

# VORTEX

Études sur la puissance aérienne et spatiale

N°3 - JUIN 2022

**Puissance aérienne et nouvelles technologies**



**Directeur de la publication :**

GBA Julien Sabéné, directeur du CESA

**Directeur de la publication adjoint :**

Col Richard Gros

**Rédacteur en chef :**

Jean-Christophe Noël

**Rédacteurs en chef adjoint:**

Cne Ivan Sand  
Slt Pierre Vallée

**Assistant de rédaction :**

Amy Yanan Zhang

**Comité de rédaction :**

Patrick Bouhet  
Lcl Romain Desjars de Keranroue  
Philippe Gros  
Laurent Henninger  
Thomas Hippler  
Jean-Baptiste Jeangène-Vilmer  
Col Anne Labadie  
Col Jean-Patrice Le Saint  
Col David Pappalardo  
Stephen Rookes  
Olivier Schmitt  
GCA Philippe Steininger  
Elie Tenenbaum  
Olivier Zajec

**Relecture :**

Valentin Breniaux  
Eileen Dautry  
Joaquim Gaignard  
Alexis Martineau  
Cne Louise Matz  
Lt Anne Maurin  
Thomas Médard  
Valentin Nicod  
Guénoilé Reucheron  
Marie Socasau  
Mathilde Toussaint

**Traductions :**

Jere Hamilton  
Christopher Hyde  
Amy Yanan Zhang

**Maquettage :**

Emmanuel Batisse  
Philippe Bucher  
Sgt Nadir Bouras

**Diffusion :**

Claude Donavin  
Clc Mathieu Cornu

**Correspondance :**

CESA  
1 place Joffre – 75700 Paris SP 07 – BP 43  
Tél. : 01 44 42 83 96

**Photogravure et impression :**

Imprimerie EDIACA  
Établissement d'impression, de diffusion et  
d'archivage du commissariat des armées

**Contact :**

vortexlarevue@gmail.com

**Tirage : 900 exemplaires**

# S O M M A I R E

Survol.....	3
-------------	---

## Puissance aérienne et nouvelles technologies

Les sciences humaines pour penser la technique ?.....	9
Introduction aux nouvelles technologies.....	17
Créer une industrie de défense européenne moderne et réactive .....	29
Hypersonique : entre rhétorique et réalité.....	41
Le quantique au service de la troisième dimension.....	55
La machine comme partenaire. La question du <i>Human Autonomy Teaming</i> .....	73
Les drones et leurs pilotes. Les technologies et les hiérarchies sociales dans l'armée de l'Air et de l'Espace.....	87
L'emploi des drones : un atout sous-estimé pour la puissance aérienne ? ....	101
L'intelligence artificielle a-t-elle triomphé des groupes armés ? Retour d'expérience de l'emploi de technologies avancées par les Forces de défense israéliennes dans l'opération « Gardien des murs ».....	113

## VARIA

Premiers enseignements sur l'utilisation de la puissance aérienne russe en Ukraine après un mois de conflit (24 février – 24 mars 2022) .....	131
La cosmostratégie offensive de la Russie.....	147
Des vides et des pièges : défendre l'espace aérien russe .....	163

## HISTOIRE

---

Reconstruire la défense aérienne française d'après 1945, dix années  
d'équilibre entre souveraineté et intégration (1945-1955)..... **183**

## INTERVIEW

---

Entretien avec le général d'armée aérienne Stéphane Mille,  
chef d'état-major de l'armée de l'Air et de l'Espace..... **197**

## RECENSIONS

---

Le temps des guépards. La guerre mondiale de la France :  
de 1961 à nos jours ..... **219**  
The Changing of the Guard / Blood, Metal and Dust. .... **225**  
Air Power in the Age of Primacy ..... **231**

**Les articles proposés dans ce numéro ne reflètent que la vue des auteurs.**

**Ils n'engagent en aucun cas le ministère des Armées,  
le *Department of Defense* ou le ministère de la Défense israélien.**

# Survол

Jean-Christophe Noël

Chers lecteurs,

On la pensait révolue, peut-être même disparue, en tout cas repoussée hors des frontières de l'Europe. Et pourtant, le 24 février 2022, la guerre rééclate brutalement, embrasant l'Ukraine. Le Sud des « Terres de sang », surnom donné par T. D. Snyder à ces régions où le nazisme et le stalinisme régnèrent, interagirent, puis se combattirent entre 1933 et 1945, causant la mort de 14 millions de civils, est à nouveau le théâtre de violence et de destructions.

Évidemment, chacun cherche à comprendre les enjeux de cette guerre et la manière dont elle se déroule. L'historiographie nous apprend la modestie et il convient de rester prudent dans les analyses. Notre compréhension de la guerre entre l'Union soviétique et l'Allemagne nazie entre 1941 et 1945 a par exemple été obscurcie par la publication de sources principalement allemandes pendant la Guerre froide, entraînant une vision biaisée des événements. L'ouverture des archives soviétiques à partir de 1991 a permis de corriger largement certaines interprétations et de donner du sens à des événements qui intriguaient, comme l'inaction de Staline avant le déclenchement de Barbarossa. Ayons à l'esprit que notre ignorance dépasse largement nos connaissances pour le moment.

Pour autant, la vocation des analystes militaires et autres stratégestes est d'essayer de comprendre ce qui se passe pour anticiper les prochains événements et d'améliorer la préparation des forces armées. Certaines tendances se dessinent malgré tout sur le champ de bataille. Les Russes, qui souffrent de leur entrée en guerre complètement manquée, reviennent à des principes élémentaires et cherchent à conquérir du terrain en consommant en large quantité des munitions, du matériel et des hommes. Les Ukrainiens, dont la résistance initiale a surpris et impressionné, tentent de moderniser leur arsenal et de l'occidentaliser de manière accélérée. Une guerre d'attrition semble s'installer, où la manœuvre a disparu et dont l'issue dépendra notamment des stocks, capacités de production et performances logistiques de chacun des camps.

Pris entre le souhait de ne pas livrer des commentaires faciles, superflus et vite invalidés et le désir d'informer nos lecteurs, nous avons finalement fait le choix de publier trois articles consacrés à la Russie en décalant parfois notre regard.

La rubrique *Varia* débute par une interprétation des événements du premier mois de la guerre écrite par G. Coulombel, M. Pinel, X. Rival. Dépassant la simple narration des combats, ils évoquent les aspects industriels du conflit et insistent sur le cadre doctrinal dépassé des forces aérospatiales russes. Ce sera d'ailleurs probablement une des énigmes à résoudre dans l'avenir. Pourquoi les aviateurs russes, qui n'ignorent pas les textes conceptuels occidentaux, n'ont pas été en mesure de plus peser sur le conflit ?

A. Maurin complète avec P. Grasser cette rubrique *Varia* par deux textes. La première autrice offre une belle synthèse sur la stratégie spatiale russe. Elle insiste sur le fait que la Russie cherche à maintenir son statut de puissance spatiale malgré des moyens très comptés et développe des capacités de nuisance pour montrer qu'elle compte toujours. La guerre en Ukraine pourrait stimuler les investissements et amorcer une nouvelle phase... si les moyens le permettent. Le second auteur revient sur les capacités *A2/AD* russes, aspect peu commenté depuis février 2022, alors que les débats sur les performances réelles des moyens sol-air russes se multipliaient avant le déclenchement de « l'opération spéciale » contre Kiev. L'auteur nous rappelle que l'immensité du territoire russe contraint Moscou à faire des choix pour protéger ses cieux.

La manière dont la guerre est conduite dans le Donbass annonce pour certains l'apparition d'un nouveau cycle de l'art de la guerre et le retour de la guerre aéroterrestre de haute intensité. Peut-être, même s'il ne faut pas oublier que la guerre est un caméléon, comme l'écrivait Clausewitz il y a maintenant près de deux siècles. Acte de violence organisé, elle change de forme en fonction des circonstances, des acteurs, de leurs buts politiques... et des technologies employées, aurions-nous envie d'ajouter. Des affrontements similaires à ceux du Donbass pourraient être conduits de manière fort différente si les capacités des deux belligérants étaient autres. Les Ukrainiens, qui l'ont d'ailleurs bien compris, cherchent à faire évoluer leurs systèmes de force. La relation entre les nouvelles technologies de pointe et le devenir de la puissance aérienne constitue justement le thème du dossier principal de ce troisième numéro.

Trois articles introduisent ce dossier. Le premier, écrit par L. Henninger, sert de piqure de rappel pour tous ceux qui penseraient que la technologie est le seul facteur décisif de la guerre moderne. Il montre que les capacités technologiques ne sont qu'un des éléments d'un ensemble bien plus complexe qui joue dans l'adaptation et l'évolution des organisations militaires. Il appelle à mieux prendre en compte les sciences humaines pour appréhender ce phénomène. C. Talon offre ensuite l'opportunité à ceux qui ont toujours voulu savoir comment fonctionnaient les nouvelles technologies (l'hypersonique, le quantique et l'intelligence artificielle [IA]) sans jamais oser le demander de s'informer enfin.

Ils pourront surtout mieux comprendre les enjeux associés au développement de ces technologies. Le troisième article, écrit par N. Nelson et A. Stiles, fait le point sur l'expérience américaine du déploiement et de l'intégration industriels des nouvelles technologies de rupture pour tirer des leçons qui pourraient profiter aux Européens. Certains pourront regretter que cet article ne tienne pas assez compte des choix politiques de souveraineté, mais il a le grand mérite de montrer que des changements doivent aussi s'opérer en amont du champ de bataille pour que les combattants soient performants.

Les lecteurs, qui souhaitent approfondir leurs connaissances, consulteront avec profit les trois articles suivants qui développent plusieurs autres thèmes liés à ces trois technologies. D. Pappalardo analyse et compare les différentes options choisies par les grandes puissances pour le développement des technologies hypersoniques. Il souligne les nouveaux dilemmes stratégiques qui émergent, rappelant qu'ils sont souvent plus liés aux doctrines qu'à la technologie elle-même. P. Vallée explore les différentes déclinaisons dans le monde aéronautique que pourraient susciter les avancées de la science quantique. Certains projets potentiels sont inattendus et stimuleront sans aucun doute l'imagination des lecteurs. L'auteur prend néanmoins soin de calmer toute ardeur excessive en estimant que ces applications ne seront pas nécessairement des *game changers* à l'avenir. Enfin, G.A. Boy s'intéresse à la relation homme-machine et réfléchit aux enjeux de confiance et de collaboration qui vont être renouvelés avec le développement de l'IA. L'auteur privilégie la voie empirique pour résoudre les problèmes émergents et progresser dans ce domaine.

