique pour la formation des futurs ingénieurs.



les étudiants sont largement impliqués et passionnés par ces objets complexes

## Omniprésents depuis longtemps

Les drones sont des aéronefs à part entière : cellule, avionique embarquée, transmission, intelligence de contrôle, prises de décisions autonomes, bien des technologies de rupture sont d'abord éprouvées avant d'être installées sur des aéronefs de plus grande taille. Notre activité de recherche à l'ISAE-SUPAERO s'est beaucoup concentrée sur la sûreté et fiabilité de ces nouveaux aéronefs, nos travaux ont aussi exploré leur aérodynamique, acoustique et des générations de drones multitâches.

Sur la base de nos réalisations, nous avons utilisé ce terrain expérimental au profit des futurs étudiants en ingénierie aéronautique tout en restant à la portée de mises en

œuvre pratiques. Les essais en vol de drones instrumentés permettent ainsi aux étudiants de s'initier à la gestion de projet dans un cycle de développement compatible avec les cursus ISAE-SUPAERO.

Les drones occupent aujourd'hui, une place de choix dans la formation ingénieur avec un parcours dédié en troisième année dans le cadre du domaine Systèmes Autonomes. Un Mastère Spécialisé *Helicopters, Aircraft, Drone Architecture* couvre les aspects techniques et de gestion liés à la conception, la certification et l'exploitation des aéronefs militaires et civils, des hélicoptères et des drones. Chaque année cette formation accueille une sélection de 12 à 20 étudiants qui se destinent à intégrer la filière des hélicoptères, des taxis aériens et des drones, aujourd'hui la filière la plus dynamique du secteur aéronautique.

## Un avion sans pilote zéro émission pour traverser l'Atlantique

Nous menons le projet de drone à hydrogène Mermoz, soutenu par la Région Occitanie et le fonds européen FEDER, en partenariat avec la société H3Dynamics, experte dans le domaine des piles à hydrogène.

L'objectif de ce projet est de concevoir un drone à propulsion électrique, capable de franchir la barre des 3000 km sans émettre de CO<sub>2</sub>. Une telle distance étant absolument infranchissable pour un drone électrique à batteries, quelle que soit sa taille, compte tenu de

la faible densité énergétique des meilleures batteries actuelles, le recours à une pile à combustible ouvre en revanche la possibilité de réaliser des vols transatlantiques avec un drone de moins de 25 kg. C'est précisément l'ambition de ce projet commencé en 2019 et qui se poursuivra sous la forme du « Défi MERMOZ » aux côtés de la société DELAIR, spécialisée dans le drone de surveillance à voilure fixe, et qui a déjà réalisé un démonstrateur de drone à hydrogène avec le soutien de la DGA (projet HYDRONE soutenu par l'AID). A l'heure actuelle, ce drone de 4 mètres d'envergure et de 12 kilogrammes a été testé dans la soufflerie drones de l'ISAE-SUPAERO et effectuera ses premiers essais en vol à partir du printemps 2022. La pile à hydrogène a été testée au sol dans le cadre d'une collaboration avec la plateforme hydrogène du laboratoire LAPLACE. En outre, le projet « Défi MERMOZ » est l'occasion de bénéficier d'un partenariat académique et technologique avec l'ENAC pour son expertise sur le routage au-dessus de l'Océan, le LAAS-CNRS et le lycée Nogaro pour leur expertise sur l'encapsulation et la gestion optimale des cellules photovoltaïques, ainsi que les sociétés HYCCO et Pragma Industries qui se proposent de développer une pile à hydrogène de conception française.

Ce projet comporte également une innovation majeure, il s'inspire des techniques de vol des oiseaux de type albatros. Ces derniers ex-



Démonstrateur du drone Mermoz testé récemment dans la soufflerie drones de l'ISAE-SUPAERO

exploitent les turbulences atmosphériques rencontrées au-dessus des océans pour voler très longtemps en limitant leurs efforts. Nous travaillons sur un design aérodynamique bio-inspiré permettant d'intégrer au système les capacités naturelles des oiseaux et, ainsi, accroître la durée de vol et la distance parcourue.

### Un drone pour l'exploration martienne

Le projet StratoDrone, piloté par le CNES en collaboration avec l'ONERA, la société DROTEK fait suite à une thèse codirigée entre l'ONERA et l'ISAE-SUPAERO pour la conception optimale de rotors destinés à équiper un drone pour l'exploration martienne. Les conditions atmosphériques au niveau stratosphérique étant proches de celles du sol martien, le CNES a ainsi proposé de mettre à disposition ses ballons sondes qui évoluent jusqu'à 20 à 30 km d'altitude dans le but de réaliser un drone capable de voler à ces niveaux de vol vertigineux. Ce vol prévu en 2023, constituerait une prouesse technique pour la maîtrise

du vol stratosphérique et une mise à l'épreuve concrète pour une nouvelle génération de drones martiens plus compacts que le drone Ingenuity actuellement déployé sur Mars par la NASA.

### Vers des drones plus sûrs et certifiés

Le programme CERTIDRONE répond aux besoins de la filière drones en matière de fiabilisation des systèmes et de sécurité des vols. Aujourd'hui, l'enjeu des drones n'est pas de réaliser un vol, mais de le réaliser de manière sûre, répétable, robuste aux aléas météorologiques ou aux avaries de diverses natures. C'est pour accroître la robustesse des drones que le programme CERTIDRONE a été lancé en 2021 au profit de l'ISAE-SUPAERO dans le cadre d'un plan de financement Etat-Région. Ce programme permettra de financer un ensemble d'équipements comprenant initialement : une soufflerie à gradient, une « drone mobile », une arbalète de crash et un canyon instrumenté. La soufflerie à gradient permettra de générer des écoulements

maîtrisés non uniformes en espace et en temps susceptibles de soumettre les drones à des conditions aérologiques typiques de situations dangereuses et proches du décrochage. La « drone mobile » est un véhicule spécialement équipé pour déployer sur des terrains divers des essais en vol de drones instrumentés. Ce véhicule sera équipé d'antennes déployables, d'une station météo et d'un LIDAR à effet Doppler permettant de disposer d'un profileur de vent résolu en temps. ☺



**Jean-Marc Moschetta,**  
professeur  
d'Aérodynamique  
à l'ISAE SUPAERO

Jean-Marc Moschetta est professeur d'aérodynamique à l'ISAE-SUPAERO et responsable du programme Drones de l'Institut, ses recherches portent depuis plus de 20 ans sur la conception aérodynamique des drones à voilure tournante ou voilure fixe, ainsi que sur l'extraction d'énergie et les drones convertibles. Depuis 2012, il anime le Groupement d'Intérêt Scientifique « Micro-Drones » qui regroupe 20 laboratoires de recherches en France autour de la question des drones miniatures.

# OÙ EN EST LA ROBOTIQUE AUTONOME ?

## AU-DELÀ DES VIDÉOS OU DES ANNONCES ACCROCHEUSES

Par Jérôme Lemaire, IGA

Lorsqu'on voit les étonnantes vidéos de Boston Dynamics avec ses robots qui marchent, sautent, dansent, montent des escaliers ou lorsqu'on lit la presse généraliste sur les véhicules autonomes et les déclarations d'Elon Musk sur l'imminence de l'arrivée des véhicules totalement autonomes, la question se pose de savoir quel est le niveau d'autonomie accessible pour les véhicules et les robots. Faisons le point ensemble.



Les robots Spot, Atlas et Handle de Boston Dynamics – source : Siècle digital - décembre 2020

### Boston Dynamics... bientôt 30 ans de développements

La société américaine suscite l'intérêt du public autant que celui des spécialistes avec ses robots dont les vidéos ont été vues par des millions d'internautes (<https://www.youtube.com/watch?v=fn3KWM1kuAw>). Après bientôt 30 ans de développement, les 4 robots de la gamme (l'humanoïde «Atlas», le quadrupède «Spot», les systèmes articulés «Pick» et «Handle» - <https://www.bostondynamics.com>) montrent leurs capacités sur des vidéos où ils marchent, sautent, dansent, montent des escaliers, ouvrent des portes...

Ces robots, auteurs de réelles prouesses en termes de mouvements, font l'objet d'un travail de rétro-ingénierie de la part de chercheurs afin de mieux cerner leur niveau de développement. Ils sont souvent apparus dans des vidéos avec des conditions bien maîtrisées en termes d'éclairage, d'encombrement de l'espace, d'aléas. Certains mouvements ont pu être programmés comme ceux des robots industriels qui assemblent des véhicules ou ceux des essaims de drones qui se produisent en spectacle dans différentes villes. Néanmoins, « Spot » a commencé à être

testé par différentes entités (armée de terre en France, ville de Singapour) et entreprises (secteur pétrolier, chimique...) pour les confronter à des cas d'usages applicatifs. Boston Dynamics commercialise « Spot » depuis 2020 au tarif de 75 k\$ et 400 exemplaires auraient été vendus la première année selon Bloomberg. Les premiers clients seraient des entités en quête de preuves de concept et des entreprises ayant des besoins de robots ronds ou de robots d'inspection dans des environnements peu évolutifs.

### Des voitures autonomes dans quelques années... (depuis plusieurs années)

Au vu des développements en cours dans le secteur automobile pour automatiser les véhicules, la SAE (Society of Automotive Engineers International) a développé le référentiel SAE J3016 qui fait autorité depuis le milieu de la précédente décennie :

- Niveau 0 : absence d'assistance à la conduite ;
- Niveau 1 : de premières assistances sont disponibles pour le conducteur (ex : régulateur de vitesse, ABS..) ;
- Niveau 2 : les assistances permettent l'exécution de certaines tâches élémentaires (ex : aide au maintien dans une file, aide au stationnement) ;
- Niveau 3 : le système automatisé peut exécuter certaines tâches en assurant le contrôle de son environnement (ex : Sur autoroute, la voiture peut doubler toute seule un véhicule quand le clignotant est actionné).
- Niveau 4 : le système automatisé peut effectuer la conduite de manière autonome dans certaines circonstances (types de route, conditions atmosphériques, densité de circulation..) (ex : conduite en mode autonome sur autoroute en l'absence de neige).
- Niveau 5 : le système automatisé peut conduire le véhicule en toutes situations.

Le niveau 1 est largement disponible depuis les années 2000, le niveau 2 l'est depuis quelques années et commence à être intégré dans de nombreux modèles. Le niveau 3 arrive depuis 2021 dans quelques véhicules haut de gamme (système Honda sur Legend EX homologué au Japon en mars 2021, système Mercedes homologué le 9 décembre 2021 en Europe – à noter que Tesla ne

dispose pas d'homologation de niveau 3 fin 2021). Les niveaux 4 et 5 font l'objet de développements importants depuis la dernière décennie (par les constructeurs historiques et de nouveaux venus comme Waymo la filiale de Google, Tesla ou encore Valeo).

Pour de nombreux spécialistes, comme le cabinet Gartner (cf. *Hype Cycle for Automotive Technologies, July 2020*), il faudra encore plusieurs années avant de disposer de premiers véhicules au niveau 4 et le niveau 5 nécessitera plus d'une dizaine d'années. La question se pose d'ailleurs de savoir s'il n'y aura pas un niveau « 4 ½ » pour les autoroutes, les voies principales et les zones urbaines où l'infrastructure collaborera avec les véhicules via des systèmes de communication V2I (Vehicle to Infrastructure). Des projets européens comme Scoop et Safe Strip commencent l'expérimentation de tels systèmes pour transmettre aux véhicules des informations sur des événements à venir (zone de travaux,...) ou sur des événements détectés par les autres véhicules (accident, verglas...).

### La longue route de la robotique autonome

Le principal défi du développement des systèmes robotiques est de détecter et comprendre l'environnement qui les entoure et de faire face aux événements imprévus. Le niveau d'autonomie nécessaire dépendra de la structuration de l'environnement, de son caractère coopératif, enfin de sa dynamique et de sa prévisibilité :

- L'environnement peut être plus ou moins structuré (cas des routes, des rues) et plus ou moins encombré. Entre les trois milieux (air / terre / mer), le milieu terrestre est le plus complexe en raison de la diversité des obstacles / des objets

et c'est dans ce milieu que la robotique évoluera le plus lentement vers l'autonomie.

- L'environnement peut être plus ou moins coopératif (via un système de positionnement global comme le GPS ou demain GALILEO, via des infrastructures communicantes comme dans le cas des systèmes de communication V2I).
- L'environnement peut être plus ou moins dynamique, plus ou moins prévisible pour les systèmes qui y évoluent. Le nombre de mobiles, leur comportement, leur prévisibilité ont ainsi une influence. Une voiture autonome aura un comportement plus prévisible qu'un piéton. Plus il y a de mobiles variés (piétons, cyclistes, trottinettes...) et en nombre, plus ils sont susceptibles d'avoir un comportement hostile, plus le niveau d'autonomie nécessaire est difficile à atteindre.

La perception constitue un défi pour atteindre avec un système robotique équipé de capteurs, l'équivalent des sens des humains. Les capteurs ont récemment progressé notamment grâce à l'apprentissage à partir de données et leur complémentarité permet d'améliorer les capacités de détection et de reconnaissance. Mais la fusion de données n'est pas sans difficulté car il faut apparier les percepts (appartiennent-ils aux mêmes objets, ou à des objets distincts ?) et faire face aussi parfois à des artefacts. Le raisonnement est l'autre défi majeur. Il nécessite de modéliser le problème en termes d'espace, de temps et de description des événements. La modélisation du jeu de go est assez différente de celle d'un théâtre d'opération aéroterrestre avec des amis, des ennemis, mais également des populations.

Même si l'intelligence artificielle a fait des progrès ces dernières années, c'est surtout la réalisation de tâches élémentaires qui a percé avec la fouille de données structurées et la recherche de corrélation entre celles-ci notamment dans le commerce électronique (aide à la fixation des prix, recommandations de produits proches...), le marketing (ciblage des offres, anticipation de tendances...), la maintenance industrielle... Les premières applications sur des données non structurées (traitement de la parole et traitement d'images) commencent à être industrialisées dans des enceintes domestiques ou des smartphones. Elles concernent aujourd'hui des applications bien circonscrites, comme la transcription de la parole, la recherche d'informations simples ou la re-

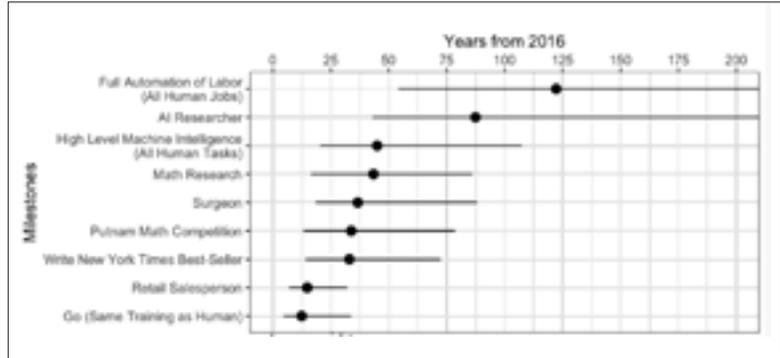


Figure : Estimation prospective du temps nécessaire pour que l'IA atteigne ou dépasse les performances humaines selon différents objectifs considérés, les ronds noirs représentant une probabilité d'atteinte de 50%. Source : When Will AI exceed human performance ? evidence from AI experts – Oxford University – Yale University

connaissance d'objets dans des images (dans le visible). Même si les progrès accomplis récemment sont indéniables, il reste encore beaucoup à faire pour aller au-delà d'applications permettant d'effectuer de manière automatisée des tâches élémentaires ou très spé-

cialisées (jeu de go, robot aspirateur).

Concernant l'accessibilité pour un robot à des tâches complexes via l'intelligence artificielle, plus de 300 chercheurs et spécialistes en IA avaient été interviewés en 2016 et avaient fourni leur estimation sur le délai nécessaire en fonction des objectifs considérés (cf. figure jointe). Les avancées de ces cinq dernières années ont permis de progresser mais ne remettent pas en cause les ordres de grandeurs mentionnés à l'époque (pour le suivi de l'évolution des performances sur différentes tâches élémentaires consulter [aiindex.stanford.edu](http://aiindex.stanford.edu)). Cela laisse des perspectives pour des générations de chercheurs, y compris d'ingénieurs de l'armement ! ☺

La robotique de défense bénéficie du dynamisme de la robotique civile et de l'intelligence artificielle, via des algorithmes génériques qui sont majoritairement disponibles en open-source. Néanmoins, plus les sujets à traiter sont éloignés de cas d'usage civils (sujets et types de données) et de plus la conception des chaînes algorithmiques et leur paramétrage nécessitent un effort particulier pour le secteur de la défense avec la nécessité de débiter les travaux à des niveaux de TRL assez bas. La modélisation d'une situation opérationnelle de combat terrestre comparée avec celle du jeu de go a déjà été évoquée. Concernant les capteurs, on utilise des données d'imagerie thermique, de radar de surveillance aérienne, de guerre électronique qui ne sont pas traités par le secteur civil. Autre exemple, concernant l'interface homme – machine : les grands acteurs du numérique s'intéressent surtout à la traduction automatique entre des langues courantes et l'anglais ou le chinois ; la défense a besoin d'assistance à la traduction entre le français et des langues parfois rares que l'on rencontre sur les théâtres d'opération. De manière générale, les systèmes robotiques militaires présentent des caractéristiques particulières : systèmes ne disposant pas forcément de liaisons haut débit pour des raisons de discrétion ou de brouillage, robotique en milieu non coopératif et non structuré (contrairement aux véhicules sans chauffeur), haut niveau de sécurisation exigé... Il est par ailleurs nécessaire de tenir compte du besoin d'intégration de ces systèmes avec les grandes plateformes dont ils dépendent (interopérabilité du système robotique avec le système d'information de celle-ci). Tout cela n'empêche pas le développement de robots et de drones qui restent majoritairement téléopérés voire avec un certain niveau de supervision comme le montrent d'autres articles de ce numéro.



**Jérôme Lemaire,**  
IGA, Chef du  
Service de la  
Qualité à la DGA

Après une thèse et près d'une dizaine d'années en intelligence artificielle et robotique, Jérôme Lemaire s'est orienté vers les systèmes de systèmes, d'abord pour préparer SCORPION puis comme directeur du programme SCCOA. Après une immersion dans les achats d'armement, le Délégué lui a confié à partir de fin 2017 une mission sur l'intelligence artificielle, puis une mission sur la transformation numérique. Il a pris la direction du Service de la Qualité le 1<sup>er</sup> janvier 2022.



**Systèmes d'armes  
25-120 mm**



**Fonctionnalités  
novatrices**



**Formation  
et Simulation**



**Soutien  
en service**



**agueris**  
Agueris : Une filiale de  
John Cockerill Defense

## Votre partenaire en formation

**Mobile**



### Préparation des opérateurs

- Formation en salle
- Formation sur simulateur virtuel immersif
- Formation sur simulateur embarqué
- Formation au tir réel
- Formation sur simulateur mobile

### Préparation des techniciens de maintenance

- Formation en salle
- Formation sur simulateur de maintenance
- Formation en atelier

**L'engagement d'Agueris : accompagner  
et former.**

**Agueris : la simulation à la pointe de la  
technologie.**



**Embarqué**

**Virtuel immersif**



**Maintenance**



**Agueris : Partenaire Simulation du programme Scorpion**

# SYSTÈMES AUTOMATISÉS INNOVANTS POUR LE COMBAT AÉROTERRESTRE

Par Christian de Villemagne, ICA

*Frontline research* se traduit de deux manières : recherche d'excellence et recherche pour la ligne de front, au cœur des engagements. Cette version anglaise de la signature de l'Institut franco-allemand de recherches de défense de Saint-Louis - l'ISL- exprime parfaitement sa mission. Tout comme sa version française « l'innovation au contact » témoigne de sa proximité particulière avec l'Armée de Terre.



Munition cargo planante et manœuvrante

## Un Institut de recherches à l'approche unique

C'est donc en lien très étroit avec les opérationnels et avec le milieu académique que l'ISL développe des innovations de rupture en matière de systèmes automatisés pour le combat aéroterrestre. Des systèmes qui escortent intelligemment les combattants et démultiplient leur action. Des systèmes qui réduisent le nombre d'opérateurs et minimisent leur charge de travail afin qu'ils puissent se recentrer sur leurs missions prioritaires. Des systèmes bas coût, pour que le facteur de supériorité opérationnelle « masse » reste économiquement accessible. L'axe offensif se double d'un axe défensif, pour contrer la menace émergente de l'utilisation illicite ou malveillante de drones (application de sécurité intérieure) ou de l'utilisation par l'adversaire de drones à charge opérationnelle active (application militaire).

L'ISL exploite son interdisciplinarité naturelle pour mettre au point ses innovations : il porte sur des robots terrestres sa centrale de navigation très bas coût développée pour des projectiles tirés par canon ; il adapte son système de localisation acoustique de tir de snipers pour le suivi robuste en temps réel et l'identification de drones multiples à faible signature ; il utilise ses compétences en interaction laser-matière pour aider l'industrie à mieux dimensionner ses futures armes laser de lutte anti-drone ; ses traitements d'image innovants permettant une navigation autonome *GNSS-free* sont partagés entre ses robots terrestres et des drones aériens, en gérant les différences manifestes de perspective ; il marie capteurs acoustiques et optiques très innovants, qu'il s'agisse d'imagerie active ou de *computational imaging* ; ses antennes en méta-matériaux permettent de s'affranchir à bas

coût de la plupart des brouillages / leurrages de signaux GNSS.

## Un recours massif à l'Intelligence Artificielle (IA)

La plupart de ces travaux recourent à l'intelligence artificielle (IA), y compris dans les domaines les plus inattendus, comme le criblage de molécules candidates pour obtenir un effet donné. Le *deep learning* y a une belle part, pour détecter, localiser et identifier les menaces en déjouant les ruses et le leurrage de l'ennemi, et aussi pour optimiser l'utilisation des charges opérationnelles actives (munitions, lasers, brouilleurs, système de leurres etc.) et des protections contre les menaces adverses.

Le carburant essentiel de l'IA est les données : il s'agit d'images et d'annotations des régions d'intérêt dans l'image (on peut remplacer image par sons, ou autres), car la qualité du résultat issu du *deep learning* est directement liée à la pertinence de l'annotation. Les données issues des théâtres sont souvent insuffisantes et fortement classifiées, ce qui rend leur exploitation extrêmement difficile pour les innovateurs. L'ISL produit des bases de données originales de véhicules militaires et de drones aériens. Il a développé une méthodologie d'annotation, ouverte à ses partenaires, permettant de concevoir des jeux de données d'entraînement «missions» dédiés. Ces données entraînent des algorithmes d'IA, que l'ISL a simplifiés pour les déployer directement sur des plateformes



Robot tactique polyvalent AUROCHS

électroniques embarquées, avec le challenge d' « optimiser le nombre de reconnaissances/seconde/watt » sans recourir au *cloud computing*, d'accès trop incertain sur le champ de bataille : ces traitements décentralisés réduisent drastiquement les besoins en une ressource rare, la connectivité, puisqu'ils sont limités à des alertes de haut niveau, au lieu de volumineux flux vidéo.

### Des systèmes automatisés originaux

Aujourd'hui, la frontière se brouille entre missiles, roquettes guidées, projectiles pilotés tirés par canon, munitions rôdeuses et drones aériens armés. Certains belligérants transforment à très bas coût des drones du commerce pour leur donner une capacité létale, mais l'éthique de nos sociétés s'interdit les « drones tueurs » laissés à eux-mêmes, privilégiant l'encadrement strict des systèmes d'armes létaux intégrant de l'autonomie. Du coup s'élève la crainte d'une inflation des coûts de l'ensemble de ces vecteurs partiellement automatisés, qui seront tous dotés de communications, de capteurs, d'effecteurs, de calculateurs etc.

L'ISL s'emploie à marier le bas coût des munitions traditionnelles d'artillerie avec les dernières avancées de l'aérothermodynamique, de l'automatique, des communications, de la sensorique et des effecteurs. Il y a plus de vingt ans entraînent en service les munitions sélectives BONUS et leurs presque équivalents allemands SMARt 155, munies de 2 têtes antichar. Leur effet dirigé reste limité à un rayon de

100 m autour de la trajectoire balistique. Les mêmes têtes antichar pourraient désormais être logées dans un cargo planant et manœuvrant, tiré par tube. L'ISL en développe des prototypes, qui utiliseront toutes les briques miniaturisées d'intelligence embarquée ISL : l'ISL intègre déjà centrale de navigation et calculateur résistants au coup de canon dans des munitions de calibre 12 mm...

Lors de la PCAT 2021 (Présentation des Capacités de l'Armée de Terre), le robot ISL AUROCHS était le seul équipement « non AT » participant aux présentations dynamiques. Il illustre le projet Vulcain, qui incarne la nouvelle priorité stratégique robotique de l'Armée de Terre. L'ISL n'est pas roboticien. Mais pour mettre au point ses fonctions d'intelligence embarquée STAMINA sur un spectre très large de cas d'usage opérationnels, il n'y avait rien sur le marché. L'ISL a donc développé, en concertation étroite avec le Battle Lab Terre, un robot tactique polyvalent, l'AUROCHS, très rapide, très agile, rechargeable lors du remorquage, autonome en ambiance *GNSS-denied* mais aussi téléopérable – ainsi que ses charges utiles à venir – en gardant les mains sur son fusil HK416... Son algorithme permet également l'aide à la détection d'IED, la formation de convois autonomes à elongation choisie, etc. L'optimisation de l'apport des robots et de l'interaction homme-robots est au cœur de cette démarche. Les fonctions STAMINA sont en cours d'implantation sur un blindé lourd.

Le Forum Innovation Défense 2021 mettait à l'honneur le projet DEEPLomatics, mené par le CNAM, l'ISL et la société Roboost. Il s'agit d'un réseau de surveillance, qui permet la détection, la localisation et l'identification automatiques de drones. Il est basé sur des antennes microphoniques compactes et indépendantes, complétées par un système d'imagerie active dans

le proche infrarouge. Les données acoustiques et vidéo alimentent des algorithmes de *deep learning* développés spécifiquement pour chaque module, permettant une reconfiguration très rapide du réseau. Ce projet ASTRID vient de s'achever sur un succès total, qui appelle une phase de maturation rapide pour servir les nombreux besoins de sécurisation de sites sur le territoire national et en opérations.

### Une pépite méconnue ?

Ce n'était que quelques exemples de briques technologiques de systèmes automatisés innovants pour les Forces Armées et la sécurité intérieure que l'ISL développe avec ses partenaires, dont de nombreuses *start-ups* (parmi lesquelles ses propres *spin-offs*). Ce faisant, l'ISL aiguillonne l'industrie de défense et ses innovations lui sont de plus en plus fréquemment transférées, avec le soutien technique de l'Institut. N'est-ce pas une illustration de ce qu'est la recherche utile ? D'autant plus qu'elle est bon marché, puisque ses coûts sont partagés entre la France et l'Allemagne ! ☺



DEEPLomatics au Forum Innovation Défense 2021



**Christian de Villemagne**, ICA, Directeur français de l'Institut Saint Louis

Après une longue expérience de coopération européenne, au sein de différents programmes d'armement et à Bruxelles à l'occasion de la création de l'Agence Européenne de Défense, Christian de Villemagne a dirigé un centre de la direction technique de la DGA. Il est actuellement Directeur français de l'ISL.

# L'AUTONOMIE EN ÉNERGIE : L'AVENIR ?

Par Louis Le Pivain, IGA

Dans le domaine maritime le développement de drones avance à grands pas et intéresse un nombre croissant d'intervenants. La brochure capacitaire élaborée par le GICAN sur ce thème en est une bonne illustration, elle devrait regrouper une soixantaine des 240 entreprises membres. Y seront évoqués les drones sous-marins qui se développent rapidement - entre autres dans le cadre de la conquête des grands fonds déclarée grande cause nationale par le Président de la République - les systèmes anti-drones nécessaires pour protéger les bases navales et les unités de valeur à quai, les drones aériens à vocation maritime, dont ceux qui viennent se poser sur un vecteur naval avec toute la problématique d'un atterrissage sur une plateforme mouvante et limitée en place, et enfin les drones de surface, sujet de cet article.

Les Israéliens ont été parmi les premiers à développer et utiliser des drones aériens puis navals. Le Protector de Rafael, développé avec Lockheed Martin est basé sur une plateforme de semi-rigide à moteur thermique et propulsion à hydrojet, il est équipé de systèmes optroniques et d'une tourelle de tir télécommandé et stabilisé.

Les Américains, les Anglais, les Singapouriens, les Turcs, entre autres, avancent rapidement avec des démonstrateurs et des versions séries capables de différentes missions télé-opérées ou entièrement autonomes.

Plusieurs Etats-Membres de l'Union Européenne se sont rassemblés autour de nombreuses coopérations structurées permanentes (Pesco) pour des futurs programmes autour des drones comme l'Euro-drone (MALE-RPAS), avec, dans le domaine naval, un drone de surface autonome ou semi-autonome (M-SASV) et le système autonome anti-sous-marin du futur (MUSAS), sans compter les systèmes anti-drones (C-UAS).

Néanmoins, aucun de ces drones n'est autonome en énergie, pire ils restent, pour la plupart, dépendants de technologies utilisant des énergies fossiles.

Or, l'autonomie est un critère di-

mensionnant dans de nombreux programmes.

Le monde de la mer, comme celui de l'espace, est un environnement dans lequel il convient de tenir longtemps, aussi est-ce un domaine dans lequel la dronisation peut logiquement conduire à ne pas simplement se limiter à rendre les navires opérables à distance, voire autonomes en navigation et en opération, mais aussi autonomes en énergie, elle peut avoir comme objectif ultime l'autonomie opérationnelle complète pour la réalisation de la mission sans intervention extérieure dans la durée.

Cette « autonomie en énergie », à l'image des satellites de communication ou d'observation dans l'espace, conduit les concepteurs de drones à utiliser des sources d'énergie extérieure telles que l'énergie solaire ou l'énergie éolienne.

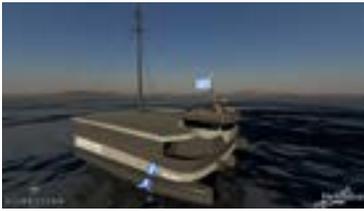
Ainsi, la marine américaine a développé un drone utilisant l'énergie éolienne pour sa propulsion et l'énergie solaire pour alimenter ses capteurs et ses moyens de guidage et de transmission. Testé en décembre 2021 dans le golfe d'Aqaba lors de l'exercice Digital Horizon, le Sairdrone Explorer USV, sous la surveillance constante d'un opérateur via une liaison satellite, semble un concept prometteur.

Dès le début des années 2000, la marine américaine avait identifié dans son « livre blanc » plusieurs types de drones maritimes. Pour deux d'entre eux, le cahier des charges stipulait de façon pragmatique : « autonomie la plus grande possible ».

Pour la marine américaine un des avantages des drones autonomes en énergie est d'éviter les opérations de ravitaillement, moment critique en termes de sécurité au



Signature d'un MoU à Athènes par Tassos Rozolis président du SEKPY et Louis Le Pivain vice-président du GICAN



Un concept de drone solaire autonome « sail and forget »

niveau opérationnel et complexe techniquement, donc coûteux, en particulier avec des carburants liquides que ces opérations s'effectuent avec intervention humaine ou, plus complexe encore, en automatique. Les marins se souviennent tous au cours de leur carrière de ravitaillement à la mer périlleux, c'est d'ailleurs l'un des rares cas de collision à la mer de ces dernières années dans la marine nationale.

Dès lors, le rechargement en continu en énergie sur zone semble la solution idoine. En mer, nous avons à disposition du soleil et du vent, ainsi que des courants et des vagues ; de plus, grâce à la poussée d'Archimède, la masse n'est pas le problème le plus important, contrairement à l'aéronautique.

Un drone autonome en énergie doit être capable de produire et de stocker de l'énergie pour la propulsion, pour les capteurs, les moyens de communication et, éventuellement, pour des systèmes d'armes. Il se doit aussi d'avoir des opérations de maintenance très réduites et espacées.

Les distances très importantes et la relativement faible vitesse de déplacement des navires en mer, toujours par rapport à l'aéronautique et même pas rapport aux véhicules terrestres, nous incite à anticiper plutôt qu'à essayer d'aller plus vite. La vitesse de déplacement maximale n'est plus alors un critère déterminant, et il ne sera pas nécessaire de naviguer à plus de vingt nœuds sur de longues distances, critère aujourd'hui dimensionnant pour les petites unités.

Le concept devient alors d'être capable de rester très longtemps sur zone. La solution de navires électro-solaires, s'impose alors naturellement. Il reste maintenant à imaginer les cas d'utilisations de drones maritimes électro-solaires autonomes en énergie.

Deux concepts intéressants pourraient utiliser cette capacité opérationnelle nouvelle de l'autonomie en énergie :

- la possibilité d'utiliser ces drones comme une barrière « consommable » dans des situations de conflit de haute intensité, et comme relais optroniques et de défense, notamment du fait de l'absence de personnel à bord, de leur relatif faible coût de fabrication et d'acquisition, et de la nécessité de protéger les unités de surface des premiers rangs d'attaques par saturations numériques ou d'attaque en meute de drones.
- la surveillance de zone sans limite de temps avec un drone équipé d'optronique, voire d'armement de défense ou même d'attaque, par exemple dans les vastes zones du Pacifique et de la Polynésie Française.

Ces concepts mériteraient d'être analysés et testés à l'aide de démonstrateurs.

C'est l'approche du projet Heliodyve de la société DreamTeamAero, créée par un entrepreneur franco-grec dynamique et inventif. Fabricant des multicoques électro-solaires, cette société a mis au point un drone naval autonome en énergie avec un concept de « Sail and Forget ».

Les drones autonomes en énergie seraient construits partiellement en France puis assemblés et équipés en Grèce, dans le sillage des coopérations industrielles déjà établies avec le contrat des frégates FDI

hellènes et stimulées par l'accord signé le 13 février 2020 à Athènes entre le Gican et son homologue multi-milieus, le Sekpy. Ces vecteurs seraient utilisés pour la surveillance des zones sensibles et contestées par les Turcs en mer Egée orientale au large de Chypre. Ils pourraient aussi être pertinents au large des côtes de Libye.

Des capacités industrielles pour la réalisation ont d'ores et déjà été identifiées pour cette réalisation près d'Athènes, et des expérimentations duales, civiles et militaires, auront lieu dans les îles d'Amorgos, de Santorin, de Rhodes et en Crète près de la magnifique baie de Soula, remarquable havre de protection à proximité de la ville de La Canée avec laquelle Lorient pourrait utilement se jumeler.

Enfin, dans le Pacifique sud, ne pourrait-on pas envisager de marier deux approches disruptives, le drone autonome en énergie et le concept du Frappeur développé par René Loire dans les années 1990 pour sécuriser à faible coût les immenses étendues de zones économiques exclusives que la France possède dans le pacifique sud autour des îles de Polynésie française, de la Nouvelle Calédonie, de Wallis et Futuna, et autour de Clipperton, seule possession française dans le Pacifique nord ? ☺



**Louis Le Pivain,**  
IGA, Vice-président  
du GICAN

Membre de l'Académie de marine  
Vice-président du Gican  
Président de Kermenez SAS  
Conseiller du commerce extérieur de la France  
De 1978 à 1989 a travaillé pour DCN à Lorient, en Arabie et au Canada.  
1997/99 Directeur au SGDSN chargé de la coordination interministérielle de l'intelligence économique et du soutien à l'export  
Président de Raidco Marine de 2006 à 2018

# « DRONES D'ANIMAUX » POUR UNE « DRONE DE GUERRE » ?

Par Xavier Lebacqz, IGA



on ne manque pas d'imagination pour dissimuler des drones...