Loin de ces technologies de rupture, le grand public considère probablement que le symbole de la nouveauté en aéronautique est le drone. Deux articles sont proposés pour réfléchir à leur introduction et leur emploi dans les forces. En tant que sociologue, V. Karioty enquête en général sur la manière dont les nouvelles technologies sont intégrées dans des organisations militaires et s'interroge plus particulièrement sur la façon dont le personnel navigant de l'armée de l'Air et de l'Espace a vécu l'arrivée des drones. Tiré de sa thèse, cet article montre que les choses se sont plutôt bien déroulées, même si l'autrice n'évade pas certaines tensions. R. Desjars de Keranroué développe quant à lui une réflexion sur l'emploi opérationnel des drones. Il estime que la complémentarité entre les systèmes d'arme classiques comme les avions de chasse ou les MALE, très performants mais onéreux et des catégories de drones moins chers et produisant des effets militaires substantiels sur le champ de bataille mérite d'être explorée. Une des idées sous-jacentes est de massifier nos flottes d'aéronefs.

Le dernier texte qui clôt le dossier mêle usage des nouvelles technologies, retours d'expérience opérationnelle, contraintes de la guerre urbaine, évocation de la montée en gamme des capacités militaires de mouvements armés terroristes. L. Antebi nous gratifie d'un article pouvant servir de synthèse au dossier, qui porte sur l'utilisation des nouvelles technologies lors de l'opération Gardien des Murs dans la bande de Gaza en mai 2021. Cette opération annonce-t-elle, comme

la guerre du Kippour en 1973 avec la prolifération des missiles tactiques, l'apparition de nouvelles technologies qui vont se répandre sur le champ de bataille dans le futur ? L'avenir le dira, mais la lecture de cet article offre déjà quelques éléments de réflexion qui tranchent avec les leçons qu'on peut retenir du conflit en Ukraine.

L'article historique nous ramène à une époque où la technologie des moteurs à réaction venait d'apparaître. Ce n'est pourtant pas le facteur le plus important qui va déterminer l'essor de la défense aérienne française dans l'après-guerre, comme nous le montre L. Paoletti. La question de la souveraineté de la France pèse lourdement dans un contexte de pérennisation de la présence américaine en Europe avec l'OTAN et de réarmement nécessaire face aux craintes d'invasion soviétique.

Pour la première fois, la personnalité qui occupe la rubrique « interview » est française. Mais elle est très particulière et en un sens, unique, car il s'agit du premier des aviateurs militaires français. Le général Mille, chef d'état-major de l'armée de l'Air et de l'Espace (AAE), a bien voulu nous recevoir pour nous accorder un entretien très riche, où l'homme, le pilote et le chef militaire se dévoilent quelque peu. Il nous présente aussi dans le détail sa vision pour l'AAE. Parmi les très nombreux thèmes abordés, on soulignera son désir d'inscrire l'emploi de la puissance aérienne dans un cadre interarmées en faisant briller tous les atouts de notre AAE.

La rubrique de recensions de livres clôt ce numéro. Anticipant les propos du général Mille, nous élargissons le spectre des thèmes abordés en nous intéressant aux ouvrages traitant de questions militaires interarmées et plus seulement de puissance aérienne. Les livres chroniqués dans ce numéro offrent des analyses critiques des performances des armées engagées dans diverses opérations lors des dernières décennies. Les trois premiers ouvrages qui ont retenu notre attention font le point sur les opérations récentes de l'armée française et de l'armée de Terre britannique. Mais nous n'abandonnons pas pour autant le domaine de la guerre aérienne en rendant compte d'un livre nécessaire et utile pour mieux saisir la nature des 30 dernières années de guerre aérienne. Le lecteur pourra juger en quoi le conflit ukrainien s'inscrit dans la continuité de ces conflits ou s'en éloigne.

Si vous souhaitez réagir au contenu de ce numéro, ou pour toute demande de renseignement, toute proposition, nous demeurons à votre écoute sur l'adresse [vortexlarevue@gmail.com](mailto:vortexlarevue@gmail.com).

Nous vous souhaitons une excellente lecture.

## DOSSIER

# *Puissance aérienne et nouvelles technologies*



# Les sciences humaines pour penser la technique ?

Laurent Henninger

*Laurent Henninger est historien militaire et travaille sur le concept de « révolution militaire » et ses différentes occurrences à travers les âges. Il est par ailleurs membre du comité de rédaction du magazine Guerres & Histoire.*

Depuis une trentaine d'années, l'expression « révolution militaire » est constamment utilisée pour caractériser un peu tout et n'importe quoi<sup>1</sup>. Par-delà l'effet marketing d'une telle inflation sémantique, penchons-nous sur l'une des rares « révolutions » qui pourrait légitimement mériter cette appellation : la « révolution militaire » des Temps modernes (du XV<sup>e</sup> au XVIII<sup>e</sup> siècle). Ce petit voyage dans le temps devrait permettre de mieux cerner la problématique que nous entendons aborder : les différentes sciences humaines apportent-elles des outils intellectuels pertinents pour penser la technique ?

## **La technologie est-elle la seule à bouleverser l'art de la guerre ? La révolution militaire des Temps modernes**

Il est d'usage de placer au centre de ce phénomène historique l'apparition et la diffusion des armes à feu – collectives (l'artillerie) et individuelles (arquebuses, puis mousquets et enfin fusils) – pour expliquer l'intégralité des événements et processus qui structurent alors l'art de la guerre. Or, il apparaît que cette vision est très réductrice et même idéologique car elle en limite considérablement l'étendue et la profondeur et donc la pleine compréhension. Dès lors qu'on se penche avec un minimum de sérieux sur cette affaire, on constate que cette révo-

---

1. En réalité, cette expression est utilisée dans deux cadres et dans deux débats. D'une part, elle est employée par les historiens des Temps modernes pour désigner l'ensemble des bouleversements dans l'art de la guerre qui se sont produits du XV<sup>e</sup> au XVIII<sup>e</sup> siècle et qui ont pour cœur l'apparition et la diffusion des armes à feu. D'autre part, elle fait référence à un débat lancé au Pentagone dans les années 1990 autour des bouleversements observés depuis la première guerre du Golfe et axés sur la numérisation du champ de bataille. Voir les différents articles consacrés à cette notion dans T. de Montbrial et J. Klein (dir.), *Dictionnaire de stratégie*, Paris, PUF, 2000.

lution a commencé deux siècles auparavant, vers la fin du Moyen Âge, avec la montée en puissance en Europe occidentale et centrale, d'infanteries populaires (rurales ou urbaines). Ces troupes à pied étaient généralement issues de luttes sociales ou politiques mettant aux prises des populations paysannes ou « bourgeoises » (au sens médiéval du terme, c'est-à-dire des habitants des villes) face à l'aristocratie féodale et à son système d'armes socio-tactique : la chevalerie. On a donc là un bouleversement qui ne doit rien à de nouvelles technologies, mais tout à de nouvelles tactiques dans le cadre de conditions sociales, politiques et économiques nouvelles. À cet égard, cette situation est comparable à celles qui virent naître la phalange hoplitique grecque ou la légion romaine<sup>2</sup>.

Le seul aspect technique – et non pas technologique – de cet essor de l'infanterie réside dans la recherche d'armes pour mettre à distance la lourde chevalerie, à la puissance de choc frontal considérable. Armes à hampe longue ou armes de jet mécaniques sont ainsi largement diffusées. À l'inverse, quand le combat de mêlée est inévitable, on voit apparaître des armes marquant sociologiquement le combat de fantassins contre des cavaliers. La hallebarde est à cet égard emblématique puisqu'elle combine une pointe (pour les coups d'estoc), une hache (pour les coups de taille), un crochet (pour désarçonner un cavalier), le tout monté sur une hampe suffisamment longue pour atteindre l'adversaire.

Notons que rien ne relève ici d'une « percée technologique » : nul nouveau métal ou nouveau mécanisme, uniquement la large mise en œuvre d'armes connues depuis des siècles. Quelques décennies plus tard, on verra apparaître les armes à feu individuelles, qui finiront par supplanter l'arc et l'arbalète. Pourtant, d'un strict point de vue technique, ces nouvelles armes étaient en tous points inférieures aux armes de jet mécaniques : elles étaient moins précises, coûteuses à produire et à acheter, ne fonctionnaient pas par temps humide, portaient moins loin et étaient d'un emploi dangereux pour leur utilisateur. Si l'on avait appliqué la logique « technologique » en vigueur un peu partout de nos jours, les armes à feu individuelles n'auraient jamais dû l'emporter sur les arcs et les arbalètes. Elles finirent tout de même par le faire, pour une raison précise : elles nécessitaient un apprentissage bien plus simple et rapide (quelques semaines, tout au plus), permettant à un prince puissant et riche de disposer rapidement d'une infanterie pléthorique, là où un archer avait besoin de cinq ans d'entraînement quotidien pour devenir efficace. Leur progression technologique ne décollera véritablement que dans un second temps.

La suite de cette révolution militaire des Temps modernes verra les sciences et les techniques mener le bal dans tous les domaines, à commencer par la guerre navale. Les sciences fondamentales elles-mêmes (mathématiques, physique, etc.) furent à l'avant-garde de cet essor. Mais la problématique devient alors

---

2. On ne peut expliquer l'apparition de ces deux formations tactiques qu'à partir de la montée en puissance de « classes moyennes » de petits propriétaires, tant en Grèce qu'à Rome et de leur participation à la guerre en tant que force principale militaire, reflétant leur place politique et sociale.

tout autre, car on réalise que cette révolution militaire ne fut en réalité « que » le volet militaire d'un bouleversement global affectant la civilisation occidentale et se diffusant au reste du monde, puisque l'Occident se lança dans une vaste entreprise de domination. Il convient donc de penser ce mouvement historique comme un tout, avec la Réforme religieuse, les changements sociaux (la montée en puissance d'une nouvelle classe : la bourgeoisie ; et le déclin progressif d'une autre : l'aristocratie foncière), politiques (la naissance et le déploiement de l'État moderne avec son appareil bureaucratique), économiques (la naissance et l'essor du capitalisme), géographiques (les Grandes Découvertes et la colonisation, évoquées ci-dessus), artistiques et surtout philosophiques, lesquels y jouèrent un rôle moteur.

Preuve que la technique ne peut pas être pensée en dehors de ces phénomènes, c'est précisément de la rencontre et des échanges constants entre militaires, maîtres-artisans, inventeurs, entrepreneurs, banquiers, navigateurs, mathématiciens, philosophes, artistes, architectes qu'est née l'ingénierie moderne, alors que l'Asie, où ces fusions intellectuelles furent empêchées, resta cantonnée dans l'ingéniosité<sup>3</sup>, avec toutes les limites que l'on imagine... Au passage, n'oublions pas que la diffusion et l'amélioration continue des armes à feu de toute nature entre les XV<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles modifieront jusqu'à la nature du courage guerrier, passant d'un courage héroïque, démonstratif et théâtral, à un sobre courage stoïcien, fait d'acceptation et de fatalisme.

On peut aussi aborder cette problématique de l'interaction entre les techniques et les sociétés en la prenant en quelque sorte « à l'envers » à travers trois exemples. On a longtemps cru que les sociétés précolombiennes ne connaissaient pas l'usage de la roue, jusqu'à ce que des archéologues découvrent des jouets d'enfants montés sur de petites roues. Le principe était donc connu, mais les raisons de ce refus de le mettre en œuvre restent encore l'objet de conjectures<sup>4</sup>.