Chats espions, chiens de guerre, singes, mulets, dauphins poseurs de mines, requins espions, rapaces anti-drones, puces infectées par la peste, tiques infectées de la fièvre aphteuse, moustiques infectés par la fièvre jaune, doryphores « déciméurs » des cultures de pommes de terre, chauves-souris incendiaires, pigeons guideurs de missiles, rats, coléoptères, libellules... Tel est le bestiaire des animaux qui ont pu être utilisés plus ou moins comme des drones militaires. Encore faudrait-il s'interroger sur les virus résultats de manipulations malheureuses de laboratoire... Si certains cas font froid dans le dos, d'autres cas sont édifiants...

Voici quelques exemples de « dronisation » de vrais animaux mais aussi de drones inspirés d'animaux par biomimétisme.

A la fin de la seconde guerre mondiale, les Américains souhaitaient « optimiser » leurs bombardements aériens massifs sur le Japon. Ils estimèrent pouvoir faire plus de dégâts avec des chauves-souris plutôt qu'avec des bombes incendiaires ! En effet, les habitations japonaises étaient pour la plupart en bois. Des chauves-souris furent équipées d'une petite charge incendiaire à retardement et acclimatées au froid. Des cases étaient disposées en cercle et empilées dans un corps de bombe. Lors de

la chute de la bombe, un parachute permettait de déployer le chapelet de cases et les chauves-souris, réchauffées lors de la descente en sortaient et allaient se réfugier sous les toits des habitations où les charges incendiaires se déclenchaient. Élevages et équipements furent mis au point mais, d'une part un incendie accidentel retarda le programme et d'autre part la bombe nucléaire conduisit à l'abandon du programme.

Toujours durant la seconde guerre mondiale, les Américains mirent au point un missile antinavire guidé par un pigeon ! Des pigeons étaient dressés à picorer des graines sur des silhouettes de navires japonais. Dès que le pigeon avait acquis le réflexe de picorer à la vue d'une silhouette de navire, il était installé à l'avant d'un missile où étaient disposés trois petits hublots. Un léger tapotement sur le hublot déclenchait la commande de gouvernes. L'apparition du navire dans les hublots provoquait le picorement du pigeon et donc une navigation terminale du missile sur le navire. Des prototypes furent testés mais, là encore, la fin de la guerre ne permit pas le développement complet du programme.

Dans les années 60, les Américains équipèrent des chats avec des microphones sous la peau et une antenne dans la queue pour

espionner le Kremlin. Le premier chat relâché dans un parc pour y espionner deux hommes fut hélas écrasé par une voiture... Le programme des chats espions aurait coûté 20 millions de dollars et fut abandonné en 1967.

Pour ceux qui ont pu voir le remarquable film « Eye in the Sky » réalisé en 2015, on y découvre des drones « insectisés » futuristes, un oiseau et un coléoptère. Le drone en forme d'oiseau est une copie directe du prototype Hummingbird Nano-UAV développé par Aerovironment pour la DARPA en 2011. La réalité a sans doute rejoint la fiction aujourd'hui pour les coléoptères...





On se souvient aussi de la présentation au salon du Bourget du drone libellule en 2017.  
<https://youtu.be/oGv14YH3IYI>



L'Armée de l'air utilise des rapaces pour neutraliser des mini-drones malveillants

SilMach, une PME de Besançon a travaillé sur le développement d'une technologie de micromoteurs de quelques millimètres carrés, baptisée PowerMems. Elle est soutenue par la DGA pour développer sa technologie de micromoteurs pour des applications tant militaires que civiles. Le défi lancé par le ministère des armées est de réaliser des drones miniatures de 300 milligrammes maximum, capables de voler 10 minutes et embarquant une caméra et le système de transmission. Ce projet prend la forme d'un drone libellule dont le micromoteur de quelques milligrammes est capable de faire battre les ailes du drone avec la vitesse, l'amplitude et la fréquence souhaitée.

Mais pourquoi utiliser une énergie précieuse pour assurer le vol d'un drone ? Des chercheurs se sont donc orientés aussi vers la « dronisation » d'insectes vivants.

Des chercheurs ont ainsi fixé un sac à dos sur un coléoptère, un Mecnorrhina torquata, avec un micro-

contrôleur, un émetteur-récepteur sans fil ainsi que six électrodes reliées aux lobes optiques et aux muscles sclérites axillaires dont l'insecte se sert en vol pour manœuvrer. Tout cela, pesant 1,5 grammes, est alimenté par une batterie en lithium-ion de 3,9 volts et a pour but de transformer l'insecte en drone vivant. En effet, grâce aux impulsions électriques générées, on est en mesure de contrôler l'insecte aussi facilement que l'on contrôle un hélicoptère en plastique avec son téléphone. Pas sûr que l'insecte soit super heureux de ces impulsions électriques à chaque virage. Usage militaire en vue sans doute ...

Idem pour le projet DragonflyEye développé par Draper, une société américaine d'ingénierie avec le Howard Hughes Medical Institute (HHMI). Il s'agit ici d'une libellule dont les neurones moteurs sont directement stimulés par la lumière.

Pour le singe, le projet « Paisley Print » devait permettre à l'Air Force d'envoyer des singes équi-

pés de caméras, ou transportant des explosifs ou des fournitures, en territoire ennemi où les humains ne pourraient pas entrer en toute sécurité afin de mener des contre-mesures offensives. Bien que le singe réussisse sur le parcours largement sans obstacle de Wright-Patterson, il est peu probable qu'un gilet télécommandé l'emporte sur les instincts du singe dans une véritable situation de combat.

Pour les rapaces, mentionnons que dans les Landes, des militaires dressent des aigles pour neutraliser les drones.

Un faux requin contrôlé à distance se meut en agitant sa nageoire caudale comme un vrai poisson et sa nageoire dorsale a de quoi effrayer lorsqu'elle émerge à la surface de l'eau. Le rôle du « Ghost Swimmer », développé dans le cadre du Projet « Silent Nemo » est de participer à l'exploration des usages possibles d'un appareil biométrique par le bureau de recherche de la Navy, par exemple identifier des mines sous-marines et autres appareils aquatiques.

Quant au chat, au rat et à l'oiseau empaillés et transformés en drones volants, les armées n'en ont pas encore compris l'intérêt, moi non plus d'ailleurs... Quoique... Cela pourrait distraire l'ennemi, le faire rire et donc atténuer sa vigilance... ☹



**Xavier Lebacqz**,  
IGA, consultant

Xavier Lebacqz a effectué une grande partie de sa carrière à la DGA dans une large palette de métiers, dont celui de directeur de programme du PA CDG. Après avoir supervisé les études du second portevions, il s'attela au démantèlement du Clémenceau puis de tous les matériels militaires avant de quitter l'administration en 2010

# AUTOMATISATION DES NAVIRES ET AERONEFS

## TRAVAUX D'ACADÉMICIENS

Par Yves Desnoës, IGA

Il y a un continuum entre drones et véhicules autonomes. L'Académie de marine et l'Académie de l'air et de l'espace ont souhaité examiner ensemble les problématiques associées à l'évolution vers une autonomie croissante, principalement dans le secteur du transport.

Un colloque commun intitulé « Vers des navires et des aéronefs sans équipage ? » a été organisé les 9 et 10 décembre 2019. On trouve les actes sur le site web de l'Académie<sup>1</sup>. A la suite de ce colloque, les deux Académies ont constitué un groupe d'étude qui a produit un dossier plus synthétique et tentant de traiter tous les sujets en tirant les leçons du colloque. Beaucoup des conclusions de ce dossier se transposent aisément aux drones, notamment ceux qui peuvent être dangereux pour la circulation.

Le dossier est téléchargeable sur le site de l'AAE<sup>2</sup>.

Mentionnons d'abord les engins marins de petite taille (entre 50 et 100 kg) qui ne sont pas considérés comme posant de problèmes de sécurité et n'ont pas été traités dans le colloque ni dans le dossier : ce sont principalement les flotteurs du programme ARGO et les gliders. Ces engins, dont l'autonomie va jusqu'à quelques années, plongent en mesurant des grandeurs physiques et remontent à la surface pour transmettre les données. Les gliders, qui peuvent se déplacer grâce à leurs ailes, peuvent aussi recevoir des ordres. Leurs analogues aériens, notamment ballons stratosphériques, sont soumis à un contrôle rigoureux en liaison avec le contrôle de trafic aérien civil.

Les principaux constats du dossier sont résumés ci-après.

**La transition numérique des transports maritimes et aériens est largement engagée** et ce sont les drones qui ouvrent la voie.

Les engins télépilotés et à conduite autonome se multiplient dans les forces aériennes comme dans les forces navales. Dans le domaine civil, les systèmes autonomes sont actuellement utilisés pour des applications de niche : transport entre ports proches dans les eaux territoriales, remorqueurs, ferries, encore au stade expérimental dans le maritime ; surveillance d'installations, prises de vues diverses dans l'aérien.

« On pourrait en conclure que les technologies pour développer un transport maritime et aérien sans équipage seraient à portée de main. Cependant de nombreux problèmes techniques, de normalisation et d'organisation restent encore à résoudre pour parvenir à la démonstration de conditions de sûreté et de sécurité acceptables ».

**Les exploitants civils ne sont pas prêts à la disparition totale des équipages**

« Aucun transporteur maritime n'envisage aujourd'hui la suppression totale et à grande échelle de l'équipage de conduite. En revanche,

les transporteurs attendent d'un développement des automatismes, par exemple en matière de gestion de la navigation, une meilleure sécurité, une réduction des coûts et des émissions polluantes et une meilleure réponse ainsi qu'une plus grande résistance de l'ensemble de la chaîne logistique du transport maritime ».

« Les transporteurs aériens n'envisagent pas aujourd'hui la suppression totale de l'équipage sur les avions de ligne, pour des raisons commerciales car les passagers n'y sont pas prêts, mais aussi de sécurité et d'insertion dans le trafic aérien. Les recherches se portent sur le cockpit mono-pilote dont l'intérêt à moyen terme devra être réanalysé à la suite de la crise actuelle ».

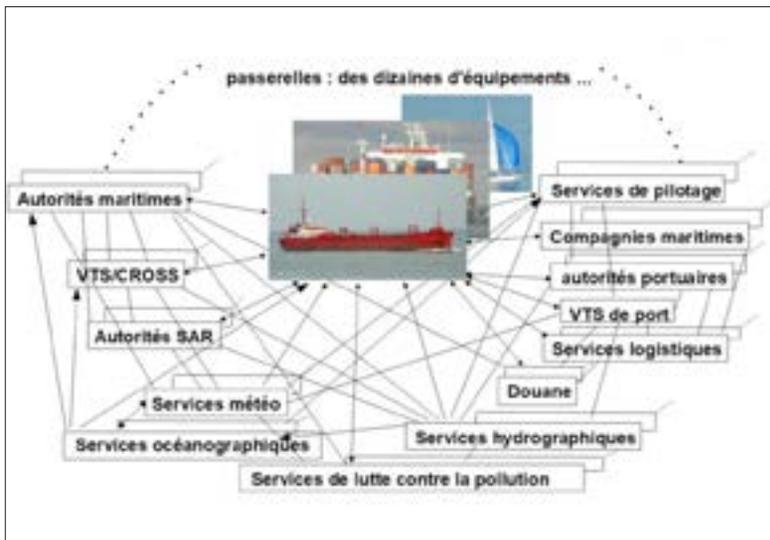
**La transformation numérique conduit à confier à des automatismes de plus en plus de fonctions critiques pour la sécurité**

Quel que soit le degré d'automatisation, y compris pour les engins dits autonomes, l'homme reste quelque part dans la boucle, éventuellement en temps différé pour les engins sous-marins qui ne sont pas traités ici.

Dans le domaine maritime, l'automatisation progresse dans tous les domaines, se traduisant par la croissance du volume des données numériques et de l'interconnexion des systèmes, de plus en plus nombreux.

1 : <https://www.academiedemarine.com/documents/Actes-Colloque-AAE-AM-V6.pdf>

2 : [https://academieairespace.com/wp-content/uploads/2021/01/Dossier50\\_AAE\\_AdM\\_FR.pdf](https://academieairespace.com/wp-content/uploads/2021/01/Dossier50_AAE_AdM_FR.pdf)



Un réseau complexe à intégrer. © Yves Desnoës

Il est convenu dans les milieux maritimes d'appeler e-Navigation, l'acquisition, l'intégration, l'échange et l'exploitation numériques à bord et à terre d'informations maritimes pour la navigation, la sécurité et la sûreté en mer ainsi que la protection du milieu marin ; sur la figure ci-dessus, la e-Navigation correspond aux services apparaissant sur la partie gauche. La gestion plus ou moins automatisée de ces différentes liaisons et leur exploitation dans un système de passerelle intégrée nécessite dès à présent un important travail de normalisation des formats de données, des protocoles et des interfaces, à l'échelle mondiale.

Les logiciels utilisés pour la navigation et les communications maritimes ne sont soumis à aucune exigence internationale de certification ou de classification. La comparaison entre aéronautique et maritime met en évidence cette lacune dont la correction permettrait certainement d'améliorer encore la sécurité maritime et deviendra de plus en plus nécessaire au fur et à mesure que progressera l'automatisation de la conduite des navires.

Ces remarques s'appliquent aussi aux drones qui ont vocation à s'insérer dans la circulation maritime générale.

« Le monde aérien a jusqu'ici intégré les technologies nouvelles sans remettre en cause les niveaux de sécurité déjà acquis, grâce à une culture de sécurité largement partagée par les acteurs traditionnels, et une capacité de réaction aux risques nouveaux liés aux évolutions technologiques. Il devra donc veiller à ce que l'accès à l'espace aérien de nouveaux acteurs innovants mais disposant d'une culture de sécurité différente ne se traduise pas par un relâchement de ces objectifs, ce qui suppose une coopération très en amont avec ces nouveaux partenaires.

La systématisation des méthodes d'analyse de risques, déjà largement amorcée dans le cadre des systèmes de gestion de la sécurité, est sans doute le moyen de concilier recherche de l'innovation et maintien du niveau de sécurité attendu des activités aériennes ».

Sur l'utilisation de l'intelligence artificielle, il est conclu que « dès lors qu'une coopération restera attendue entre une intelligence artificielle embarquée et un opérateur humain, qu'il soit à bord ou à terre, la complète intelligibilité de la logique de l'automatisme par l'opérateur sera impérative, ce qui devrait interdire

pour très longtemps l'utilisation de processus non-déterministes dans les fonctions de conduite ou de pilotage mettant en jeu la sécurité du véhicule ».

### Le risque cyber est devenu le risque majeur en termes de sûreté

Les attaques se multiplient dans les deux domaines, et toutes ne sont pas rendues publiques. Les multiples interconnexions de logiciels de plus en plus complexes ouvrent de nombreuses failles. On cite par exemple le chiffre de mille aéroports victimes de cyberattaques chaque mois dans le monde.

A titre transitoire, le monde maritime met en place des mesures de « gestion de la cybersécurité » (*cyber managed systems*). Le domaine aéronautique insiste aussi sur cette gestion et semble plus avancé dans une approche « systèmes de systèmes ».

### Le transfert de responsabilités du bord vers la terre va s'accroître

Les navires ne sont pas soumis à un contrôle en temps réel aussi strict que celui des aéronefs, mais ils reçoivent de la terre de plus en plus d'informations pré-traitées, qu'ils n'ont pas toujours le temps de vérifier.

« En ce qui concerne les minidrones ou les « avions taxis », on peut penser que le plus simple sera de continuer à les séparer comme pour l'aviation légère ».

Comme Marc Baumgartner l'a expliqué lors du colloque : « pour l'instant, les drones militaires ne sont pas intégrés dans le trafic civil ». Ils suivent des règles de la circulation opérationnelle militaire dans des espaces aériens réservés à leur mise en œuvre. Lorsqu'il y a interférence avec le trafic civil, celui-ci prend des mesures restrictives, que l'on ne peut envisager de généraliser pour des drones nombreux.



Le Centre de contrôle opérationnel (CCO) d'Air France63. © Air France

La plupart des grands opérateurs ont maintenant des centres de contrôle opérationnel qui aident à gérer les flottes, y compris sur des aspects temps réel (sans interférer avec le contrôle officiel), par exemple pour le routage des navires en fonction de la météo.

**Les ports et les aéroports sont des lieux de plus en plus complexes**

La croissance de la complexité a déjà été signalée. Les drones y contribueront car ils sont également une des composantes de la transformation numérique. Ils trouvent leur application dans les ports pour la surveillance du domaine portuaire, la biosurveillance pour lutter contre les pollutions et le transport de marchandises.

« Ainsi le GIE HAROPA, dont fait partie le port du Havre, envisage d'utiliser des technologies de surveillance et biosurveillance aériennes par drones sur la Seine et aux ac-

cès du port. Et le port de Singapour teste un système conçu par Airbus de livraison de colis entre la terre et les navires. Prochainement, le drone décollera avec une charge utile de 4 kg et naviguera de façon autonome le long de couloirs aériens prédéterminés, jusqu'à trois kilomètres de la côte » (en essai depuis avril 2021).

**La formation devra être adaptée face à l'accroissement des automatismes car l'homme restera au cœur du système**

« Il est nécessaire de maintenir le « sens marin » et le « sens de l'air » nécessaires en cas de situation grave. C'est un des fondamentaux des deux secteurs. Les caractéristiques de ce sixième sens évoluent avec les métiers ; par exemple : le sens marin à la voile n'est pas le même qu'à la vapeur... Les organismes de formation, initiale ou continue, devront veiller à donner aux personnels de conduite des navires et des aéronefs une formation approfondie à la compréhension



Projet Shore-to-Ship Drone Delivery par Airbus – Port de Singapour. © Airbus

des automatismes, notamment en cas d'imprévu, connaissance appuyée sur des connaissances de base solides de leur métier. Par ailleurs, les concepteurs des automatismes et des interfaces devront veiller à concevoir des systèmes intelligibles par les opérateurs humains et permettant une récupération par ces derniers dans tous les cas de dysfonctionnement ».

**L'acceptabilité de ces nouvelles technologies conditionne fortement leur développement**

« L'acceptabilité conditionne aussi le développement des drones civils en ville (bruit, crainte d'espionnage, risque de collision, etc.) D'une façon générale l'acceptabilité s'améliorera sur la durée compte tenu de son caractère inévitable et des services qu'elle rend (aide à la décision, baisse des coûts). La sédentarisation des postes qui l'accompagne la rendra en outre plus acceptable par les personnels ».

**Le cadre juridique s'adaptera à l'évolution technologique**

Même si les situations deviennent plus complexes, les responsabilités seront recherchées auprès des mêmes, propriétaires et transporteurs pour le maritime, opérateurs et constructeurs pour l'aérien. Le droit s'adaptera en fonction des problèmes qui lui seront posés et ne devrait pas être un obstacle à l'autonomie. ☺



**Yves Desnoës,**  
IGA

Yves Desnoës, a mené une double carrière, consacrée pour moitié à l'environnement marin, notamment au SHOM, dont il a été directeur, et pour moitié aux systèmes d'information. Il a été le fondateur du programme SCCOA - Système de commandement et de conduite des opérations aériennes dès 1986. Il est membre correspondant du Bureau des longitudes et ancien président de l'Académie de Marine.

## LA NORMALISATION DES NAVIRES ET DES DRONES MARITIMES

Yves Desnoës, de l'Académie de marine

La mer et les océans étant planétaires, la normalisation est pilotée par l'Organisation maritime internationale (OMI), qui dépend de l'ONU. L'OMI n'émet pas des normes techniques complètes, mais des « normes de fonctionnement (*performance standards*) » sur lesquelles s'appuient les organismes de normalisation proprement dits, principalement CEI (Commission électrotechnique intergouvernementale), ISO, AISM (Association internationale de signalisation maritime), OHI (Organisation hydrographique internationale). Le cycle complet dure rarement moins de six ans.

L'OMI a produit mi 2019 des DIRECTIVES (*GUIDELINES*) INTÉRIMAIRES relatives aux essais qui sont plutôt des recommandations et des objectifs louables, mais pas des solutions.

Fin juillet 2021, l'OMI a finalisé un « EXERCICE DE DÉFINITION (*SCOPING EXERCISE*) RÉGLEMENTAIRE POUR L'EXPLOITATION DES NAVIRES DE SURFACE AUTONOMES ». On est donc loin d'un dispositif opérationnel, mais les expérimentations avancent.

Côté français, on est allé un peu plus loin avec une ordonnance du 13 octobre 2021 qui distingue bien les drones des navires. L'extrait ci-dessous du compte-rendu du Conseil des Ministres la résume bien.

« Cette ordonnance a pour objet de lever les obstacles à la navigation et à l'exploitation d'engins flottants autonomes ou commandés à distance, tout en maintenant un niveau global de sécurité et de préservation de l'environnement.

Pour ce faire, elle crée, d'une part, une nouvelle catégorie d'engins flottants : les drones maritimes. Les engins entrant dans cette catégorie, c'est-à-dire les petits engins de surface ou sous-marins opérés à distance ou par leurs propres systèmes d'exploitation, sans personnel, passager ni fret à bord, seront soumis à un régime d'exploitation allégé et ne seront pas astreints à l'obtention de titres de navigation (permis de navigation, carte de circulation, etc.).

Néanmoins, les drones maritimes devront être immatriculés, posséder un pavillon, respecter les règles de circulation maritime et se conformer à des règles d'entretien et d'exploitation définies par voie réglementaire afin que les autorités de police en mer puissent effectuer leurs opérations de contrôle et assurer la sécurité de la navigation. Les drones maritimes seront également soumis à une obligation d'assurance afin de prévenir les risques d'insolvabilité en cas d'accident.

Enfin, les pilotes de drones maritimes devront être titulaires d'un titre de conduite en mer et d'une formation spécifique au pilotage d'un drone maritime correspondant aux caractéristiques du drone exploité.

D'autre part, cette ordonnance adapte la définition du navire afin de prendre en compte l'usage des navires autonomes. Les caractéristiques techniques (limites en taille, vitesse et puissance) permettant de distinguer un drone maritime d'un navire autonome seront précisées par voie réglementaire. L'ordonnance prévoit que ces engins demeurent commandés par un capitaine, soit la personne responsable de l'expédition maritime.

En l'absence de normes internationales encadrant les conditions d'exploitation et précisant les règles de conception applicables aux navires autonomes, cette ordonnance crée un régime spécifique d'exploitation expérimental pour ces navires. Cette mesure permet d'autoriser ces navires à prendre la mer dans les eaux territoriales françaises, pour une durée maximale de deux ans, et d'accompagner le développement de ce secteur émergent... »

Il est précisé par ailleurs que « si l'ensemble des navires autonomes militaires sont exclus de l'application des dispositions du code des transports, pour ce qui est des drones maritimes, seuls ceux relevant de la marine nationale en sont exclus. »

On notera qu'il n'est pas fait mention de la limite inférieure des drones, en taille notamment. Sur ce sujet, un arrêté de mai 2020 précise que sont soumis uniquement à un régime de déclaration préalable les essais d'engins autonomes remplissant les conditions suivantes : produit de la longueur par largeur inférieur à 10m<sup>2</sup> ; produit du poids à vide en tonnes par la puissance en kw inférieur à 10 ; vitesse inférieure à 10 nœuds ; pas de personnel ni de cargaison à bord.

# DRONES « AU CONTACT »

## ATOUS INDÉNIABLES POUR LE RENSEIGNEMENT DES DIFFÉRENTS ÉCHELONS TACTIQUES

Par Marie-Line Falchi, IPETA

Dans les conflits asymétriques et terroristes, les données de renseignement sont essentielles. Les drones dits « de contact » constituent un moyen d'observation privilégié.



### 1/ système de mini drones de reconnaissance SMDR, outil du régiment de l'armée de Terre

Le SMDR, développé par Thales LAS, vole jusqu'à 30 km avec une autonomie proche de 3h, soit 3 fois les capacités de son prédécesseur DRAC (drone de reconnaissance au contact). Mis en œuvre par des opérateurs spécialisés, le SMDR permet de recueillir du renseignement, de jour comme de nuit, d'acquies des objectifs, d'évaluer des frappes ou encore de contribuer à des attaques ciblées. Un système SMDR contient un segment sol et trois drones.



SMDR opéré à Barkhane

Sont appelés « drones de contact » les drones dont le poids est compris entre quelques grammes et une centaine de kilos. Ils sont utilisés par les opérateurs « au plus proche » de l'ennemi, par l'armée de Terre, l'armée de l'Air et de l'Espace et la Marine, aussi bien par leurs forces conventionnelles que spéciales. Deux exemples sont présentés dans cet article.

Une première version du SMDR est déployée par l'armée de Terre à Barkhane depuis décembre 2020, alors que le développement de la version finale se poursuit. Le choix de cette projection anticipée en OPEX, très rapidement après sa mise au point, a été fait pour répondre aux besoins urgents du théâtre, après validation des fonctions principales par la DGA et la STAT. Depuis février 2021, 5 systèmes se trouvent ainsi en permanence au Sahel, sur les 10 livrés à ce jour. Début décembre 2021, les systèmes SMDR avaient accumulé 1800 heures de vol dont 1300 heures en OPEX.

Soutenu les premières semaines par l'Équipe de Marque de la STAT et de futurs instructeurs du 61<sup>e</sup> RA (centre de formation drones de l'armée de Terre), présents au Mali, le déploiement du SMDR a permis de démontrer les qualités du système



SMDR à l'entraînement

et sa pertinence sur le terrain. Outre ses missions principales de recueil de renseignements, les missions du SMDR ont aussi été étendues au fur et à mesure de l'expérience acquise par les opérateurs. Le SMDR a ainsi participé à la protection d'emprises, au guidage d'unités du génie vers des menaces IED détectées, au blanchiment de zones ou encore à l'acquisition d'objectifs au profit de l'artillerie ou des effecteurs 3D. En opération, le SMDR apporte un appui imagerie indispensable. Il s'agit d'un appui intermédiaire entre les capteurs des nano ou micro-drones à très courte portée, et les grands drones de type REAPER, efficaces

mais comptés. La souplesse de mise en œuvre du SMDR (moins de 15 minutes par trois opérateurs) est à comparer avec ses performances élevées pour un appareil de gabarit limité. Toutefois, cette projection anticipée a aussi mis en évidence plusieurs défauts de jeunesse du système et des points de fiabilité à renforcer, éléments qui ressortent d'autant plus vite avec une utilisation intensive sur un terrain OPEX exigeant. Les chaînes de soutien, de suivi et de traitement des faits techniques, dans les Forces, à la DMAé et à la DGA, ont travaillé conjointement avec les équipes de l'industriel, depuis le début de la projection, pour réagir et s'organiser au mieux. Ce retour d'expérience, rapide et riche, est directement pris en compte dans les derniers travaux de développement de la version SMDR définitive, attendue en 2022, avec ses éléments de soutien et outils de diagnostics.

Les formations des premiers opérateurs ont été assurées par l'industriel, appuyés par des instructeurs du 61<sup>e</sup> RA ayant opéré au Mali début 2021. La certification de type du SMDR est attendue début 2022, et permettra à l'armée de Terre de former et entraîner ses opérateurs en toute autonomie en France.

A terme, la cible est de 50 systèmes SMDR pour l'armée de Terre.

## 2/ le système de micro-drones collectifs Anafi

Faisant suite à la notification par la DGA d'un accord cadre à la société Parrot fin décembre 2020, les 150 premiers systèmes de micro-drones Anafi en version militaire ont été livrés aux différentes armées en 2021, et une nouvelle commande de 100 systèmes, attendus au printemps 2022 a été passée. Pour un poids inférieur à 500 g, le micro drone Anafi dispose d'une autonomie de 30 minutes et d'une portée de 4 km, il peut voler de jour comme



Un micro-drone Anafi en opérations

de nuit. Un système Anafi comporte une station sol et 2 vecteurs. Facile et rapide à mettre en œuvre, il est utilisé par des opérateurs non spécialistes des drones.

Ces systèmes sont prévus pour doter de nombreuses unités comme outils supplémentaires dans le paquetage des équipes déployées, au niveau des sections de l'armée de Terre, pour la protection des bases de l'armée de l'Air et de l'Espace, ou encore sur différents bâtiments de la Marine. Le premier déploiement OPEX des Anafi sera réalisé au premier trimestre 2022 par l'armée de Terre.

Ils viennent compléter les parcs de systèmes de nano drones Black Hornet (260 systèmes à 3 vecteurs – société FLIR) et de micro-drones NX70 (67 systèmes à 2 vecteurs - société Novadem) déjà livrés aux Forces.

## Montée en puissance des drones

Ces livraisons illustrent la montée en puissance rapide des dotations en systèmes de drones de nos forces armées, amenée à se poursuivre avec les arrivées pro-

chaines du SMDM (Système de Mini-Drones aériens embarqués pour la Marine), destiné à équiper certains bâtiments de la Marine et du SDT, le drone tactique de l'armée de Terre (Patroller de Safran) dont le premier système sera livré fin 2022. ☺



Vecteur Anafi



**Marie-Line Falchi, IPETA,**  
Manager drones de contact – Unité de management Avions de Missions et de Support

Après une affectation au pôle CGN (auto-protection des aéronefs) puis au pôle ASA (cargo et interfaces A400M) de la Direction technique de la DGA, Marie-Line Falchi a occupé le poste d'acheteuse à l'UM TER. Elle est actuellement manager drones de contact à l'UM AMS (Avions de Missions et de Support), en charge des marchés de tous les nano et micro drones livrés aux forces.

# AU CŒUR DE L'ACTUALITE UKRAINIENNE : LES DRONES DE L'OSCE DANS LE DONBASS

UNE CONTRIBUTION DECISIVE DANS UN ENVIRONNEMENT NON-PERMISSIF

Par **Xavier de Fontenay**, *Capitaine de frégate*

Lorsque la SMM (Special Monitoring Mission to Ukraine) s'est déployée à partir du 21 mars 2014, les limites de l'observation par des patrouilles terrestres civiles, avec pour seules protections casques, gilets pare-balles et véhicules blindés, sont rapidement apparues dans le Donbass : zones de combat ou interdites d'accès par les belligérants,

champs de mines ou espaces pollués par des engins non-explosés, couvre-feu nocturne toujours en vigueur aujourd'hui. Le drone aérien s'est alors naturellement imposé comme un moyen technique alternatif simple. Ce constat s'est encore renforcé après le tragique incident qui a coûté la vie à un membre de la mission le 23 avril 2017, lorsque le

véhicule dans lequel il patrouillait a heurté une mine, et qui a conduit la mission à restreindre encore l'accès à certaines zones.

Le choix s'est porté sur 3 types d'engins complémentaires : Camcopter S-100 de Schiebel, DT-18 de Delair et mini-drones Inspire, Phantom 4 et MAVIC de DJI.

**Le S-100** permet de couvrir l'ensemble du Donbass, à partir d'un terrain situé à proximité de Kostiantynivka, entre Kramatorsk et Donetsk. Équipé d'une nacelle électro-optique infrarouge, il est le seul à pouvoir opérer de nuit, en particulier le long de la frontière, par laquelle sont susceptibles de transiter troupes, équipements et munitions. Grâce à la recopie vidéo en direct sur grand écran, la trajectoire peut être adaptée à tout moment et la mission réorientée en temps réel si besoin.

**Le DT-18** est utilisé pour l'observation de zones plus réduites

ou la détection et la surveillance d'objectifs hors du rayon d'action des mini drones. Les vols durent 40 à 70 minutes en fonction des conditions météo (40 à 70 km parcourus) dans un rayon de 15 à 20 km. Sa mise en œuvre nécessite 20 à 30 minutes de préparation sur place pour l'installation des équipements, l'assemblage du drone et les opérations avant vol et presque autant pour le rangement du matériel.

**Les mini drones** sont employés en priorité sur des objectifs précis : identification après détection par d'autres moyens, surveillance et

observation des troupes et équipements déployés ou en mouvement, évaluation de situation après des combats, notamment dans les villages situés le long de la ligne de front, reconnaissance de routes. Souples et simples d'emploi, ils peuvent être mis en œuvre en quelques minutes, jusqu'à des distances pratiques de 4 à 5 km. La qualité des images permet souvent la détection et l'identification d'équipements camouflés, y compris de petite taille tels des mortiers ou des mines, et la localisation des combattants au sol.



Officiels de l'OSCE utilisant un drone dans le Donbass



La mise en œuvre de moyens, certes civils et à des fins pacifiques, mais très intrusifs n'est pas chose aisée au quotidien dans une zone de conflit et un contexte de guerre. Selon les accords de Minsk, seule la SMM est autorisée à faire voler des drones dans une zone de 15 km de part et d'autre de la ligne de front. Les difficultés sont de plusieurs ordres. Outre les contraintes techniques et les limitations constructeur de chaque type d'appareil, il s'agit notamment du climat, des tirs hostiles et du brouillage.

Continental, le climat met les équipements comme les opérateurs à rude épreuve. Certains prétendent que le casque protège du soleil en été, le gilet pare-balles quant à lui tient chaud. Pendant les longs mois d'hiver, difficile de durer les pieds dans la neige, le nez au vent et de manipuler ordinateurs ou télécommandes pendant plusieurs dizaines de minutes. Il faut d'ailleurs bien souvent s'affranchir des limitations constructeur de température si l'on ne veut pas fermer la boutique de décembre à mars. Pas facile non plus de s'orienter après une chute de neige, lorsque tout est blanc alentour.

Autres limitations qui ne peuvent être respectées : l'emploi du DT-18. L'avion est conçu pour un atterrissage dans les champs, dont l'accès

est dorénavant interdit à la SMM. Malgré toutes les précautions prises lors des phases de décollage et d'atterrissage et l'ajout de "protections maison" sur le fuselage, l'engin est souvent malmené. Il est heureusement facilement réparable mais l'électronique souffre. Difficile également dans de nombreux cas de trouver une route sans trop de nids de poule, pas trop mal orientée par rapport à la direction du vent du jour, sans trop d'obstacles alentour, le tout à portée d'objectif tout en conservant un niveau de sureté acceptable pour l'équipe de mise en œuvre.

Cependant les deux principales causes d'attrition des drones, quel que soit le type d'appareils, sont le brouillage, quasi permanent depuis l'été 2021, et les tirs hostiles, plusieurs fois par semaine.

Le brouillage affecte essentiellement le signal GPS. Le S-100 et le DT-18, dotés de leur propre centrale inertielle, sont capables de poursuivre leur mission ou rentrer à leur base avec plus ou moins de précision. Les mini drones en revanche ne sont équipés que de la fonction Return-to-Home, qui se met en œuvre automatiquement en cas de coupure de la liaison entre le drone et sa télécommande mais ne fonctionne qu'avec un signal GPS. L'opérateur doit donc redoubler de

vigilance : l'unique moyen de navigation est alors la recopie vidéo, d'où l'importance d'une bonne étude du terrain avant chaque vol, et le maintien d'une bonne qualité du signal de contrôle du drone est crucial. Si la connexion est interrompue, le drone, incapable de se localiser, est perdu.

A part le DT-18, qui est très discret et donc rarement détecté, les S-100 et mini drones sont bruyants et souvent l'objet de tirs hostiles.

Le S-100 opère généralement en stand-off et ne craint pas grand-chose. Les mini drones en revanche volent à proximité de leurs objectifs à des altitudes souvent comprises entre 60 et 120 m. Ils sont donc vulnérables. Cependant leur petite taille et leur mobilité en font des cibles difficiles.

L'expérience montre que même touchés, certains se montrent vaillants jusqu'à l'atterrissage ! Et puis, tant qu'ils concentrent les tirs, les opérateurs sont à peu près en sécurité... ☺



20 vols par jour 365 jours par an



**Xavier de Fontenay, CF,**  
observateur  
international de  
l'OSCE

Ecole navale 82, plongeur, spécialité lutte sous la mer. Formation renseignement/re-lations internationales, langue arabe. Missions ONU en Iraq et au Sahara occidental Attaché naval en Egypte et au Maroc, attaché de défense à Koweït. Depuis 2017, observateur international de l'OSCE chargé de la mise en œuvre des drones et l'exploitation des images dans la zone séparatiste de Luhansk

# LES DRONES AU HAUT-KARABAGH

par **Xavier Tarot**, *lieutenant-colonel*

Au Haut-Karabagh, les drones étaient (presque) tous armés : quels enseignements ?



Drone TB2 et munition MAM-L

## Des drones pour neutraliser la défense aérienne... et laisser la place aux drones

Le 9 novembre 2020, un accord de cessez-le-feu mettait fin aux combats entre l'Azerbaïdjan et les Arméniens du Haut-Karabagh. Ce conflit de 44 jours, d'une intensité particulièrement élevée avec des pertes estimées de 3000 à 5000 morts de part et d'autre<sup>1</sup>, a notamment mis en lumière un emploi massif des drones et munitions téléopérées par l'azerbaïdjan.

## Une campagne bien préparée, un rôle central des drones

Ayant intégré avec succès une variété et un nombre important de systèmes de reconnaissance et d'attaque pilotés à distance, les Azéris ont confié à ces systèmes une part significative de l'attaque contre des forces arméniennes installées en positions défensives.

Sans engagement de l'aviation de chasse des deux protagonistes, possiblement par crainte réciproque de la DSA adverse ou pour maintenir l'ampleur du conflit sous un certain seuil, les drones azéris ont d'abord joué un rôle déterminant dans la destruction des défenses anti-aériennes (DEAD) arméniennes.

## Au bon moment

Mis en œuvre dans le cadre d'opérations méthodiques les associant avec des aéronefs d'ancienne génération sacrifiés pour déclencher l'activité de la DSA arménienne, ainsi qu'avec des capacités ROEM et de guerre électronique permettant à la fois de cartographier et d'aveugler cette dernière, les drones tactiques armés TB2 en particulier auraient été à l'origine de la neutralisation d'un nombre significatif de systèmes mobiles de DSA arméniens déployés sur la ligne de front. Relativement discrets et disposant d'une endurance de vol élevée leur permettant de patienter pour frapper au moment le plus opportun<sup>2</sup>, ils ont pu opérer à des altitudes et distances depuis lesquelles ils sont capables de tirer des armements miniaturisés de précision<sup>3</sup>, tout en restant hors d'atteinte de l'artillerie antiaérienne et des missiles SATCP portables.

Des opérations DEAD complémentaires ont également visé avec succès les capacités SAMP S-300 arméniennes déployées plus en profondeur. Elles auraient été conduites principalement par des munitions téléopérées Harop d'origine israélienne, spécialisées dans ce rôle.

Une fois la menace DSA arménienne en grande partie neutralisée, les drones et munitions téléopérées azéris ont été employés de façon massive, à la fois en appui-feu rapproché et en interdiction du champ de bataille. Ciblant seuls, ou en association avec l'artillerie (appui

direct et appui général), des unités arméniennes de toutes natures déployées à la fois sur la ligne de front et dans la profondeur, ils ont contribué à porter une attrition significative à des forces arméniennes devenues particulièrement vulnérables.

Dès la fin de la première semaine du conflit, ces engins ont ainsi commencé à cibler les unités d'infanterie et de chars arméniennes dans la zone des contacts, s'attaquant précisément à leurs vulnérabilités techniques (blindage de toit limité, absence de détecteur d'alerte laser et de systèmes de masquage par écran fumigène type GALIX) tout en cherchant à exploiter la moindre opportunité tactique.

Leur portée<sup>4</sup>, associée à leur endurance, a aussi pu être exploitée pour frapper des objectifs tactiques plus en profondeur. Les drones et munitions téléopérées ont alors été mis à contribution dans une logique d'interdiction du champ de bataille, ciblant, de nouveau parfois seuls, parfois en association avec l'artillerie, les postes de commandement, la logistique déployée et les convois logistiques arméniens.

## Quelles leçons tirer pour les armées françaises ?

Ce conflit souligne d'abord le besoin en drones et munitions téléopérées pour appuyer les opérations de combat au contact. Il met aussi en lumière la plus-value importante de ces systèmes automatisés aériens pour frapper dans la profondeur. Trois types de vecteurs appellent en particulier l'attention : les munitions téléopérées ; les drones tactiques armés ; les petits drones tactiques.

1 : Soit équivalent en volume d'une brigade interarmes pour chacun des deux protagonistes.

2 : Lorsque la DSA n'est plus active (déplacement, ravitaillement...), distraite, aveuglée par du brouillage...

3 : Quatre bombes « miniaturisées » MAM-L de 20 kg pour un drone TB2, tirées à 15 km

4 : Plus de 100 km, y compris pour de petits drones tactiques comme l'Orbiter 3 (30 kg au décollage).



Orbiter 3, un drone israélien transportable par véhicule emportant 5kg de charge utile jusqu'à 150 km

Discrètes, très précises et pouvant être déployées en nombre pour saturer et percer les défenses adverses, les **munitions téléopérées** ont une plus-value particulièrement intéressante contre les cibles fugaces ou à la localisation approximative. En complément de l'artillerie, elles permettent de conquérir et conserver la supériorité des feux face à des adversaires souvent fortement dotés en feux d'appui.

Plus discrets et plus simples à mettre en œuvre que les drones MALE armés et pouvant être intégrés dans des boucles plus réactives de ciblage tactique, les **drones tactiques armés** s'avèrent être un complément précieux pour attaquer, au moment opportun et en restant en dehors des volumes défendus par l'artillerie antiaérienne et les missiles SATCP portables, des cibles tactiques mobiles pouvant aller jusqu'au char.

Ce conflit a enfin souligné l'intérêt des **petits drones tactiques**, pourtant moins mis en lumière. Capables de mettre en œuvre des charges utiles plus performantes que les drones de contact<sup>5</sup>, ne nécessitant pas d'infrastructure au sol spécifique et discrets, ils constituent des outils de choix en particulier au niveau de la brigade pour l'acquisition d'objectifs au profit de l'artillerie, non seulement en appui direct mais aussi désormais en action d'ensemble grâce

à une allonge et une endurance se rapprochant de plus en plus de celle des drones tactiques.

Le second enseignement est la nécessité désormais urgente de renforcer la protection des forces face à ces vecteurs permettant de constituer une masse de manœuvre dans la 3<sup>ème</sup> dimension capable de produire des effets de plus en plus diversifiés, pour une fraction seulement de l'effort que peut représenter la mise sur pied et l'entretien d'une aviation de combat.

Il s'agit donc, pour les armées françaises, de réaliser un effort d'ensemble pour faire face à l'évolution significative de cette menace. Cela nécessite en particulier des capacités de défense sol-air basse couche optimisées pour contrer à la fois des menaces capables de frapper (ou permettre des frappes) à distance relative de sécurité, et des menaces discrètes et nombreuses. Les armées doivent également se doter de capacités plus spécifiquement conçues pour se défendre contre les drones et les munitions téléopérées de contact, tout en poursuivant l'effort initié dans SCORPION sur l'autoprotection des engins.

Ces capacités de défense antiaérienne devront être disponibles en quantité suffisante pour défendre les forces amies déployées à la fois dans la zone des contacts et dans

la profondeur. Qualitativement, elles devront être capables de détecter ces aéronefs discrets, en particulier dans les zones non couvertes par les radars de surveillance de longue portée, de résister à la fois à la saturation, y compris par des essaims ou des salves synchronisées, et aux contre-mesures électromagnétiques (brouillage, leurrage). Elle devront enfin disposer d'une allonge suffisante pour contrer les drones armés.

A côté de cet effort en équipement, un accent sera également à mettre dans l'entraînement des forces contre les menaces aériennes, avec un réapprentissage à manœuvrer et à combattre sans supériorité aérienne acquise. Au-delà de la généralisation d'une menace drone dans les exercices des grandes unités et GTIA, il s'agira plus particulièrement de concevoir et conduire une manœuvre antidrones globale, visant aussi bien les drones eux-mêmes que leurs stations sol de mise en œuvre et le système global de ciblage et de frappe adverse. Enfin, il sera nécessaire, au niveau tactique, de réappliquer les mesures simples garantes de sauvegarde comme la dissimulation, la dispersion et le camouflage. ☺



**Xavier TAROT,**  
LCL, EMAT/  
Bureau PLANS

Diplômé de l'Ecole Spéciale Militaire de Saint-Cyr, il a débuté dans l'artillerie sol-air et été déployé à ce titre à quatre reprises en missions en Guyane et en Afrique comme chef de section de tir, officier adjoint puis commandant de batterie de tir MISTRAL. Affecté au début des années 2010 en état-major opérationnel à Paris, il assure le suivi de l'engagement opérationnel de l'armée de Terre au Sud-Liban, en Libye, en Afghanistan, au Sahel puis sur le territoire national. Breveté de l'Ecole de Guerre en 2015, il devient officier de programme à la STAT puis retourne en régiment comme chef de bureau opérations instruction. Il est depuis l'été 2020 l'officier correspondant d'état-major artillerie au sein du bureau plans de l'EMAT.

5 : Précision de localisation d'objectifs, éventuellement capacité de désignation laser.

# UNE RÉVOLUTION CAPACITAIRE

## DES PROGRAMMES EN COHÉRENCE

Par Johan Pelzer, IPA

L'une des principales missions de la DGA est d'équiper les armées en développant des systèmes d'armes qui répondent aux besoins des militaires pour exercer leurs missions, aujourd'hui et dans les décennies à venir. Dans ce cadre, elle contribue activement à la stratégie volontariste mise en œuvre par la France en matière d'équipement et d'emploi des drones par les forces armées, sur l'ensemble de la trame, depuis les nanodrones de quelques grammes jusqu'aux drones MALE de quelques tonnes.

### Le ministère des Armées commande douze EURODRONE (4 systèmes)

- Florence Parly, ministre des Armées, salue la commande le 24 février 2022 par l'Occar pour le compte de la DGA et de ses homologues allemand, espagnol et italien, de vingt systèmes EURODRONE, dont quatre seront opérés par l'armée de l'Air et de l'Espace.
- Le programme EURODRONE vise à fournir une capacité souveraine de renseignement, de surveillance, de reconnaissance, d'appui aux forces terrestres sur un théâtre d'opérations et d'attaque, disposant d'une capacité de tir de missiles et de bombes guidées.
- Le lancement en réalisation de ce programme, mené en coopération avec l'Allemagne, l'Espagne et l'Italie, marque une étape clé dans le renforcement de la coopération européenne.
- La commande passée par l'OCCAR, d'un montant de 7,1 Md€ HT, porte sur le développement et la production de soixante drones européens de moyenne altitude et longue endurance de type EURODRONE, dont douze pour la France, ainsi que les cinq premières années de soutien. La fabrication du premier prototype commencera en 2024.
- Ce programme permettra la création ou le maintien d'environ 2 000 emplois directs et indirects en France sur la période de développement et de production, non seulement dans les grandes entreprises de défense, mais aussi dans leur chaîne de sous-traitance.

En terme opérationnel, les programmes de drones français s'organisent en trois segments, MALE<sup>1</sup> (Reaper et Eurodrone), tactique (SDT et SDAM) et contact (élongation inférieure à 100km). Ces segments correspondent à des besoins opérationnels différents et complémentaires tant en termes d'élongation, d'altitude de mise en œuvre que de finalités.

### Montée en puissance des drones de contact

La feuille de route des drones de contact s'organise en trois sous-segments : [nano-drones](#) (DROP) ou drone du fantassin, [micro-drones](#) (drone de la gamme civile NX70 ou Parrot) ou drone du groupe de combat, et [mini-drones](#)

ou drone du régiment pour l'armée de Terre (SMDR) et du bâtiment pour la Marine (SMDM.) ou drone de la compagnie/du bâtiment.

Du point de vue capacitaire, une forte montée en puissance est en cours depuis 2019, avec les livraisons des drones de contact (DROP et NX70 depuis 2019, SMDR depuis 2020) et les commandes de nouveaux segments de drones (Parrot et SMDM fin 2020). Compte tenu des besoins croissant des forces dans ce domaine, il y a aura plusieurs milliers de drones en service dans les forces d'ici peu contre quelques dizaines il y a quelques années, dont plus de 100 mini-drones. Le ministère des Armées dispose désormais de solides retours d'expérience de l'emploi de ces systèmes par les différentes armées. On constate par ailleurs une

structuration forte de l'ensemble des acteurs du ministère afin de disposer de ressources adaptées aux enjeux des drones. Pour ce qui concerne uniquement la DGA, ce sont plus de 100 « équivalent temps-plein » qui sont dédiés à ces thématiques.

### Des initiatives tous azimuts

Au-delà de l'aspect quantitatif, la montée en puissance capacitaire se traduit par l'armement des drones, capacité disponible sur le Reaper depuis fin 2019, en opération extérieure. Elle se traduit également par l'effort de développement actuellement porté par la France afin de disposer d'un drone tactique maritime (SDAM) adapté à la mise en œuvre quel que soit le niveau de mer. La France a ainsi largement pris la mesure du défi que constituaient les drones et la montée en puissance

1 : Moyenne Altitude Longue Endurance

impérieuse qu'elle nécessitait. Cet investissement large, sur l'ensemble du champ capacitaire DORESE (Doctrine, Organisation, Ressources humaines, Entraînement, Soutien, Equipement), lui a permis de combler une part significative de son retard.

L'approche capacitaire renforcée mise œuvre conjointement par le service d'architecture du système de défense (SASD) de la DGA et la division de cohérence capacitaire (COCA) de l'EMA vise à anticiper les grands changements à venir et leurs répercussions en termes d'évolutions des menaces. Il s'agit favoriser à la fois l'introduction d'innovations et la cohérence d'ensemble des opérations d'armement. C'est particulièrement nécessaire dans un domaine dynamique comme celui des drones où les technologies sont accessibles à un nombre croissant d'acteurs, industriels comme étatiques.

Les travaux actuellement en cours sur la thématique sont nombreux, comme par exemple la définition du futur segment « haut » des drones de contact avec une montée en gamme de ses senseurs (emport simultané de deux types de charges utiles au minimum), de son autonomie et de son élancement, ou encore sur les modalités d'intégration des drones au combat collaboratif, et notamment à travers la coopération « drone - hélicoptère ».

### Vers le vol permanent ?

Une rupture technologique majeure fait par ailleurs l'objet d'une attention forte de l'EMA et de la DGA : l'accessibilité à la quasi-persistance, avec les concepts tels que :

- Le Zephyr stratosphérique d'Airbus, offrant plusieurs semaines d'autonomie et un emport de quelques kilogrammes, suffisant pour embarquer une charge utile optronique ou un relais de communication (cf. article dédié),
- Le Skydweller, version dronisée du Solar Impulse II et porté

par une startup (Leonardo, M Lahoud) emportera durant plusieurs mois 400kg de charge utile à des altitudes atmosphériques, usuelles pour les drones,

- Le Stratobus de Thales Alenia Space, visant une autonomie d'un an en stratosphère, pour un emport d'au moins 250kg de charges utiles, permettant d'envisager l'emport d'un radar, et d'autres capacités « champ large » tirant pleinement partie de l'altitude élevée du porteur et de l'absence de masquage associée (cf. article dédié).

Si les perspectives de ces porteurs sont d'intérêt, leurs limitations restent fortes et ne permettent pas à ce stade de les considérer comme l'outil unique pour remplacer certaines de nos capacités tout en garantissant une résilience suffisante. Toutes ces technologies sont en effet fortement dépendantes de l'énergie solaire et donc relativement saisonnières (12-13h de nuit maximum), et conservent des vitesses d'évolution particulièrement réduites, réduisant leur liberté de manœuvre et les rendant particulièrement vulnérables en environnement non-permissif.

### Nouveaux programmes et lutte anti-drones

Des études spécifiques ont également été lancées pour préparer les programmes d'armement. Certaines d'entre elles ont d'ores et déjà débouché sur des réalisations concrètes comme par exemple la liaison de données du SMDR incluant du flux vidéo haute définition et la boule optronique Euroflir 410 qui équipe notamment le SDT/Patroller. D'autres sont issues de la captation d'innovation civiles, comme l'augmentation de la résistance aux environnements brouillés GNSS pour le segment des drones de contact. Une expérimentation réactive a permis d'en valider le bien fondé, avant d'en décider, moins d'un an après la détection de la technologie, de son

passage à l'échelle sur le SMDM, système de minidrone opérationnel déployé sur bâtiments de la Marine. Enfin, des appels à projets, comme le projet SAURON, permettent d'explorer les potentialités des charges utiles électromagnétiques sur mini-drones.

La préparation de l'avenir se traduit également par le lancement de projets et de programmes d'armement au plan national ou en coopération (voir encadré Eurodrone) et la définition des étapes ultérieures des programmes en cours (SDT, SMDM, SMDR)

L'enjeu n'est pas seulement le niveau technologique de nos équipements mais leur cohérence et leur coordination en vue d'être opérationnels. C'est tout l'objet de la démarche capacitaire, en particulier dans un domaine aussi diversifié que celui des drones.

Enfin, relever les défis que constituent les drones, c'est aussi relever celui de la lutte anti-drones (voir article LAD). Par leur prolifération et leur technologie, les drones aériens représentent une menace significative tant pour les installations militaires que pour les activités des forces armées sur le territoire national et à l'étranger, ainsi que les grands événements civils organisés sur notre territoire. Le développement de la menace des drones amène là encore le ministère des Armées à accélérer son effort. ☞



**Johan Pelzer,**  
IPA, DGA/SASD/  
CMI

X-ENSTA spécialisé en énergie, il rejoint les équipes de programmes en charge des capacités tactiques de renseignements d'origine électromagnétique. Habitué aux besoins interarmées, il intègre le service d'architecture du système de défense, chargé de la préparation de l'avenir et de la synthèse stratégique et de la cohérence capacitaire de tout le domaine renseignement, dont les drones de surveillance et de renseignement.

# ROBOTIQUE TERRESTRE : LA NOUVELLE DYNAMIQUE VULCAIN

VERS UNE PLEINE CAPACITÉ DE ROBOTIQUE DE COMBAT

Par Delphine Dufourd-Moretti, ICA

Alors que les robots terrestres se répandent dans les forces armées du monde entier pour des missions qui ne sont plus réservées à la lutte contre les engins explosifs improvisés (EEI), comment la France compte-t-elle développer une pleine capacité de robotique de combat ?

Un fantassin avançant prudemment derrière des minirobots pour investir un bâtiment, un robot éclaireur se dirigeant automatiquement vers un point d'observation ou encore un blessé évacué sur un quad télépiloté : qu'il s'agisse des expérimentations organisées par le CREC St Cyr et le Battlelab TER ou des évaluations DGA de l'étude amont FURIIOUS, ces situations sont presque devenues monnaie courante sur la période 2020-2021. Elles paraissent loin désormais ces années 2000 où nos interlocuteurs opérationnels affichaient parfois un certain scepticisme à l'évocation des robots terrestres, craignant les EEI voire même un coup de marteau brutal qui les mettraient rapidement hors service... Et pourtant, malgré l'issue fatale d'un tel scénario, le robot aurait sans doute rempli sa mission en protégeant l'homme ou en signalant la position de l'ennemi agresseur.

## Une capacité en plein essor à travers le monde

Les grandes puissances militaires comme les Etats-Unis, la Chine ou la Russie disposent d'ores et déjà de multiples systèmes terrestres robotisés destinés à des missions de contre-minage, de reconnaissance, de surveillance et plus récemment de combat. Nombre de nos partenaires européens communiquent régulièrement sur leurs développements dans le domaine. Mais la démocratisation des petites plates-formes, potentiellement couplées à l'intelligence artificielle pour la reconnaissance de cible ou le

fonctionnement en essaim, permet également à des belligérants plus modestes d'y recourir, parfois à des fins terroristes, ce qui alimente les débats récents à l'ONU sur la dissémination et la réglementation des Systèmes d'Armes Létaux Autonomes (SALA).

Pour sa part, la France s'est peu à peu dotée de différents types de robots terrestres, en complément des drones aériens plus mobiles mais généralement plus limités en capacité d'emport et en autonomie énergétique. La finalité est d'éloigner l'homme de la menace, de le décharger des tâches pénibles ou répétitives et de démultiplier ses capacités tout en augmentant la masse critique des unités. Dans les années 1990 sont ainsi apparus des systèmes de déminage téléopérés AMX30 B2 DT tandis que les équipes de neutralisation d'explosifs utilisent depuis de nombreuses années des robots téléopérés équipés de bras manipulateurs. Plus récemment, les minirobots SCORPION sont venus compléter les dotations pour la lutte contre les EEI et les opérations en zone urbaine. Mais tandis que les progrès technologiques dans ce domaine s'avèrent particulièrement rapides et que les cas d'usage se multiplient, la France, pionnière en la matière dès 1915, confirme son ambition de créer une gamme de robots complète et cohérente, du modèle bas coût au système de combat sophistiqué, respectant les garde-fous éthiques.



Minirobots SCORPION (NEXTER et ECA)

## Une diversification des applications grâce aux progrès de l'intelligence embarquée

Pour développer une pleine capacité de robotique, de multiples verrous technologiques restent toutefois à surmonter. Le milieu terrestre s'avère en effet extrêmement exigeant de par la diversité de son environnement, ses scènes dynamiques et ses terrains compartimentés. De plus, contrairement à de nombreux systèmes civils, les robots militaires doivent pouvoir s'affranchir d'une infrastructure dédiée ou de reconnaissances préalables du terrain. Cette complexité appelle l'innovation sur de nombreuses fonctions telles que l'observation, la mobilité ou la géolocalisation robustes. Mais le challenge le plus ambitieux reste sans doute le vaste sujet de l'autonomie décisionnelle qui apparaît comme la condition sine qua non d'un déploiement massif. Cette « intelligence embarquée » permettra tout d'abord de réduire la charge cognitive induite par la téléopération et d'augmenter

la disponibilité de l'opérateur pour réaliser des tâches à plus haute valeur ajoutée. Elle aidera par ailleurs à s'accommoder des débits limités des liaisons sécurisées et favorisera la discrétion hertzienne. Enfin, elle permettra à terme au robot de mieux appréhender la situation, de réagir en temps réel face aux aléas et surtout, de suivre le rythme de la manœuvre tactique, tout en restant sous supervision humaine constante.

Pour la développer, la DGA et l'AID s'attachent à exploiter pleinement depuis les années 2000 tous les mécanismes de R&T disponibles : études amont telles que FURIOUS pour la mobilité autonome et MUST pour la coordination de flottilles hétérogènes, projets ASTRID et RAPID, challenges co-organisés avec l'Agence Nationale de la Recherche, etc. Il s'agit également de s'appuyer sur ces travaux nationaux pour se positionner sur la scène européenne et créer un véritable effet de levier technique et financier. Outre plusieurs projets AED, la France est ainsi partie prenante du projet PEDID iMUGS sur la robotique tactique et vise désormais un portage au Fonds européen de défense.

Sur le plan capacitaire, compte tenu des développements technologiques en cours et des ruptures opérationnelles induites par ces nouveaux équipements, il apparaît nécessaire de procéder par étapes. Cela consiste à passer progressivement de systèmes isolés à des robots mieux intégrés aux unités combattantes et interfacés aux systèmes d'information opérationnels, puis à de véritables systèmes équipiers, capables d'appuyer les soldats et de suivre l'action (en respectant les formations, les vitesses de déplacement ou encore la répartition des secteurs d'observation), l'objectif à 15-20 ans étant de disposer de systèmes multirobots efficaces et coordonnés comme MGCS, le successeur du char Leclerc. Ces ro-

bots semi-autonomes sophistiqués pourront toutefois cohabiter avec des systèmes moins onéreux voire même « sacrificiels » destinés à des missions plus basiques d'interdiction de zone par exemple. Quant à la dotation des forces, elle devrait aussi présenter un caractère progressif avec la constitution de premières forces expérimentales avant de compléter les effectifs de robots vers une dotation massive à l'horizon 2040.

### La nouvelle dynamique VULCAIN

Pour préparer cette pleine capacité de robotique répondant à des conflits de haute intensité plus exigeants, l'ambition du projet VULCAIN, porté par l'armée de Terre en coordination avec l'EMA et la DGA, est d'analyser les ruptures opérationnelles induites par ces nouveaux systèmes : il s'agit d'offrir une vision long terme de la robotique aéroterrestre tout en réalisant des tests opérationnels en boucle courte. Pour cela, une section VULCAIN dédiée à l'expérimentation de ces systèmes a été créée dès l'été 2021 afin d'explorer des concepts d'emploi innovants et sélectionner les plus à même d'apporter des gains opérationnels significatifs. Ces évaluations permettront également d'initier en amont une véritable réflexion doctrinale et d'alimenter une boucle vertueuse entre les travaux R&T et le retour d'expérience opérationnel. VULCAIN a également pour ambition de fédérer la communauté robotique militaro-industrielle, incluant l'armée de terre, la DGA, l'AID et la BITD française, qui compte de nombreuses sociétés de toutes tailles ainsi qu'un solide tissu académique dans le domaine : une « Team VULCAIN » doit ainsi permettre d'animer un réseau pérenne permettant des réflexions dans le temps long.

### Vers une synergie avec le combat collaboratif

La transition vers la robotisation nécessite donc de relever de multiples

défis mais qu'il s'agisse des acteurs étatiques ou industriels, on ressent désormais une véritable détermination dans le monde de la défense pour aller de l'avant : un projet structurant et ambitieux tel que VULCAIN doit permettre de fédérer les efforts à travers des développements agiles et incrémentaux, impliquant des boucles courtes entre réalisation des démonstrateurs, essais et acquisitions. Ces travaux menés sur la robotique terrestre trouveront en outre des prolongements dans d'autres applications militaires telles que les aides aux équipages embarqués ou le combat collaboratif. Pilier du programme SCORPION et désormais de la démarche TITAN visant à préparer le combat de haute intensité à horizon 2040, le combat collaboratif fondé sur la mise en réseau et la coordination des pions amis présente en effet de grandes similitudes avec les systèmes multirobots semi-autonomes et devrait à terme intégrer de multiples plates-formes robotisées. Gageons que VULCAIN forgera ces capacités clés de demain ! 🤖



Robot eTracer de FURIOUS (SAFRAN)



**Delphine Dufourd-Moretti, ICA**  
Architecte de préparation des systèmes de combat terrestre futurs, DGA

Après avoir exercé des fonctions d'expert, d'architecte et d'encadrement technique en robotique et en systèmes terrestres à la DGA, Delphine Dufourd-Moretti (X95, ENSTA, doctorat INP Toulouse) est devenue manager SCORPION puis directrice du segment études amont terrestres avant de prendre début 2019 la responsabilité de la préparation des systèmes de combat terrestres futurs.

# LES SYSTÈMES DE DRONES : INTÉGRATION ET INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Par Dominique Giannoni, ICA

Les drones s'adaptent à tous les environnements, terrestre, aérien, naval, sous-marin jusqu'aux grands fonds. L'innovation réside désormais dans la capacité d'intégrer de manière efficace différents robots au sein d'un même système.

En réalisant depuis 1936 des drones autonomes et des systèmes de robots travaillant ensemble, ECA Group poursuit le même objectif : concevoir des systèmes capables d'aller là où l'homme ne peut pas aller.

Pour y arriver il y a deux clefs : d'une part des systèmes de robots adaptés à tous les environnements (terrestre, aérien, sous-marin et de surface) et équipés de tous types de capteurs nécessaires à la réussite de la mission, et d'autre part des compétences de systémier qui permettent d'intégrer des véhicules et des charges utiles conçus aussi bien au sein de la société que par ses partenaires.

## Guerre des mines : des drones complémentaires

Le programme de guerre des mines des marines belge et néerlandaise est le plus innovant dans la lutte contre les mines sous-marines, ECA Group a été retenu (en partenariat avec Naval Group) pour renouveler les capacités de guerre des mines des marines belge et néerlandaise (programme BENL). Ce programme constitue ce qui se fait de plus innovant dans le domaine.

Le bateau mère, construit par Naval Group et qui intègre le système de drones dans son système de combat, se tient à bonne distance du champ de mines. C'est le concept dit « Stand off » : pour la mission, on met à l'eau le drone de surface (USV, unmanned surface vehicle), l'INSPECTOR 125, qui rejoint la zone à

étudier de manière autonome ou en étant dirigé à distance. Plus de marins à bord de ce drone aux allures de vedette rapide, mais des véhicules sous-marins adaptés aux besoins de la mission.

Dans les eaux peu profondes, l'USV déploie de manière autonome un sonar tracté, mais lorsqu'il y a davantage de fonds, c'est un mini sous-marin complètement autonome l'A18-M, qui plonge depuis l'INSPECTOR 125. Ses 400 kg s'enfoncent pendant 24h à 300m de profondeur pour analyser finement jusqu'à 40 km<sup>2</sup>. Les menaces détectées sont alors identifiées grâce à un robot (ROV, remotely operated vehicle), le SEASCAN, relié par fibre optique à l'USV et dirigé depuis le bateau mère. Enfin, lorsque que l'objet s'avère être une véritable mine et que la décision de la neutraliser est prise, c'est un robot tueur de mines, le K-STER qui est déployé depuis l'USV. Ce mine-killer est équipé d'une charge explosive et d'une tête pivotante qui lui confèrent une grande efficacité dans l'élimination des mines. Pendant toute l'opération, un drone aérien (UAV) surveille la zone, recherchant d'éventuelles mines dérivantes et servant de relais de communication.

Cet ensemble de drones constitue un système de systèmes, une véritable boîte à outils (laToolbox) au service des missions de guerre des mines. La mise en œuvre coordonnée et optimisée des différents vecteurs sous l'eau, sur l'eau et dans les airs, sans intervention humaine dans



Programme Belgo Néerlandais : bateau mère et système de drones

la zone dangereuse, constitue une avancée majeure sans équivalent. Chaque drone exécute sa mission dans son périmètre en même temps que les autres, ce qui décuple la vitesse de déminage d'une zone et n'expose plus la vie humaine aux risques de ce type d'opération.

De plus, la Toolbox peut aussi être mise en œuvre depuis la terre ou n'importe quel autre bateau. Une installation conteneurisée et aérotransportable peut être déployée n'importe où dans le monde.

## UMISOFT, le cœur du système

Cette évolution majeure dans l'utilisation des robots est devenue possible grâce au développement de l'intelligence artificielle et d'une suite logicielle complète prenant en

charge toutes les dimensions de la mission : UMISOFT. En amont, elle assure la planification en optimisant l'emploi des différents vecteurs et propose des séquences de déploiement visant à réduire le temps d'analyse d'une zone donnée tout en maximisant la qualité de la détection d'objets suspects. En aval, elle permet la mise en œuvre des drones, avec si nécessaire des reconfigurations en temps réel. L'opérateur dispose d'outils d'analyse des données collectées par les drones, d'aide à la classification et l'identification. Ses tâches en sont ainsi facilitées.

UMISOFT dispose d'une architecture modulaire : il permet l'acquisition et le traitement de données issus de capteurs très variés d'ECA Group ou d'une entreprise partenaire : sonars à balayage, sonar latéral, sonar à ouverture synthétique, sondeurs multifaisceaux, magnétomètres, sondeurs de sédiments, vidéo, capteurs environnementaux... Cette architecture ouverte rend possible l'intégration de différents types de drones, conçus par ECA Group ou par d'autres entreprises comme le drone aérien SKELDAR et des drones sous-marins REMUS dans le programme BENL.

### Intelligence artificielle embarquée, l'efficacité au plus près

Intégrer les intelligences artificielles les plus avancées directement à bord des systèmes de drones offre des gains de temps et d'efficacité considérables.

Plusieurs réseaux neuronaux sont ainsi utilisés pour mieux appréhender l'environnement. Les algorithmes de détection automatique de contact (ATD) permettent de détecter automatiquement les mines potentielles. La reconnaissance automatique de contact (ATR) permet leur classification et le transfert des données aux autres robots, pour identification (SEASCAN) et neutralisation (K-STER).

Toutes ces informations sont ensuite fournies à d'autres logiciels



Image prise par le sonar UMISAS 120 VHF du navire S.S. Ferrando au large des côtes d'Hyères. Taille de l'image : 40 m x 135 m

d'IA qui permettent de prendre une décision optimale sur le devenir de la mission et de son optimisation, tel qu'un changement du trajet d'exploration d'une zone ou la revisite d'un objet.

Là où une surveillance régulière est effectuée, les images sont stockées dans un centre à terre, doté d'outils puissants d'analyse et de corrélation, le Mine Warfare Data Center. A chaque nouveau passage, elles sont comparées aux données précédemment collectées afin de repérer les différences.

### Un sonar performant et sobre

Dans le domaine de la lutte contre les mines, la qualité des images fournies par le sonar est un élément essentiel. Les images du sonar UMISAS d'ECA à antenne synthétique sont parmi les plus précises au monde : 1,5cm x 3cm.

Ce sonar, qui consomme 10 fois moins que la génération précédente est intégré dans le drone sous-marin, aujourd'hui dans l'A 18-M et demain dans de futurs AUV.

### Les Grands Fonds Marins, nouveau domaine de conflictualité potentielle

Le plan d'investissement « France 2030 » affiche de très hautes ambitions concernant les Grands Fonds Marins. Du côté civil, l'exploration de ces abysses méconnus permettra de mieux étudier les minéraux qui y sont présents et de découvrir de nouvelles formes de vie. Du côté militaire, la protection des infrastructures stratégiques, comme les câbles de communication, devient une nécessité.

Depuis 40 ans, ECA Group a développé pour l'IFREMER plusieurs robots pouvant atteindre le plancher océanique. C'est le cas d'Ulyx, un drone autonome livré en 2020 et capable d'effectuer des missions de 48h à 6 000m de fond. Pour ce faire, il a fallu imaginer des technologies répondant aux fortes contraintes telles que la résistance des matériaux à la pression, l'hydrodynamique, la flottabilité, les difficultés de communication ou encore le sujet central de la navigation sous-marine sans GPS.

### Pour un monde plus sûr

Les Grands Fonds Marins font figure de nouveau domaine à explorer dans le domaine de la robotique. Les ambitions affichées doivent permettre de concrétiser de nouveaux paliers comme les meutes de drones, les robots résidents ou la généralisation des IA embarquées.

Une maîtrise d'ensemble, de la conception des drones à l'intégration des capteurs, en passant par les logiciels et l'IA, apporte des solutions innovantes. ☞



**Dominique Giannoni**, ICA,  
Directeur Général  
ECA Group

Diplômé de l'ENSTA et du MIT il a débuté à la DGA (frégates HORIZON, lutte sous-marine) et Cap Gemini Telecom. Il a été chez Thales en charge des sonars pour sous-marins, puis de l'Avionique Militaire. Il dirige ensuite l'activité « Multimédia de Cabine pour Avions Commerciaux » basée en Californie, puis l'activité de Systèmes Electroniques pour Avions de Combat. Il est depuis 2021 Directeur Général du groupe ECA

# LE FUTUR DE LA GUERRE DES MINES PASSE PAR LES DRONES

Par Sylvain Bussiere, ICA

L'avènement des drones dans le domaine de la guerre des mines navales est inéluctable. En effet, ils permettent d'une part de protéger les marins de la menace en leur évitant de pénétrer dans le champ de mines, et d'autre part, apportent des gains en temps, en efficacité et en moyens humains potentiellement considérables. C'est un véritable changement de métier qui se profile. La France, avec son programme de Système de Lutte Anti-Mines Futur (SLAMF), est en pointe dans ce domaine.