Les Chinois du XIV<sup>e</sup> siècle, quant à eux, maîtrisaient les nombreuses techniques et technologies nécessaires à la navigation hauturière transocéanique. Les célèbres expéditions de l'amiral Zheng He qui atteignirent les côtes orientales de l'Afrique le prouvent. Pourtant, peu de temps après son retour, une décision impériale ordonna la destruction des navires et de leurs plans, ainsi que l'interdiction formelle de se lancer à nouveau dans de telles entreprises. La cour impériale et la caste des mandarins pensaient qu'une large ouverture sur le reste du monde et les influences étrangères créeraient du chaos, mais entraîneraient aussi inmanquablement la montée en puissance de la classe des marchands à leur détriment, ce qui ne manquerait pas de bouleverser l'oli-

---

3. À la différence de ce que nous nommons ici « l'ingéniosité », l'ingénierie n'a pas pour unique objet de fabriquer des artefacts ou des machines, voire des gadgets, mais de les mettre au service d'une transformation plus vaste et plus profonde. Elle exprime toute la différence existant entre un inventeur et un entrepreneur. Partant de l'analyse d'un besoin, elle sort du strict domaine de la technique pour toucher d'autres domaines qu'elle engendre dans un processus systémique et global.

4. Voir R. Metz, *Histoire politique de la roue*. Paris, Vuibert, 2020.

garchie dirigeante et même tout l'ordre social, assimilé dans cette civilisation à l'ordre céleste.

Revenons enfin brièvement dans le Nouveau Monde avec les tribus indiennes des grandes plaines d'Amérique du Nord. Lorsqu'elles découvrirent le cheval avec les troupeaux formés de bêtes échappées d'élevages espagnols du Mexique revenues à l'état sauvage, les Indiens, qui avaient pourtant l'occasion d'observer la façon dont les Espagnols utilisaient leurs montures, choisirent de ne pas adopter la selle lourde à étriers et de monter à cru. Les anthropologues ont aujourd'hui compris que cette décision était issue de leur cosmologie dans laquelle les animaux sont les égaux des humains. Il ne fallait donc pas les monter au moyen d'artefacts contraignants, mais bien au contraire tenter de faire corps avec la bête en la dirigeant avec les cuisses.

Ces trois exemples ne sont pas là pour faire l'éloge de ces civilisations et de leurs refus de certaines innovations. Il s'agit de montrer que la recherche systématique du progrès technique n'est pas un absolu traversant toute l'humanité et son histoire, qu'il n'existe pas de déterminisme de la technique, mais seulement des déterminants techniques<sup>5</sup>. Par ailleurs, il est aussi nécessaire de comprendre que certaines configurations civilisationnelles et sociales peuvent bloquer tout ou partie des processus d'innovation. L'intérêt est alors pour le chercheur de comprendre précisément lesquelles et selon quelles modalités.

### **L'importance des sciences humaines pour comprendre et contrôler le développement technologique**

Il y a longtemps que décideurs politiques, stratèges et stratégestes prennent en considération les facteurs militaires proprement dits, notamment tactiques, mais aussi les facteurs économiques, financiers et géographiques. Mais tout ce qui fait l'objet de la recherche et de la pensée dans les disciplines des « sciences humaines » (anthropologie, sociologie, histoire, philosophie, pour ne citer que les principales et sans exclure les autres<sup>6</sup>) reste encore trop souvent sous-estimé, alors que ces matières constituent de formidables outils intellectuels pour explorer des aspects de la stratégie qui furent presque toujours ignorés<sup>7</sup>. Or, nous

---

5. Ces changements sociaux – au sens large du terme, *i.e.* incluant des facteurs politiques, économiques, culturels et techniques – sont en effet systémiques et composés de facteurs dont aucun n'est suffisant à lui seul pour entraîner les autres.

6. La psychologie en fait partie, bien entendu. Elle est déjà largement mise en œuvre dans les armées, ce qui est une très bonne chose. Mais elle se limite à l'étude de l'homme en tant qu'individualité, y compris dans ses rapports avec la machine, tandis que les autres sciences humaines l'étudient en tant qu'être collectif, membre d'un groupe, d'une communauté, d'une classe, d'un sexe, d'une nation, voire d'un organisme ou d'une institution.

7. L'histoire constitue un cas à part. Surexploitée – mal ! – par tous les auteurs militaires et chefs de guerre depuis l'Antiquité et constituant l'un des fondements de la formation intellectuelle des officiers partout dans le monde, elle montrera ses limites avec les deux guerres mondiales du XX<sup>e</sup>

sommes déjà habitués au fait que les avancées technologiques dans les domaines de l'informatique ou de la communication modifient jusqu'au mode de vie et à l'essence de la condition humaine. Il n'est pas de semaine qui passe sans qu'on lise dans la presse grand public des articles sur les conséquences de l'omniprésence des écrans dans le quotidien des jeunes générations, sur leur dépendance cognitive envers ces mêmes écrans avec la disparition progressive de la lecture. Il ne s'agit là que de l'accélération d'une tendance observable depuis le XIX<sup>e</sup> siècle avec les révolutions dans les transports, la médecine, les loisirs, les arts et la communication. Dans ce dernier domaine, il est intéressant de savoir par exemple que le téléphone eut beaucoup de mal à être accepté par les élites sociales à ses débuts, car seuls les domestiques étaient censés répondre quand on les sonnait ! Si l'on accepte désormais couramment les analyses sociologiques ou anthropologiques de ces technologies sur la vie quotidienne, l'économie, la politique ou même les mentalités collectives, pourquoi n'en serait-il pas de même pour les technologies de l'armement sur les sociétés militaires et que pourraient-elles apporter ?

Les techniques nécessitent d'être pensées ; elles le nécessitent même absolument. Depuis Aristote, la technique représente en effet l'un des grands sujets d'étude des philosophes et ce n'est ni un hasard, ni une tocrade : l'usage d'outils est l'un des principaux marqueurs de l'espèce humaine qui le différencie des animaux. Ces outils étaient des prolongements de l'Homme, de ses bras, de ses jambes, de son cerveau. Avec l'explosion technologique actuelle, qui pourrait s'accélérer jusqu'à prochainement devenir quasi incontrôlable, ce rapport risque de s'inverser. Et l'humanité risque de perdre la main – dans tous les sens du terme. C'est pourquoi, plus que jamais, il faut mettre en place outils et dispositifs qui vont nous permettre de maîtriser notre destin. Les sciences humaines en font partie. Elles questionnent les conditions d'apparition et de disparition des objets techniques, leurs effets positifs et négatifs, ainsi que les risques qu'ils soulèvent. Elles expliquent le passage de l'invention à l'innovation, c'est-à-dire à la diffusion d'une invention dans la société et à son adoption. Elles interprètent les conditions qui rendent faciles – ou non – l'appropriation d'une technique dans une catégorie sociale ou professionnelle de la population, ou encore la persistance de techniques pouvant sembler désuètes.

Première d'entre ces disciplines, la philosophie des techniques pose comme première question : qu'est-ce que la technique ? Par suite : qu'est-ce qui relève de la machine ? Et qu'est-ce qui relève de l'homme ? Mais ses questionnements ne s'arrêtent pas là ; on pourrait par exemple y ajouter une réflexion sur la nature

---

siècle pour être presque totalement rejetée à partir des années cinquante au prétexte que les stratégies de l'ère nucléaire la rendraient désormais caduque. Un tel discours – d'origine américaine – s'insérerait dans une véritable idéologie scientiste visant à la mathématisation de la guerre et de la stratégie. Il n'en est bien sûr rien, à condition que l'histoire soit utilisée avec discernement et à bon escient, en évitant les mortels écueils de l'idéologie et de la recherche effrénée d'hypothétiques « leçons » qui permettraient de constituer autant de recettes permettant à bon compte de s'éviter tout effort intellectuel.

des espaces dans lesquels elle se déploie. Elle est, dans le cadre de notre problématique, l'équivalent de la recherche fondamentale en mathématiques ou en physique. Même si les élucubrations de ces Professeurs Nimbus que sont bien souvent les chercheurs en mathématiques nous paraissent totalement déconnectées de la réalité et parfaitement improductives ou inutiles, qu'on réfléchisse à deux fois à ce genre d'impression. Sans de telles recherches, les sciences de l'ingénieur ne seraient pas ce qu'elles sont aujourd'hui. Pas de *GPS*, pas de moteur hypersonique, pas de liaison de données, pas de missiles balistiques et cet inventaire pourrait se poursuivre longtemps... La sociologie des techniques, elle, étudie l'insertion de la technique dans un système civilisationnel, social, politique, tandis que l'anthropologie les étudie dans le rapport que les hommes en tant qu'êtres collectifs ont avec leur corps, leur physicalité. L'histoire étudie enfin le tout dans le rapport au temps. Toutes visent à contrer, à entraver la fétichisation de la technique, à maîtriser cette dernière, à la surplomber pour contribuer à son contrôle, car la technologie qui s'autojustifie tourne en rond et devient folle.

*Last but not least*, la plupart des techniques ont aujourd'hui pour vocation d'être pensées dans le cadre de « *macro-systèmes techniques* »<sup>8</sup>, comme le sont depuis déjà longtemps les réseaux de transport ou d'énergie. Or, ces macro-systèmes ne sont pas seulement techniques. Ils sont aussi économiques, politiques, et parfois sociaux. Dans de tels environnements systémiques et dynamiques, tous les éléments doivent être pensés, en eux-mêmes comme dans leur interaction dialectique, ne serait-ce que pour comprendre la place et le rôle dévolus à chacun d'entre eux. La réflexion sur les interactions entre plusieurs macro-systèmes en est en outre facilitée.

Il s'agira *in fine* d'éviter que les hommes deviennent les appendices de leurs machines, appendices amenés tôt ou tard à devenir inutiles. Or, la guerre étant un phénomène éminemment politique – si ce n'est le plus politique de tous –, on risque d'aboutir à l'émergence du monstre absolu : sa dépolitisation ultime par l'absence d'hommes à la guerre. On n'utilise pas les armements (et même beaucoup d'autres artefacts) de la même façon selon les hommes, les armées, les cultures (tactiques, stratégiques ou politiques) et même selon les armes. En s'affranchissant de l'étude des techniques par les sciences humaines, on s'interdit de penser l'hybridation de l'homme et de la machine, chacun selon sa nature et on transforme l'homme en une machine comme les autres. On bascule alors dans la pente néfaste et dangereuse de la recherche du vieux rêve du « super-guerrier ». Ce fantasme s'inscrit d'ailleurs dans une utopie encore plus vaste, qui a elle aussi entraîné des catastrophes, celle de la recherche de « l'arme décisive », qui est elle-même dérivée, à l'heure des sociétés industrielles à partir du XIX<sup>e</sup> siècle, de la recherche effrénée de la « bataille décisive ». N'oublions pas non plus que les erreurs commises par les machines sont infiniment plus dévastatrices que les erreurs humaines – qu'on cherche à l'origine à éviter en développant ces machines.