## La guerre des mines, une absolue nécessité

La sécurisation des chenaux empruntés par les SNLE et le groupe aéronaval, le libre accès à nos ports militaires et de commerce, ou encore la libre circulation des marchandises dans les détroits sont autant de priorités stratégiques qui relèvent en partie du domaine de la guerre des mines. On a vu récemment que le blocage du canal de Suez par un navire échoué pendant quelques jours avait engendré un désordre mondial et coûté des centaines de millions d'euros. Une mine navale aurait pu créer le même effet, il est donc essentiel d'avoir une capacité de détection de ces menaces.

## Pourquoi des drones ?

Au 21<sup>e</sup> siècle, envoyer des hommes au milieu d'un champ de mines pour les détecter et les neutraliser apparaît incongru quand on sait qu'un drone pourrait faire le job. De plus, cartographier une large zone avec un sonar est une tâche répétitive et qui n'a pas besoin d'être exécutée sur place, l'analyse des images récoltées pouvant se faire à terre et en temps différé. C'est sur cette base qu'est né le programme SLAMF au début des années 2010. Simple étude amont au départ, le projet s'est structuré en programme autour d'une coopération sur les drones avec le Royaume-Uni, menée par l'Occar sous le nom MMCM (*Maritime*

*Mines Counter Measures*) et confiée à Thales. Après une phase de développement d'environ 5 ans, le programme a été officiellement lancé à l'automne 2020 avec la commande d'un premier lot de série pour les deux nations.

Le SLAMF met en œuvre deux types de drones : des USV en surface (*unmanned surface vehicle*) et des AUV sous-marins (*autonomous underwater vehicle*). Les USV peuvent, selon la charge utile qu'ils embarquent, détecter les mines ou les neutraliser. La détection est réalisée avec un « poisson remorqué » intégrant des sonars latéraux et pouvant plonger jusqu'à 200 mètres de profondeur. La neutralisation fait appel à un robot téléopéré mis à l'eau depuis l'USV qui vient déposer une charge explosive au contact de la mine jusqu'à 300 mètres de fond. Les AUV se limitent à détecter les mines, mais ont d'autres avantages comme la discrétion ou l'absence de conflit avec le trafic maritime de surface.

Le programme a franchi un jalon important fin novembre 2021 avec la livraison des systèmes prototypes à la Marine nationale et la Royal Navy. Les évaluations opérationnelles qui seront réalisées pendant 2 ans permettront de collecter de nombreux enseignements, afin notamment d'ajuster le concept d'emploi et de mise en œuvre des drones. En effet, ce programme est une transforma-

tion en profondeur pour la composante de guerre des mines de la Marine nationale et l'évaluation du prototype sera l'occasion d'en mesurer l'ampleur.

## Quels gains avec l'emploi de drones dans la guerre des mines ?

Les drones permettent d'envisager des gains dans plusieurs domaines à court ou moyen terme.

En premier lieu, l'utilisation de drones permet d'éloigner l'homme de la menace, à la fois des mines en évitant de pénétrer dans la zone minée et des menaces côtières lors d'opérations extérieures en restant hors de portée à bord du bâtiment de guerre des mines (BGDM), qui fait l'objet de la suite du programme SLAMF.

D'autre part, les drones permettent de gagner en efficacité et en ressources humaines en automatisant des tâches répétitives. Les drones peuvent réaliser des missions de longue durée dans des conditions de navigation difficiles sans besoin d'interruption pour une relève d'équipage.

Enfin, les drones de guerre des mines, comme tous les drones, présentent un caractère « consommable ». Néanmoins, compte-tenu du coût d'acquisition élevé en raison d'une production marginale, tout est mis en œuvre pour éviter leur perte !



USV avec son sonar remorqué en jaune (crédit Thales)

A titre d'illustration, il est prévu que les drones du programme SLAMF prennent le relais de la surveillance du goulet de Brest par lequel transitent les SNLE, actuelle mission des trois bâtiments remorqueurs de sonars (BRS) armés chacun par une vingtaine de marins. Quelques drones sous-marins mis en œuvre par une poignée d'hommes pourraient se relayer pour sillonner la zone en continu et récolter beaucoup plus de données.

## « ÉLOIGNER L'HOMME DE LA MENACE »

### Les drones, la panacée ?

Les défis sont nombreux avec l'emploi des drones et le domaine de la guerre des mines navales n'y échappe pas. Les drones apporteront une aide précieuse, mais ne résoudront pas tous les problèmes, voire en apporteront de nouveaux.

L'insertion des drones de surface dans le trafic maritime est un point majeur de préoccupation. En effet, il ne suffit pas de pouvoir tout contrôler à distance ou d'avoir développé un logiciel d'autonomie pour pouvoir utiliser le drone, il faut avoir confiance dans le fait qu'il pourra

appréhender correctement son environnement proche, se signaler et éviter tous les trafics conflictuels en appliquant les règles de navigation en vigueur et se comporter de manière adéquate en cas d'imprévu (panne ou navire en détresse aux alentours).

L'utilisation intensive de drones, associée à des sonars plus performants, va générer une masse de données considérable à traiter. Des solutions sont en développement comme des algorithmes d'intelligence artificielle pour analyser les images sonar ou l'autonomie du drone lui permettant de modifier lui-même sa mission pour se focaliser sur les objets suspects et en faciliter l'identification. Cependant à ce jour, ni les drones ni les algorithmes n'ont atteint un niveau de maturité permettant de leur faire totalement confiance et de se passer d'opérateur, mais ce temps viendra.

La réglementation est également un sujet d'inquiétude. Récemment, le ministère de la mer a publié une ordonnance pour encadrer l'utilisation de drones dans le domaine maritime, mais celle-ci exclut les drones à usage militaire. Comme ce qui s'est fait dans d'autres domaines, la réglementation militaire devra s'ins-

pirer des textes civils et les adapter au juste besoin. Dans ce domaine, on apprend en marchant, ou plutôt en navigant !

### Quid des autres pays ?

L'utilisation de drones sous-marins équipés de sonars « side scan » pour la guerre des mines est déjà très répandue en raison du faible coût d'acquisition et de l'absence d'infrastructure nécessaire. En revanche, s'équiper de drones de surface tractant des sonars immergés à antenne synthétique requiert de maîtriser de nombreuses compétences et coûte nettement plus cher, limitant *de facto* les pays candidats.

En Europe, la France et le Royaume-Uni sont associés au travers du programme MMCM. La Belgique et les Pays-Bas ont signé en commun en 2019 un contrat relatif à un programme similaire incluant des drones sous-marins, de surface et aériens. L'Italie a lancé début 2021 un nouveau programme de chasseurs de mines emportant des drones, mais ces derniers ne sont pas encore définis.

Singapour mène également un programme d'USV dédié à la guerre des mines, en partie réalisé par des industriels français. De nombreux pays hors d'Europe se sont montrés intéressés par le concept développé par la France et le Royaume-Uni. ☺



**Sylvain Bussiere,**  
ICA, Directeur  
de programme  
SLAMF

Après un premier poste à l'AIA de Bordeaux, Sylvain BUSSIERE (X01, Supaéro) rejoint la DGA à Paris pour occuper plusieurs postes techniques dans les programmes d'hélicoptères. En 2017, il se tourne vers les achats dans les programmes navals, puis en 2020, prend la direction du programme de renouvellement de la capacité de guerre des mines.

# DES NAVIRES, DES DRONES ET ... DES HOMMES !

AU SERVICE DE L'HYDROGRAPHIE ET DE L'OCÉANOGRAPHIE

Par Laurent Louvart, ICA

En renouvelant sa flotte hydro-océanographique avec des technologies en rupture, en mixant bâtiments conventionnels et drones, la France se dote des moyens cohérents avec ses ambitions maritimes. Elle offre à l'industrie nationale une opportunité supplémentaire de maintenir son leadership dans le domaine de la construction navale et de structurer une offre de nouveaux services, compétitifs et alignés sur la tendance internationale.

## Tout un programme

A l'origine il s'agissait de renouveler 3 bâtiments de second rang, les *Borda*, *La Pérouse* et *Laplace*. Des réflexions plus globales ont rapidement transformé ce qui relevait d'abord d'une simple gestion d'obsolescence en un programme à effet majeur.

La capacité hydrographique et océanographique futur (CHOF) fait l'objet d'un programme mené par la DGA, l'EMA, l'EMM et le Shom. Présentée dans ses grandes lignes à la Ministre des Armées, celle-ci a décidé d'en lancer le stade de préparation en 2019.

En accompagnant la montée en puissance des Armées, en s'insérant dans un dispositif d'armée qui se veut complet, CHOF a vocation à doter la France d'une capacité souveraine, moderne et efficiente de collecte d'informations à la mer. Le programme doit notamment délivrer en tout temps, en tous lieux et dans le tempo des opérations des informations qui feront la différence sur le terrain. CHOF sert la Marine, les Armées, et les services de l'État en charge de la sécurité ou porteurs des PPML.

## Changement de décor

Objet de toutes les convoitises, tout en étant réputée difficile voire agressive, la mer a régulièrement malmené les hommes et les équipements, augmentant ainsi largement le coût des campagnes. A ces contraintes

bien connues de la communauté maritime se sont peu à peu ajoutés des défis nouveaux :

- Dans un environnement globalement dégradé, avec des tensions militaires croissantes et palpables, la nécessité d'être plus réactif, plus discret et de protéger davantage nos bâtiments est plus prégnante ;
- Les zones d'intérêt de la France se sont étendues bien au-delà de nos ZEE jusqu'à couvrir près d'1/4 de l'océan mondial (90/360 millions km<sup>2</sup>), de nouveaux théâtres ont ainsi été ouverts dans le grand Nord et jusqu'en Asie du Sud Est ;
- La maîtrise des grandes profondeurs requiert de compléter les mesures faites depuis la surface par des mesures plus fines, en se rapprochant du fond, notamment pour des enjeux de surveillance et de préservation des espaces sous-marins.

## Des essais probants de drones

Pour résoudre cette nouvelle donne, compte-tenu d'objectifs de réactivité et de productivité accrues dans la collecte des données, CHOF se doit d'explorer les nouvelles technologies disponibles. Les drones s'imposent par la qualité et le volume de données qu'ils permettent de récolter y compris dans des zones difficilement accessibles.

Le spectre des informations à re-

cueillir est vaste, du littoral vers le large, et dans toutes les dimensions. Tous les types de drones sont concernés, chacun d'eux devant faire la preuve de sa parfaite adéquation aux missions prévues.

La recherche de la Minerve en juillet 2019, avec le concours d'une société privée spécialisée dans l'investigation sous-marine, avait mis en évidence la nécessité de disposer en propre d'une capacité à explorer des fonds supérieurs à 2000m en complète autonomie. Des essais des drones sous-marins A18 et HUGIN des sociétés française ECA et norvégienne Kongsberg capables de cartographier et d'observer des détails jusqu'à respectivement 3000 et 6000m ont été réalisés tout au long de l'année 2021 depuis les bâtiments *Beautemps Beaupré* et *Rhône*. Ces essais ont permis de valider leur adéquation à l'exploration des grands fonds tout en identifiant les contraintes de mise en œuvre et les dispositions d'architecture à prendre en compte sur les futurs bâtiments de la CHOF pour assurer mise en œuvre et récupération efficaces.

En 2020 les drones de surface Drix de la société française ixblue ont par ailleurs démontré leur capacité à démultiplier la collecte d'informations en complément des bâtiments porteurs. A noter que le carénage caractéristique du Drix - rendu pos-



Navigation du drone de surface Drix de la société iXblue en tandem avec le bâtiment hydro-océanographique Beautemps-Beaupré – (© iXblue - Septembre 2020)

sible par l'absence d'habitacle - et l'intégration de ses capteurs en bout de quille, lui permettent d'acquiescer des mesures bien moins bruitées que celles obtenues par les moyens classiques. Cette qualité accélère aussi le traitement de données, plus facile et plus rapide d'un facteur 3 à 10. Cela est particulièrement bienvenu pour faire face aux volumes massifs de données à traiter par ces nouveaux engins.

En plus de performances déjà bien reconnues - éloignement du porteur des menaces potentielles, discrétion, sobriété énergétique... les drones apportent les performances espérées en hydrographie et en océanographie, en termes d'endurance à la mer et de gains de productivité, dans des conditions de mer plus difficiles que celles permises par les vedettes hydrographiques actuelles.

### Préparer la cohabitation

La navigation des drones est régie par des règlements qui peuvent considérablement réduire leur emploi. Leur coût et leur relative facilité d'utilisation conduisent à une multiplication qui peut rapidement interpeller le législateur en saturant un espace maritime ou aérien déjà encombré d'autres activités. En sus de considérations liées à la sé-

curité des biens et des personnes, les drones présentent un caractère intrusif, voire anxiogène, qui complique les autorisations sur le territoire national et peut condamner leur usage à l'étranger. Cependant les progrès d'autonomie décisionnelle des drones laissent espérer que la législation à leur égard évolue rapidement dans un sens favorable et qu'ils se diluent dans le trafic et les activités courantes. Le programme CHOF aux côtés de l'industrie veille particulièrement aux évolutions réglementaires.

L'approche adoptée dans le programme CHOF se veut pragmatique et incrémentale, permettant une appropriation progressive par les équipages, une redistribution des rôles et l'évolution des métiers. L'appréhension initiale, liée à l'emploi de moyens très en rupture, cède ainsi vite la place à la curiosité et à l'engouement des équipes de la Marine et du Shom.

Dans ses premiers retours d'expérience, le Shom fait aussi le constat d'une augmentation de la complexité, certes masquée par une intégration poussée et des IHM simplificatrices, mais intrinsèque aux technologies mises en œuvre. Le maintien de l'homme au sein de cet ensemble de systèmes sophistiqués

et très intriqués est primordial : pour diagnostiquer les pannes, réparer et conserver de la disponibilité, lorsque des décisions impliquent une prise de responsabilité humaine, ou pour mobiliser des expertises ou des intuitions qu'aucune intelligence artificielle ne parviendra à singer.

Car la mer et les hommes malmèneront les drones, sans surprise, et nous serons toujours responsables de ce que nous aurons approuvé.

### A quel horizon ?

Début 2023 différents scénarii capacitaires, complets mais d'ambition variable, seront proposés au travers d'un dossier de choix qui s'appuiera sur les résultats des essais menés en phase de préparation du programme CHOF.

Les technologies sont là même s'il reste quelques verrous à lever, comme la transmission acoustique et l'autonomie décisionnelle. Ce sera aussi une opportunité pour la recherche et l'innovation industrielle.

2025 signera le lancement en conception et en réalisation de CHOF. Au titre de la capacité socle de CHOF la mise en service d'un premier navire et de ses drones est planifiée en 2027, un second exemplaire devrait rapidement suivre en 2028. ☺



**Laurent Louvart,**  
ICA, chargé de  
la valorisation  
et du transfert  
des nouvelles  
technologies au  
SHOM

Après une spécialisation en mathématiques et un diplôme de l'École Supérieure d'Électricité, Laurent LOUVART entreprend des études supérieures en informatique. En poste au Shom depuis 1992, au terme d'un parcours complet en hydrographie, il est actuellement chargé de la valorisation et du transfert des nouvelles technologies. A ce titre il participe au programme de renouvellement des bâtiments hydrographiques et océanographiques opérés par le Shom, en coopération avec la Direction Générale de l'Armement, la Marine nationale et les Armées

# LA LUTTE ANTI-DRONES (LAD)

Par Nicolas Cordier-Lallouet, ICA

Conçus pour les loisirs ou des usages civils, les petits drones du commerce ont rapidement été détournés vers un emploi malveillant, voire offensif. La défense contre ces engins petits et proliférants a nécessité le développement de dispositifs particuliers.

Le 15 septembre 2013, un petit drone du commerce perturbait un meeting d'Angela Merkel en venant se poser à quelques mètres de la chancelière allemande. En octobre 2014, sept sites nucléaires EDF étaient survolés par d'autres drones<sup>1</sup>. Ce fut pour ma part, comme responsable des programmes de drones militaires, la première confrontation à une menace qui devait solidement m'occuper quelques années plus tard. Sur le moment, il fallut trouver un vendredi soir, pour le lendemain matin, comment l'on pourrait empêcher de nouveaux survols ! Plus tard, en août 2018, plusieurs drones venaient exploser près du président vénézuélien Nicolás Maduro, blessant plusieurs personnes. On se souvient enfin de la fermeture stupéfiante de l'aéroport de Gatwick en décembre 2018, après l'observation de drones à proximité des pistes.

« **DISPROPORTION  
ENTRE LA SIMPLICITÉ,  
L'ACCESSIBILITÉ, LA  
FACILITÉ D'EMPLOI DE  
LA MENACE, ET SON  
EFFET POTENTIEL.** »

Parallèlement, le détournement des drones de loisir s'étendait aux théâtres d'opérations, d'abord en Iraq et en Syrie où Daech commença à en employer dès 2012



Drone neutralisé par le laser HELMA P – Crédit DGA

« pour filmer des documents de propagande, mener des missions d'observation, effectuer des tirs indirects, transporter et larguer de petites bombes et des engins explosifs improvisés »<sup>2</sup>. En 2019, au Haut-Karabagh, des drones peu coûteux de différentes tailles et charges utiles, utilisés en combinaison avec les menaces aériennes conventionnelles, visaient à saturer, démasquer les moyens de défense et à diriger les feux pour les détruire.

Dans tous ces exemples, l'on est frappé par la disproportion entre la légèreté, l'accessibilité, la facilité d'emploi de la menace, et son effet potentiel. A Gatwick, 1000 vols furent détournés ou annulés, et 140 000 passagers affectés. L'intégrité d'autorités politiques a été attaquée. Sur les terrains militaires, les

armées conventionnelles font face à un pouvoir de nuisance qui n'est plus en proportion des ressources de l'adversaire. Une riposte résolue était donc nécessaire. Si les drones aériens de taille conséquente sont ciblés par les moyens de défense sol-air, les drones du commerce plus légers leur échappent. Il fallait donc concevoir une défense adaptée.

## La réponse à la menace des drones malveillants

En France, de premiers moyens furent commandés rapidement dès 2015 et progressivement complétés. Les armées disposent à la fois de systèmes complets de détection et neutralisation, et de fusils brouilleurs individuels. Le développement continu de cette menace a toutefois amené le Ministère à accélérer en 2020 l'effort porté sur la

1 : Pierre LE HIR « Les mystérieux drones qui ont survolé sept centrales nucléaires en France », Le Monde, 30 octobre 2014

2 : ONU – Vingtième rapport de l'Equipe d'appui analytique et de surveillance des sanctions présenté en application de la résolution 2253 (2015) concernant l'Etat islamique d'Iraq et du Levant (Daech), Al-Qaïda et les personnes et entités qui leur sont associées – juin 2017

protection de nos forces, de sites sensibles sur le territoire national et des Français lors de grands événements. Une feuille de route incrémentale a été fondée sur une analyse capacitaire pilotée par la DGA et l'Etat-Major des Armées, en lien avec les armées, l'industrie et des instituts et laboratoires de recherche. Elle repose sur des actions de court terme, des acquisitions d'équipements majeures et la préparation des technologies répondant à l'évolution continue des drones.

Les systèmes de lutte anti-drones (LAD) comprennent trois composantes : des capteurs de détection et identification, des moyens de neutralisation, l'ensemble étant coordonné par un système de contrôle et commande (C2).

La détection et l'identification des petits drones représente le premier défi, puisqu'il s'agit de repérer des engins de dimensions, signature radar, vitesse et altitude de vol très faibles. L'environnement peut compliquer encore la détection, par exemple en milieu urbain où les masques et objets mobiles sont nombreux. Cette détection repose sur des moyens électromagnétiques (radars ou goniomètres), et optroniques. L'observateur humain, avec ses yeux et ses oreilles, a toute sa place.

Le moyen principal de neutralisation repose sur deux vulnérabilités des drones actuels : le besoin d'une liaison avec le pilote du drone, et leur localisation par satellites. Ils sont ainsi doublement sensibles au brouillage dans les diverses bandes de fréquences utilisées. Lorsque la conception du drone est connue, il peut également être tenté d'en prendre le contrôle en se substituant au pilote.

Toutefois, l'autonomie croissante des drones les immunisera à terme

## « L'AUTONOMIE CROISSANTE DES DRONES LES IMMUNISERA À TERME CONTRE LE BROUILLAGE ; »

contre le brouillage ; elle appelle donc des réponses nouvelles. La DGA travaille ainsi sur des technologies de rupture, et observe également l'innovation du secteur civil pour soutenir et capter les idées prometteuses. Il s'agit de préparer une gamme étendue de moyens, adaptés aux différents cadres d'emploi. Ainsi, si la neutralisation immédiate et sur place est généralement privilégiée, elle est mal adaptée à l'interception d'un drone dangereux qui évoluerait au-dessous d'une foule. On préférerait dans ce cas capturer le drone, pour le déposer dans un endroit choisi.

La première innovation de rupture soutenue par le Ministère est celle des lasers, qui visent à neutraliser les drones en les endommageant de façon irréversible par échauffement du point visé. Après des essais très prometteurs du laser « HELMA P » de l'entreprise française CILAS, menés sur le site de Biscarosse de la DGA en 2020 et 2021, le Ministère des armées s'attache à perfectionner cette technologie notamment en termes de puissance, et à préparer un premier emploi opérationnel. Un autre type d'armes à énergie dirigée est également considéré : les armes électromagnétiques, qui ne sont pas des brouilleurs mais visent à perturber le fonctionnement de l'électronique embarquée du drone en y créant des courants perturbateurs, suivant des modalités soigneusement définies.

Concernant l'innovation ouverte, une analyse de marché menée en 2019 par l'Agence d'Innovation de Défense (AID) a révélé l'inventivité foisonnante du secteur privé mondial, avec 240 concepts d'interception identifiés, suivant une dizaine de grandes méthodes, tels que les canons lance-filets, les drone percuteurs ou le « hacking ». Pour exploiter cette richesse, un appel à projets lancé en 2021 par l'AID permettra d'évaluer en 2022 plusieurs concepts innovants de drones intercepteurs de drones.

Enfin, ces nouveaux modes d'action contre une menace récente requièrent un cadre juridique adapté. La loi du 30 juillet 2021 relative à la prévention d'actes de terrorisme et au renseignement a consolidé le cadre l'emploi du brouillage des drones malveillants. Les travaux se poursuivent avec la Direction des affaires juridiques du Ministère des armées pour préparer l'emploi des modes de neutralisation de rupture.

On le voit, une course de fond est ainsi engagée contre une menace largement accessible, qui évolue au rythme rapide de l'innovation civile. La réponse n'a pas le choix, elle doit être aussi rapide, innovante et toujours préparer le coup suivant. ☞



**Nicolas Cordier-Lallouet, ICA,**  
Architecte du système de défense Aéromobilité - surveillance - protection

Après quelques années au Centre d'essais en vol, Nicolas Cordier-Lallouet a occupé des fonctions techniques et de management en direction de programme. Il a notamment été directeur des programmes de drones, directeur du programme M51 et directeur adjoint de l'unité de management « Hélicoptères et missiles ». Depuis 2020, il est architecte du système de défense Aéromobilité - surveillance - protection.

# TIRS AU-DELÀ DE LA VUE DIRECTE

## LA COMBINAISON DRONES-MISSILES DISRUPTE LE COMBAT DE CONTACT

Par Stéphane Reb, IGA, et J.R. Gourion, MBDA

Dans la perspective d'un engagement dans le haut du spectre, en haute intensité, il est essentiel de préserver la discrétion des dispositifs et de dissimuler le plus longtemps possible les intentions, tout en infligeant des pertes significatives à l'ennemi par des tirs et actions sur des objectifs à forte valeur tactique (Véhicule de commandement, moyens d'appui, ...). Dans cette optique, une nouvelle capacité de tir missile au-delà de la vue directe émerge actuellement, destinée au combat de contact : infanterie et cavalerie.

### Neutraliser sans être vu : scénario opérationnel

Masquée derrière un relief, l'équipe missile observe sur la tablette du chef de groupe l'image d'un véhicule blindé ennemi situé de l'autre côté. Cette image est prise par un micro drone envoyé en éclairer par l'équipe. La cible est identifiée et l'ordre de tir est donné. Les senseurs du drone permettent d'obtenir les coordonnées de la cible qui sont envoyées via le système d'information au poste de tir missile. Le tireur ne voit pas directement sa cible. Le missile est tiré sur coordonnées et survole le relief en direction de son objectif grâce à un guidage inertiel. Passé au-dessus du masque, la cible se dévoile à l'autodirecteur à imagerie qui renvoie en permanence le flux image au tireur. Ce dernier dispose de quelques secondes pour retrouver la cible dans l'image et accrocher l'AD sur le point visé. Grâce à l'image précédemment reçue par le drone, il sait exactement à quoi ressemble sa cible et où la retrouver. L'AD est accroché sur le blindé qui malgré sa mobilité n'a plus aucune chance d'échapper au missile. La cible est détruite, ce que confirme l'image envoyée par le drone.

Dans cette séquence, le rôle du drone est double car, outre la fourniture des coordonnées de l'objectif compatibles de la précision nécessaire au missile, il assure la transmission d'images de la cible dans

son environnement, ce qui facilite son accrochage par l'opérateur au cours du vol missile. Par ailleurs, la mobilité du drone permet de le placer au voisinage de l'axe d'arrivée du missile, apportant au tireur une vue oblique proche de celle qu'il aura avec le retour image de l'autodirecteur. Ainsi, cette complémentarité drone – missile permet à l'équipe MMP de mener de bout-en-bout un engagement très précis sans jamais se démasquer.

En outre, avec l'accroissement significatif du parc de drones de l'armée de Terre, les différents acteurs de cette chaîne se trouveront le plus souvent dans la même unité. Ainsi la boucle de décision pourra rester aux plus petits échelons tactiques (peloton ou SGTIA), ce qui permet de garantir la rapidité d'action de ces unités de mêlée.

### La capacité TAVD (Tir Au-delà de la Vue Directe) aujourd'hui possible

Cette capacité TAVD, n'est aujourd'hui plus futuriste mais est rendue possible grâce à la synergie de nouvelles technologies, notamment les micro-drones ou les robots terrestres pour effectuer le ciblage, et les missiles de dernière génération de la famille MMP, permettant le tir au-delà de la vue directe comme décrit dans le paragraphe précédent : non accroché au départ du coup, tiré sur les coordonnées fournies par le



Le drone assure la fourniture des coordonnées de l'objectif et la transmission d'images de la cible dans son environnement

drone et, lorsque la cible devient visible du missile en vol, accroché grâce au retour image renvoyé tout au long du vol vers le tireur. Le lien entre l'observateur et le tireur peut être direct mais chaque acteur peut tout aussi bien être intégré au sein d'un réseau BMS (Battlefield Management System), comme le SICS, permettant ainsi le combat collaboratif missile.

La boucle décisionnelle pouvant rester aux plus bas échelons (section ou SGTIA), une telle capacité constitue un avantage opérationnel dans le combat de contact. En effet, permettant aux unités de mêlée de concentrer leurs feux sans concentrer leurs moyens ni surtout sans dévoiler leurs dispositifs, elle renforce leur réactivité et leur sûreté et augmente leur liberté d'action.



Image et coordonnées de la cible envoyée par le drone sur la tablette « terminal arme »

### Description de la famille MMP/MAST-F

Les missiles de la famille MMP/MAST-F peuvent, grâce à leur charge militaire programmable, traiter des cibles variées, allant de combattants débarqués ou retranchés dans une infrastructure à des cibles blindées ou non, statiques ou mobiles.

L'engagement peut s'effectuer en mode « tire et oublie » offrant la possibilité au tireur de quitter sa position en laissant le missile se diriger de façon autonome vers la cible qu'il a préalablement accrochée. Le tireur peut aussi choisir de suivre l'engagement en restant en position, de façon à pouvoir, en cours de vol du missile, affiner le point d'impact sur la cible voire changer de cible en cas de besoin. Ce deuxième mode de tir, tout comme le TAVD, est rendu possible par le guidage par imagerie associé à une liaison de données bidirectionnelle entre le missile et son poste de tir.

Ces missiles intègrent de nombreuses nouvelles technologies très performantes qui font du MMP le premier système de 5e génération en service et « combat proven ». Ils sont donc actuellement sans équivalent dans le combat terrestre.

Dimensionné pour permettre une utilisation en combat débarqué, le MMP a une portée de 4000 mètres qui le rend pertinent pour le combat blindé. Il est ainsi intégré au JAGUAR et son intégration est à l'étude sur d'autres véhicules blindés et sur des plateformes très diverses, terrestres ou navales comme l'ont montré plusieurs tirs réalisés à partir du JAGUAR, de

la tourelle IMPACT de MBDA mais aussi d'embarcations de commandos marine.

Le missile MAST-F, en cours de développement, armera notamment l'hélicoptère Tigre standard 3 auquel il apportera donc les capacités « tire et oublie » et « tire au-delà de la vue directe » à longue portée.

## « LE PREMIER SYSTÈME DE 5<sup>e</sup> GÉNÉRATION COMBAT PROVEN »

### FED BLOS (Beyond Line of sight)

La plus-value opérationnelle apportée par la capacité TAVD de la famille MMP a été reconnue par plusieurs Etats européens qui l'ont identifiée comme capacité européenne prioritaire en 2018. Ainsi, un groupe PESCO BLOS a été créé par trois États (France, Belgique et Chypre) bientôt rejoints par la Suède, afin de développer cette capacité au sein de l'Europe. Des projets industriels en cours et à venir concrétisent cette impulsion, en permettant la collaboration entre des opérationnels, des industriels de la défense, des PME et des laboratoires, venus de près de dix pays européens. La diversité de méthodes de travail et de points de vue de ces participants est extrêmement enrichissante pour les études réalisées et renforce la cohésion des industriels et partenaires européens.

### Drones évolutions et perspectives

Les drones constitutifs de ces systèmes d'armes TAVD sont dimensionnés pour offrir une capacité cohérente de la portée du missile. L'autonomie souvent liée à la taille des vecteurs ne sera pas la même pour un système fantassin portant à 4 km que pour un tir depuis un véhicule à plus 8 kilomètres. De nombreuses évolutions sont à imaginer pour offrir un système garantissant l'optimisation de la capacité TAVD. L'automatisation des séquences de

vol, la gestion de la batterie ou l'acquisition et la transmission des informations nécessaires au tireur devra permettre de limiter la surcharge cognitive des équipages pour qu'ils se concentrent sur la fonction feu et l'accrochage de la cible.

Pour pouvoir véritablement opérer en haute intensité, un effort particulier devra être porté sur la capacité de ces drones à évoluer et à continuer leur mission en environnement contesté (GNSS denied notamment).

Demain cette capacité armera les avions dotés des missiles MAST-F. Les évolutions en Intelligence Artificielle aideront à la gestion de la coopération entre l'avion et le drone voire les drones ou l'essaim de drones.

À plus long terme, les drones permettront l'apport de capacités supplémentaires, autorisant par exemple des relais de communication sur des distances importantes ou assurant des missions de guerre électronique avec des charges dédiées. ☺



Cible détruite, confirmée par l'image envoyée par le drone



**Stéphane Reb,**  
IGA, Président de  
MBDA France

Après un début dans le domaine des missiles tactiques, il est directeur de programme TIGRE puis de l'Unité de Management Aviation de Combat (ACE). En 2012, il prend la tête de la Direction Internationale, en charge de la coopération et de l'export.

Il rejoint MBDA le 1<sup>er</sup> décembre 2017, où il exerce les fonctions de Directeur Exécutif Groupe Programmes et Président de MBDA France.

# 20 PROJETS ABANDONNÉS EN 20 ANS

## C'EST QUOI LE PROBLÈME ?

Par Denis Plane, IGA

Les drones aérien s'invitent aujourd'hui largement dans les conflits, mais à l'échelle européenne, peu de projets ont abouti. En complément des freins habituels à tout programme, ne serait-ce pas que l'évolution du besoin est dépassée par l'évolution des solutions : encore du boulot pour Darwin !

Impossible de résumer l'histoire des drones aériens, depuis le transport aérien sans pilote en 1947 aux débats sur l'extension de l'autonomie. Toutes les semaines ou presque, la presse spécialisée nous annonce l'arrivée prochaine d'un nouveau drone petit ou gros, classique ou supersonique, à usage civil ou de défense.

Tous les ans ou presque depuis 20 ans naît un projet de coopération européenne sur les drones aériens militaires, plus tard abandonné. Chaque ministre a annoncé le lancement d'un programme de drone aérien, rarement réalisé. Comme chez les Shadocks, plus ils signaient, plus il n'y avait rien qui se lançait !

Commençons par noter que tous nos drones aériens militaires (hors cibles) furent internationaux, soit au niveau système (CL 289, Brevel), soit au niveau sous-système (Crecherelle, Harfang, Patroller), soit par achat à l'étranger.

### Des présupposés erronés :

Si le développement d'un MALE européen fait l'objet d'une compréhension commune pour les spécialistes, les bases de discussion s'appuient sur des prémisses très discutables :

### On sait ce qu'on veut

Lors d'un symposium de défense en 2003 dans un pays ami, après un brillant exposé sur les satellites<sup>1</sup> d'un IA (qui allait plus tard devenir Délégué général pour l'armement), l'un des auditeurs demande : « Pourquoi ne faites-vous pas de satellites géostationnaires à plus basse altitude ? »

Voilà un besoin d'observation locale clairement exprimé !

En France, l'histoire des drones aériens est une succession d'étapes affichées : on apprend / on apprend encore / on a des mesures provisoires / LE drone.

La question est donc le compromis entre qualité du besoin (drones aériens intérimaires pour bien savoir ce dont on a besoin) et urgence (Le déficit capacitaire finit par prendre la priorité, et une solution US remplace – provisoirement – une solution européenne).

Aujourd'hui, l'Eurodrone<sup>2</sup> répond à des objectifs différents : territoire national en Allemagne, OPEX pour la France ; armé d'emblée, ou armé plus tard. L'Allemagne est un partenaire fiable, mais avec des objectifs différents des nôtres. Comme dans le domaine naval, le besoin, lié à la géographie, est fait de contradictions tacites : nucléaire, industrie, ampleur de la zone d'intérêt, alliances, équipements de prestige.

### Un drone aérien, c'est d'abord un truc qui vole

Dans l'imagerie populaire, un drone aérien est présenté en vol, plutôt que par ses apports opérationnels. Une partie du besoin est réglementaire (capacité de voler en France ou en Europe), et l'EAD l'a d'ailleurs bien vu. Mais l'important et le difficile ne sont pas le drone aérien lui-même, mais ce qu'on met dedans. Or souvent, les discussions les plus importantes portent sur le véhicule : il en manque la moitié !

### C'est moins cher qu'un avion

Pourquoi c'est si cher ? Constatons d'abord que c'est considéré comme trop cher. Une négociation seulement par les prix est vouée à l'échec. Réduire le besoin sans le dire ? Harmoniser vraiment les besoins ? Pas crédible !