---

8. A. Gras, *Les macro-systèmes techniques*, Paris, PUF, coll. « Que sais-je ? », 1997.

Ajoutons que les tentations de se cacher derrière la machine sont nombreuses pour fuir des responsabilités politiques, stratégiques ou tactiques. Si elle s'en distingue voire s'y oppose par bien des aspects, notre époque peut dans une certaine mesure être comparée à ce grand tournant de l'histoire de l'humanité qu'a été la Renaissance. Les bouleversements dans tous les domaines s'annoncent même d'une ampleur supérieure. Les chocs et les ruptures seront d'une échelle qu'on a peine encore à imaginer. Philosophie et sciences humaines doivent nous aider – en toute humilité – à surnager dans le chaos et les singularités qui commencent à se déployer. Pour les aviateurs, il ne s'agit pas de mettre un terme à la véritable histoire d'amour qui les lie à leurs machines, mais de la transcender. Il s'agit en quelque sorte de dépasser le stade des amours adolescents pour s'engager dans celui des amours adultes.



# Introduction aux nouvelles technologies

Colonel Christophe Talon

*Christophe Talon est sous-directeur adjoint non prolifération sciences et technologies au Secrétariat général de la défense et de la sécurité nationale*

*À vocation pédagogique, cet article de vulgarisation reprend pour partie l'étude prospective à horizon 2030 du SGDSN intitulée « Chocs futurs ». Les propos qui suivent n'expriment pas de position officielle mais reflètent le point de vue de chercheurs et l'état des réflexions en 2022 sur un ensemble de sujets technologiques susceptibles d'engendrer des ruptures stratégiques dans les années à venir.*

À côté des ruptures stratégiques qui, subrepticement ou brutalement, affectent l'agencement du monde, il existe des sauts technologiques de nature à bouleverser tout autant notre futur et toutes les équations de sécurité et de défense traditionnelles. À vocation pédagogique, cet article vise à attirer l'attention du lecteur sur une série de technologies dont la diffusion pourrait influencer durablement les équilibres stratégiques actuels si elles n'étaient pas anticipées avec clairvoyance.

Le début du XXI<sup>e</sup> siècle a vu la fin de « l'hyperpuissance » américaine, le recul relatif de la supériorité économique et militaire des nations occidentales, la réaffirmation de la nation russe et une ascension inexorable de la Chine. Ce nouvel environnement géopolitique, qualifié le plus souvent d'apolaire, voit s'affirmer de nouvelles stratégies de puissance mettant en œuvre de nouveaux modes d'action dans de nouveaux espaces stratégiques de confrontation comme le cyberspace, l'espace exo-atmosphérique ou les grands fonds marins. Il confère à la technologie une place singulière, à la fois enjeu, arbitre et perturbateur des équilibres stratégiques.

Ne pouvant traiter l'ensemble des technologies dites « de rupture », le parti a été pris de n'en considérer que trois dont on perçoit que la maîtrise pourrait conférer une avance militaire considérable à un club restreint d'États même si leurs champs d'application ne sont pas encore tous connus : l'hypervélocité, le quantique et l'intelligence artificielle.

## **Hypervélocité**

Les planeurs et les missiles de croisière hypersoniques sont devenus depuis près de 10 ans de nouveaux marqueurs de puissance militaire. Ils s'inscrivent désormais dans le retour de la compétition stratégique entre États du fait de leur aptitude à traverser les systèmes de défense antimissiles et atteindre des objectifs, même fugaces, dans la profondeur adverse ou en mer. De nature à modifier profondément le caractère des opérations militaires du fait de leur impact sur les cycles de décision actuels, la soutenabilité budgétaire de leur mise au point reste encore un défi pour tous les acteurs qui souhaitent s'en doter.

### *1. Qu'est-ce que l'hypervélocité et comment fonctionne-t-elle ?*

Un armement est dit hypersonique lorsqu'il se déplace à une vitesse supérieure à Mach 5, soit cinq fois la vitesse du son<sup>1</sup>. Du fait de ces très fortes vitesses d'évolution, les armements hypersoniques sont soumis à de nombreuses contraintes thermiques et aérodynamiques, liées à la friction avec l'atmosphère, qui mettent structures, matériaux et composants électroniques à rude épreuve. L'aérodynamique et la thermodynamique des mobiles hypersoniques offrent des défis scientifiques conséquents, tandis que leur développement et leur production requièrent la maîtrise de nouvelles technologies, en particulier en matière de protection thermique et de propulsion.

Les armements hypersoniques se classent en deux catégories, celle des planeurs accélérés par un missile balistique (*Hypersonic Glide Vehicule – HGV*) et celle des missiles de croisière à propulsion aérobie<sup>2</sup> dotés de statoréacteur<sup>3</sup> et de super-statoréacteur<sup>4</sup> (*Hypersonic Cruise Missile – HCM*).

Les planeurs hypersoniques sont dépourvus de propulsion active. Ils sont emportés par un missile balistique à des vitesses pouvant aller jusqu'à Mach 20, puis, en fin de phase propulsée, ils se séparent de leur missile pour être injectés hors de portée des systèmes sol-air dans la haute atmosphère où ils progressent alors vers leur cible selon des trajectoires imprévisibles qui alternent des phases balistiques et des manœuvres de rebonds ou de planés.

---

1. Le nombre de Mach ne correspond pas à une vitesse fixe mais dépend des conditions locales de température et de pression.

2. Qui a besoin de dioxygène pour fonctionner.

3. Types de réacteurs adaptés aux très grandes vitesses car dépourvus de pièces mobiles mais qui doivent, pour fonctionner, disposer d'oxygène et avoir déjà atteint une forte vitesse.

4. Statoréacteur à l'intérieur duquel la combustion s'effectue à des vitesses supersoniques.

Les missiles de croisière hypersoniques disposent quant à eux de leur propre propulsion. Volant à une altitude d'une trentaine de kilomètres et capables de manœuvrer à très grande vitesse, ces engins peuvent atteindre le seuil de l'hypersonique grâce à un statoréacteur mais ne peuvent se déplacer de manière entretenue en régime hypersonique que par le biais d'un super-statoréacteur.

## 2. En quoi l'hypervélocité représente-t-elle une rupture stratégique ?

Sur le plan militaire, les armements hypersoniques manœuvrants constituent indéniablement un *game changer* pour les États détenteurs de cette technologie. Développés dans la logique éternelle de lutte entre l'épée et le bouclier, ces armements constituent un saut capacitaire majeur par rapport à l'arsenal balistique ou de missiles de croisière que l'on pourrait qualifier de « classique » et ce pour plusieurs raisons.

Si les engins balistiques intercontinentaux atteignent des vitesses très élevées lors de leur phase de rentrée dans l'atmosphère, de l'ordre de 8 km/s, leur cinématique en phase balistique reste relativement prédictible car liée à la gravité. Seule la phase de rentrée atmosphérique permet, en appliquant des contraintes particulières aux engins, de modifier sensiblement leur trajectoire et de gêner ainsi les défenses adverses. De leur côté, les missiles de croisière classiques sont limités par leur portée, de l'ordre de 1 000 à 3 000 km, et leur vitesse subsonique ou supersonique qui ne leur permet pas de déjouer de façon certaine des défenses antiaériennes et antimissiles dont les capacités opérationnelles n'ont cessé d'évoluer ces dernières années.

À l'inverse, la vitesse<sup>5</sup> combinée à l'imprédictibilité des trajectoires des armes hypervéloces réduisent considérablement leur vulnérabilité aux systèmes d'interception actuels qui sont en quelque sorte disqualifiés ! Ces armements offrent par ailleurs une capacité de frappe extrêmement réactive à des portées très supérieures à celles des systèmes actuels, à l'exception bien sûr des missiles balistiques qui n'ont cependant pas leur souplesse d'emploi<sup>6</sup> et dont les trajectoires peuvent être estimées avec une relative facilité. Ces systèmes constituent ainsi l'une des solutions pour maintenir la capacité de pénétration des défenses antiaériennes et antimissiles adverses.

Les vecteurs hypersoniques, pouvant *a priori* emporter aussi bien des charges conventionnelles que nucléaires, font peser à tout moment et à toute distance – pour autant que les processus de ciblage actuels soient adaptés à ces nouvelles capacités – une menace instantanée sur les cibles à haute valeur ajoutée, que celles-ci soient fixes ou mobiles, qu'elles se trouvent sur terre ou en mer.

---

5. Un engin évoluant par exemple à Mach 6 mettrait à peine plus de 4 minutes pour atteindre une cible située à 500 km.

6. *HCM* en particulier.

### 3. *État des lieux et ambitions.*

L'environnement géopolitique favorise le développement des armements hypersoniques. Les antagonismes stratégiques croissants entre grandes puissances impliquent en effet un « durcissement » des développements capacitaires. Dans ce contexte, l'armement hypersonique présente un intérêt indéniable car il permet de surclasser, par la vitesse et la manœuvre, des défenses antiaériennes et antimissiles de plus en plus performantes. Dès lors, les systèmes hypersoniques pourraient être des vecteurs privilégiés pour un large panel de missions allant de la dissuasion nucléaire aux frappes stratégiques conventionnelles en passant par le déni d'accès et l'interdiction de zone. L'entrée en premier et la bataille pour la supériorité aérienne devraient pleinement profiter de l'apport de ces armements.

La multiplication des tests « d'engins hypersoniques<sup>7</sup> » menés par Pyongyang depuis la fin de l'année 2021 et l'annonce, très orchestrée, du président russe Vladimir Poutine d'un tir d'essai réussi le 24 décembre dernier d'une salve de missiles hypersoniques *Tsirkon* soulignent que ces armements sont également un emblème de la modernisation capacitaire des États et un marqueur de puissance. Les systèmes hypersoniques restent néanmoins pour l'heure encore assez immatures et les premières mises en service opérationnelles ne devraient pas intervenir avant plusieurs années et ce, avec de probables limitations en termes de charge utile, d'autonomie de navigation et de précision terminale.

Sur le plan technique, le développement des armements hypersoniques se heurte encore à de très nombreuses difficultés telles que la tenue des matériaux aux très hautes températures, la maîtrise de la combustion en régime supersonique ou encore la résistance aux vibrations. Dans ces conditions, la qualité de navigation de ces armes et leur précision à l'impact, éléments essentiels d'un point de vue opérationnel, restent incertaines car, à ce stade, encore affectées par les contraintes thermiques et d'accélération auxquels sont soumis les vecteurs hypersoniques.

Aussi, pour surmonter ces difficultés et obtenir l'efficacité opérationnelle escomptée, les États qui souhaitent se doter de telles capacités devront consentir des investissements financiers conséquents pour développer des savoir-faire nouveaux<sup>8</sup> et accepter le risque que ces efforts ne se concrétisent pas de suite en une capacité opérationnelle.

À l'horizon 2030-2035 toutefois, il fait peu de doute que des armements hypersoniques figureront dans les arsenaux de plusieurs puissances. La France elle-même envisage d'en disposer pour la composante aéroportée de sa dissuasion nucléaire à partir de 2035. À cet égard, considérant la rupture stratégique que

---

7. La mention par Pyongyang de tests de missiles qualifiés « d'hypersoniques » demeure volontairement floue. La Corée du Nord joue sur les ambiguïtés pour masquer ses capacités réelles tout en souhaitant révéler des capacités d'États dotés.

8. Développement de moyens de tests et de qualification tels que les souffleries hypervéloces, par exemple.

constituera l'apparition de ces armements, la question de leur emploi dans un domaine conventionnel ou de leur inclusion dans un système de dissuasion nucléaire devra faire l'objet de réflexions compte-tenu des risques de méprise que leur tir pourrait engendrer. De la même manière, la question de l'évolution des moyens de défense actuels (DAMB, détection) et celle de l'évolution des doctrines et des postures devront être anticipées.

## Le quantique

La perspective de mettre au point un ordinateur quantique universel porte un espoir de ruptures majeures dans de nombreux secteurs stratégiques comme la santé, la pharmaceutique, l'alimentation, l'énergie et la défense. Si aujourd'hui nul ne sait quelle sera l'ampleur des disruptions imaginées par les scientifiques, ni quels domaines seront concernés en premier, bon nombre d'États prennent très au sérieux la menace que pourraient représenter les technologies quantiques, dont le caractère dual ne fait aucun doute, pour notre sécurité nationale en altérant la confidentialité de nos échanges stratégiques ou en favorisant la conception de systèmes d'arme nouveaux ou l'amélioration d'anciens.

### *1. Les principes physiques à l'origine de l'informatique quantique.*

En s'appuyant sur les principes, parfois déroutants, sur lesquels repose la mécanique quantique, plusieurs physiciens ont imaginé dans les années 1970 le concept de l'ordinateur dit « quantique ». Les ordinateurs traditionnels, du simple ordinateur de bureau au supercalculateur, fonctionnent aujourd'hui avec des transistors et des processeurs et une base binaire de codage de l'information, les fameux *bits*, dont la valeur peut être soit 0 soit 1. L'ordinateur quantique, lui, manipule des particules élémentaires, telles que les photons, pour représenter l'information.

Ces particules, de taille infinitésimale, de l'ordre de  $10^{-22}$  mètres, ont des propriétés dites « quantiques » parmi lesquelles le phénomène de *superposition*, (qui « permet » à une particule de se trouver dans plusieurs états en même temps), et celui d'*intrication* (selon lequel deux particules intriquées sont dans des états quantiques qui dépendent l'un de l'autre, et ce quelle que soit la distance qui les sépare) sont sans doute les plus structurants... mais aussi les plus complexes à appréhender compte-tenu de notre approche très macroscopique et déterministe des phénomènes physiques qui nous entourent.

Le principe de superposition est souvent illustré par l'expérience de la pensée du chat de Schrödinger qui consiste à enfermer un chat dans une boîte contenant une fiole de poison que la désintégration d'un atome radioactif (régi par les lois de la physique quantique) peut libérer. Dans l'expérience, tant qu'aucun observateur ne regarde à l'intérieur de la boîte, le chat est à la fois mort et vivant car l'atome est à la fois intact et désintégré... Cette notion est d'autant plus contre-intuitive qu'il s'agit d'une conséquence purement mathématique de la

théorie quantique qui n'a pas de réalité physique à l'échelle macroscopique et que le vocabulaire que nous utilisons, issu de la physique « classique », est la plupart du temps inapproprié pour décrire la physique subatomique.

Le phénomène d'intrication peut également être appréhendé grâce à une autre expérience de la pensée qui consiste à lancer deux pièces de monnaie en l'air et observer la face sur laquelle elles tombent. Dans notre monde macroscopique, chaque pièce a une chance sur deux de tomber sur l'une de ses faces. Dans le monde subatomique, si ces deux pièces sont intriquées, elles ont alors toujours une chance sur deux de tomber sur pile ou face mais elles tomberont en revanche systématiquement l'une et l'autre sur la même face...

Ces deux principes, entre autres, différencient la physique quantique de la physique « classique », un système quantique ne pouvant être mesuré que par des probabilités là où les phénomènes physiques peuvent être modélisés de façon continue dans le temps. Cette spécificité permet le développement de technologies d'intérêt potentiel pour la défense et la sécurité nationale mais avec cependant des niveaux de maturité très variables suivant les domaines.

## *2. Quelques exemples d'applications technologiques quantiques concrètes dans le cadre spécifique de la sécurité et de la défense.*

En appliquant le principe de superposition à l'informatique, les pères fondateurs de l'informatique quantique ont cherché à tirer profit de la possibilité, pour une particule, d'être dans plusieurs états à la fois, pour construire un système qui pourrait effectuer plusieurs calculs en même temps et non plus simplement en parallèle, ce que font les ordinateurs actuellement. Ce passage du monde classique au monde quantique est notamment symbolisé par l'utilisation des *qbits* (ou *qubits*), pendants quantiques des *bits* informatiques classiques, qui ne valent plus strictement 0 ou 1 de façon déterministe, mais une superposition de ces deux valeurs, avec des probabilités différentes. Très concrètement, cette approche permet aux systèmes de calcul quantique de voir leur puissance de calcul augmenter de façon exponentielle au fur et à mesure que leur nombre de *qbits* augmente, là où la croissance des machines classiques était « seulement » linéaire, ce qui laisse entrevoir des opportunités et développements extrêmement intéressants dans de nombreux champs d'application dont celui de la cryptographie.

La sécurité des mécanismes cryptographiques en vigueur repose, dans une large mesure, sur des problèmes mathématiques dits « difficiles ». Ainsi, au regard des puissances de calcul actuelles, une signature cryptographique ou un déchiffrement sont des opérations mathématiquement simples pour qui connaît le secret — la clé — utilisé par l'algorithme mis en œuvre, mais d'une complexité impraticable pour qui ne le connaît pas. L'ordinateur quantique universel, dont la mise au point est jugée peu probable au cours des vingt prochaines années, pourrait toutefois remettre fondamentalement en cause le caractère « difficile » de certains problèmes mathématiques grâce à sa puissance de calcul très impor-

tante et donc mettre en défaut la sécurité de constructions cryptographiques cruciales. Des opérations nécessitant en théorie aujourd'hui des milliards d'années de calcul deviendraient ainsi réalisables dans des délais raisonnables.

La « cryptographie quantique »<sup>9</sup>, théorisée dans le monde académique depuis le milieu des années quatre-vingt, ne nécessite pas la mise en œuvre d'un ordinateur quantique mais utilise les principes de superposition et d'intrication afin de construire de nouveaux mécanismes de transmission sécurisée d'informations. Elle introduit en particulier la possibilité de transmettre une information sans en protéger la confidentialité de prime abord, mais en garantissant la détection *a posteriori* de toute interception par une tierce partie. La cryptographie quantique ne constitue cependant pas en soi une rupture conceptuelle majeure, dans la mesure où elle ne remet pas en cause la sécurité de la cryptographie classique et ne présente un intérêt significatif que dans certains cas d'usage spécifiques.

Au-delà de la cryptographie, la physique quantique est porteuse d'avancées stratégiques majeures dans le domaine du calcul quantique, de la simulation quantique et des capteurs de haute précision. Dans ce dernier domaine, en exploitant la sensibilité extrême des états quantiques des particules subatomiques et le principe d'intrication, les capteurs quantiques peuvent en effet réaliser des mesures d'une précision inégalée dans différents domaines comme celui des champs électromagnétiques (mesure du temps et des fréquences) ou bien celui de la géolocalisation et de la navigation en associant en particulier mesures de gravité et datation. On imagine aisément la plus-value opérationnelle apportée par une capacité de ce type qui assurerait à ses détenteurs une totale autonomie vis-à-vis de systèmes de localisation par satellites aujourd'hui aisément « brouillables », mais aussi une capacité avancée de détection des sous-marins en raison des variations que leur mouvement induit sur le champ gravitationnel.

La marine française pourrait être la première marine au monde à s'équiper de capteurs quantiques opérationnels en se dotant du système Gravimètres Interférométriques de Recherche à Atomes Froids Embarquables (GIRAFE) développé par l'ONERA. De façon générale, la maturité de ce nouveau type de capteurs ne devrait cependant être atteinte qu'à l'horizon 2028, lorsque les ingénieurs seront parvenus à les miniaturiser pour en faciliter l'emport.

### 3. *Le quantique : révolution ou utopie ?*

Prenant acte des horizons pratiquement finis de l'algorithmie et des capacités des supercalculateurs qui atteignent aujourd'hui une asymptote, de nombreuses initiatives, tant dans la recherche que dans le monde industriel, ont été lancées pour développer les ordinateurs quantiques. Toutefois, la mise au point et la production d'un ordinateur quantique fonctionnel constitue un véritable défi scientifique, technologique et industriel. On ne sait aujourd'hui manipuler ces entités infiniment petites que dans des conditions de laboratoire très particulières, à des

---

9. Ou « communications quantiques ».

températures et des pressions extrêmement faibles et par « petites poignées ». Au-delà de la machine elle-même, c'est également tout le champ des algorithmes qui nécessite d'être investi, afin de mettre au point des modes de calcul qui pourront tirer pleinement partie des possibilités offertes par la chose quantique.

De surcroît, plusieurs voies technologiques de développement des ordinateurs quantiques sont aujourd'hui explorées sans qu'aucune ne se détache significativement des autres. Il est possible de réaliser des *qbits* à partir d'une large variété d'objets quantiques, à partir d'un atome unique dont on manipule les électrons avec des lasers (*qbits* atomiques), à partir de photons uniques, à partir de certains semi-conducteurs, en sculptant la matière à l'échelle nanométrique ou bien en simulant le comportement d'atomes uniques à l'aide de circuits électriques élaborés avec certains matériaux supraconducteurs. Tous ces procédés disposent de leurs avantages et de leurs inconvénients sans qu'il soit possible aujourd'hui d'indiquer avec certitude lequel d'entre eux est le plus prometteur.

## **L'intelligence artificielle**

Le développement de l'intelligence artificielle<sup>10</sup> (IA) connaît depuis près de dix ans une accélération inédite grâce aux progrès accomplis en matière de puissances de calcul, de traitement des données massives, de capacités de stockage et de méthodes algorithmiques. Si les GAFAM<sup>11</sup> sont particulièrement présents dans ce domaine porteur d'enjeux financiers colossaux, en matière de souveraineté et de sécurité nationale, l'IA fait apparaître à la fois de nouvelles opportunités et de nouvelles menaces potentielles dont les États commencent à prendre conscience. La maîtrise progressive des technologies liées à l'IA nous conduit inéluctablement vers une ère où la donnée sera tout aussi importante que l'énergie...

### *1. Qu'est-ce que l'intelligence artificielle et comment fonctionne-t-elle ?*

Dans son rapport du 21 mars 2017, France IA définissait l'intelligence artificielle (IA) comme « *un ensemble de notions s'inspirant de la cognition humaine ou du cerveau biologique et destinées à assister ou suppléer l'individu dans le traitement des informations massives* ». En d'autres termes, le principe de l'IA est de permettre à des ordinateurs – ou des machines – de penser et d'agir comme des êtres humains en imitant la pensée humaine... plus évident à dire qu'à faire !