Compétitif, dit la Minarm... c'est donc qu'il y a compétition. Les termes n'en sont pas clairs, puisqu'il s'agit d'indépendance, dont le bénéfice n'est pas chiffré. On peut même dire que si l'indépendance n'est pas négociable, le coût est infini. Bref, on a un réel problème de coût, où il manque une vue commune.

### Il faut fixer le partage industriel : la couverture à soi

La filière industrielle n'existe pas, ou au moins elle est dispersée et lente. Tout le monde en veut, avec sa BITD. Comme les sénateurs, on peut être très inquiet du risque de sur-spécification du drone MALE européen, mettant en danger la viabilité de ce programme. Si l'objectif d'autonomie stratégique poursuivi par la France « s'inscrit désormais dans une ambition européenne forte en matière de défense », « la France entend à ce titre, notamment au travers de son implication dans le FEDef et Horizon Europe, participer au développement d'une industrie européenne cohérente, innovante et compétitive, dans laquelle les pôles d'excellence français seront valorisés. »

Notons qu'il ne s'agit pas seulement de partage industriel, puisque les Américains savent aussi faire du retour industriel (Raytheon en Italie, General Atomics en Allemagne)

1 : Une coopération sur les satellites s'en est suivie bien après.

2 : MALE franco-allemand en cours de lancement

Comme dans le SCAF, on peut prévoir que le maître d'œuvre de l'Eurodrone devra encore mener, sous pilotage des Etats à rênes courtes, des négociations difficiles sur l'organisation et le partage du travail. Le problème est presque sans issue si le financement n'y met pas du sien : acceptons-le...

### **C'est facile**

L'acquisition en programme double (acquisition + apports nationaux) conduit presque aux mêmes déboires : le Global Hawk, qui paraissait accessible, a dû être abandonné.

Développer et fabriquer 60 drones pour 9 G€, autant que pour 6 sous-marins nucléaires, cela montre que pas mal de capacité industrielle est encore à venir.

Et pourtant, pour les micro-drones aériens, c'est facile : le Minarm a pu passer fin 2021 un accord sur une prévision de commandes du même ordre de grandeur que le chiffre d'affaires d'une jeune société. On sent donc bien que le seuil de difficulté est imprécis. Ce qui est certain, c'est qu'il montera, au profit d'entrepreneurs audacieux, alors que la difficulté du haut de gamme augmentera.

### **On va se mettre à jour**

Équipements, hésitations, projets, tentatives industrielles, on apprend toujours, et vite : il y a plus de projets de drones aériens aujourd'hui que de projets d'avions dans les années 50 ; les cycles de développement des programmes d'armement ne sont pas actuellement compatibles avec l'avancée des technologies civiles. De l'UAV à l'UCAV, «La France tente de rattraper le retard», mais cela n'a pas de sens.

La livraison du premier Eurodrone à l'armée de l'Air & de l'Espace est prévue en 2028. Certes, mais s'il garde figé le détail de sa définition actuelle, il risque bien d'être en retard.

Vues de loin, les caractéristiques montrent un vide étonnant : le traitement des données à bord, comme s'il suffisait de donner des consignes

de vol, et de traiter au sol. Or le débit de la liaison est très inférieur au débit d'observation, le schéma d'ensemble est donc le plus important, et l'enjeu du traitement à bord est majeur.

Certes, les conséquences opérationnelles sont analysées. Avec les drones aériens, le champ de bataille n'existe plus, il n'y a plus de lieu précis où se déroule le conflit ; les drones aériens apportent une image frappante de la guerre et des frappes, qui n'existait pas. Mais il n'est pas sûr que les implications techniques soient partagées.

### **On a une politique européenne**

Les drones aériens font partie des quatre priorités établies en 2013 par le conseil de l'Europe.

Les projets de l'AED – où les drones aériens font partie des 11 priorités de développement de capacités – couvrent largement la coordination de l'emploi et l'intégration dans l'espace aérien, et la lutte anti-drones. L'Eurodrone est même le premier véritablement européen, qui a reçu un soutien financier du FED de 100 M€. Oui, il y a une politique européenne, mais qui reste à construire, au-delà de l'affichage d'une priorité. L'autonomie européenne peut être déjà assurée par des acteurs majeurs, il faut maintenant une BITD multi-source. En un mot les principes simples (acheter en Europe) ne suffisent plus, il faut aussi coopérer.

### **Des intérêts hors sujet**

Dans les années 90, plusieurs grands industriels de défense, cherchant des domaines nouveaux de croissance, se lancèrent dans l'aventure des drones aériens. Un appui par des programmes en coopération semblait alors naturel, et c'est une des raisons pour lesquelles les projets sont apparus.

Mais ni les clients ni les fournisseurs n'étaient prêts.

### **Encore des questions**

Les principes d'emploi (peu de drones performants et respectant les règles, de préférence à un grand nombre

de drones moins performants et sacrificiables) s'accordent mal avec les introductions souvent présentées au domaine. Nous avons les yeux rivés sur les MALE, pas encore sur les contre-mesures. Le sujet est complexe et évolutif, la stratégie doit l'être aussi.

### **En conclusion, on risque d'être en retard sur le besoin**

Selon le rapport du Sénat de juin 2021, les drones aériens ont « un retard qui se résorbe ». C'est hélas inexact : ce qui se résorbe est le temps restant jusqu'à la mise en service de ce qui a été défini à l'origine (si on peut dire) mais la définition et les usages évoluent encore plus vite, et le retard global reste constant.

Les pistes possibles sont celles que les IA connaissent et pratiquent :

- Agiter l'organisation industrielle jusqu'à ce que la concurrence restante ne soit plus délétère.
- Conduire un programme ouvert aux tergiversations, c'est-à-dire à des adaptations qui ne sont pas encore définies. Car tout négocier avant l'accord, c'est contraire à la notion de maître d'œuvre et d'Europe.

Chacun, chaque start-up a ses idées, toujours incomplètes, ou trop précoces pour la culture en place ; le temps de les compléter ou de les assimiler, une nouvelle génération d'idées arrive. Chacun sait qu'il faut une douzaine d'annonces pour qu'un grand programme soit enfin sur les rails : il en manque encore, mais soyons optimistes, ne fermons pas la porte aux évolutions profondes qui en seront la raison d'être. ☺



**Denis Plane,**  
IGA

Denis Plane, a commencé sa carrière sous le signe du naval à Toulon puis au STCAN. Passant par les missiles, le service technique des systèmes navals puis le service technique des technologies communes, il dirige la direction des programmes de la DGA jusqu'en 2003.

# ARMES AUTONOMES

## DES ENJEUX ÉTHIQUES

Par Michel Gostiaux, ICA

J'ai été nommé membre du comité d'éthique de la Défense mis en place par la ministre des Armées en janvier 2020 pour apporter au ministère des avis relatifs aux enjeux éthiques des nouvelles technologies sur le métier des armes. Retour sur deux années passionnantes et une aventure qui se poursuit.

Le comité d'éthique de la Défense ne s'est pas penché spécifiquement sur la question des drones, objet du dossier de ce numéro – il précise d'ailleurs explicitement que les systèmes téléopérés par un équipage n'entrent pas dans le périmètre de l'avis sur l'intégration de l'autonomie dans les systèmes d'armes létaux. Cependant, s'agissant de systèmes complexes, avec une part croissante de l'autonomie sur certaines fonctions, et des perspectives nouvelles dans le domaine (essaims...), la question des enjeux éthiques de l'autonomie fait sens et l'avis rendu en 2021 par le comité peut apporter un éclairage en la matière.

Mon propos s'articulera donc en deux parties, un bref rappel des points saillants de cet avis, et une réflexion personnelle sur la place d'un IA au sein de ce comité.

### L'avis sur l'intégration de l'autonomie dans les systèmes d'armes létaux

Sans m'attarder sur les recommandations de cet avis, qui parle par lui-même, il me semble utile d'en rappeler la trame et quelques éléments clés au lecteur, qui j'espère lui donneront envie de le lire.

En premier lieu, face aux SALA, systèmes d'armes létaux pleinement autonomes, des systèmes d'armes auxquels la France a déclaré renoncer mais que des acteurs pourraient chercher à développer, le comité introduit comme objet principal de sa réflexion la notion de SALIA, systèmes d'armes létaux intégrant de

### Le Comité d'éthique de la défense

Le comité d'éthique de la Défense entretient une réflexion sur les enjeux éthiques liés à l'évolution du métier des armes et à l'émergence de nouvelles technologies dans le domaine de la défense, et apporte au ministère des avis sur les sujets d'étude qui lui sont confiés dans ce domaine.

Il est constitué de dix-huit membres aux profils variés, issus pour partie du ministère des Armées, pour partie de la société civile.

Deux avis ont été rendus respectivement en décembre 2020 sur le soldat augmenté et en avril 2021 sur l'intégration de l'autonomie dans les systèmes d'armes létaux.

<https://www.defense.gouv.fr/portail/enjeux2/le-comite-d-ethique-de-la-defense>

l'autonomie, dont l'emploi peut être nécessaire et légitime à certaines conditions.

En effet, si l'introduction d'avancées technologiques conduisant à un accroissement des capacités d'autonomie décisionnelle de la machine dans des fonctions de plus en plus haut niveau semble inéluctable pour préserver l'efficacité opérationnelle face à l'évolution des menaces, le comité identifie bien que l'usage de ces technologies comporte des risques, en particulier : les risques liés à l'apprentissage machine ; les risques d'altération des mécanismes de contrôle de l'humain ; les risques liés à l'emploi de ces systèmes qui nécessitent une grande rigueur sur la définition de leur cadre d'emploi.

Face à ces risques, le comité réaffirme le principe pour lui incontournable de l'engagement en toutes circonstances de la responsabilité humaine, qui ne peut être déléguée aux machines. Elle concerne les acteurs de la conception du système

d'armes dès le stade de l'expression du besoin, ceux qui le réalisent, décident de l'employer puis l'utilisent effectivement. Cela n'a rien de neuf, mais la notion d'« autonomie » accroît la sensibilité de ce sujet ; d'autant que l'identification de la chaîne de responsabilité n'est pas simple.

*« LA RESPONSABILITÉ HUMAINE... NE PEUT ÊTRE DÉLÉGUÉE AUX MACHINES »*

Le comité souligne d'ailleurs que les mots tels qu'« autonomie » ou « intelligence » sont empreints d'ambiguïté lorsqu'ils sont appliqués à des machines et que les termes relevant du champ lexical de l'anthropomorphisme sont trompeurs lorsqu'ils sont utilisés pour décrire des objets, des armes ou des systèmes d'armes. Il recommande la plus grande vigilance dans l'emploi de ces termes, qu'il faut systématiquement contextualiser.

Il recommande également de subordonner la conception et la mise en oeuvre des SALIA au respect de garanties de bon emploi dans différents domaines :

- commandement, en veillant à préserver une chaîne de responsabilité, de commandement et de contrôle,
- contrôle des risques, en appuyant les réflexions en la matière sur des fondements éthiques et en ne cherchant pas à donner un avis sur les technologies en soi,
- conformité, avec des points d'attention spécifiques en matière de contrôle de licéité,
- connaissance, en insistant sur l'importance des facteurs humains, de la formation et de l'entraînement,
- confiance, ce qui doit conduire à poursuivre les initiatives de développement et de qualification de technologies de confiance (notamment dans le domaine de l'IA) et de veiller à l'autonomie stratégique.

### Mon vécu d'IA au comité d'éthique de la Défense

Les membres du comité sont nommés *intuitu personae* et ne sont pas les porteurs de la position de leur institution d'appartenance. Les avis du comité, qui ne constituent pas *per se* des avis du ministère, sont portés vers la Ministre et ses grands subordonnés pour alimenter leur réflexion ; ils peuvent aussi servir de vecteur d'influence témoignant de l'importance apportée par la France à ces enjeux – à titre d'exemple, une délégation du comité a été invitée à présenter ses analyses sur les SALIA aux experts représentant les 125 Etats participant à la CCAC à Genève sur les SALA.

En effet, les travaux du comité s'inscrivent dans un paysage général où des réflexions connexes sont conduites par d'autres acteurs, soit

dans des thématiques proches mais non militaires (biomédical, éthique du numérique), soit sur le domaine militaire par des tiers plus ou moins bienveillants à l'égard de nos institutions (think-tanks, ONG...) ; et les avis du comité ont donc vocation à être examinés par un large spectre d'acteurs, ce qui donne d'ailleurs un sel particulier à la participation à ses travaux.

Le comité d'éthique se caractérise par une belle interdisciplinarité. Ses dix-huit membres sont issus pour partie du ministère des Armées sur proposition des grands subordonnés (deux membres issus de la DGA : moi-même et Cathy Thilly-Soussan, conseillère financière, juridique et éthique auprès du DI), et pour partie de la société civile, avec des profils variés, qu'il s'agisse d'acteurs académiques (de l'histoire au numérique en passant par la géopolitique ou la neurologie), de militaires d'active, d'officiers généraux en deuxième section, d'ingénieurs, de juristes, de médecins... La diversité des expériences et des compétences qu'il rassemble, est une garantie d'indépendance et d'ouverture d'esprit et permet l'appréhension globale des questions qui lui sont soumises.

Le comité s'appuie pour rendre ses avis sur des consultations d'experts aux profils également variés. Ces consultations donnent l'occasion de recueillir des témoignages d'une grande profondeur. Des visites de sites du ministère, et les entretiens qui peuvent y être conduits, ainsi que la mise à disposition d'un riche corpus documentaire par le secrétariat du comité (documents de doctrine, publications de think-tanks...), complètent ce tour d'horizon.

Ma participation et celle de Cathy, y apportent, je l'espère, une sen-

sibilité DGA, et en particulier pour que la réalité technique, qui s'impose parfois à nous, soit dûment prise en compte ; et pour s'assurer que les formulations des principes ou des recommandations ne soient pas inapplicables dans la vie des projets. Elle doit aussi permettre de connecter les travaux du comité à l'expertise du ministère : ainsi de la visite des centres DGA Maîtrise NRBC et DGA Maîtrise de l'Information au profit de délégations du comité, ou de la proposition de profils DGA à auditionner.

Pour ma part, j'y trouve une stimulation intellectuelle certaine ; cela apporte également un autre regard sur les opérations d'armement (retex de vécu opérationnel, sur l'environnement humain de nos systèmes d'armes) qui conduit à prendre de la hauteur et à avoir envie de regarder de plus près certains thématiques dans nos projets. Ainsi de l'importance des facteurs humains tant pour les plates-formes que pour l'ergonomie cognitive des systèmes d'information en général, à laquelle mon passage à DGA Maîtrise de l'Information m'avait sensibilisé, et que je confirme à l'aune de mes réflexions au sein du comité.

En résumé, une belle expérience humaine. ☺



**Michel Gostiaux,**  
ICA, Directeur de  
DGA/UMNBC

L'ICA Michel Gostiaux a été chargé du contrôle des activités militaires du CEA, architecte du système de forces dissuasion puis de préparation des systèmes futurs de missiles et de sous-marins, sous-directeur technique de DGA Maîtrise de l'Information, directeur adjoint de l'unité de management Opérations Navales. Il dirige aujourd'hui l'unité de management Nucléaire, Biologique et Chimique.

# « AUTONOMIE » : POLYSÉMIE, CONFUSION, ÉTHIQUE

Par Catherine Tessier, ONERA

Les questions d'éthique concernant les armes obligent à préciser des termes qui ne vont pas de soi. Catherine Tessier met en lumière trois questions autour du mot autonomie, trois éclairages pour les consciences...



Big dog armé

Un drone peut être qualifié d'« autonome », ou bien de « partiellement » ou « semi autonome », ou encore, comme le dit le Comité d'éthique de la défense, comme « intégrant de l'autonomie ». Cependant l'usage des termes « autonomie » et « autonome » pour caractériser un objet est problématique à plusieurs titres [Steels21].

Le premier problème est d'ordre sémantique. Dans l'expression « drone autonome », « autonome » est employé selon l'acception de la robotique : un robot « autonome » est une machine mobile dotée de capacités programmées de perception et de calcul d'actions qu'elle effectue dans son environnement, sans intervention extérieure, ces actions

étant spécifiées dans un cahier des charges précis. Or l'acception courante du mot « autonomie », à propos d'êtres vivants et particulièrement d'êtres humains, est la faculté de déterminer ses propres objectifs et de choisir librement ses actions. Il se crée alors une confusion entre les acceptions, source de malentendus, de craintes ou d'attentes infondées, y compris au sein des instances de négociations internationales : un drone « autonome » serait imprévisible par nature, prendrait « lui-même » des « initiatives » ou « déciderait » de lui-même [CNPEN21].

Le deuxième problème est d'ordre fonctionnel. Lorsqu'on dit qu'un drone est « autonome », quelles fonctions exactement sont automatisées ? Car il s'agit bien de cela : loin des discours stériles au sujet des différences entre « automatisé » et « autonome », c'est une fonction, ou un ensemble de fonctions, qui est automatisé, c'est-à-dire mis sous forme mathématique puis programmé sur un ordinateur, le plus souvent embarqué dans la machine. On peut ainsi envisager d'automatiser les fonctions de déplacement dans l'espace, d'élaboration

de la situation tactique, d'évaluation de cette situation, d'engagement de cibles. Il convient alors de se poser la question : pour quelles raisons souhaite-t-on automatiser ces fonctions ?

Le troisième problème est d'ordre scientifique et technique. La mise sous forme mathématique (modélisation) des environnements dans lesquels le drone est susceptible d'évoluer, des critères de calcul des actions, est-elle possible ? Par exemple, il semble illusoire de modéliser le principe de proportionnalité, alors même qu'il n'est pas défini précisément – justement parce c'est le jugement humain qui, dans une situation particulière, estimera qu'une action est ou non compatible avec ce principe.

Les questions d'éthique concernant l'automatisation de fonctions embarquées dans des robots armés ne peuvent être envisagées qu'en posant clairement le vocabulaire et en décrivant précisément les mécanismes scientifiques et techniques de ces fonctions. C'est d'ailleurs là la première posture éthique à adopter.

Pour aller plus loin :

- [Steels21] Luc Steels – *Defining AI for purposes of ethics and legal regulations*. AI4EU Workshop: The Culture of Trustworthy AI. Public debate, education, practical learning, September 2021. <https://www.youtube.com/watch?v=1B2dsOZcxfA> (à partir de 16mn45s)
- [CNPEN21] Comité National Pilote d'Éthique du Numérique – *Avis 2 : Le véhicule « autonome » : enjeux d'éthique*, avril 2021. <https://www.ccne-ethique.fr/fr/actualites/cnpen-le-vehicule-autonome-enjeux-de-ethique>



**Catherine Tessier,**  
Référénte intégrité scientifique et éthique de la recherche de l'ONERA

Référénte intégrité scientifique et éthique de la recherche de l'ONERA  
Membre du Comité d'éthique de la défense et du Comité national pilote d'éthique du numérique

# ÉVITER QUE LE CIEL NOUS TOMBE SUR LA TÊTE

## NOUVELLES RÉGLEMENTATIONS CIVILE ET MILITAIRE

Par Patrick Hadou, IGA

Afin que civils et militaires puissent démontrer un niveau de sécurité acceptable associé à l'usage des drones, une réglementation évolutive s'est progressivement en place. La France a été la première à en développer une, tant chez les militaires que les civils. Mais la réglementation peine à suivre l'évolution très rapide des matériels et des usages.

### Pourquoi a-t-il fallu réinventer la réglementation de sécurité aérienne pour les drones ?

La sécurité aérienne repose sur 4 piliers : l'habileté des intervenants (pilotes, contrôleurs ou encore maintenanciers), la gestion du trafic aérien et la fourniture de services à la navigation, l'exploitation des aéronefs et des plateformes aéroportuaires et enfin, la sécurité intrinsèque des vecteurs aériens ou **navigabilité**. Ces piliers sont conduits par différents acteurs étatiques ou industriels, réglementairement et juridiquement responsables, dans un environnement dit « contrôlé ».

La réglementation de la sécurité aérienne des aéronefs « avec personnes à bord », est très étoffée et capitalise un siècle d'expérience et de technologies, souvent développées spécifiquement pour le monde aéronautique, selon le postulat que la protection de l'humain « à bord » permet de garantir les objectifs de sécurité.

A contrario, les vecteurs aériens des systèmes de drones sont (encore) quasiment exclusivement inhabités, ce qui rend **la protection des tiers au sol et des autres usagers de l'espace aérien primordiale**. Ainsi, un système de drones évoluant au-dessus de zones dépeuplées et dans un espace ségrégué, présente un faible niveau de risques. Et il serait inconcevable d'**appliquer**

**les mêmes contraintes réglementaires** à des aéronefs dont la masse va de quelques grammes à plus de 10 tonnes (futur MALE européen).

Par ailleurs, la fonction **liaison de données est un maillon faible d'un système de drones, car elle ne répond pas à ce jour** au niveau des performances de « continuité » exigées de l'aéronautique ( $10^{-5}$  pannes par heure de vol). **La sécurité aérienne d'un drone nécessite donc la connaissance absolue de son comportement en cas de perte de liaison de données.**

On ne s'étonnera donc pas que la réglementation de la sécurité aérienne des drones, bien que s'appuyant sur l'expérience de l'aviation habitée, doive être revisitée pour répondre à toutes ces spécificités, entre autres.

Dans le domaine militaire, un arrêté a été pris fin 2013, sous l'égide d'une dérogation propre aux vols non habités, inscrite à l'article 11 du fameux décret 367 dit « navigabilité » d'avril 2013. Cet arrêté définit 5 catégories de drones s'étageant de M-0 à M-IV, selon leur masse et les conditions d'exploitation (voir encadré) et deux environnements d'exploitation : sensible ou non sensible. Les exigences sont alors proportionnées selon ces deux critères.

Dans le domaine civil, la France a été un pays précurseur en mettant en place une réglementation dès 2012, sous l'égide de la DGAC. Puis, un lourd processus d'harmonisation a donné naissance à un règlement européen, certes relativement tardif (mai 2019) mais néanmoins précurseur lui aussi, parce que non seulement il comble la césure entre vols avec personnes et (pour le futur) sans personne à bord, mais aussi, il offre un cadre spécifique aux exploitations spécifiques pour un usage professionnel (voir encadré). Cependant, les conditions d'intégration de ces aéronefs dans la circulation aérienne, et notamment le respect de la fameuse règle du « voir et éviter » ne sont encore pas définies.

### Quelles orientations pour les années qui viennent ?

L'avenir de la sécurité aérienne des systèmes de drones ne sera pas de tout repos.

Le domaine des drones aériens est soumis à une pression d'innovation extrêmement forte, et les constructeurs sont plus souvent aujourd'hui issus du secteur électronique qu'aéronautique, ce qui peut expliquer (outre une des spécificités évoquées ci-dessus) que la fiabilité ne soit pas toujours au rendez-vous, voire même, motiver quelques retraits de service anticipés (cas du DROGEN par

## Réglementation des autorités militaires françaises de navigabilité : cinq niveaux, deux environnements

La réglementation de navigabilité des aéronefs d'état français repose notamment sur deux décrets. L'un définit les conditions de délivrance du certificat de type d'un aéronef et la gestion du niveau de sécurité de sa définition, tout au long de son cycle de vie (suivi de navigabilité) ; l'autre le maintien en conditions de navigabilité de chaque aéronef du type.

Le décret 367 dit « navigabilité », introduit dans son article 11 la possibilité de déroger aux règles des aéronefs circulant avec personnes à bord afin d'adapter la réglementation à la spécificité des drones.

Ainsi, le 24 décembre 2013 est publié au journal officiel un arrêté dit « drones » qui définit 5 catégories de drones de M-0 à M-IV, selon leur masse et les conditions d'exploitation : captif, sous contrôle de vol manuel (en vue) ou non.

Les exigences réglementaires sont progressives de M-0 à M-IV. Pour les catégories inférieures, M-I en particulier, pas de certification du type, pas de document de navigabilité, pas d'environnement contrôlé en matière de maintien de navigabilité ...

Cet arrêté définit également un environnement classé sensible chaque fois que :

« – les risques pour les autres usagers de l'espace aérien en cas de sortie du volume d'évolution prévu ne sont pas réduits par un système dédié ;

– la densité de population se trouvant sous le volume d'évolution prévu est élevée. »

Ainsi, chaque système de drones d'État français sera classé dans l'une des 5 catégories et les conditions associées d'opérations en espace non sensible par la DGA en tant qu'autorité technique de navigabilité.

En particulier, cet espace non sensible définira les critères à respecter pour déterminer un volume de sécurité en fonction de l'altitude de mise en œuvre du drone, de sa vitesse maximale d'évolution et des conditions de vent maximales acceptables. Ce volume de sécurité devra être ségrégué afin d'éviter d'éventuelles collisions aériennes et la zone à l'aplomb de celui-ci ne devra pas être accessible aux tiers ou limitée à une densité de population ramenant la probabilité de bles-

ser une personne à un niveau acceptable.

Pour les systèmes de drones mis en œuvre dans un environnement « sensible », les exigences techniques à démontrer font l'objet de 4 STANAG qui servent de codes techniques de base pour les vecteurs aériens :

- 4671 pour les systèmes de drones lourds à voilure fixe (> 150 kg)
- 4702 pour les systèmes de drones lourds à voilure tournante (> 150 kg)
- 4703 pour les systèmes de drones légers à voilure fixe
- 4746 pour les systèmes de drones légers à voilure tournante

Là encore, la DGA adapte le code technique en fonction du vecteur (entre 150 kg et 2 kg, on comprend bien qu'un certain nombre d'exigences peuvent être modifiées) ou de son environnement d'évolution (l'environnement électromagnétique des navires est par exemple souvent plus contraignant que ce que les STANAG imposent).

exemple). De plus, le travail associé à la démonstration de sécurité a été appréhendé de manière inégale, par les industriels (retard du SDT ou de la certification du SMDR).

L'aéronautique est un milieu dual par nature. A l'instar des aéronefs « habités », une convergence des réglementations civiles et militaires facilitera l'émergence de produits plus immédiatement utilisables dans des conditions de sécurité acceptées d'un point de vue sécurité.

Le Ministère des armées et la DGA en particulier ont entrepris cette démarche. D'ores et déjà, la catégorie « OPEN », qui couvre les très nombreux drones de loisir et de prise de vue, est reconnue par la DGA au travers d'une circulaire de reconnaissance des autorités civiles, et toutes les parties prenantes du ministère des Armées préparent une refonte de l'arrêté « drones » pour aller dans ce sens, sous l'égide de la Direction de la Sécurité Aéronautique d'Etat. ☺



**Patrick Hadou,**  
IGA, Direction  
technique de la  
DGA

Une carrière entièrement technique consacrée à l'aéronautique et l'espace, au sein du SIAé, du CNES, mais également en préfecture de région PACA, a conduit l'IGA Patrick HADOU à la fonction de responsable du pôle architectures et techniques des systèmes aéronautiques et délégataire de l'autorité technique de navigabilité des aéronefs d'Etat.

## Réglementation civile pour les drones : trois catégories, et des niveaux de risques

La France, par l'intermédiaire de la DGAC, a été un pays précurseur en matière de réglementation pour les drones civils. A l'été 2018, la commission et le parlement européens ont adopté la nouvelle réglementation de base (Basic Regulation) de l'Agence de l'union Européenne pour la Sécurité Aérienne (EASA) qui acte désormais sa responsabilité en matière de drones au détriment des agences nationales à compter de 2025.

La réglementation européenne institue trois catégories de drones : « Open », « Specific » et « Certified ».

La catégorie « **Open** » a été la première à être réglementée au niveau européen car elle couvre notamment les drones de loisir et des drones de prise de vue professionnels dont la quantité a explosé depuis 2015. A l'instar des réglementations civile et militaire française préexistantes, l'EASA a introduit 5 catégories de drones jusqu'à 25 kg, de C0 à C4, selon leur masse, altitude de vol, vitesse maximale et conditions d'exploitation (hors ou en vue). Le survol de population pour chacune de ces catégories est soit interdit, soit extrêmement limité. Pour chacune de ces catégories, seul un marquage CE adéquat est exigé pour le vecteur aérien concerné.

La catégorie « **Certified** » est réservée aux drones de grande taille circulant dans les mêmes espaces aériens que les avions de transports ou emmenant des passagers. La réglementation applicable n'est pas encore finalisée mais elle sera héritée, et donc



au moins aussi exigeante, de ce qui existe pour l'aviation habitée, les sujets segment sol, liaisons de données et intégration dans la circulation aérienne en plus. Cette réglementation est annoncée pour le courant de l'année 2022.

La nouveauté consiste en l'introduction de la catégorie « **Specific** » qui vise à répondre aux usages professionnels innovants des systèmes de drones. L'idée de base de la réglementation applicable à cette catégorie est de graduer les exigences au niveau de risque associé au concept d'emploi du système de drones. Cette catégorie devrait être utilisée par exemple pour le drone S100 de Schiebel lorsqu'il est mis en œuvre en pleine mer depuis le pont d'un navire disposant d'équipements de surveillance du trafic aérien et immédiatement en survol maritime.

Dans cette catégorie, le scénario et le système de drones envisagés sont analysés au travers d'une méthodologie SORA : Specific Operation Risk Assessment. De cette analyse, résulte un niveau de SAIL (Specific Assurance and

Integrity Level) gradué de 1 à 8 qui détermine le niveau des 24 OSO (Operational Safety Objectives) à démontrer pour le vecteur, les dispositifs de sécurité, l'environnement d'exploitation ou encore les compétences des personnels.

Pour simplifier, un SAIL jusqu'à 4 ne nécessite que des démonstrations de sécurité assez simples pour lesquelles les moyens de démonstration de conformité conventionnels de l'aviation habitée ne s'appliquent pas. En revanche, dès que le niveau 5 est atteint, des standards comme ceux de la qualité de développement logiciel (DO178) vont s'appliquer.

Une fois l'analyse et les démonstrations réalisées, c'est le scénario opérationnel alliant un vecteur aérien de conception suffisante, des opérateurs de conduite et/ou de maintenance aux compétences appropriées, un environnement spatial d'exploitation défini qui est alors « certifié » soit de façon générique, soit pour un usage particulier.

# DRONE CIVIL OU MILITAIRE, UNE RÉGLEMENTATION POUR QUOI FAIRE ?

Par Bruno Even, ICA

Le taxi volant est un nouvel objet qui va bientôt circuler dans l'espace aérien, en particulier au-dessus des zones urbaines. Face à la multiplication de ces aéronefs demain, la question de la cohabitation entre trafic civil et militaire se pose, en particulier en matière de réglementation. Un enjeu décrypté avec l'expertise duale d'Airbus Helicopters.



La gestion du trafic basse altitude et la gestion des missions prioritaires sont prévues dans la future réglementation U-space européenne. © ADP

La réglementation qui s'applique au drone taxi urbain est-elle balbutiante à l'image de ce secteur en plein développement ? Contrairement à ce que l'on pourrait imaginer, l'Europe l'a déjà lancée il y a 5 ans maintenant. Et il reste beaucoup à faire notamment en matière de sécurité aérienne.

En 2025, toutes les réglementations européennes civiles devraient être disponibles pour la certification des appareils, les opérations et le trafic aérien. Pour ce dernier, le vrai enjeu de cohabitation, notamment avec les aéronefs militaires, c'est le U-space (le U pour Unmanned - espace aérien où évoluent des drones non-pilotés). C'est un espace aérien que l'on pourrait imaginer comme une bulle, généralement au-dessus d'une ville, pour lequel il y aura : un administrateur, un opérateur et les exploitants d'aéronefs.

Cette séparation des trois responsabilités est définie dans un texte qui existe déjà, proposé par l'EASA, et qui rentrera en vigueur dans les 3 à 4 années qui viennent.

Ce qui manque aujourd'hui, c'est le protocole de communication entre les appareils et le centre qui traite des données car c'est un système automatisé de gestion de trafic aérien qui sera déployé. Un domaine qui suscite des interrogations aujourd'hui dans la sphère militaire car, bien évidemment, les appareils des forces doivent pouvoir intervenir en tous lieux et en toutes circonstances.

La question sur la table aujourd'hui concerne principalement la basse altitude, dans cet espace commun géré de manière commune. Prenons un exemple pour illustrer cette situation : un hélicoptère étatique

qui devrait traverser un U-space disposera d'un ordre de priorité qui aura pour conséquence d'interrompre le trafic des drones ou que les drones restent dans un couloir précis en attendant que l'appareil prioritaire soit passé. La différence avec la situation actuelle tient dans la mission : vol direct aujourd'hui en liaison avec un contrôleur aérien alors que demain l'appareil devra contacter l'ATM (Air Traffic Management), un système numérique automatisé donnera cette information au fournisseur pilotant le U-space pour donner en retour l'autorisation de survol. Un protocole de vol qui suscite donc des questions auxquelles l'EASA attend des réponses des autorités nationales face à ces textes européens déjà publiés.

Si les pratiques actuelles permettent la co-gestion entre un contrôleur aérien militaire et un contrôleur civil, demain, c'est un système automatique qui sera donc en place. La gestion du trafic basse altitude et la gestion des missions prioritaires sont prévues dans la future réglementation U-space européenne. Pour rassurer, je tiens à dire que le niveau d'exigence des performances des systèmes permettra une identification en continu et en temps réel de tous les objets volants non-pilotés dans une zone déterminée, ce qui n'est pas le cas aujourd'hui. La connaissance du trafic réel sera ainsi renforcée, autant que la sécurité aérienne. La prérogative d'intervention dans ce milieu sera naturellement maintenue



L'adaptation de la réglementation existante aux futurs drones militaires et civils est un enjeu de taille. © Th. Rostang – Airbus Helicopters

pour assurer les missions régaliennes. Une adaptation des aéronefs sera cependant nécessaire pour s'adapter à ces nouveaux protocoles, autant que la formation des pilotes face à ces nouvelles procédures dans ce nouvel écosystème aérien numérique.

Le concept opérationnel du vol en basse altitude va donc changer en profondeur. En ce qui concerne la conception des appareils eux-mêmes, les VTOLs (Vertical Take-Off and Landing), une réglementation temporaire est en place : une condition spéciale, qui est applicable à tous les constructeurs et qui existe depuis bientôt 3 ans. Elle est suffisamment mature pour certifier un taxi-volant d'un point de vue réglementaire. Leur mise en œuvre et les moyens de conformité sont, eux, en développement. Ces standards (à l'élaboration desquels Airbus Helicopters participe) pour ne citer qu'eux, ont pour objet de préciser les exigences de la réglementation orientées sur la performance.

Prenons un exemple : aujourd'hui, dans la conception d'un hélicoptère ou d'un avion, il est acceptable d'avoir des scénarios de panne ou de rupture unique qui ont pour conséquence la perte de l'aéronef. Ces pannes ou ruptures ne doivent pas avoir une occurrence supérieure à 1 sur 1 milliard par heure

### Une réglementation pour le drone naval ?

Quittons le monde civil pour passer au drone militaire pour lequel Airbus Helicopters développe le VSR 700 dans sa version « SDAM » (Système de Drone Aérien Marine), prévue pour la Marine Nationale Française. Ce drone-hélicoptère 100% autonome embarquera une boule optronique et un radar et agira en véritable éclairer pour les frégates sur lesquelles il sera déployé.

Si ce drone opère en pleine mer et sans passagers, on pourrait légitimement penser qu'il peut s'affranchir d'une réglementation contraignante. Ce n'est pas encore le cas. La réglementation qui s'applique aujourd'hui est directement dérivée du standard aéronautique civil. En revanche, cette réglementation est en cours d'adaptation aussi bien au niveau national (DGA) qu'européen (EASA) de manière à permettre à terme d'adapter les contraintes de navigabilité actuelles aux spécificités des missions de drones militaires.