La pensée humaine met en œuvre différents mécanismes, les fonctions cognitives, qui dépendent de nos connexions neuronales et nous permettent d'interagir avec notre environnement, en particulier de percevoir, de parler, de bouger, de mémoriser, de raisonner, de faire preuve d'abstraction ou bien de créativité.

---

**10.** Expression utilisée pour la première fois en 1956 lors de la conférence de *Darmouth College* aux États-Unis, atelier scientifique considéré comme l'acte de naissance de l'IA en tant que domaine de recherche autonome.

**11.** GAFAM : *Google, Amazon, Facebook, Apple, Microsoft*.

Aussi, pour simuler l'intelligence humaine, les chercheurs tentent-ils depuis la fin des années 50 de reproduire ces fonctions en suivant deux approches complémentaires qui s'inspirent de notre façon d'apprendre. La première, privilégiée dans les années 80, repose sur la transmission de connaissances (cela a permis de développer notamment les systèmes experts) tandis que la seconde s'appuie sur un principe itératif d'essais et d'erreurs à partir de l'observation du monde et de l'expérimentation. Cette approche, grâce à l'augmentation des données disponibles, à la puissance de calcul des ordinateurs, mais aussi à l'optimisation des algorithmes, est à l'origine des principales avancées de l'IA que nous utilisons au quotidien sans en avoir nécessairement conscience – mécanismes de recommandation sur les réseaux sociaux, suggestions des moteurs de recherche, traduction automatique des langues – et constitue désormais la voie de développement de l'IA que chercheurs et industriels investissent le plus.

Pour tenter de reproduire l'intelligence biologique, les chercheurs ont en effet recours aujourd'hui à des algorithmes d'apprentissage statistique dont la conception s'inspire du fonctionnement du cerveau humain. Comme dans les neurones du cerveau où des connexions se créent, disparaissent ou se renforcent en fonction de différents stimuli, des programmes informatiques appelés « réseaux de neurones artificiels » ajustent, grâce à certains types d'équations, des paramètres variables en fonction des données qu'ils manipulent de façon à fournir le meilleur résultat possible. C'est en interconnectant ces équations les unes avec les autres que l'on crée de la stimulation intellectuelle artificielle et que les machines apprennent de façon autonome. C'est le principe du *Machine Learning*.

Le *Machine Learning* peut prendre différentes formes comme le *Deep Learning* (pour « apprentissage profond ») dont le principe est de laisser la machine apprendre seule en lui fournissant le plus grand nombre d'exemples possible. L'IA est alors en capacité d'analyser et de recouper des millions d'informations (*Big Data*) pour en extraire des données qui nous échappent, se rapprochant ainsi de ce que nous appellerions dans le monde biologique l'intuition.

L'apprentissage par renforcement consiste pour sa part à stimuler l'IA en la faisant s'entraîner contre elle-même, à la façon de deux joueurs d'échecs qui s'affrontent, pour enrichir sa base de données et sa capacité d'analyse.

L'homme intervient également parfois dans le processus d'apprentissage de l'IA (entraînement « actif ») en lui proposant des données à analyser tout en connaissant le résultat à obtenir. Cela permet à la fois d'entraîner les algorithmes, de vérifier l'exactitude de leurs capacités d'analyse et de créer un socle de connaissances solides pour l'intelligence artificielle. Cette étape de préparation est particulièrement longue car elle s'applique sur de grands volumes de données et nécessite souvent des opérations manuelles et une expertise métier pointue, mais elle reste néanmoins essentielle pour optimiser et fiabiliser le fonctionnement d'applications de très haute performance telles que la conduite autonome ou la reconnaissance d'objets sur des images. Sur

le long terme, la machine apprenante pourra rendre plus rapidement et plus exactement les services attendus.

*2. L'intelligence artificielle est source d'innovation sous toutes ses formes mais présente également de nombreuses limites.*

Si les avancées exceptionnelles réalisées ces dernières années en matière d'intelligence artificielle sont très souvent illustrées par les progrès révolutionnaires dans le domaine des voitures autonomes capables de repérer et de différencier des objets sur la route ou celui de la reconnaissance faciale qui égale presque les performances humaines, de très nombreux autres secteurs bénéficient également de son apport. Dès lors que les flux de données à analyser sont très importants, l'emploi de l'IA s'impose car elle peut aider ses utilisateurs à « trouver une aiguille dans une meule de foin » !

Dans le domaine médical par exemple, l'IA aide désormais les médecins à déterminer les causes de certaines maladies comme le cancer en détectant, dans les données issues des analyses sanguines de très nombreux patients, certaines mutations génétiques qui permettent de pronostiquer la sévérité de cancers de la prostate chez l'homme. De la même manière, l'IA assiste les opérateurs des systèmes de vidéo surveillance des grandes agglomérations en repérant dans les flux vidéo de l'ensemble des caméras les situations potentiellement dangereuses qui nécessiteraient l'intervention des forces de l'ordre ou des services d'urgence.

En matière de défense et de sécurité nationale, l'intelligence artificielle représente aussi un atout de premier plan dans de nombreux domaines dont ceux du renseignement et de la sécurité des systèmes d'information. En complément de l'expertise humaine, l'IA permet en effet aux services de renseignement d'analyser plus rapidement le très grand volume de données hétérogènes (images spatiales, vidéos de drones, données électromagnétiques, textes, etc.) issues de leurs gisements de renseignement et d'y détecter d'éventuels signaux faibles annonciateurs de crises ou de conflits. Les services engagés dans la sécurité des systèmes d'information mettent quant à eux à profit l'IA pour détecter les failles de sécurité, les fuites de données voire automatiser certaines tâches de traitement d'incident.

Si ces exemples à fort impact, souvent popularisés par les médias, soulignent incontestablement les progrès spectaculaires réalisés par l'intelligence artificielle, celle-ci reste à la fois très technique et spécifique et nécessite le plus souvent d'immenses volumes de données d'apprentissage pour obtenir un résultat satisfaisant. Nous sommes encore très loin de l'intelligence artificielle dite « générale » ou « forte », susceptible de prendre en compte le contexte et d'apprendre à partir de quelques exemples et encore plus loin de l'intelligence biologique, la vraie, qui sait trouver la réponse satisfaisante plutôt que la réponse optimale en mêlant logique, émotions, motivations et créativité. Il est donc plus juste de parler aujourd'hui d'intelligences artificielles au pluriel.

3. L'IA à l'origine de nouveaux enjeux et de nouvelles menaces potentielles.

L'essor de l'intelligence artificielle dépend directement de l'accessibilité des données et de la disponibilité des infrastructures numériques qui permettent de les diffuser, de les stocker et de les traiter. L'une et l'autre constituent à cet égard le cœur d'un nouvel enjeu de souveraineté.

L'obtention de modèles prédictifs fiables nécessite en effet d'exécuter des algorithmes sur des jeux de données prétraités qui sont aujourd'hui des ressources rares. Les données constituent le « carburant » majeur de l'IA et résultent le plus souvent de l'accumulation de connaissances capitalisées dans l'espace numérique sous des formes variées et pas toujours directement accessibles du fait de leur localisation dans le « *Deep Web* » et le « *Dark Web* »<sup>12</sup> ou bien en raison de leur caractère personnel, de la confidentialité de certaines données techniques, de leur langue etc. Les grands groupes internationaux du numérique, les GAFAM, ont parfaitement intégré l'enjeu que constitue le contrôle de l'accès à ces données de masse et investissent des sommes colossales pour capter, capitaliser et analyser cette matière première.

La disponibilité d'infrastructures numériques permettant d'acheminer et de traiter les données constitue un autre écueil. La complexité croissante des algorithmes d'apprentissage machine, notamment de *Deep Learning* rend indispensable le recours à des infrastructures de calcul puissantes et énergivores mais aussi à l'acheminement de ces données vers les serveurs où elles seront ensuite traitées et stockées. Ces infrastructures physiques, qui se développent aujourd'hui aussi bien à terre (serveurs), en mer (câbles sous-marins), dans l'air et dans l'espace exo-atmosphérique, représentent autant de vulnérabilités. Aussi, pour être souverain, l'autonomie dans les secteurs critiques des données et des applications ne suffit pas. Il convient aussi de s'assurer que les infrastructures numériques soient correctement contrôlées et sécurisées. La stratégie de maîtrise des fonds marins présentée par la ministre des Armées, Florence Parly, s'inscrit dans cette perspective.

Au-delà de ces enjeux de sécurité nationale, les progrès rapides de l'IA et sa diffusion dans notre quotidien sont également porteurs de très nombreuses questions et suscitent des inquiétudes légitimes au sein de nos sociétés. Les risques de restriction des libertés individuelles, de génération de krachs boursiers, les craintes pour l'emploi, le manque de transparence des algorithmes, les risques d'abus dans le domaine du marketing sont régulièrement pointés du doigt. Conscients de la nécessité de conquérir les cœurs pour aller plus avant, les experts de l'intelligence artificielle s'orientent désormais vers le développement d'intelligences artificielles « responsables ». C'est à cette condition que nous pourrions bénéficier collectivement de l'ensemble des op-

---

12. « *Deep Web* » : partie du *web* accessible mais non indexée par les moteurs de recherche classiques généralistes. ; « *Dark Web* » : partie du *web* non indexée et accessible uniquement à l'aide de logiciels, de configurations et d'authentification spécifiques (e.g. : TOR).

portunités de progrès et d'amélioration de nos conditions de vie et de sécurité portées par l'IA.

L'histoire de l'innovation militaire montre que la plus-value capacitaire offerte par une nouvelle technologie ne va pas de soi. Le décideur public a tendance à préférer l'amélioration de l'existant à l'introduction d'une innovation radicale car celle-ci nécessite de consentir des investissements initiaux importants, sans pour autant se concrétiser tout de suite en une capacité opérationnelle.

L'hypervélocité, les technologies quantiques et l'intelligence artificielle échappent néanmoins à cette règle tant ces technologies sont porteuses de ruptures stratégiques. Consciente des enjeux, la France a d'ailleurs arrêté plusieurs stratégies d'accélération en matière d'intelligence artificielle et de technologies quantiques qui visent à la positionner en bonne place sur l'échiquier mondial dans ces deux domaines.

# Créer une industrie de défense européenne moderne et réactive

Nicholas Nelson  
Andrew Stiles

*Nicholas Nelson est un leader expérimenté dans les secteurs de l'aérospatiale, de la défense et de la sécurité. Il est actuellement associé au Research Institute Georgia Tech et Senior Fellow pour les technologies et politiques émergentes au Centre d'analyse des politiques européennes (CEPA).*

*Andrew Stiles est actuellement consultant senior spécialisé dans les Emerging and Disruptive Technologies (EDTs) chez Deloitte Consulting. Son travail est axé sur les technologies spatiales et les drones.*

*L'Europe a une occasion unique d'élaborer une stratégie dans le secteur des technologies de défense. Quelles leçons les États-Unis peuvent-ils lui offrir ?*

La modernisation du secteur de la défense est synonyme, aujourd'hui plus que jamais, d'une course à la supériorité technologique entre concurrents. La réussite du développement, du déploiement et de l'intégration des nouvelles technologies de rupture (*emerging and disruptive technologies – EDTs*) a déjà un impact profond sur les zones de conflits. Au-delà de la menace cinétique et cyber posée par la Russie, la Chine représente également un défi vis-à-vis des partenariats européens dans le secteur des *EDTs* et dans de nombreux autres domaines. La tendance est nette : l'avenir de la sécurité internationale accroît la nécessité d'une industrie de défense européenne solide, capable de développer et produire des *EDTs* pour non seulement rivaliser avec les puissances autoritaires mais aussi les dépasser. Cette compétition était autrefois considérée comme relevant de la seule compétence des États-Unis, de la Russie et de la Chine. Cependant, l'invasion en Ukraine montre que l'Europe a besoin de ses propres capacités d'innovation, indépendantes de celles des alliés et des chaînes d'approvisionnements dont la disponibilité peut manquer en cas de nécessité.

Malgré le besoin émergent d'innovation en matière de défense, l'Europe a historiquement montré un intérêt limité pour relancer une approche structurée dans le secteur de l'innovation technologique de défense, aussi appelée *Responsive Defense*. Cela doit changer.

La *Responsive Defense*, comme elle est définie par les États-Unis, concerne moins les technologies spécifiques (qui sont généralement regroupées dans le terme *EDTs*) que les pratiques spécifiques des entreprises pour développer, fournir et déployer de manière efficace et effective ces *EDTs*.

Cela s'étend sur les multiples aspects du fonctionnement des entreprises de l'industrie de défense, sur le secteur privé et public mais aussi sur le mode d'attribution des contrats, la planification du capital humain et sa rémunération, l'investissement stratégique (infrastructures de recherche et développement, nouvelles agences, infrastructures de démarrage, etc.) et d'autres domaines que nous allons développer ci-après. Ainsi, la *Responsive Defense* est une méthodologie grâce à laquelle les acteurs peuvent élaborer une stratégie pour moderniser l'industrie de défense et la rendre plus efficace dans le secteur de l'innovation technologique.

Cette mission vise à donner une orientation plus concrète à l'industrie de défense. En effet, de nombreuses discussions ont été tenues sur l'avenir de l'industrie de défense européenne mais avec relativement peu de solutions proposées concernant sa mise en place effective. En analysant les leçons retenues avec le déploiement de l'écosystème d'innovation de défense aux États-Unis, l'Europe peut élaborer une approche plus concrète pour développer des *EDTs*. Cinq recommandations pour aider les nations européennes à établir une stratégie et concrétiser leurs ambitions seront proposées à la fin de cet article.

## **De la guerre mondiale contre le terrorisme à la compétition entre grandes puissances**

Pour tracer le chemin à suivre en matière de *Responsive Defense*, il est essentiel de comprendre dans un premier temps l'état actuel de l'industrie de défense européenne. Depuis la fin de la Guerre froide, les États-Unis et leurs alliés de l'OTAN ont profité d'une grande différence de capacités et de savoir-faire sur leurs adversaires étatiques et non étatiques. Cependant, ce fossé capacitaire s'est largement rétréci ces dernières années. Cela est dû à plusieurs facteurs : la « pause stratégique » des vingt dernières années correspondant à la lutte contre le terrorisme de l'Alliance transatlantique en matière d'innovation dans le domaine de la défense ; l'accélération des changements technologiques ; le transfert des dépenses de R&D des gouvernements vers le secteur privé ; et les efforts croissants de la Russie et de la Chine en matière d'innovation dans le domaine de la défense. De fait, l'OTAN n'est plus le *leader* unique en termes de nouvelles technologies de défense et se retrouve même derrière ses concurrents dans le domaine clé des technologies de rupture. Alors que la concurrence techno-straté-

gique avec la Russie et la Chine préoccupe les pays de l'Ouest, il est urgent que les responsables de l'OTAN définissent des priorités technologiques et un cadre politique commun pour améliorer les performances de l'Alliance.

Après la Guerre froide, les États-Unis et l'Europe ont eu pour objectif de combattre le terrorisme et de renforcer les États dits « fragiles ». Par conséquent, l'urgence de développer et de mettre en service de nouveaux systèmes pour lutter contre des concurrents équivalents s'est perdue de vue. Sans cette vision, l'OTAN et ses membres, en particulier les plus importants d'entre eux, ont continué à développer et à acquérir des plateformes complexes et sur mesure, qui profitaient de la permissivité des environnements rencontrés, comme des satellites d'un milliard de dollars, des porte-avions de plusieurs milliards de dollars et des moyens terrestres et aériens dépendants du *GPS*. Bien que cette approche a permis d'améliorer progressivement certaines capacités, elle n'a pas participé à développer et faire émerger des technologies de rupture. Parallèlement, plusieurs des pays les plus importants en Europe ont réduit drastiquement le financement des armées et de la défense, entraînant une dégradation importante des capacités précédemment acquises. Alors que cette approche, pendant la guerre contre le terrorisme, semblait suffisante pour combattre des acteurs non-étatiques, technologiquement moins bien dotés, elle laisse aujourd'hui l'Europe vulnérable dans la compétition entre grandes puissances, notamment face à la Chine et la Russie.

### **L'écart capacitaire grandissant fait pencher la balance géopolitique en défaveur de l'Europe**

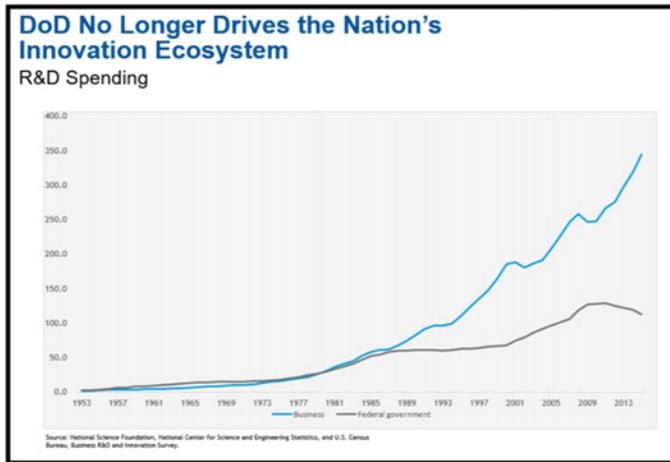
Entre-temps, la Russie et la Chine ont profité de l'interruption des innovations dans le secteur de la défense des pays de l'Ouest pour développer des capacités de déni d'accès différenciées et comparativement plus rentables, conçues pour affaiblir les forces traditionnelles des Américains et des Européens. Ces dix dernières années, la Chine s'est hissée au rang de puissance scientifique et technologique, tandis que la Russie a poursuivi de manière plus innovante et affirmé des avantages asymétriques. Les investissements du Kremlin et du Parti communiste chinois dans les programmes d'innovation et les *EDTs* transforment le caractère et la nature des guerres modernes à leur avantage.

Après plusieurs décennies de complaisance, l'érosion progressive du niveau technologique des pays de l'Ouest est devenue une préoccupation majeure sur la scène géopolitique, notamment avec l'invasion de l'Ukraine par la Russie et l'évolution des capacités hypersoniques russes et chinoises.

#### *Répondre à ce nouveau défi*

Pour répondre à ce défi, les États-Unis ont commencé par s'ouvrir rapidement à des acteurs industriels non-traditionnels (comme les *startups tech*) et ont étendu leur industrie de défense. Ce processus a débuté en 2016 avec le lancement de la *Defense Innovation Unit Experimental (DIUx, maintenant DIU)*, suivi en

2018 par des projets comme l'*AFWERX*, la branche « innovation » de l'*US Air Force*. Le changement le plus important dans la stratégie du gouvernement américain a été d'attirer le secteur privé et les capitaux-risques (*corporate venture capital – VC*) pour étendre le cadre des investissements et améliorer la vitesse de financement des *startups* du secteur de la défense. Les États-Unis fournissent désormais des subventions et des opportunités de contrats pour les *startups*, mais ils complètent également le financement des entreprises par des fonds gouvernementaux supplémentaires non-dilutifs.



Les différentes administrations américaines ont pris conscience que la recherche et le développement (R&D) public, notamment dans le domaine de la défense, ne doit plus être le principal moteur du développement des nouvelles technologies. Comme le montre le graphique, jusqu'à la fin des années 1980, la parité existait entre les dépenses de R&D du gouvernement américain et celles du secteur commercial. L'écart se creuse lorsque la Guerre froide prend fin, tandis qu'un certain nombre d'essors successifs de l'industrie des nouvelles technologies a fait progresser le marché. En 2005, la R&D commerciale était deux fois supérieure à celle du gouvernement. En 2015, elle dépassait trois fois celle du gouvernement, et aujourd'hui, elle est cinq fois plus importante. Cela signifie que la majorité des nouvelles technologies et innovations ont désormais pour origine des sources non liées à des financements gouvernementaux. En outre, la R&D a permis au secteur privé d'égaliser et parfois de dépasser les capacités gouvernementales, même dans les domaines considérés comme réservés au secteur public.

Ces *startups* et acteurs « non-traditionnels » complètent plutôt que remplacent les grandes compagnies de défense. En effet, les grands acteurs ont reconnu la valeur et les compétences que ces nouveaux protagonistes fournissent. En résulte de nombreux partenariats stratégiques avec ces entreprises et des investissements directs par l'intermédiaire de leurs sociétés de capital-risque.

Au cours des 18 mois entre le début de 2019 et la fin de 2020, l'*US Air Force*, et maintenant la *Space Force*, ont débloqué plus de 300 millions de dollars (tout en attirant environ 350 millions de dollars d'investissement privé), avec pour résultat l'intégration supplémentaire de plus de 1 800 entreprises à la base industrielle de défense américaine. Ces entreprises sont spécialisées dans l'intelligence artificielle, la *machine learning* ou les drones et regroupent également les principaux fournisseurs nationaux de composants essentiels pour les grandes compagnies. L'*Air Force*, par l'intermédiaire de son centre d'innovation *AFWERX*, a pour objectif de faire émerger de nouvelles licornes spécialisées dans le secteur de la défense – des *startups* financées par des fonds de capital-risque dont la valorisation est supérieure à 1 milliard de dollars – au cours des cinq prochaines années. À cette fin, elle prévoit d'attribuer plus de 600 millions de dollars à des *startups*, ainsi qu'à des petites et moyennes entreprises. Le résultat final de ces mesures a été un gain net de temps pour la mise en place d'avant-garde.

### **L'avenir de l'Union européenne : ce que nous apprend l'expérience des États-Unis**

Ce n'est qu'en 2021 que l'Europe a commencé à faire face à l'évolution des dynamiques mondiales, avec notamment l'annonce du Fonds d'innovation de l'OTAN, un nouveau support d'investissement dans le domaine des *EDTs* (doté d'un milliard d'euros) et avec des investissements complémentaires tels que le fonds CASSINI de l'UE. Cependant, pour réussir à mettre en œuvre une *Responsive Defense* en Europe, il faudra plus que de nouvelles agences, un milliard d'euros et un rêve – comme les États-Unis l'ont appris dans la décennie précédente. À ce titre, les essais et les erreurs des États-Unis sont des leçons précieuses. Ils peuvent aider à bâtir une feuille de route potentielle pour l'Europe.