Le début de déploiement en opération des systèmes de drones militaires coïncide aujourd'hui avec le calendrier de mise en service des taxis volants, vers 2024-2025. A cette échéance il faudra connaître avec précision les critères de certification qui devront être appliqués car ces derniers influencent directement les choix d'architecture, de design et donc le prix des futurs produits drones de série.

L'adaptation de la réglementation existante aux futurs drones militaires et civils est donc un enjeu de taille. Son succès repose sur une coopération étroite entre nos équipes et les autorités de navigabilité et il est clair que l'expérience que nous avons acquise depuis de nombreuses années au travers de nos différents programmes militaires et civils constituera un atout majeur.

de vol. Pour des VTOLs non pilotés, c'est interdit. Aucune panne et aucune rupture unique ne peut avoir comme conséquence la perte de l'aéronef, autrement dit, les pièces critiques sont interdites. Tout chemin d'effort doit être redondé, idem pour les systèmes, ils ne doivent pas faillir. La panne ne doit pas interrompre la mission qui doit se poursuivre (Continued Safe Flight and Landing) sans atterrissage d'urgence !

Le niveau d'exigence réglementaire, supérieur à celui de l'aviation commerciale, élève donc le niveau technologique exigé... en Europe, car, aux Etats-Unis, le niveau est moindre puisque la réglementation de l'aviation de tourisme est le point de départ. La technologie est là cependant pour répondre à ces exigences. Je pense au choix que nous avons fait de la propulsion

électrique distribuée par exemple. Un acteur comme Airbus Helicopters dispose des compétences et du savoir-faire pour prendre part à ce défi technologique autant que pour répondre à cette aspiration de nos sociétés pour une aviation décarbonée et sûre. Aucun compromis ne sera fait sur la sécurité pour ces appareils qui auront, dans un premier temps, un pilote à bord. ☺



**Bruno Even,**  
ICA, Directeur  
Général d'Airbus  
Helicopters

Bruno Even est Directeur Général (CEO) d'Airbus Helicopters et membre du Comité Exécutif d'Airbus depuis avril 2018. Il a commencé sa carrière en 1992 au Ministère de la Défense puis au Ministère des Affaires Étrangères. Il a rejoint Airbus après avoir occupé plusieurs postes de direction dans le groupe Safran. Bruno Even est diplômé de l'École Polytechnique et de l'ISAE-SupAéro.

## GDI : LE PARTENAIRE DES FORCES

### POUR LA PRÉPARATION OPÉRATIONNELLE

La mission de GDI Simulation est la préparation opérationnelle des forces. Au travers de la fourniture et du maintien en condition opérationnelle de ses simulateurs, GDI participe à la formation et au maintien des compétences des forces françaises. L'utilisation des simulateurs intervient au dernier stade de l'entraînement, avant le départ en OPEX.



#### Présentation de GDI

GDI Simulation est une PME, filiale à 100 % de MBDA France, qui développe, produit et soutient des simulateurs d'entraînement. Les simulateurs de GDI sont répartis dans deux familles de produit, les simulateurs d'entraînement au tir (SET) ainsi que les simulateurs de tir de combat (STC).

Les SET sont basés sur la technologie 3D. S'appuyant sur des visuels 3D, ils reproduisent le fonctionnement du système d'arme. Ils permettent au tireur de se familiariser avec les systèmes d'armes et d'apprendre à faire feu sur une cible fictive dans un environnement virtuel. Les SET sont utilisés en intérieur.

Les STC sont aujourd'hui principalement basés sur la technologie laser. Ils sont composés d'une fonction tir et d'une fonction cible. Ils équipent les véhicules de l'armée de terre et sont utilisés principalement dans les centres d'entraînement au combat. La fonction tir du STC remplace la fonction feu du véhicule et permet d'engager des cibles en émettant un faisceau laser au sein duquel sont encodées des données de tir. La fonction cible du STC est chargée de recevoir et décoder les faisceaux lasers émis par les fonctions tir et d'en déduire la sanction (pris à partie, impacté, détruit). Les STC sont utilisés en extérieur.

Le STC MMP bi-mode combine la technologie laser avec la technologie numérique dans des environnements spécifiques. A ce jour GDI est

sans doute l'acteur de simulation le plus avancé dans ce domaine en Europe.

#### GDI est un acteur des programmes structurants SCORPION et CERBERE.

Dans le cadre du programme SCORPION, GDI fournit des simulateurs STC B2M pour l'équipement des véhicules Griffon, Jaguar, Leclerc et Serval. Le Jaguar bénéficie d'une configuration unique puisqu'il est équipé du STC B2M ainsi que du STC MMP. Cette version du simulateur B2M permet au Jaguar de simuler l'intégralité de ses armements ainsi que ses équipements spécifiques SCORPION tel que le DAL.

L'interopérabilité dans le programme CERBERE est un enjeu majeur pour les forces. GDI y apportera toute sa contribution.

#### GDI dispose d'atouts majeurs pour se développer et relever des défis de la prochaine décennie

En premier lieu, GDI est une PME qui bénéficie du soutien d'un



STC B2M



grand groupe, lui permettant d'allier son agilité au rayonnement de son actionnaire MBDA, qui a pris le relais d'Airbus, actionnaire jusqu'à fin 2019.

La haute technicité ainsi que l'expertise de ses équipes font partie des forces de la société. Le monde de la simulation évolue rapidement, très largement impacté par l'arrivée des technologies du jeux-vidéo dans le domaine de l'entraînement militaire.

La recherche de solutions toujours plus innovantes et à la pointe de la technologie dans le domaine de la photonique a motivé GDI à développer des partenariats avec les grandes écoles d'ingénierie ainsi que leurs laboratoires. Cette relation a permis à GDI de participer à la création de la chaire de photonique de CentraleSupélec en tant que membre fondateur. La synergie avec les équipes MBDA

(Programme, Technique, Commerciale) permet à GDI d'adresser plus efficacement les différents sujets de simulation et ainsi de proposer des solutions pertinentes à des problématiques complexes.

#### **GDI conforte sa position de partenaire privilégié pour le soutien des forces**

La proximité des équipes de développement avec le client final ainsi que le déploiement des équipes de soutien au plus près des forces permet à GDI de comprendre les besoins d'entraînement de l'Armée de Terre afin d'y répondre au plus juste.

La récente notification du contrat de soutien global de la SIMMT, face à une concurrence forte et internationale, nous permettra de préparer l'avenir au travers d'activités d'intervention à distance et grâce à l'utilisation de technologies telles que le big data (gestion et optimisation des systèmes et des flux de données).

#### **Conclusion**

Les récents programmes de développement attribués à GDI tels que la navalisation du SET MMP et l'intégration de la simulation missile dans la 3<sup>e</sup> dimension sont pleinement ancrés dans le 21<sup>ème</sup> siècle. GDI, au travers de la fourniture de ses systèmes, se mobilise pour répondre aux enjeux des forces françaises : haute intensité, info valorisation, NEB, robotisation, entraînement interallié. GDI espère également être un partenaire de référence pour les futurs programmes européens (Eurodrone, SCAF, Titan), en coopération pour les projets tel que CAMO ainsi qu'à l'international au travers de nos partenaires.



## UNE ETI FRANÇAISE À LA POINTE

### DANS LE DOMAINE DE LA DÉFENSE ET DE LA SÉCURITÉ



Frédéric Dussart

Défense, sécurité, R&D et innovation, souveraineté numérique, croissance du marché... sont autant de sujets que Frédéric Dussart, responsable de la BU Défense et Sécurité de CS GROUP, aborde pour nous dans cet entretien.

#### Quel est votre positionnement dans le monde de la défense et de la sécurité ?

Notre cœur de métier s'articule autour des systèmes d'information et de communication critiques, orientés sur les enjeux opérationnels de nos clients, avec une forte dimension cybersécurité et valorisation des données. Nous sommes une entreprise avec une activité duale qui sert aussi bien le monde civil que l'univers de la défense et de la sécurité. Ce domaine représente plus de 50 % de nos activités si on considère également nos activités de défense dans les secteurs Aerospace et Nucléaire. Au profit des acteurs institutionnels de la Défense et de la sécurité, nous intervenons en qualité de maître d'œuvre industriel sur de grands programmes pluriannuels avec une véritable capacité à s'engager dans le temps aussi bien sur les phases de déploiement que sur le maintien en condition opérationnelle ou de sécurité sur des périodes moyennes pouvant aller de 10 à 15 ans. Véritable intégrateur de systèmes, notre cœur de métier est le développement et le déploiement de centre de commandement et de conduite d'opérations intégrant de l'intelligence artificielle pour aider des opérateurs à exercer leurs missions. Dans ce cadre, nous avons développé des solutions innovantes, notamment dans le domaine de la lutte anti-drone et de la surveillance de zones. Pionnier de la lutte anti-drone en France, avec des projets opérationnels depuis 2016, nous innovons en permanence pour adapter nos systèmes à l'évolution de la menace. Pour être efficace, un centre de commandement et de contrôle doit disposer de moyens de communication sûrs et sécurisés. Reconnu comme leader européen dans le domaine des liaisons de données tactiques et des systèmes de communications vocales, nous travaillons également beaucoup sur les sujets d'interopérabilité pour un commandement des opérations inter-armées et inter-alliés. En parallèle, nous développons des solutions performantes pour le monde de la simulation et de l'entraînement des forces.

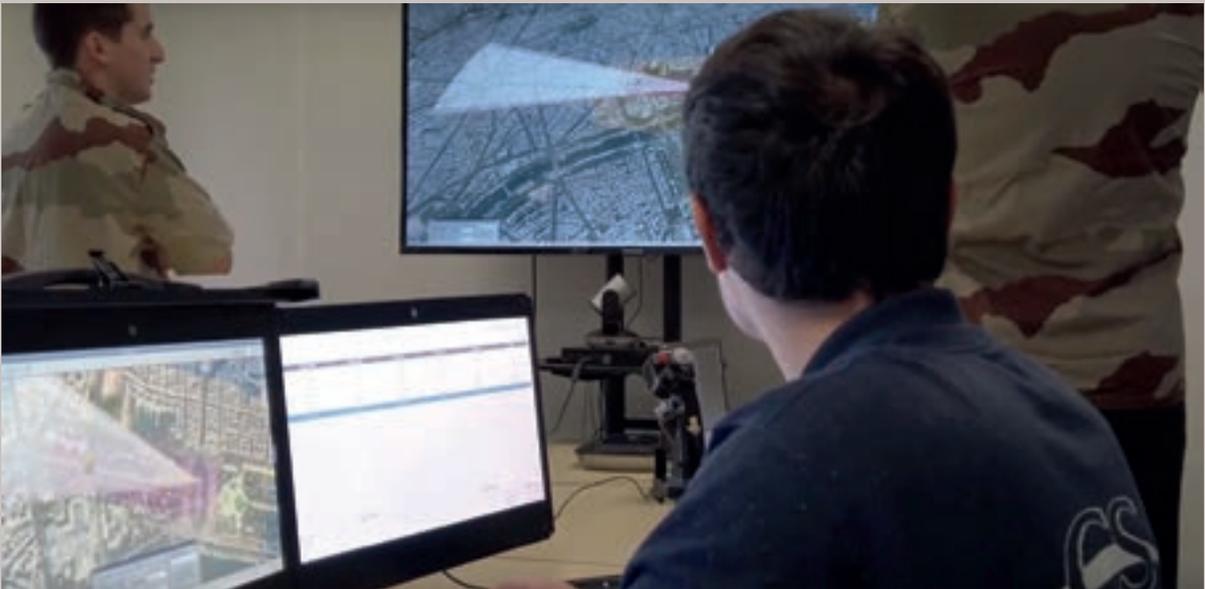
Nos solutions sont notamment basées sur le live (capacité à s'interfacer avec les systèmes opérationnels en temps réel), virtual (la capacité à coupler ces systèmes avec différents types de simulateurs) et constructive (la capacité à injecter de l'intelligence artificielle pour simuler des scènes relativement évoluées destinées à l'entraînement des équipes en centre de commandement). CS GROUP se positionne véritablement comme une ETI centrée sur ses cœurs de métiers et qui se développe dans une logique de niche et d'expertises pointues dans les domaines qu'elle adresse. Pour se faire, nous allouons 15% de notre chiffre d'affaires à notre R&D et à l'innovation. Au-delà, nous avons aussi la volonté forte d'être un acteur de proximité doté d'une réelle agilité afin d'être à l'écoute et en capacité à répondre aux demandes de nos clients.

#### Dans ce secteur stratégique, vous misez sur une approche unifiée pour maîtriser les défis sécuritaires de demain. Comment s'articule cette approche et quels en sont les principaux leviers ?

Nous avons une vision globale de ce secteur grâce à notre approche multi-domaine de lutte en termes de défense et de sécurité, mais également de protection et de surveillance. Nous couvrons ainsi tous les espaces : urbain, site critique, aérien et maritime, infrastructure et patrimoine informationnel. Nous nous appuyons sur nos expertises développées autour des centres de commandements, de l'hypervision et de la protection contre les intrusions physiques et logicielles.

#### Vos solutions contribuent notamment au développement et au renforcement de la souveraineté française et européenne sur un marché largement dominé par les États-Unis. Qu'en est-il ? Quels sont vos enjeux ?

Sur ces secteurs stratégiques, sensibles et régaliens, notre rôle et notre mission sont de proposer des solutions qui permettent



de garantir la souveraineté numérique. En tant qu'ETI française, nous proposons à nos clients qui opèrent dans ces secteurs d'importance vitale des solutions souveraines. Dans le domaine de la valorisation et de la sécurisation des données, nous sommes particulièrement impliqués dans des initiatives nationales et européennes et auprès de nos grands clients pour contribuer à garantir la souveraineté numérique européenne. Nous avons développé de nombreuses solutions en Open Source, avec une maîtrise totale du code source. Nous travaillons sur tout ce qui tourne autour de l'interopérabilité, toujours dans une optique de garder le contrôle de nos systèmes, mais aussi afin de pouvoir intégrer nos solutions dans des systèmes plus complexes. Dans un contexte où la réglementation est aussi un enjeu, c'est un sujet sur lequel nous sommes particulièrement vigilants. On peut ainsi citer la réglementation américaine sur le contrôle des exportations du trafic d'armes au niveau international (ITAR). Il s'agit, dans ce cadre, de veiller à ce que nos solutions ne soient pas soumises à ce règlement afin de garantir l'indépendance de la France.

#### Aujourd'hui, quels sont les sujets et enjeux qui vous mobilisent ?

La défense reste notre cœur de métier historique. Autour de cette expertise, nous renforçons et développons nos activités :

- La modernisation des systèmes de défense aérienne, CS GROUP est un des acteurs majeurs dans le cadre du programme

SCCOA (Système de Commandement et de Conduite des Opérations Aérospatiales) ;

- Les systèmes de conduite et de commandement du spatial : nous contribuons aux premiers développements du futur centre de contrôle et de commandement spatial qui sera opéré par le Commandement de l'Espace ;
- Le développement de la lutte anti-drone et de la surveillance des zones maritimes notamment grâce à notre radar transhorizon qui permet de détecter les plus petites embarcations au-delà de la ligne de l'horizon ;
- La simulation et l'entraînement ;
- Les liaisons de données tactiques avec un renforcement de notre développement à l'export.

Sur un marché qui bouge beaucoup, notre enjeu est également humain. En 2022, nous allons recruter 600 collaborateurs dans le monde, dont 520 en France. Nous recherchons des profils d'architectes, de directeurs projets, de data scientists, d'experts de la cybersécurité. Nous avons la chance d'avoir un très fort taux de fidélité. Nous valorisons les expertises et l'innovation pour attirer les nouveaux talents.

Enfin, nous ambitionnons de doubler notre chiffre d'affaires (pour atteindre 400 millions d'euros) d'ici 2024. Et dans cette démarche, nous capitalisons sur la dynamique de croissance du marché stratégique de la défense et de la sécurité de manière globale.

#### En bref :

CS GROUP est un acteur majeur de la conception, de l'intégration et de l'exploitation de systèmes critiques. Cette ETI française réalise un chiffre d'affaires de 240 millions d'euros et emploie 2 300 collaborateurs. Elle conçoit, réalise, déploie, maintient et exploite des systèmes d'information & de communication opérationnels intelligents, sûrs, sécurisés et interconnectés. CS GROUP développe des solutions et des produits innovants qui contribuent à la conduite et à la sécurité des opérations et des missions critiques de ses clients.

## FOCUS SUR LE PROJET SERKET



Yves Jourde

Yves Jourde, Président d'Agueris, Benoît Rolland, Directeur des Opérations, et Maxime Miche, chef de Projet SERKET, nous présentent ce projet qui va mobiliser cette start-up française de la défense, filiale de John Cockerill Defense France. Entretien.



### **Pouvez-vous nous rappeler le positionnement et le cœur de métier d'Agueris ?**

Agueris est une filiale à 100 % de John Cockerill Defense France depuis 2016. John Cockerill Defense est une division du Groupe John Cockerill notamment spécialisée dans la fabrication de tourelles de blindés.

Créée en 2015 et basée à Vélizy-Villacoublay, le cœur de métier d'Agueris est la simulation d'entraînement. Nous sommes un acteur reconnu de la fabrication de simulateurs innovants et efficaces conçus pour l'apprentissage technique et tactique des systèmes d'armes, comme les tourelles de char, aux niveaux individuels, groupe, peloton, section ou groupement.

Nous avons développé une expertise et une expérience éprouvée et avérée aussi bien dans le domaine des simulateurs virtuels que de la simulation embarquée ou mobile. Ces simulateurs sont projetables en dehors de centres d'instruction spécialisés, de façon à poursuivre la formation et l'entraînement lors du déplacement des Forces.

En parallèle, nous réalisons également des systèmes de formation à la Maintenance en réalité virtuelle (VMT, Virtual Maintenance Trainer) pour les équipements civils et militaires, ainsi que des simulateurs de drones, comme celui du drone Patroller réalisé par Safran pour l'Armée de Terre.

**Vous avez été retenu par la Direction Générale de l'Armement (DGA) pour fabriquer les Simulateurs cabines des véhicules SCORPION. Pouvez-vous nous en dire plus ?** C'est à l'issue d'une mise en concurrence que la Direction Générale de l'Armement a attribué la fabrication des simulateurs cabines des véhicules SCORPION au groupement constitué par Agueris avec RUAG Defence France.

L'appel d'offre SERKET concerne le développement, la réalisation, la mise en service et le soutien de Simulateurs cabines en Environnement Réaliste et Kinesthésique pour l'Entraînement Tactiques des véhicules blindés de l'armée de Terre.

Concrètement, il s'agit de développer et de fournir l'ensemble des simulateurs d'entraînement technique et tactique des équipages de nouvelles générations nécessaires à l'entraînement des forces terrestres sur les nouveaux matériels du Programme SCORPION : les véhicules de combat Jaguar et Griffon, ainsi que les chars Leclerc rénovés.

**Dans le cadre de ce projet SERKET, quels sont les expertises et les savoir-faire que vous avez mobilisés ?** Au sein du groupement, nous avons mutualisé nos expériences et savoir-faire :

- RUAG Defence France apporte ses compétences de fournisseur de systèmes de simulation et d'équipements dédiés à l'instruction et l'entraînement, ainsi que ses savoir-faire sur la partie mécanique (fabrication) ;



• Nous apportons notre expertise dans la simulation d'entraînement avec de nombreux projets de simulateurs d'entraînement réussis à l'export au niveau des équipages de véhicules terrestres et pelotons.

Sur ce projet qui a débuté en août 2020 et qui va durer 7 ans, Agueris s'appuie sur des équipes pluridisciplinaires composées essentiellement d'ingénieurs et d'experts opérationnels, dont d'anciens militaires et instructeurs de l'armée de Terre française. Cela nous permet de proposer des solutions au plus proche des attentes des utilisateurs finaux et en adéquation avec la réalité du terrain

#### Quels sont les enjeux propres à ce projet ?

Il s'agit pour nous d'un projet stratégique. C'est un enjeu majeur de fournir des solutions pour l'entraînement de l'armée de Terre qui doivent servir pendant plusieurs dizaines d'années avec un haut niveau d'exigence et de performance attendu.

Au niveau de la conception même des simulateurs, nous devons répondre aux besoins des simulateurs Griffon, Jaguar et chars Leclerc rénovés en développant un cœur commun de simulation. Il n'était, en effet, pas envisageable d'avoir un simulateur différent par véhicule. La DGA a pensé et conçu le projet de façon à avoir une architecture commune : un véritable challenge technique que nous avons relevé !

Enfin si Agueris a réalisé de nombreux marchés à l'export, le projet SERKET est le premier grand marché de fourniture de système en France, en dehors du simulateur de drone Patroller, étant jusqu'ici principalement intervenu sur des marchés d'études et de recherche. Pour le groupe John Cockerill, il s'agit aussi d'un projet phare au bénéfice de la DGA et de la défense française.

#### Aujourd'hui, où en est le projet ? Quelles sont les prochaines étapes ?

Le projet SERKET est composé de différents marchés. Le premier marché est celui des éléments communs. Viennent ensuite les marchés subséquents pour chaque type de véhicule.

Actuellement, nous sommes mobilisés sur les éléments communs avec la conception de l'architecture du système qui sera, par la suite, adaptée à chaque véhicule. Nous en sommes à la revue de conception détaillée qui représente un jalon important et qui est réalisée bien sûr avec la DGA.

Viendra ensuite la phase de développement à proprement parler puis l'intégration et les tests jusqu'à la démonstration du bon fonctionnement qui sera effectuée dans les locaux de notre partenaire près de Toulouse. Elle devrait intervenir courant 2022 avec la participation de la DGA et de représentants des utilisateurs de l'armée de Terre dans le cadre d'une utilisation intensive d'une durée de plusieurs semaines. Cette étape sera suivie du développement et de la livraison du système pour chaque véhicule du Programme SCORPION.

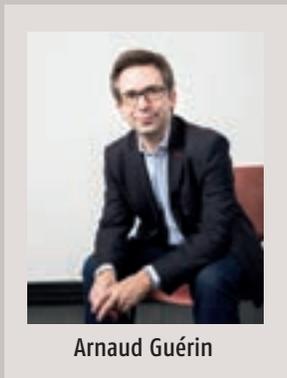
#### Et pour conclure ?

SERKET est un projet phare pour notre entreprise. Derrière ce projet, se profile le projet belge de capacité motorisée (CaMo), qui fait l'objet d'un partenariat stratégique franco-belge, et sur lequel nous ambitionnons de nous positionner.

En parallèle à SERKET, nous sommes également mobilisés en ce moment sur des projets à l'export notamment pour l'armée indonésienne.

# PRELIGENS : L'EXPERTISE ET LA TECHNOLOGIE

## AU SERVICE DU MONDE DE LA DÉFENSE



Arnaud Guérin

Arnaud Guérin, cofondateur et CEO de Preligens, nous présente cette entreprise innovante française qui révolutionne le traitement des données sensibles grâce à l'intelligence artificielle et les algorithmes. Entretien.

### **Preligens met l'intelligence artificielle au service d'un monde plus sûr. Dans ce cadre, pouvez-vous nous rappeler votre cœur de métier ainsi que vos principales expertises ?**

Preligens est un éditeur de logiciels spécialisé dans les solutions d'intelligence artificielle pour les domaines de la défense et du renseignement. Notre produit historique permet notamment à des analystes de surveiller des sites stratégiques grâce à l'imagerie satellite optique (ports, aéroports, camps militaires...). Au quotidien, les analystes reçoivent de très grandes quantités d'images qu'ils ne peuvent pas traiter manuellement. Nos solutions logicielles viennent ainsi les appuyer dans leur activité. Concrètement, nous permettons à nos clients français et internationaux de valoriser tous les capteurs satellitaires, aériens et même les drones afin de transformer les données brutes collectées en informations exploitables.

### **Dans le cadre de votre activité, la R&D occupe une place très importante. Comment cela se traduit concrètement ?**

Sur nos 200 collaborateurs, près de 60 % des effectifs font partie de nos équipes R&D. Nous sommes sur des métiers qui nécessitent une expertise technique et technologique pointue. Nous travaillons ainsi sur des sujets avec des verrous scientifiques, technologiques et techniques majeurs. En effet, l'automatisation du traitement de la donnée reste un enjeu complexe.

Sur un plan plus opérationnel, notre R&D est organisée autour de trois entités :

- L'équipe de recherche qui est essentiellement composée de personnes titulaires d'un doctorat en intelligence artificielle. Elle s'intéresse aux publications scientifiques sur nos domaines et centres d'intérêts, et ses recherches visent à craquer des verrous scientifiques ;
- L'équipe d'engineering qui transforme les innovations portées par la première équipe afin de développer des outils et des algorithmes ;
- L'équipe de production qui développe les algorithmes qui vont

permettre la détection des différents observables (avions, voitures, bateaux, véhicules blindés...).

Sur les applications de défense et de renseignement, nous avons un fort enjeu de performance afin d'éviter les erreurs. Pour ce faire, nous travaillons sur des thématiques très pointues comme l'exploitation de données hétérogènes, la génération automatique d'image... Et cela nous demande d'être très innovants pour concevoir de nouveaux outils et solutions.

### **Quelles sont les problématiques et enjeux que vous adressez avec vos solutions ? Pouvez-vous nous donner des exemples ?**

La France a investi près de 1,4 milliards d'euros dans la nouvelle génération de satellites d'observation militaire de la constellation CSO (Composante Spatiale Optique). Dans ce cadre, le traitement des données collectées par ces satellites pose alors un double enjeu :

- Opérationnel : la mise à disposition d'informations et de renseignements pour les opérations ;
- Économique : la maximisation de l'investissement en utilisant le plus grand nombre de capteurs.

À partir de là, il faut pouvoir compter sur des solutions qui vont permettre de traiter 100 % de la donnée générée. Et c'est justement sur cette typologie de cas d'usages que nous intervenons. Par exemple, sur aéroport où il y a historiquement très peu d'activité et où il n'est pas forcément envisageable ou pertinent de positionner un analyste, notre technologie va permettre de détecter des signaux fugaces que l'homme pourrait manquer.

En parallèle, le déploiement de solutions d'intelligence artificielle comme les nôtres nécessite une bonne performance technique pour que les analystes aient confiance dans l'outil et acceptent de nous déléguer une partie de leurs missions. Ces solutions contribuent aussi à faire évoluer le rôle et le métier de l'analyste dont la mission n'est plus seulement d'identifier des mouvements ou autres, mais d'en comprendre la nature. Il est donc important d'accompagner cette évolution, car l'idée n'est pas que la



technologie vienne remplacer l'humain, mais plutôt de lui permettre de se concentrer sur des tâches à plus forte valeur ajoutée.

#### Quelles sont vos principales forces ?

Nos solutions tournent sur l'infrastructure de nos clients et sur leurs données. Pour garantir la confidentialité de la data qui est traitée par nos technologies et solutions, le déploiement de notre logiciel est complètement autonome. Cela demande une fiabilité à toute épreuve et une ergonomie optimale pour que les analystes puissent l'utiliser de manière autonome et fluide sans avoir à solliciter l'aide externe de nos ingénieurs. En effet, pour que nos solutions soient performantes, nous devons avoir une compréhension fine du métier opérationnel de nos clients. L'enjeu est justement de pouvoir appréhender ces métiers (défense, renseignement...) par essence extrêmement discrets. La confiance est primordiale, car c'est grâce à elle que nous pouvons nous inscrire dans une démarche d'amélioration continue des solutions que nous proposons.

#### Qu'en est-il de vos principaux enjeux ?

Étant un leader de l'intelligence artificielle au service de la défense et du renseignement, l'éthique est un enjeu majeur depuis la création de notre société. Pour cela, notre principe directeur est simple : l'utilisation de nos logiciels doit préserver la place de l'homme dans le processus décisionnel et l'aider à prendre des décisions plus pertinentes. Une charte éthique a été mise en place en interne et en pratique, cela signifie que nous exerçons un contrôle significatif sur notre technologie tout au long de son cycle de vie, de la conception au retour d'expérience ; et que nous appliquons des normes éthiques internationalement reconnues pour notre prospection commerciale.

Second enjeu, notre développement à l'international. Notre solution est actuellement déployée sur le marché français et elle rencontre

un franc succès à l'international. Nous avons des contrats avec l'Union européenne, mais aussi avec des pays en Asie et les États-Unis. Nous sommes, d'ailleurs, le premier industriel à avoir obtenu l'homologation de l'OTAN pour le traitement automatique d'analyse d'images satellitaires.

Progressivement, il s'agit aussi de traiter d'autres types de données (radar, infrarouge ...). Nous voulons devenir un « one-stop-shop » ou un guichet unique capable d'apporter des réponses pointues et technologiques sur l'ensemble des sujets relatifs à l'intelligence artificielle.

#### Et pour conclure ?

Nous avons réussi à déployer en France une solution extrêmement innovante, unique au monde, qui se démarque par son innovation et la profondeur de son déploiement. Nous avons aussi réussi à démontrer la capacité à intégrer de l'innovation dans un cycle extrêmement court. Ce n'est pas une démarche usuelle dans l'univers de l'armée, de la défense et du renseignement où les cycles de développement sont traditionnellement très longs. Nous contribuons ainsi à mettre à disposition de la France une capacité opérationnelle avérée grâce à un déploiement à l'échelle qui couvre toutes les étapes, de la preuve du concept au déploiement.

En parallèle, la société s'est rapidement développée. Créée il y a six ans, elle compte plus de 200 personnes, dont 60 % d'ingénieurs et docteurs, et 10 à 15 % de profils issus du ministère des armées français. Pour chaque poste ouvert, nous recevons 200 à 300 candidatures. Preligens est une entreprise qui attire les talents pour deux raisons principalement : la dimension technologique de nos métiers et la possibilité de contribuer au développement d'un leadership français dans le domaine de l'IA au service de missions souveraines et critiques réalisées par la défense et le renseignement.

# SIMULATION POUR LES EQUIPAGES DE DRONES :

## BESOINS ET SOLUTIONS



André Piaton

Sogitec Industries, filiale de Dassault Aviation et simulatoriste de référence du Rafale, lance plusieurs produits de simulation pour adresser de nouveaux besoins de formation et d'entraînement. Le marché des drones civils et militaire arrivant désormais à un premier niveau de maturité, les besoins en simulation émergent. C'est pourquoi Sogitec met en place une stratégie de nouveaux produits que nous expose André Piaton, son directeur général.

### Bio express :

Ingénieur Supélec et auditeur du CHEAR, André Piaton a occupé divers postes techniques et d'encadrement chez Dassault Aviation (essais en vol, direction technique, exécution des contrats militaires export). M. Piaton est à la tête de Sogitec depuis 2013.

### Quel est votre constat sur l'état actuel du marché des drones ?

Après plusieurs années de gestation, le marché des drones civils et militaires est très ouvert et mondialisé. Le nombre d'opérations et d'utilisateurs est en forte croissance, ce qui génère d'importants besoins en formation et en entraînement.

Certes, le niveau d'automatisation des drones s'accroît, ce qui plaide pour un allègement de la formation des télépilotes, mais la complexité croissante des opérations induit un haut niveau de qualification pour faire face aux exigences de sécurité et de rentabilité.

### En quoi la simulation pour les équipages de drones apporte-t-elle une plus-value ?

Les opérateurs de drones civils et militaires font actuellement peu appel à la simulation pour la formation et l'entraînement de leurs équipages. Pourtant, les vols réels restent coûteux, complexes à organiser (notamment pour l'obtention des autorisations de vol et des volumes d'espace aérien) et potentiellement dangereux lorsqu'il

s'agit d'aller aux limites d'utilisation des systèmes de drones réels, sans parler des conditions météorologiques, qui conduisent fréquemment à l'annulation des vols. Par ailleurs, le besoin opérationnel est bien celui d'une formation et d'un entraînement à la mission, plutôt qu'au seul pilotage.

Enfin, la Ressource en instructeurs qualifiés reste rare, alors que le nombre d'élèves à former est très élevé. La solution à cette équation repose selon nous sur une utilisation massive de la simulation au profit de l'ensemble des utilisateurs de drones : télépilotes, opérateurs de charge utile, analystes de données,....

### Comment situez-vous votre offre sur le marché ?

Nous avons développé le simulateur agile SOGITEC GENIUS, qui répond à un spectre très large de besoins. Il est tout d'abord configurable pour s'adapter facilement au type de drone (voilure fixe ou tournante, minidrone ou drone de plusieurs tonnes, charges utiles diverses...).

Ce simulateur est aussi modulaire, pour permettre aux instructeurs d'organiser leurs séances avec la plus grande souplesse (séances individuelles, spécialisées ou collectives). S'appuyant sur l'expérience de SOGITEC dans le domaine de la formation et de l'entraînement des forces, GENIUS immerge les apprenants dans des situations réalistes où leur réaction est identique à celle exigée par la réalité opérationnelle.

### Quels sont vos clients potentiels pour ce simulateur d'opérations de drones ?

Nous avons identifié au sein des forces françaises plusieurs besoins exprimés, ou en passe de l'être. Il faut en effet observer que toutes

nos armées sont en train de s'équiper en systèmes de drones de manière rapide et conséquente. Le constat que nous faisons pour la France est par ailleurs valable pour bon nombre de pays, qui se trouvent dans une situation de rapide montée en puissance de leurs capacités de surveillance et de renseignement par drones.

Le marché civil est quant à lui un peu moins mature, mais il arrive... Bon nombre de grandes sociétés dans le domaine de l'énergie sont en train de se doter de minidrones, et les premiers usages gouvernementaux de drones pour la surveillance sont passés au stade industriel.

Ces opérations d'un volume croissant ne vont pas manquer de générer des besoins importants de formation et d'entraînement à moyen terme. À ces cas d'usage, s'ajoutera très probablement la problématique de la formation des opérateurs de drones utilisés dans le cadre de la mobilité aérienne urbaine, que l'on annonce en France dès les jeux olympiques de 2024 !

<sup>1</sup> GENeric Intelligence surveillance and reconnaissance Unmanned aircraft system Simulator



# GALA DE L'ARMEMENT 2021

## LE PLAISIR DE SE RETROUVER APRÈS UNE ANNÉE BLANCHE !

De retour après un an d'absence pour des raisons sanitaires, le gala de l'Armement s'est tenu le 26 novembre 2021, à l'hôtel Intercontinental Paris Le Grand. Au programme de cette soirée, des rencontres, des échanges, une soirée d'exception et le plaisir de renouer avec une tradition chère aux ingénieurs de l'armement.



« DGA, CAIA et CGARM en parfaite harmonie ! »

Certains pensaient que ces retrouvailles seraient timides... au contraire, elles furent enthousiastes et chaleureuses avec près de 500 participants qui prirent part à cette édition 2021. Un vrai succès, avec la participation à cette soirée de nombreux invités officiels, dont le Délégué Général pour l'Armement Joël Barre, plus de 270 industriels et leurs convives et enfin 165 ingénieurs de l'armement (rien de moins !). Deux nombres, encore : le plus jeune participant à cet événement avait 25 ans, l'aîné, 86. Car c'est cela, le gala de la CAIA, un événement qui fédère, qui rassemble les membres de l'amicale, quels que soient leur âge et leur position. A ce titre, nous sommes heureux de voir que cette édition a réuni un nombre particulièrement élevé de jeunes – et même de très jeunes – ingénieurs de l'armement.

### Et la magie opère

Cette soirée s'est tenue dans le cadre à la fois familial et fastueux de l'hôtel Intercontinental Paris Le Grand. Familial, car il s'agit là d'une adresse que nous avons tous plaisir à retrouver ; fastueux, car les ors, les bleus et les pourpres de ses salons donnent à cette soirée un éclat particulier, élégant et, de l'avis même des jeunes IA qui découvraient le lieu, féérique. Et la magie a opéré... En parallèle du cocktail toujours aussi animé, les participants qui le souhaitaient ont assisté à une conférence

sur la contribution de Napoléon Ier à la modernisation et à l'embellissement de Paris. Puis, tous se sont retrouvés dans le salon Opéra pour un dîner émaillé par les tours et les surprises de quatre magiciens. A l'issue du repas, le salon Ravel a accueilli des danseurs décidés à profiter de cette soirée jusqu'au bout de la nuit puis tous sont repartis, avec un bel exemplaire de « L'Atlas de Paris au temps de Napoléon », notre cadeau de cette année.

### Prêt pour 2022 ?

La CAIA tient à remercier chaleureusement les sponsors qui ont contribué par leur soutien au succès de cette soirée, et tout particulièrement Nexter et Capgemini. D'ores et déjà, nous sommes heureux d'annoncer que le prochain gala de l'Armement se tiendra vendredi 21 octobre 2022, de nouveau dans les salons de l'hôtel Intercontinental Paris Le Grand, de nouveau avec cet objectif : rassembler et faire vivre la communauté des ingénieurs de l'armement avec l'ensemble de leurs partenaires.

Te joindras-tu à nous ? Nous l'espérons bien ! ☺

Nicolas Maffert  
et l'équipe organisatrice



Le Général Mille, CEMAEE, et son épouse avec Philippe Hervé, Président de la CAIA

# AMBITION ET CARRIÈRE DES INGÉNIEURS DE L'ARMEMENT

TRAVAUX DU *THINK TANK* DES JEUNES IA, ACACIA

Par **Isaure de Broglie, IPA, Victor Cauchois, IPA, Richard Castaing, IPA et Jules Vogt, IA**

Sous l'impulsion des deux Vice-Présidents du CGARM, Laurent Giovachini puis Hervé Guillou, des travaux d'analyse menés à partir de l'été 2020 ont contribué à objectiver certains ressentis récurrents et à proposer des réponses concrètes aux défis du corps de l'armement.

## Une photographie du corps de l'armement

L'état des lieux d'ACACIA s'appuie sur différentes sources. Outre l'accès à des données classiques (rapports sur la haute fonction publique, positions et employeurs des IA, parcours des IGA sur les vingt dernières années), un sondage a été transmis à plus de 600 IA pour plus de 200 réponses (73 % de réponses chez les moins de trente ans). Une centaine de personnalités (directeurs de la sphère publique, dirigeants d'entreprise, etc.) ont répondu à un questionnaire dont les réponses ont été approfondies lors d'une soixantaine d'entretiens. Cette forte mobilisation illustre la volonté unanime des IA de participer à la bonne santé du corps.

## Quels constats ?

Le premier résultat montre que le service de la Nation et les domaines d'activité liés à l'armement sont les points forts du corps pour les IA interrogés. Le niveau de responsabilité est jugé plus important que dans le privé, en particulier en début de carrière. Enfin, a été soulignée la diversité des parcours, à la DGA comme en dehors. Pour les IA de moins de trente ans, ces points forts sont justement les critères qui leur ont fait choisir d'intégrer le corps. Les principaux points faibles du corps relevés par les sondés sont la gestion des individus et la progression des carrières.

Les employeurs interrogés, dont certains ne sont pas membres du corps, ont reconnu les compétences techniques et de gestion de projets complexes des IA. Ils identifient en revanche le rayonnement (dans l'administration, dans l'industrie ou à l'international) et les *soft-skills* comme des domaines de perfectionnement majeurs. Plusieurs personnalités militent pour que les expériences hors DGA soient pensées comme une force, autant par les compétences qu'elles permettent aux individus d'acquérir (connaissance des enjeux industriels, expérience interministérielle, etc.) que par la diversité des profils qu'elles constituent. Par ailleurs, le rayonnement se révèle aussi une opportunité importante pour les individus car il permet de faciliter la sortie définitive du corps, évaporation nécessaire au maintien d'une structure pyramidale optimisée des effectifs du Corps.



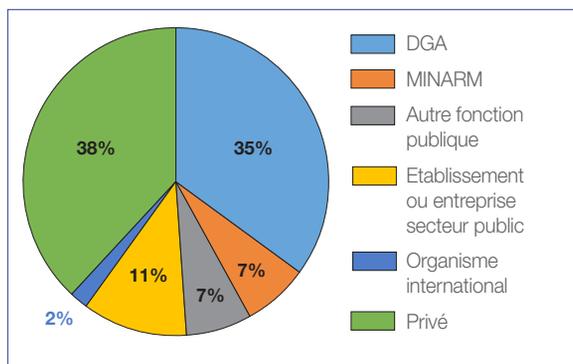
Une équipe motivée et ambitieuse pour le corps de l'Armement

Concernant l'ambition du corps et le rôle que celui-ci est légitime à jouer dans les défis qui se présentent pour l'État, le rapport fait apparaître que les IA sont présents, hors MINARM, dans plus de 250 organismes différents. Certains concentrent une dizaine voire plusieurs dizaines d'IA. Les principaux sont Naval Group, Airbus, Thales, le CEA, Safran, le CNES, MBDA et le SGDSN dont l'ANS-SI. Beaucoup de personnalités ont de plus noté le faible nombre d'IA dans les cabinets ministériels, comparé à la situation d'il y a une quinzaine d'années, ainsi que dans les organisations internationales (2 % des IA). Plusieurs employeurs ont fait part de leur volonté d'employer davantage d'IA dans toutes les catégories d'âge.

## 56 propositions

L'état des lieux a conduit à formuler 56 propositions selon trois axes : le rayonnement et l'ambition du corps, le suivi des ingénieurs ainsi que la notoriété et l'animation du réseau du corps.

Afin de satisfaire l'ambition du corps, ACACIA propose de construire et de maintenir à jour une liste d'entités hors DGA pour l'accueil des IA, dans une logique d'acquisition comme de mise à disposition de compétences. Quantifier les postes à créer est un préalable à un dimensionnement du corps exhaustif. Il s'agit ainsi de définir les besoins en IA des ministères, des établissements publics ou encore des organismes internationaux. Cette cartographie permettra d'orienter les IA dans leur rayonnement, que ce soit dans une logique d'aller-retour ou pour un départ définitif, et d'améliorer la gestion des carrières au travers de projections à 3, 5 et 10 ans.



Employeurs des 1 630 IA en activité (dont les radiés)

Sur le rayonnement, ACACIA propose de (re)créer des filières dans divers établissements publics (ONERA, CNES, CEA), voire des administrations (comme les services de renseignement). Cela consiste à affecter des IA en premier poste dans ces organismes, comme c'était le cas auparavant. En complément, nous proposons de promouvoir la possibilité de faire une période de mobilité en milieu de carrière. Si la période d'ouverture initiale est plutôt orientée vers l'industrie, il est proposé que cette seconde mobilité soit orientée vers l'administration, française ou internationale.

Concernant l'accompagnement personnalisé des IA, plusieurs propositions visent à accroître l'adéquation entre les aptitudes des individus, leurs compétences et les besoins de l'État. Notre première recommandation est donc un suivi amélioré, avec des entretiens *a minima* annuels avec le CGARM et/ou la DRH de la DGA, afin de faire le point sur leur carrière. Si des parcours existent, il convient de faire preuve de souplesse afin de mieux prendre en compte les expériences et les compétences acquises. Cela passe aussi par une meilleure reconnaissance des postes tenus par les IA à l'extérieur de la DGA, par exemple en les transposant dans le référentiel DGA (cotation, etc.), afin d'assurer une réelle équivalence.

### « RAYONNEMENT ET SOFT-SKILLS À PERFECTIONNER »

Un constat implacable de l'état des lieux est le manque de notoriété du corps, qui pourrait donc être renforcée. Les IA possèdent des compétences rares au sein de l'État telles que la connaissance de domaines techniques spécifiques, la gestion de projets complexes, l'exercice de la maîtrise d'ouvrage, la définition et le pilotage d'une politique industrielle efficiente. Si le rayonnement contribue à cet objectif, des actions plus spécifiques sont proposées comme la participation à des missions parlementaires ou encore une communication très large sur les réalisations du corps (le magazine des IA est une excellente base et, au-delà des expériences

individuelles, il convient de montrer ce que nous apportons collectivement). La notoriété commence dans les écoles d'ingénieurs au sein desquelles le corps recrute. Des actions spécifiques de communication sont ainsi proposées (par exemple la participation de grands témoins IA à des conférences à l'X).

Quant au recrutement, il est proposé d'avancer l'oral du concours sur titres de mi-novembre à la fin du printemps. Cela permettra de s'aligner sur les autres grands corps techniques et les entreprises, et donc de ne pas se priver d'une partie du vivier.

Enfin, des actions d'animation du réseau du corps ont été proposées. Des événements plus réguliers (dîner-débat, visite, déjeuner autour d'une personnalité du corps, etc.) pourraient être organisés. La CAIA pourrait ainsi participer à la mise en œuvre de cette mesure, en liaison avec le CGARM et la DGA.

### « DES COMPÉTENCES RARES, MAIS UN MANQUE DE NOTORIÉTÉ »

#### Et maintenant ?

Après des présentations au Délégué et au Vice-président, 48 propositions ont été retenues. Un plan d'action concerté a été défini et de nombreuses propositions sont déjà en cours de mise en œuvre à la DGA et au CGARM, auxquelles la CAIA prévoit d'apporter son concours. Ce plan d'action fera l'objet d'un suivi régulier exercé par un comité regroupant le CGARM, la DGA et la CAIA. Les résultats des travaux ont également été présentés aux personnalités ayant contribué lors d'une conférence de restitution ainsi qu'à la Ministre lors de la dernière réunion du CGARM.

Cette réflexion aura permis de dépasser le simple échange d'opinions individuelles et d'objectiver, pour partie, de nombreux ressentis sur le corps. Elle a été l'occasion pour de jeunes ingénieurs, avec l'écoute et le soutien bienveillants de la DGA et du CGARM, de mettre en avant leurs idées, d'échanger avec des personnalités, de développer une certaine vision pour le corps de l'armement et de contribuer à améliorer la situation.

Pour la suite, le Vice-président du CGARM souhaite mener une telle réflexion à échéance régulière (tous les 2-3 ans). Que les volontaires se fassent connaître !

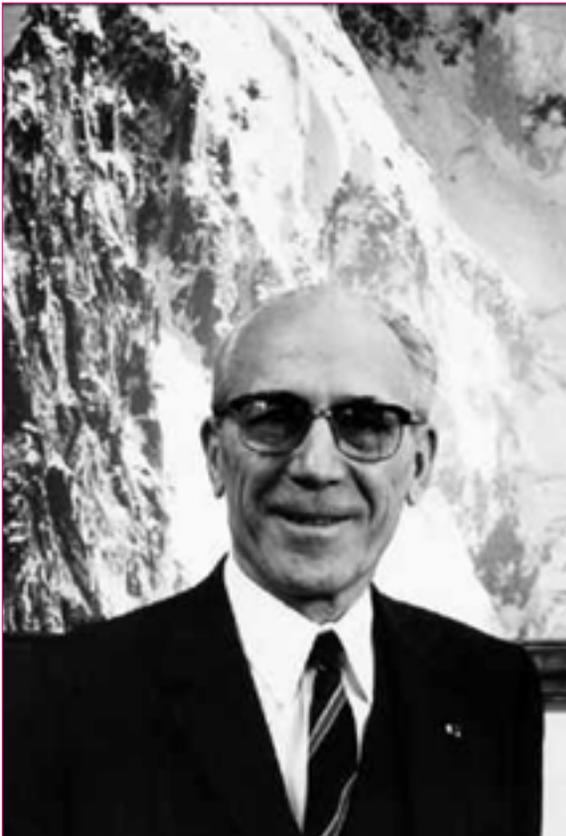
#### ACACIA

ACACIA - ambition du corps de l'armement et carrière des ingénieurs de l'armement : une douzaine de jeunes IA a mené une réflexion stratégique sur l'avenir du corps selon trois perspectives (le recrutement, le rayonnement et la fidélisation dans le corps de l'armement), sous la supervision de la DGA et du CGARM.

# LE BAPTÊME DE PROMOTION 2021

Par **Isabelle Tanchou**, IGA, Présidente de la section « carrières » du CGARM  
et **Bertrand Delmas - Marsalet**, ICA : adjoint à la présidente de la section « carrières » du CGARM

Il en est des corps d'Etat comme des familles. On y entre, on y est accueilli, et souvent une cérémonie ou une réunion de famille est nécessaire pour que cela devienne concret. Le corps des ingénieurs de l'armement n'échappe pas à la règle et c'est ainsi que le 23 novembre 2021, les IA venant de prendre leur premier poste, ont été reçus pour une cérémonie d'intégration, à l'instar d'un baptême.



Henri Ziegler, 1906 - 1998, fut un grand ingénieur, un grand résistant, et un grand industriel. Il développa Air France, présida Sud Aviation et la SNIAS, fonda et administra Airbus Industrie. Un parrain exceptionnel.

La DGA avait réuni pour l'occasion, sous la présidence de l'IGACE Vincent Imbert, inspecteur général des armées – armement la promotion 2021 et d'autres militaires à qui seraient remis des insignes DGA ou de promotion : ingénieurs des études et techniques de l'armement, commissaires des armées – ancrage armement, et lauréats de l'enseignement militaire supérieur de second degré (EMS2).

Honneur aux récipiendaires, ces jeunes ingénieurs dont nous avons fait la connaissance lors de la FAMIA 2021 : Lena Le Quellec, Alexandre Poirrier, Guillaume Russo, Jean-Baptiste Orsatelli, Auriane Cozic, Quentin Chevalier, Samuel Sirot, Louis Clavier, Eloi Littner, Rodolphe

Grivet, Geoffrey Magda, Charles Cougoureux, Corentin Allair, Gaëlle Troccaz, Antoine de Saint Julien, Vianney Choimet, Marc Alefsen de Boisredon d'Assier, Pierre Fontaine, Arnaud Busquet de Caumont, Malo Duchatel, Benoît Gallouedec, Florian Geoffré, Loïc Marquis. Leurs uniformes portent à présent avec fierté l'insigne de l'armement.

Cette nouvelle promotion d'IA, parrainée par Didier Malet a choisi comme nom de promotion « Henri Ziegler », s'inscrivant ainsi dans la filiation d'un de leurs grands anciens. Ce dernier fut non seulement un ingénieur, mais aussi un résistant, chef d'état-major des forces françaises de l'intérieur. Ayant travaillé au sein de plusieurs cabinets ministériels, il marqua l'industrie aéronautique en devenant le premier administrateur gérant d'Airbus. Une façon pour nos jeunes camarades d'exprimer leur désir de servir l'intérêt général, que ce soit au sein de l'État ou plus généralement dans le secteur de l'armement.

Nous sommes doublement heureux que cette cérémonie ait pu se tenir. En effet, la crise sanitaire en a empêché la tenue en 2020, et cela n'a tenu qu'à un fil que la cérémonie soit autorisée en 2021. Le CGARM et la DRH de la DGA avaient combiné la tenue de cette cérémonie avec une semaine de rattrapage de visites au titre d'une FAMIA 2021 où tout avait dû se dérouler en distanciel, sans aucune visite. Nos IA ont ainsi pu aller à l'Île Longue et Brest, à Bruz, au CEA (direction des applications militaires) et à la direction du renseignement militaire. Surtout, une semaine qui a pu créer cet esprit de corps et de promotion que nous souhaitons leur insuffler.

Et pour clôturer cette journée de baptême et surtout marquer la fin de la FAMIA, le CGARM avait convié les FAMIA 2020 et 2021 à se retrouver autour d'un pot convivial dans les jardins de l'École militaire.

Autant d'événements riches en symboles, et marquant un peu plus l'accueil dans la grande famille des ingénieurs de l'armement. ☺

# LES IA 2021

Par Isabelle Tanchou, IGA, Présidente de la section « carrières » du CGARM

Cette année encore, le corps de l'armement a recruté trente-deux nouveaux ingénieurs, sept femmes et vingt-cinq hommes. Vingt-deux à l'issue de l'Ecole polytechnique, quatre sur titres et six par concours interne.

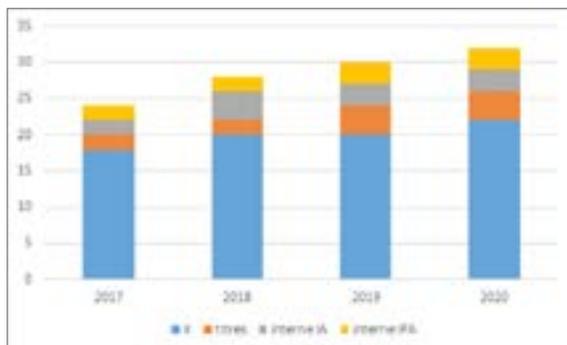
Mais qui sont-ils ? Faisons leur connaissance par ordre d'apparition dans le corps.

Parmi les polytechniciens, nous comptons cinq femmes et dix-sept hommes. Nous vous les avons brièvement présentés dans le n° 124.

Ils sont arrivés au terme d'un processus mûrement réfléchi, piloté au premier chef par la DRH de la DGA mais auquel la Section carrières a largement pris part. Dès la deuxième année à l'X, ils avaient commencé à connaître le corps et ses perspectives, que ce soit au travers d'amphis, du forum, de témoignages. Processus approfondi en troisième année, avec des actions similaires mais en plus des entretiens proposés tous les mercredis midi au cours de permanences leur permettant de poser toutes leurs questions. Une action qui a porté, car il y a eu plus de candidats que d'admis : sept polytechniciens se sont retrouvés en liste complémentaire et, malgré leurs qualités, n'ont pu rejoindre le corps. Nous avons constaté d'une manière générale un regain d'intérêt, quel que soit le corps, pour le service de l'Etat, avec pour tous une remontée dans les classements. La crise sanitaire n'y est certainement pas étrangère.

Nous avons eu le plaisir d'accueillir ces jeunes ingénieurs le vendredi 3 septembre. La veille, la CAIA avait organisé un apéritif d'accueil au Cercle national des armées. Nos jeunes camarades sont à présent partis en formation complémentaire (4A pour les initiés) : huit sont en master à l'étranger (USA, Royaume-Uni, Suisse), neuf ont rejoint l'ISAE, un est à l'école des Ponts, les autres en master en France. Six d'entre eux poursuivront par une thèse. Leurs choix reflètent leur appétence principalement pour les data sciences, la biologie, l'aéronautique ou l'espace. Que les mécaniciens se rassurent : certains de nos jeunes camarades s'engagent aussi dans cette voie. Nous les retrouverons pour la FAMIA 2023.

Dans l'ordre d'apparition, nous faisons à présent connaissance de nos trois ingénieurs de l'armement et de nos trois ingénieurs principaux de l'armement recrutés sur épreuves. Cette année encore, ils sont tous issus du corps des ingénieurs des études et techniques de l'armement et connaissent bien la DGA et le milieu de l'armement : des candidatures qui s'ancrent donc dans leur engagement au service de l'armement. Nos



nouveaux IPA s'appellent Brice André, Cédric Clolus et Elodie Ropert. Et les IA répondent au nom de Corentin Riffart, Jean Baudinat et Cyril Casserra. Là aussi plus de candidats que d'élus et nous connaissons des ingénieurs de valeur qui n'ont pu rejoindre le corps : souhaitons leur de retenter leur chance avec succès l'an prochain.

Parlons enfin des quatre IA recrutés sur titres, qui ont rejoint le corps en décembre. Là aussi, leur choix ne doit rien au hasard. Nous les avons rencontrés lors d'amphis « retape », que nous pilotions, dans les grandes écoles éligibles, présentations qui ont permis de mieux faire connaître le corps, au-delà même des candidats. Innovation cette année, nous avons enregistré des vidéos avec des IA emblématiques issus de leurs écoles : Thierry Carlier, Benoît Laurensou et Benjamin Gallezot se sont prêtés avec bienveillance à cet exercice. Leurs témoignages très convaincants ont permis d'ancrer nos présentations dans la vie réelle. Certains candidats nous avaient contactés depuis longtemps, signe de l'attractivité du corps. Au total vingt-cinq candidats, dont six jeunes femmes. Le jury a décidé de recruter Baptiste Chomel de Jarnieu (Centrale – Supélec), Dimitri Gladkov (Centrale –Supélec), Pauline Galy (ENS Ulm), Antoine Plantade (ENS Paris-Saclay). Aussitôt recrutés, ils ont rejoint la FAMIA 2022.

Nous leur souhaitons à tous la bienvenue dans le corps et attendons de les retrouver, que ce soit pour leur déroulement de carrières, les amphis de recrutement ou les événements que nous organisons. ☺

# LA FAMIA 2022

Par **Isabelle Tanchou**, IGA, Présidente de la section « carrières » du CGARM  
 et **Pierre Dauchy**, ICA, conseiller carrières à la section « carrières » du CGARM, chargé du recrutement et de la formation initiale

La formation administrative et militaire des ingénieurs de l'armement (FAMIA) est un évènement bien institué, qui revient chaque année, donne satisfaction aux auditeurs, et que d'aucuns pourraient croire immuable. Immuable, vraiment ? Le monde bouge et notre formation doit évoluer. Mais voyons cela plus en détail.

La FAMIA 2022 s'est ouverte le 3 janvier 2022, à Balard, avec une séance inaugurale par l'IGA Vincent Imbert, inspecteur général des armées – armement, puis une rencontre avec le Délégué général pour l'armement. La suite de la formation se déroule principalement à l'ENSTA Paris, avec notamment un échange amical avec la CAIA autour d'un petit déjeuner. Un démarrage un peu compliqué avec des IA positifs au COVID, à tour de rôle, des intervenants parfois, des visites annulées de façon bien compréhensible, mais aussi des solutions de dernière minute, de l'inventivité et un incroyable dévouement des intervenants ou organisateurs de visites pour que tout se passe au mieux et que les IA s'approprient leur nouvel environnement. Un démarrage somme toute sous de meilleurs auspices que la FAMIA 2021, qui avait vu toutes ses visites annulées, et 90% des interventions basculées en visio. Avec en prime cette année, une soirée virtuelle de speed dating consacrée aux périodes d'ouverture de jeunes ingénieurs dans l'industrie. Donc, soyons positifs, sans jeu de mots, et disons que la FAMIA 2022 est sur de bons rails, et nous ferons tout pour qu'elle y demeure.

Mais qui sont nos IA de la FAMIA 2022 (ou famiarques 2022) ? Essentiellement des X 2017 entrés dans le corps en 2020, et des IA recrutés sur titres fin 2021, mais aussi quelques IA plus anciens ayant achevé une thèse.

Nos IA suivent un cursus que nous avons articulé autour de huit semaines.

## Un cursus bien articulé en 8 semaines

- (S1) Armement, Armées, pourquoi ? Pour quoi faire ?
- (S2) Armement, ses dimensions européenne et internationale : coopération, exportation
- (S3) L'armement et les secteurs Terrestre, NRBC et sciences de l'homme
- (S4) L'armement, acteur de la transformation publique, de l'innovation et du numérique
- (S5) L'armement et le secteur Naval et la dissuasion
- (S6) L'armement et les secteurs IA, renseignement et spatial
- (S7) L'armement et le secteur Aéronautique
- (S8) IA, un corps, des moyens, des métiers, un environnement social et économique



Visite du site de Bourges en compagnie de Vincent Ginabat, ICA chez Nexter munitions

Mais il y a une nouveauté, liée à la réforme de la haute fonction publique, voulue par le Président de la République : dans le cadre de l'institut national du service public (INSP) qui a succédé à l'ENA le 1<sup>er</sup> janvier 2022, a été mis sur pied un module de tronc commun à tous les hauts fonctionnaires en formation initiale. Toutes les écoles de formation des grands corps ont contribué à la construction de ce module, destiné à mixer les cultures et développer une véritable approche interministérielle. Pour le corps de l'armement, l'ENSTA Paris était à la manœuvre. Ce module se compose de cinq chantiers :

- Valeurs de la république
- Transition numérique
- Transition écologique
- Inégalités – pauvreté
- Rapport à la science

L'ENSTA Paris a particulièrement travaillé sur les modules « transition numérique » et « rapport à la science ». Ces modules sont proposés en présentiel ou en visio, selon les sujets, parfois en même temps que les autres, corps, et donnent lieu à l'élaboration d'un projet.

Pour des raisons de volume des populations concernées (par exemple chaque année, cinq cents nouveaux magistrats suivent cette formation), il n'est bien évidemment pas possible de rassembler tous les jeunes hauts fonctionnaires en même temps.

Ces modules de tronc commun s'intègrent aux deux mois de FAMIA, dans les plages autrefois consacrées au projet. Une telle formation est une chance pour nos IA et complète la formation qui leur était dispensée jusqu'à présent, en leur donnant des clefs de compréhension du fonctionnement de l'Etat et des politiques publiques. Une nouveauté dont il faudra tirer des enseignements pour une nouvelle édition. ☺

# PÉRIODE D'OUVERTURE INDUSTRIELLE

## DÉBUT DE PARCOURS AUTOUR DU M88

Par Ming Long, IPA

Depuis 2018, la période d'ouverture permet aux ingénieurs de l'armement de compléter leurs compétences par une expérience hors DGA – en industrie, par exemple. Une démarche triplement profitable ?



Moteur M88 en essai au banc T0 de DGA Essais propulseurs

27 février 1990. Un aéronef s'élance dans le ciel d'Istres pour un premier vol de ce qui deviendra un des fleurons de l'aéronautique française. C'est en effet à cette date que le turboréacteur M88 effectue son premier vol sur Rafale A. Une trentaine d'années plus tard, celui-ci reste un des moteurs les plus efficaces jamais conçus en termes de rapport poussée/masse. Trente ans, c'est aussi mon âge. La longue histoire du M88 est riche d'échanges entre la DGA et le constructeur Safran Aircraft Engines (anciennement Snecma). Si le développement du M88 débute dans les années 1980 dans les bureaux d'étude de l'industriel, la DGA n'en demeure pas moins une actrice majeure à chaque étape du programme – développement, mise au point, qualification ou certification, et suivi en service. L'aventure du M88 regorge également d'exemples d'ingénieurs de l'armement passés temporairement par les effectifs de Safran avant de revenir faire fructifier les compétences ainsi acquises au sein de la DGA.

### La période d'ouverture, une suite logique

Mon parcours commence à DGA Essais propulseurs où modélisation et simulation aérothermique ainsi que suivi d'essais d'endurance m'ont permis de découvrir des installations d'essais uniques dévolues au M88 (banc sol T0, caisson d'altitude simulée R3).

Une fois cette expérience acquise, les questions de la conception et de la fabrication d'un tel système complexe, ainsi que de la maturation de nouvelles technologies, me paraissaient être une suite logique. J'ai rejoint en affectation temporaire la Plateforme Aubes de Turbine Avancées (PFX) de Safran Tech. Dédiée à la R&T pour le développement des futures aubes de turbines à très haute température, la plateforme était alors pleinement

engagée dans le programme d'études amont TURENNE notifié par la DGA. Pour contribuer à sa bonne exécution, des missions et responsabilités variées m'ont été attribuées : développement de nouvelles chaînes numériques pour la prédiction de défauts de fonderie, réalisation de simulations du procédé de fonderie à cire perdue en soutien de la fabrication des nouvelles technologies d'aubes et de distributeurs haute pression en alliages monocristallins, encadrement de doctorants, ou encore pilotage d'un groupe d'expert du métier Simulation des Procédés du groupe Safran.

Les études amont étant rarement un long fleuve tranquille, j'ai également pu apprécier du point de vue de l'industriel les relations avec toute une variété d'acteurs, y compris la DGA – non sans un certain recul de rigueur – et des établissements de recherche académique.

### Un poste d'architecte à la croisée des mondes

Revenu à la DGA muni d'un double vécu technique en centre et en industrie, et ayant pratiqué les processus et modes d'organisation des deux côtés, ma prise de poste d'architecte n'en a été que facilitée. En effet, j'ai pu aborder plus sereinement mon rôle de relais entre les centres et leurs experts techniques, l'AIA, les forces et l'industriel Safran.

Plus spécifiquement, la turbine haute pression étant au cœur du moteur en tant que premier élément en rotation placé derrière la chambre de combustion, l'amélioration de sa résistance en température est un axe de développement majeur en perspective de la motorisation future du SCAF/NGF (*New Generation Fighter*). Mon expérience passée me permet ainsi de poser un oeil critique averti sur les clauses techniques des projets d'études amont à fort enjeu dans ce domaine.

Cerise sur le gâteau : mon périmètre contient le pilotage des essais d'endurance à DGA EP à venir destinés, entre autres, à tester les technologies développées pendant ma période d'ouverture.

Au global, cette période d'ouverture s'avère donc être une réelle opportunité de découvrir un autre paradigme hors DGA. Développement de différentes compétences tant techniques que transverses, contribution directe à l'exécution des programmes, établissement d'un dialogue constructif : autant d'éléments qui en font une démarche profitable à l'ensemble des acteurs ! ☺

**ECA Group** - Leader dans la lutte  
contre les mines depuis plus de 40 ans



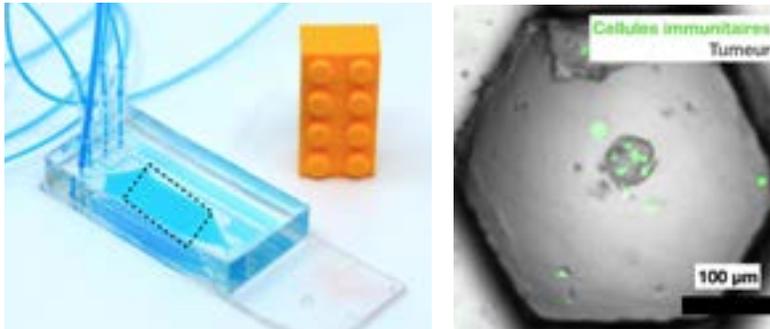
ECA Group, ce sont 800 experts passionnés par la conception, le développement et la maintenance des systèmes qui permettent aux hommes de mener à bien leurs missions à distance du danger. Référence mondiale dans la lutte contre les mines, de nombreuses marines de part le monde font confiance à nos solutions pour préserver leurs intérêts essentiels.

# MICROFLUIDIQUE ET IMMUNOTHÉRAPIES

Par **Gustave Ronteix, IA**, Thèse de doctorat soutenue le 15/12/2021 :

*Inférence des interactions cellule-cellule à partir de l'analyse quantitative d'images de microscopie*

L'interdisciplinarité permet de faire progresser la recherche. Ingénieurs, vous avez une place à prendre dans la santé !



(Gauche) Les puces microfluidiques utilisées au laboratoire de Microfluidique Physique et Bio-ingénierie. (Droite) Chaque puce contient 236 gouttes contenant des cellules tumorales et immunitaires.

90% des molécules qui commencent leurs essais cliniques échouent à obtenir leur autorisation de mise sur le marché. Les raisons sont nombreuses : manque d'efficacité chez les patients, effets secondaires trop dangereux etc. Une cause est la distance entre la paillasse du laboratoire et le patient. Les chercheurs, pour des raisons pratiques, effectuent le plus souvent leur travail sur des cultures cellulaires en 2D (ici, imaginez les boîtes de Petri que des scientifiques regardent avec attention dans votre film préféré). Or, la susceptibilité des cellules dans ces conditions artificielles est parfois très différente de ce qu'elle est conditions réelles (i.e. dans le corps du malade), ce qui cause des échecs lors du processus de validation des médicaments.

## La microfluidique : une technologie prometteuse

Entre ici la microfluidique. Au début des années 2000, un trio de chercheurs de Harvard et du MIT - Whitesides, Quake et Weitz - développe des techniques pour créer et déplacer des gouttes de quelques milliardièmes de litres (environ mille fois plus petites que des gouttes de pluie). La France s'est imposée comme l'un des pôles mondiaux de l'application de la microfluidique en santé, tant en recherche (laboratoires de Jerome Bibette, Andrew Griffiths ou Jean-Christophe Baret notamment) qu'en industrie (Stilla Technologies, Treefrog Therapeutics etc.).

## Une thèse interdisciplinaire

A l'intersection de ces sujets, ma thèse cherche à allier microfluidique et immunothérapies. Cette nouvelle classe de traitements contre le cancer a connu une explosion depuis une dizaine d'années et la découverte

des "checkpoint inhibitors" et le prix Nobel de médecine associé en 2018. L'idée directrice de mon travail est de démontrer que les nouvelles techniques de culture cellulaire employant la microfluidique peuvent être adaptées aux problématiques spécifiques des immunothérapies. Non seulement j'ai pu montrer que cela fonctionne (les cellules immunitaires survivent dans nos puces microfluidiques et tuent les cellules tumorales de façon similaire à ce qui a été rapporté dans la littérature

scientifique), mais j'ai aussi prouvé que l'élimination des tumeurs repose sur plusieurs mécanismes coopératifs entre les cellules immunitaires. Chaque expérience dans nos puces permet la prise de milliers d'images qu'il faut ensuite analyser de façon quantitative pour en extraire les paramètres pertinents. Grâce à la qualité des données récoltées et à des modèles mathématiques, j'ai pu décrire dans le détail les mécanismes d'accumulation collective des cellules immunitaires sur les tumeurs.

Cependant, mes travaux ne sont qu'un point de départ pour l'étude de l'activité anti-cancéreuse du système immunitaire. Mon laboratoire a remporté une bourse de recherche hospitalo-universitaire (RHU) afin d'utiliser ce système pour étudier des cellules tumorales de patientes atteintes du cancer du sein et analyser l'impact de plusieurs traitements expérimentaux.

## Le software à l'assaut de la biologie

Mes travaux illustrent une tendance de fond de la recherche pharmaceutique : allier hardware, software et biologie pour débloquent des pistes thérapeutiques plus rapidement et à moindre coût. Cette évolution fondée sur la superposition des techniques se fait aussi sentir dans des domaines plus proches des missions de la DGA, et le COVID-19 en est une illustration : en alliant séquençage à très large échelle avec des outils informatiques puissants, les autorités britanniques suivent l'évolution épidémique au jour le jour avec une granularité inimaginable il y a quelques années. Il y a dix ans, l'investisseur Marc Andreessen déclarait que "software is eating the world", c'est au tour de la biologie de passer à table. ☺

# DES SYSTÈMES COMPLEXES À LA RÉSISTANCE ANTIBIOTIQUE

Thèse de doctorat de **Clément Roussel** soutenue le 2/12/20212 : *Apprentissage et échantillonnage de paysages énergétiques complexes avec des machines de Boltzmann restreintes : de la théorie à la fitness de la protéine TEM-1*

« Le comportement de grands et complexes agrégats de particules élémentaires ne peut être compris en termes de simple extrapolation des propriétés de quelques particules. »  
(Philip Warren Anderson, *More is Different*, Science, 1972).

## Les systèmes complexes : du gaz parfait à la nuée d'étourneaux

Un système complexe est un ensemble constitué d'un nombre macroscopique d'entités en interaction, dont les propriétés émergent au niveau du système lui-même, et ne peuvent donc pas être comprises à l'échelle de l'entité élémentaire.

L'étude de ces systèmes a commencé au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, avec les travaux fondateurs de James Maxwell, Ludwig Boltzmann et William Gibbs sur les gaz, qui ont donné naissance à la physique statistique. Depuis, l'étude de ces systèmes s'est généralisée à de nombreux autres domaines : les phénomènes collectifs en biologie, pour comprendre par exemple la dynamique des nuées d'oiseaux, la finance de marché, pour modéliser les bulles spéculatives et les krachs boursiers, ou encore l'informatique pour étudier les réseaux de neurones artificiels.

L'étude de ces systèmes complexes a été couronnée par le prix Nobel de Physique 2021, récompensant Syukuro Manabe et Klaus Hasselmann pour leurs travaux fondateurs sur la modélisation physique du climat et Giorgio Parisi pour ses travaux sur les systèmes désordonnés.

## Ma thèse : voyage au sein des systèmes complexes

Durant ma thèse au sein du département de physique de l'ENS Ulm, sous la direction de Simona Cocco et Rémi Monasson (professeur à l'X), tous deux anciens collaborateurs de Giorgio Parisi, j'ai étudié les systèmes complexes dans un but double : comprendre et améliorer les performances de réseaux de neurones profonds et les appliquer à la prédiction d'effets de mutations de protéines.

## Sur l'échantillonnage des machines de Boltzmann restreintes

Les réseaux de neurones profonds sont depuis une dizaine d'années une brique essentielle de l'intelligence artificielle et permettent de réaliser des tâches diverses et variées, de la traduction automatique de langues à la génération d'images, une fois qu'ils ont été entraînés sur de grandes quantités de données. Ces réseaux, comme leur nom l'indique, sont constitués d'un grand nombre de neurones artificiels connectés les uns aux autres et sont donc un système complexe à part entière. Durant ma thèse, nous avons utilisé des outils issus de la physique statistique pour

étudier et améliorer les performances génératives de ces réseaux de neurones, c'est-à-dire leur capacité à générer des nouvelles données, comme par exemple des images, après que ces réseaux ont été entraînés.

## Sur la résistance antibiotique causée par les $\beta$ -lactamases

Un autre domaine d'application des systèmes complexes est l'étude des protéines. Grâce à une collaboration avec des chercheurs de l'hôpital Bichat (INSERM), j'ai eu la chance d'étudier la protéine  $\beta$ -lactamase TEM-1 qui est responsable de la résistance antibiotique à la pénicilline.

Expérimentalement, Olivier Tenaillon et son groupe ont modifié certains acides aminés de la protéine TEM-1 pour créer des mutants de cette protéine afin de mesurer leurs effets sur la résistance antibiotique et essayer de prévoir quels futurs variants de cette protéine pouvaient apparaître dans la nature. Ces procédures expérimentales sont longues et coûteuses et il est impossible d'étudier tous les mutants expérimentalement.

Néanmoins, depuis une dizaine d'années et grâce à l'amélioration des techniques de séquençages de l'ADN, des bases de données comportant des millions de protéines sont accessibles à la communauté scientifique. Il est donc possible d'entraîner des réseaux de neurones profonds sur ces bases de données et de les utiliser pour prévoir l'effet des mutations sur une protéine donnée : c'est ce que nous avons fait dans le cadre de cette collaboration. Ce dernier pan de ma thèse montre la richesse des systèmes complexes : nous avons utilisé un système complexe, les réseaux de neurones, pour étudier un autre système complexe, les protéines.

## Et le Corps de l'Armement dans tout ça ?

Les systèmes complexes, dans le sens de la gestion d'un programme industriel complexe, sont le cœur de métier de l'Ingénieur de l'Armement. Nos systèmes complexes d'armement se rapprochent de plus en plus des systèmes complexes au sens physique du terme. Il suffit de regarder le programme SCAF ou SCORPION, où les avions, drones ou bien chars sont interconnectés et dont la finalité n'apparaît qu'à l'échelle du système lui-même. Le *More is different* de Philip Warren Anderson a encore de beaux jours devant lui ! ☺

# SAFEAER UNE STARTUP POUR UN PROBLEME VIEUX DE 100 ANS

Par Benoît Chandesris, IPA

L'histoire commence au beau milieu de l'été 2018. Alors que je m'apprête à quitter la tête du département protection de DGA Maîtrise NRBC pour partir en affectation temporaire dans l'industrie, je rassemble une petite équipe pour tester une idée que je mature depuis plusieurs années, et qui pourrait bien révolutionner le monde de la filtration chimique...



Les attaques au gaz Moutarde, cauchemar des poilus

« Qui ose gagne »

**Col Jean Sassi**

Pour que le lecteur comprenne de quoi il retourne, petit flash-back 100 ans plus tôt ; la première guerre mondiale a vu apparaître les armes chimiques. L'élément clé de la protection respiratoire est la cartouche filtrante, composé de charbon actif, qui arrête les gaz

toxiques tout en ayant le bon goût de laisser passer l'oxygène et l'azote. Améliorée tout au long du XX<sup>e</sup> siècle, cette technologie est toujours utilisée dans le domaine militaire (masques à gaz, filtrage de l'air dans les espaces confinés comme les chars, sous-marins, etc.), mais également largement déployée dans le secteur civil pour l'épuration de l'air (engins agricoles filtrés, secteur nucléaire, retraitement d'effluents gazeux ...). Cela représente ainsi un marché annuel de la classe 10 milliards de dollars.

Comme un filtre obéit aux lois de la physico-chimie, il se sature peu à peu en polluants, y compris en polluants que le filtre n'a pas vocation à arrêter. De ce fait, il est difficile d'estimer à quel moment le filtre doit être changé. L'ingénieur de l'armement, habitué à la gestion de risques, aux analyses de vulnérabilités et autres risques juridiques pour l'Etat se dit alors naturellement : mais comment puis-je mesurer l'efficacité de mon filtre ?

Aussi étonnant que cela puisse paraître, il n'existait pas en 2018 de mesure non destructive pour contrô-

ler la saturation d'un filtre. On imagine bien les conséquences inconfortables en termes de contrôle de production, durée d'utilisation d'un filtre, réemploi éventuel, durée de vie en stockage. En bref : un risque pour la santé des utilisateurs, et des coûts superflus. On dit d'ailleurs encore dans les usines à des opérateurs de changer leurs cartouches filtrantes s'ils sentent une odeur inhabituelle... En voilà l'illustration parfaite !

C'est dans ce contexte que nous décidons donc de tester une approche radicalement différente. En n'utilisant que ce que nous avons sous la main, sans impacter le plan de charge, nous réussissons rapidement à mettre en évidence une piste très prometteuse.

« In a world that is changing really quickly, the only strategy that is guaranteed to fail is not taking risks. » **M. Zuckerberg**

L'acte II se joue un an plus tard. Je suis donc en affectation temporaire chez Safran Electronics & Defense, quand je découvre le programme « We love intrapreneurs », mis en place depuis peu par le groupe Safran. S'inspirant du modèle de l'entrepreneuriat, l'idée est de monter des start-ups internes, formées par des collaborateurs du groupe.

La valorisation des brevets étatiques restant une science peu développée – je l'ai expérimenté sur un premier brevet déposé auparavant – j'y vois l'opportunité assez unique de donner une suite industrielle au projet. Je dépose donc un dossier, et me retrouve quelques semaines plus tard devant un jury composé d'une partie du COMEX du groupe pour « pitcher » l'idée. C'est là que l'aventure se corse : étant dans le groupe seulement depuis 11 mois, j'ai trois semaines pour former une équipe polyvalente, solide, et motivée, qui soit prête à se lancer dans l'aventure à temps plein si nous sommes sélectionnés. Finalement, l'équipe se forme, issu de Safran Electronics & Defense et Safran Filtration Systems. Nous sommes sélectionnés en novembre 2019 comme 8 autres équipes pour approfondir l'idée, en parallèle de notre poste, avec des formations et coaching de l'EM Lyon.

## Le 26 janvier, Benoît Chandesris recevait le prix Pierre Faure 2021

Pierre Faure, qui fut président de SAGEM serait heureux de voir que pour la première fois, un membre de son entreprise est récompensé du prix qui porte son nom ! Benoît Chandesris, en affectation temporaire chez Safran a su convaincre le jury de ses qualités de maîtrise technique, d'aptitude au management et de réussite dans le projet Safeaer qu'il porte depuis plusieurs années. Ainsi qu'il l'a exposé devant l'amphi .K le 26 janvier dernier, les ingrédients de Safeaer sont de partager une vision et une utilité, un travail en équipe, et surtout une posture d'innovation pour garder en tête l'objectif, quitte à adapter les moyens. L'anecdote du légionnaire furieux à la Courtine voyant qu'on avait rusé pour rentrer au camp sans traverser le cours d'eau a été bien comprise par tous les futurs polytechniciens innovateurs. Bel exemple et belle récompense pour cet arrière petit fils d'Henry Le Chatelier, physicien, inventeur et ingénieur conseil qui appelait les « ingénieurs français à être beaucoup plus présents dans les ateliers ».



Eric labaye, président de l'X et Frédéric Oudéa, Président de la FX entourent le lauréat



10 itérations ont permis d'aboutir au 1<sup>er</sup> de série

Nous croyons à notre projet, même pendant la période mars-août 2020 de crise Covid où je reviens au service de l'Etat – les experts en protection respiratoire vis-à-vis du risque biologique ne courent pas les administrations. – Et finalement, en septembre 2020, nous remportons la finale de la saison II de l'intraprenariat Safran, synonyme d'une forme de levée de fonds et un passage à temps plein sur le projet pour nous quatre.

### « Innover, c'est facile. La difficulté, c'est de transformer une innovation en vrai business » Mikael Dell

Et depuis ? Après octroi d'une licence à Safran par l'Etat, nous avons développé notre premier produit que nous avons déjà mis entre les mains de clients, notamment dans le domaine de la Santé-Sécurité-Environnement. Avec une approche loin du build-to-spec classique du monde défense, notre logique de dévelop-

pement est foncièrement agile, avec pas moins de 10 itérations de notre prototype pour aboutir aux premiers de séries, produits en France au sein d'une usine du groupe. Le format d'équipe, réduit (nous 4) et intégré, permet des prises de décisions en moins de 24h. Cela détonne un peu dans le fonctionnement habituel d'une grande organisation, mais quand on nous demande si notre photo de premier de série est une vue CAO ou une « vraie photo », on se dit qu'on ne fait pas totalement fausse route. Nous ne sommes bien entendus pas livrés à nous-mêmes, mais interagissons régulièrement en boucle courte avec nos sponsors issus du COMEX qui nous apportent

leurs conseils d'une acuité toujours remarquable, tout en validant tous les 4 mois nos avancées via un « STOP OR GO ».

Loin des modèles d'ultra-spécialisation habituels, je suis amené, dans une même journée, à me pencher sur des problématiques d'approvisionnements de composants électroniques (il y a une pénurie en ce moment avez-vous dit ?), de tolérance mécanique, de physico-chimie, de business plan, de propriété intellectuelle, de relation clients ou fournisseurs, de cash-flow, de stratégie marketing... Et c'est peut-être le sens de ce projet qui nous pousse à toujours avancer, puisque quand on trouve des cartouches 100% saturées qui ont été utilisées par des ouvriers pour des procédés spéciaux, on sent que notre action devrait faire progresser la protection de la santé, et donc le bien commun. ☺

# TROPHEES DES INNOVATEURS DE LA DEFENSE

PROMOUVOIR L'INNOVATION PARTICIPATIVE ET VALORISER SES AUTEURS AU SEIN DU MINISTERE DES ARMEES

par Patrick Aafort, IGA, Directeur Adjoint de l'Agence d'Innovation de Défense.

Soutenir les agents, militaires ou civils, à l'origine de projets innovants issus de l'expérience du terrain est l'une des priorités du ministère des Armées.

Dans cette optique, un groupe de travail, animé par l'Agence de l'innovation de défense (AID) et regroupant des correspondants innovation et représentants des états-majors, directions et services, a été lancé en 2020 afin d'étudier des pistes de valorisation des innovateurs au sein du ministère : intéressement et reconnaissance financière (avec un levier : la propriété intellectuelle), reconnaissance dans les parcours RH et reconnaissance devant les pairs.



Ce troisième sujet a très rapidement débouché sur une volonté commune de créer un prix, organisé à l'initiative et au nom du ministère des Armées, en alternance avec le prix de l'Audace (récompensant l'innovation participative et décerné par la fondation Maréchal Leclercq de Hauteclocque). Nommé « Trophées des innovateurs de la défense », avec une **assise thématique**, il a fait l'objet d'une décision en Comité exécutif ministériel (COMEX) le 19 mai 2021, permettant de lancer la rédaction de l'arrêté de création, publié au Journal Officiel le 15 novembre 2021.

Le concours (**sur dossier envoyé par les candidats directement** à l'AID, qui en coordonne l'organisation) récompense des innovateurs ou groupes d'innovateurs de tous statuts du ministère des Armées, ayant mené à terme des projets innovants permettant une amélioration décisive des performances opérationnelles ou fonctionnelles des systèmes et unités auxquels ils sont (ou seront) appliqués. Parmi les critères de sélection, l'implication des innovateurs dans la poursuite des projets est particulièrement valorisée.

## UNE ASSISE THEMATIQUE

Sept thèmes ont été retenus suite aux propositions du groupe de travail : Combat terrestre, opérations Air et Espace, milieu Mer, Maintien en Condition Opérationnelle, soutien du combattant, aspects liés au Management et à l'Organisation, Opérations dans les Champs Immatériels.

Sept trophées seront donc remis tous les deux ans lors des Trophées des innovateurs de la défense, à partir de 2023. Il est prévu que les lauréats (ou équipes lauréates) bénéficieront d'une récompense financière, et d'un témoignage de satisfaction du ministre des Armées. Ils sont également mis en avant au cours d'une cérémonie de remise de prix. 📧

## UNE PREMIERE EDITION REUSSIE

Lancée à l'été 2021, la première édition s'est focalisée sur un thème unique, les « Opérations dans les Champs Immatériels », afin de pouvoir tenir l'objectif d'une remise de prix lors du Forum de l'Innovation de Défense à la fin du mois de novembre 2021.

Plus de 40 candidatures ont été réceptionnées, sur des sujets variés : cyberdéfense, renseignement, systèmes d'information, dématérialisation des formations ou des processus. Une présélection au sein de chaque entité partenaire a permis de retenir 15 innovateurs ou groupes d'innovateurs, dont les projets ont ensuite fait l'objet de discussions au sein d'un jury présidé par l'AID et composé de représentants de la Direction générale de l'armement, de l'Etat-major des armées, du Secrétariat général pour l'administration, de l'armée de l'Air et de l'Espace, de la Marine nationale et de l'armée de Terre.

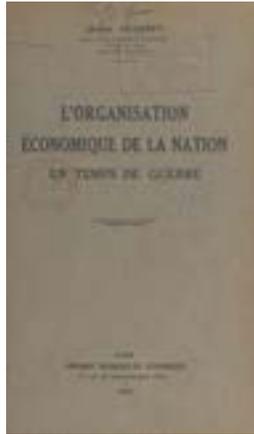
Le lauréat, sélectionné par le jury, a été annoncé par Florence Parly, ministre des Armées, lors du Forum de l'Innovation de Défense le 26 novembre 2021. Il s'agit d'une équipe de sept agents du Centre d'analyse en lutte informatique défensive (CALID), récompensés pour leur projet SPEEDCAP, outil intégrant une technologie de *Machine Learning* pour automatiser l'analyse du trafic réseau lors d'opérations de cyberdéfense. Le groupe lauréat a reçu une récompense de 2500€.

## « L'ORGANISATION ÉCONOMIQUE DE LA NATION EN TEMPS DE GUERRE » DE CHARLES AILLERET (X1926)

<https://www.placedeslibraires.fr/ebook/9782307357988-l-organisation-economique-de-la-nation-en-temps-de-guerre-charles-ailleret/>

Disparu dans un accident aérien en 1968, alors qu'il était chef d'état-major des armées depuis près de 6 ans, Charles Ailleret a été un des principaux promoteurs et artisans de la force de dissuasion et, plus généralement, de la modernisation des armées françaises. Officier d'artillerie, grand Résistant, déporté, l'alternance de postes opérationnels et à caractère technique l'a bien préparé à cette mission.

Cette étude publiée en 1935 (au passage, le colonel de Gaulle figure à deux reprises dans sa bibliographie) montre que, dès le grade de lieutenant, il a su porter sa réflexion sur des sujets d'ampleur. Le résultat est une synthèse remarquable des problèmes économiques que la Nation et l'État ont à résoudre en temps de guerre (mobilisation industrielle, affectation des ressources, ravitaillement des populations, commerce extérieur, etc. dans un contexte de perturbation des circuits économiques). Exploitant largement l'expérience de la Grande Guerre, qui a vu les autorités françaises improviser et tâtonner avant d'aboutir à une organisation appropriée en 1917-18, il insiste sur la persis-



tance des lois économiques et donc sur la nécessité pour les décideurs de les maîtriser pour optimiser le rendement de l'économie dans ces circonstances exceptionnelles.

Sont notamment développés la transition entre économies de paix et de guerre et les moyens d'en réduire la durée et les à-coups. Un des principes fondamentaux est que l'organisation en temps de guerre doit se calquer au maximum sur celle du temps de paix : pour d'une part ne pas surajouter du bouleversement au choc

que constitue le passage à l'état de guerre, et d'autre part profiter de structures et de personnels déjà opérationnels, quitte à les faire monter en puissance là où le besoin s'en fait sentir. Et les étapes préparatoires de la mobilisation, relativement peu coûteuses, doivent être menées dès le temps de paix, ce qui permet également de sensibiliser et d'exercer les équipes à leurs fonctions spécifiques du temps de guerre. ☺

Philippe PUJES

## « L'ARTILLERIE DE TERRE EN FRANCE PENDANT UN SIÈCLE. HISTOIRE TECHNIQUE (1816-1919) »,

DU GÉNÉRAL CHALLÉAT (X1888), LIVRE EN DEUX VOLUMES TÉLÉCHARGEABLES GRATUITEMENT SUR LE SITE GALLICA DE LA BNF

Officier d'artillerie depuis 1890, Inspecteur des études et expériences techniques de l'artillerie de 1925 à 1929, le général Challéat était bien placé pour rédiger cet historique fouillé et critique de la fonction armement entre la fin des guerres napoléoniennes et la Première Guerre mondiale.

L'attitude des décideurs face aux possibilités ouvertes par la première révolution industrielle connaît une rupture avec la surprise de la victoire prussienne de Sadowa en 1866 puis, surtout, la défaite de 1870-71. Au conservatisme plus ou moins nonchalant, voire à la routine, succède un effort anxieux d'être à la page des progrès techniques. Trois grandes voies y concourent : suivi des avancées du monde civil (métallurgie, mécanique, chimie), recherche appliquée sur des domaines spécifiquement militaires (la balistique, par exemple) et veille sur les réalisations dans l'armement à l'étranger. Il

est mis fin au monopole public de la production d'armements pour associer l'industrie privée à cet effort d'innovation : cette mesure structurante doit diminuer durablement le risque d'un engourdissement intellectuel, une fois estompé le souvenir du choc de 1870.

On est frappé par cet épanouissement de la culture de l'innovation au sein de l'artillerie à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, permis par la conjonction du potentiel scientifique et technique de ses officiers (essentiellement polytechniciens) et de la volonté des décideurs (traduite en effort budgétaire et en récompenses des succès par l'avancement des individus). ☺

Philippe PUJES



## SOUVERAINETÉ ET SOLIDARITÉ : UN DÉFI EUROPÉEN

SOUS LA DIRECTION DE NATHALIE DE KANIV ET PATRICK BELLOUARD, IGA,  
PRÉFACÉ PAR E. MACRON, AUX ÉDITIONS DU CERF

Près de quarante spécialistes de cinq nationalités différentes ; politiques, historiens, journalistes, diplomates, chercheurs, philosophes, militaires, ingénieurs de l'armement offrent une réflexion sur l'histoire et le devenir de l'Union Européenne.

Quels sont les liens entre les notions de souveraineté et de solidarité ? Quel sens différent est associé à la notion de solidarité selon les Européens ? Quel éclairage l'histoire des nations européennes apporte-t-elle sur la question de souveraineté ? Comment le dialogue franco-allemand peut-il progresser, alors que le débat public montre des divergences ? Quelle est la position de la Suède et de la Finlande face à la défense européenne ? Comment se construit une décision à vingt-sept ? Les institutions européennes actuelles permettent-elles d'autres transferts de compétences pour améliorer la sécurité de l'Europe ? Quel partage de souveraineté dans le domaine



de la défense ? Quelles opérations militaires pour l'Union Européenne ? Quel modèle pour l'industrie de défense ? Comment concilier efficacement les dimensions nationale, multilatérale et européenne ? Quelle concentration pour les maîtres d'œuvre et les sous-traitants ?

Le domaine de la santé ou le pacte vert sont-ils des outils de reconquête de souveraineté ?

Y a-t-il une diplomatie européenne et une politique étrangère européenne ? Quel positionnement vis-à-vis de la Chine, de la Russie, des organisations internationales, de l'OTAN, des Etats-Unis ?

Tous ces spécialistes apportent des éléments pour éclairer les réflexions du lecteur sur ces thèmes. Cet ouvrage montre le chemin parcouru et les questions qui restent ouvertes pour le chantier de la souveraineté et de la solidarité européennes. ☞

MLL

## L'ENTREPRISE, L'INGÉNIEUR ET LE POUVOIR : SOUS LE SIGNE DE ZODIAC

PAR MARIO LE GLATIN ET OLIVIER ZARROUATI, ICA, AUX ÉDITIONS L'HARMATTAN

L'ouvrage se présente comme un dialogue socratique entre deux ingénieurs de l'aéronautique : un ancien et un jeune qui le connaît bien. Le premier, Olivier Zarrouati, qui a dirigé une grande entreprise industrielle cotée, promet de répondre sans artifices aux questions du second, Mario Le Glatin, jeune docteur en sciences de gestion. Promesse tenue. L'échange en cinq actes n'a pas le ton habituel des manuels de management. La partition à deux voix permet de traiter tous les aspects de la vie de l'entreprise sur un ton alerte qui évite les longs développements, sans pour autant rester à la surface des choses.

Le premier acte, intitulé « Ce que l'on est » traite du management humain, avec une liberté et une sincérité rarement rencontrées dans les mémoires de dirigeants.

Le second « Ce que l'on fait » est un cours de stratégie d'entreprise. En peu de pages, il ramasse avec clarté les concepts clé qui pourraient former le tronc commun de toutes les Ecoles de Management.

« Ce que l'on fait ensemble » est le titre du troisième, qui



décline les principes précédemment posés en un corpus de méthodes justes de l'action collective.

Le quatrième acte « Ce que l'on fait seul » est certainement celui qui attirera le plus de curiosité. Il relate de l'intérieur, comme un « cas d'application » des règles énoncées plus haut, l'opération de cession de Zodiac Aerospace à Safran. Un thriller à lui seul, raconté là encore avec une rare franchise.

L'ouvrage se conclut sur un cinquième acte, opportunément nommé « Ce qui dure », qui replace les développements précédents dans une réflexion sur la durabilité de l'entreprise. Ce dernier dialogue, prenant pour appui le cas des entreprises aéronautiques, amène à un panorama plutôt optimiste sur l'avenir du transport commercial mondial. Une fresque qui, pour être riche en détails piquants, ne manque pas de hauteur.

L'ensemble décrit une pensée qui, pour creuser profond, n'oublie pas de rester utile, et ancre sa crédibilité dans autant qu'il en faut d'exemples concrets. A lire pour le plaisir !... ☞

Olivier Martin

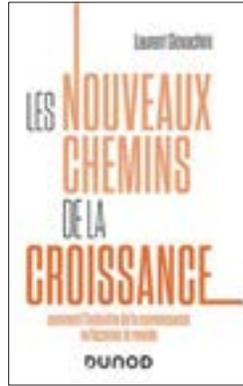
## LES NOUVEAUX CHEMINS DE LA CROISSANCE, COMMENT L'INDUSTRIE DE LA CONNAISSANCE VA FAÇONNER LE MONDE

PAR LAURENT GIOVACHINI, IGA, CHEZ DUNOD

Ce livre, résolument volontariste, analyse les défis stratégiques auxquels sera confrontée la France à la sortie de la crise du covid et propose des pistes de réflexion basées sur l'industrie de la connaissance. L'industrie de la connaissance est constituée par les activités de service à forte valeur ajoutée : les métiers du numérique, de l'ingénierie, du conseil, de l'événementiel et de la formation professionnelle.

L'industrie de la connaissance est dans l'angle mort de l'économie française, des politiques comme des médias, alors qu'elle est très dynamique et créatrice d'emplois. C'est le secteur qui crée le plus d'emplois. Les start-ups ne sont que la partie émergée de cette industrie. Pour disposer d'une industrie de la connaissance forte, il faut d'abord réconcilier les français avec le progrès. L'autonomie stratégique repose sur la maîtrise des sciences et technologies. Dans l'administration, les ingénieurs ont cédé la place aux énarques. Il faut faire un effort de formation initiale et continue. Dans le nouveau réseau d'établissements supérieurs avec une articulation qui a évolué entre les grandes écoles et les universités, le monde économique doit être impliqué et l'attractivité pour les jeunes diplômés doit être accrue pour garder les talents en France. Le monde du numérique doit féminiser ses effectifs.

Le dialogue Etat-acteurs économiques doit être renouvelé ; l'Etat doit être un investisseur avisé associé aux



financements privés, à l'image de ce qui est fait dans le secteur de la défense avec la DGA, bras armé de l'Etat. Une politique industrielle pourrait être définie dans le domaine de la santé.

L'Union Européenne doit reconquérir son autonomie stratégique dans les domaines de la santé, de l'électronique, de l'agroalimentaire, des télécommunications et des intrants utilisés dans l'industrie. La réindustrialisation sera efficace en s'appuyant sur les technologies du numérique. La souveraineté numérique s'appuie sur la cybersécurité, la

maîtrise des données, en développant des fournisseurs de service européens, et la construction de leaders mondiaux en Europe, plutôt dans le B2B et le B2G (« Business To Government ») que dans le B2C qui est déjà saturé.

La réduction des fractures territoriales est un enjeu et doit faire l'objet d'une politique publique d'aménagement du territoire hors des métropoles, avec les moyens apportés par le numérique. Enfin la technologie doit être au service de la transition écologique, contre le mirage de la décroissance.

Laurent Giovachini s'appuie sur son expérience d'ingénieur de l'armement, de directeur général adjoint de Sopra Steria et de président de la fédération Syntec pour livrer un document synthétique et opératoire, proposant un véritable programme à destination des décideurs !

Monique Legrand Larroche

## CORPS ET ÂME : UN MÉDECIN DES FORCES SPÉCIALES TÉMOIGNE,

PAR NICOLAS ZELLER, AUX ÉDITIONS TAILLANDIER

Nicolas Zeller, médecin en chef des Armées témoignait sous son seul prénom dans notre numéro 122 sur l'augmentation des performances permises par la technologie, et insistait sur la force intérieure résultant d'une croissance équilibrée du combattant, corps, âme et esprit. Il développe dans un livre salué par la presse sa double expérience de militaire et de médecin tant auprès des forces conventionnelles que des forces spéciales. Le soldat est celui à qui la société délègue le poids de porter la violence, au nom de la sécurité. Il s'expose pour cela à la blessure et à la

mort, sans esprit sacrificiel évidemment, mais en acceptant le risque. Dans ce cadre, la force physique et l'intellect sont nécessaires mais ne suffisent pas ni pour vaincre, ni pour supporter. Il faut une force morale, une « profondeur d'âme » pour tenir. Et cette force morale s'entretient. Un livre dont l'ambition est de faire comprendre ce qu'est un soldat, d'autant plus important que les valeurs qu'il porte, par exemple le service gratuit de la nation, ne sont pas forcément dominantes dans la société civile.

JDD

**PAR ARRÊTÉ DE SEPTEMBRE 2021****Est nommé :**

L'ICA Grandemange (Christophe), président de la section études techniques du Conseil général de l'armement (1<sup>er</sup> septembre 2021 – JO du 23 décembre 2021).

**PAR DÉCRETS DE NOVEMBRE 2021****Sont nommés :**

L'IGA HC et Contrôleur général des armées en service extraordinaire Dufour (Patrick), membre du conseil d'administration de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, au titre des personnalités qualifiées dans le domaine relevant de la compétence de l'établissement (12 novembre 2021).

L'ICA Vieste (Laurent), membre du Conseil d'administration de l'Office national d'études et de recherches aérospatiales en qualité de représentant de l'Etat (26 novembre 2021).

**PAR DÉCRETS DE DÉCEMBRE 2021****Est nommé au grade d'ingénieur général de 1<sup>re</sup> classe :**

Pour prendre rang du 1<sup>er</sup> janvier 2022

L'IGA2 Fournier (Nicolas).

**Sont nommés au grade d'ingénieur général de 2<sup>e</sup> classe :**

Pour prendre rang du 1<sup>er</sup> janvier 2022

L'ICA Salahun (Caroline).

L'ICA Belloeil (Thierry).

L'ICA Jourlin (Bertrand).

L'ICA Pardoux (Michel).

**Sont nommés :**

L'IGA2 Lemaire (Jérôme), chargé des fonctions de chef du Service de la qualité du Service central de la modernisation et de la qualité de la DGA (1<sup>er</sup> janvier 2022).

L'IGA2 Lahousse (Alexandre), chargé des fonctions de chef du Service des affaires industrielles et de l'intelligence économique de la DGA (1<sup>er</sup> janvier 2022).

L'IGA2 Reix (Jean), chef de cabinet du Délégué général pour l'armement (1<sup>er</sup> janvier 2022).

L'IGA2 Laporte (Emmanuel), chargé de la sous-direction Europe centrale et orientale et Amérique du Sud à la Direction du développement international (1<sup>er</sup> janvier 2022).

**PAR DÉCRETS DE JANVIER 2022****Est élevé au rang et appellation d'ingénieur général hors classe :**

L'IGA1 Fournier (Nicolas) (5 janvier 2022).

**Est nommé :**

L'IGA1 Cailliez (Yannick), chargé des fonctions de sous-directeur « opérations » de la Direction de la maintenance aéronautique (1<sup>er</sup> février 2022).

**PAR DÉCRET DE FÉVRIER 2022****Est nommée :**

L'IGA2 Baroux (Marie-Hélène), chargée de mission mise en œuvre des nouveaux modes de travail à la DGA, auprès du Directeur des ressources humaines de la DGA (14 février 2022).

**MOUVEMENTS DE SEPTEMBRE 2021**

NOM	PRÉNOM	GRADE	DÉPART	ARRIVÉE
CALDAIROU (1993)	PIERRE	IA	DT/EV/CZ	EPNER
GIBERGUES (1994)	MAGALIE	IA	DT/EV/IS	EPNER

**MOUVEMENTS D'OCTOBRE 2021**

NOM	PRÉNOM	GRADE	DÉPART	ARRIVÉE
GUILMART (1985)	CHRISTOPHE	ICA	DT/IP	DT/ST
AUFRANT (1990)	LAURIANE	IPA	DT/MI	INRIA
MAUDOU (1987)	LOIC	ICA	CEA	DT/EM

**MOUVEMENTS DE NOVEMBRE 2021**

NOM	PRÉNOM	GRADE	DÉPART	ARRIVÉE
RODIER (1977)	BRUNO	ICA	SASD/ASP	DI/MSOE
BLAES (1977)	DOMINIQUE	ICA	DO/UMC2ER	DO/ UMACE
MONVILLE (1989)	PIERICK	IPA	DT/IP	DO/ UMCOE
WOJSZVZYK (1993)	LEO	IA	DT/IP	ABSOLUT SYSTEM
ARNAUD (1972)	WALTER	ICA	MIN SANTE	S2IE

**MOUVEMENTS DE DÉCEMBRE 2021**

NOM	PRÉNOM	GRADE	DÉPART	ARRIVÉE
LENCK (1984)	JEAN-CHARLES	ICA	DO/SMCO	DP/SDP/ UMTER
VISSIERE (1985)	NADEGE	ICA	DP	CAB- MINARM
VALLEE (1982)	ANNE-LAURE	ICA	DO/UMC2ER	SASD

**MOUVEMENTS DE JANVIER 2022**

NOM	PRÉNOM	GRADE	DÉPART	ARRIVÉE
JAULMES (1982)	ROBIN	ICA	DP	AND
SAINT-PIERRE (1988)	JEAN-BENOIT	IPA	DT/EV/CZ	DT/IP
BENAC-LESTRILLE (1986)	GAETAN	ICA	DT/MNRBC	DGE BIENS DOUBLE USAGE
AUVRAY (1982)	NASSIMA	ICA	CAB- MINARM	ORANGE BUSINESS SERVICES

**ONT ÉTÉ NOMMÉS :**

**Cédric Clolus** (1982), Chef du bureau Défense et mémoire à la Direction du Budget (1/9/2021)

**Olivier Robert** (1973), Agence du numérique de défense (1/9/2021)

**Philippe Hugon** (1971), Leader fleet services au sein de OTAN/NAHEMA (1/9/2021)

**Jean-Philippe Dufour** (1975), Directeur adjoint de l'ISAE-SUPAERO (1/9/2021)

**Marc Berville** (1959), Directeur associé de la société de conseil aux dirigeants Arclès (1/9/2021)

**Philippe Warin** (1976), Directeur du programme DESCARTES à l'Agence du numérique de défense (1/9/2021)

**Vincent Bouëdec** (1963), Expert en technologies de défense à l'Agence de l'Innovation de Défense (AID) (1/9/2021)

**Frédéric Pradeilles** (1967), Directeur du département soutien technique et scientifique de EUMETSAT (1/10/2021)

**Olivier Martin** (1957), Président d'ICARION CONSULTING (2/10/2021)

**Cyrille Poetsch** (1970), Directeur du pôle aéronautique et défense de AECE Group (1/11/2021)

**Hervé Multon** (1962), senior advisor chez Axcel partners (1/11/2021)

**Robin Jaulmes** (1982), DP SIA à l'Agence de l'Innovation de Défense (AID) (1/11/2022)

**Philippe Bourgault** (1978), Programme manager A400m à l'OCCAR/Toulouse (1/11/2022)

**Patrick Hadou** (1964), Conseiller militaire du directeur exécutif de l'EASA/Cologne (17/11/2022)

**Cyril Goutard** (1976), Responsable appro de la Task Force Vaccination du Ministère de la Solidarité et de la Santé (17/11/2022)

**Thibaut Marrel** (1973), SGDSN (21/11/2022)

**Victor Cauchois** (1990), Chargé de participation industrie à l'Agence des Participations de l'Etat (1/12/2022)

**Franck Louvet** (1980), Programme manager à l'OCCAR/Malakoff (1/12/2022)

# BLINDÉS

Nexter, architecte et systémier intégrateur de défense terrestre en France, est une référence majeure dans les systèmes blindés de combat et d'artillerie et dans le domaine munitionnaire. Nexter conçoit des solutions innovantes dans les composantes terre, air et mer, afin d'apporter aux forces armées françaises et étrangères un avantage opérationnel décisif.

**TOURELLES  
& CANONS**

**MUNITIONS**

**ÉQUIPEMENTS**

**SYSTÈMES  
D'ARTILLERIE**

**SERVICES  
CLIENTS**



# Sogitec

A Dassault Aviation Company

GEN+US

## SIMULATION GÉNÉRIQUE UAS/DRONES

LA SOLUTION QUI OPTIMISE LA FORMATION  
ET L'ENTRAÎNEMENT DE VOS ÉQUIPAGES DE DRONES

L'utilisation de simulateurs génériques haute performance est la réponse aux besoins de formation et d'entraînement des équipages d'UAS/drones.