Washington a passé plus d'une décennie à effectuer une transition complexe d'un système d'acquisition fédéral qui n'offrait qu'une « vallée de la mort » pour les *startups* d'*EDTs*, vers un modèle opérationnel de *Responsive Defense*. Les menaces posées par la concurrence entre grandes puissances au cours des deux dernières décennies a fait émerger la nécessité de relancer l'innovation en matière de défense. Les tensions internationales se sont accrues dans le domaine des *EDTs*, notamment concernant les capacités cyber et nucléaire mais aussi dans celle des drones et des missiles hypersoniques. Sans compter que les premiers *iPhones* et *Androids* se sont retrouvés dans les mains de citoyens américains des années avant qu'ils ne deviennent l'équipement standard des soldats américains sur le champ de bataille.

Les États-Unis ont répondu au besoin de relancer l'innovation dans le secteur de la défense en créant de nouvelles opportunités pour les *startups* spécialisées dans les *EDTs* et ont progressivement encouragé l'utilisation de fonds privés et publics pour stimuler la *Responsive Defense*. Il reste beaucoup à accomplir, mais l'orientation prise pousse à l'optimisme et, à ce jour, ces efforts ont permis de

faire émerger un groupe de licornes spécialisées dans le secteur de la défense, dont *Anduril* (4,6 milliards de dollars après le dernier versement), *ShieldAI* (1,21 milliard de dollars après le dernier versement), *Palantir* (NYSE : *PLTR* ; 23,29 milliards de dollars), *Space Exploration Technologies* (*SpaceX*, 100,3 milliards de dollars après le dernier versement), *Eprius* (1,35 milliard de dollars après le dernier versement) et *Rebellion Defense* (1,15 milliard de dollars après le dernier versement).

Alors que les alliés de l'OTAN entreprennent la mise en place de complexes industriels souverains en matière d'EDTs, certaines *startups* ne perdent pas de temps. Elles se sont inspirées de la stratégie américaine pour s'inscrire dans le domaine de la défense, avec pour objectif d'accéder au statut de licorne. Le secteur de la défense comprend des entreprises en plein essor telles que *Helsing* (à Munich, 2021) et *Preligens* (à Paris, 2016) qui développent des logiciels capables d'aider les armées et les agences de renseignement en synthétisant les données géospatiales par satellite ou en intégrant des bases de données du théâtre d'opération habituellement cloisonnées dans différents organismes, pour en améliorer l'exploitation. Ces deux entreprises ont des évaluations post-monnaies de série A qui tendent vers des tours de financement propulsant l'évaluation post-monnaie à plus de 1 milliard de dollars.

Bien qu'ayant une portée limitée, les *startups* européennes ont prouvé leur expertise à haut niveau dans le secteur de la défense, ainsi que dans le domaine des technologies duales. Pour l'Europe, la prochaine étape consiste à renforcer les efforts menés par les gouvernements et l'industrie pour soutenir et pérenniser cet écosystème sur le long terme.

Pour ce faire, trois leçons importantes liées à l'expérience américaine en matière d'innovation EDTs peuvent être mises à profit par les nations européennes pour faire évoluer leurs propres industries de défense : faire des contrats à très grande échelle ; investir dans des talents différenciés ; disposer de budgets à long-terme et des voies de transition.

### **Les contrats à « grande échelle » sont essentiels à la création de programmes durables et d'investissements complémentaires**

Tout d'abord, le contrat à grande échelle consiste à faire un pari et à soutenir les entreprises *leaders* sur le marché afin que celles-ci prennent rapidement de l'importance sans succomber à la dynamique habituelle dans l'industrie de la défense d'une croissance progressive sur plusieurs décennies (qui correspondrait à la « vallée de la mort » de l'industrie). Aux États-Unis, l'investissement à grande échelle a parfois permis à des *startups* américaines de franchir cette vallée.

La *NASA*, par exemple, a investi massivement dans *SpaceX* dans les années 2000, en fournissant des contrats de plus d'un milliard de dollars pour le programme *Commercial Resupply Services*. Par ailleurs, l'entreprise *Anduril* a généré ses premiers revenus lui permettant d'atteindre le niveau centaure (fu-

ture licorne) grâce à des contrats de plus de 100 millions de dollars avec les États frontaliers d'Amérique du Nord. Les agences gouvernementales peuvent maximiser de la sorte le retour sur investissement (les investissements étant des contrats). En effet, lorsque les *startups* remportent des contrats importants dans le secteur de la défense, les investisseurs deviennent beaucoup plus enclins à débloquer des sommes de capital conséquentes pour que ces *startups* puissent développer des capacités plus avancées. Cela a un effet non seulement sur la performance du cours des actions, mais aussi sur l'infrastructure, la main-d'œuvre et la qualité des produits de l'industrie de défense ; ce qui sert directement les objectifs géopolitiques des gouvernements européens et de leurs partenariats.

### **Pour investir dans des talents aux compétences spécifiques, l'industrie doit réévaluer ses priorités économiques**

Deuxièmement, investir dans des talents suscite une hausse des salaires des employés, mais aussi une exigence envers leurs travaux plus importante. L'une des leçons essentielles de l'expérience américaine est le besoin de moderniser la manière dont le gouvernement et l'industrie rémunèrent les employés de l'industrie de défense. Aux États-Unis, à la fin du XX<sup>e</sup> siècle, l'industrie de défense n'a pas réussi à adapter son approche pour attirer et fidéliser les meilleurs talents du domaine des technologies en raison d'une incapacité à faire évoluer les modèles de capital humain dans les entités privées et publiques.

Après la Seconde Guerre mondiale, dans l'industrie de défense américaine, le nombre d'employés talentueux a augmenté ainsi que leur rémunération. Mais les salaires proposés restaient inférieurs à ceux du marché du travail. Les personnes s'engageaient en fait dans une seule entreprise pour toute leur carrière en échange d'une pension de retraite généreuse. De nombreuses autres industries nationales utilisaient ce système fleurissant. Toutefois, à la fin du XX<sup>e</sup> siècle, les entreprises des autres secteurs, notamment celui des technologies, ont adopté le plan de retraite 401(k)<sup>1</sup>. L'industrie de défense a ignoré cette tendance et a persévéré dans une approche de plus en plus archaïque consistant à offrir une rémunération inférieure à celle du marché. Elle ne parvenait pas à ajuster la rémunération pour qu'elle soit compétitive par rapport à l'augmentation rapide des salaires dans l'industrie *tech* et ce encore au début du XXI<sup>e</sup> siècle. Aujourd'hui, les salaires de début de carrière des ingénieurs des principales entreprises du secteur de la défense sont étonnamment inférieurs aux salaires des ingénieurs des *FAANG* (en référence aux grandes entreprises *tech* : *Facebook*, *Amazon*, *Apple*, *Netflix* et *Google*). De nombreuses entreprises offrent des salaires de départ allant de 40 000 à 70 000 dollars par an, tandis que les *FAANG* offrent des salaires allant de 170 000 à 180 000 dollars, plus des *stock-options*. Les entreprises de défense les plus importantes continuent également d'ignorer la hausse du coût de la vie et l'émergence de l'hy-

---

1. Un plan 401(k) est un compte d'épargne-retraite qui permet à un employé de détourner une partie de son salaire vers des investissements à long terme (NdT).

perinflation dans l'économie américaine, ce qui accélère encore davantage les déficits de recrutement et l'attrition de la main-d'œuvre.

Les approches concernant le recrutement des talents qui ont fonctionné en 1965 ne fonctionnent plus en 2022. Par conséquent, de nombreuses entreprises importantes aux États-Unis ne parviennent pas à attirer les étudiants des meilleures universités et entreprises d'ingénierie, se retrouvant soit avec une pénurie de talents, soit avec des employés provenant des 50 % de la main-d'œuvre la moins performante du marché du travail. Cette situation a, en partie, contribué à une série de problèmes systémiques au cours des vingt dernières années, allant de retards importants dans les programmes de technologies de défense à des scandales de gestion dans certaines entreprises majeures de l'industrie de défense nord-américaine.

En parallèle, l'émergence de nouvelles entreprises à l'origine du développement d'EDTs, telles que *SpaceX* et *Anduril*, a permis d'attirer des talents dans le domaine technique et commercial qui n'auraient habituellement pas envisagé de s'adresser aux anciens entrepreneurs de l'aérospatiale et de la défense pour des raisons de culture du travail, de rémunération ou de progression de carrière. Ces entreprises y parviennent en versant des salaires plus compétitifs et en offrant un environnement de travail nouveau de *startup tech* qui valorise la prise de risques, les hiérarchies horizontales et les possibilités de développer de nouvelles compétences.

Enfin, le rôle de l'industrie privée dans la valorisation des talents n'est pas suffisant pour résoudre le problème sous-jacent. Les entités gouvernementales qui financent les grands programmes de défense doivent reconnaître que les exigences de faible marge sur les contrats de matériel et de logiciel sont souvent la source du problème, se répercutant en cascade sur la chaîne de valeur de l'industrie et entraînant une multitude de déficiences à long terme. Par conséquent, les secteurs privé et public doivent adopter l'approche de l'industrie *tech* moderne : acheter, attendre et, surtout, fournir une qualité élevée sur toute la ligne de production.

### **Budgets à long terme et voies de transition**

L'allocation de fonds semble évidente, mais trop souvent, elle n'est pas au centre de la réflexion. Pour garantir le succès des projets, le financement doit être important, pluriannuel et cohérent ou inclure une croissance annuelle intégrée. Un certain nombre d'initiatives à fort potentiel ont été annoncées sans financement conséquent ou ont connu des déficits d'investissement importants les années suivantes, ce qui a nui à leur image de marque et à leurs relations avec les entreprises et les *startups* du secteur de la défense. Les effets des nouvelles initiatives, qu'il s'agisse du Fonds d'innovation de l'OTAN, du fonds CASSINI ou des projets nationaux, dépendront probablement de la volonté des membres de l'Alliance d'apporter des contributions allant au-delà des autres obligations de l'OTAN et de l'UE en matière de défense et du secteur spatial. Si tel est le

cas, des engagements pluriannuels sont essentiels, de même que des mesures de réussite (comme le retour sur investissement), qui sont rarement utilisées au sein de l'OTAN, de l'UE ou des services gouvernementaux nationaux.

De même, il existe de nombreuses études sur la vallée de la mort des industries de la défense. S'il peut être relativement facile de remporter de petites victoires initiales, il est rare qu'il y ait une voie balisée vers des contrats de production. Ces derniers sont nécessaires à la fois pour la santé et la croissance de l'entreprise, mais aussi pour attirer les investisseurs externes afin d'obtenir des contrats à plus grande échelle.

### **Les défis de l'écosystème européen**

Le succès américain ne s'est pas reproduit en Europe. Quatre éléments entravent les performances de l'écosystème de défense européen.

Premièrement, le protectionnisme reste un problème dans de nombreux pays européens. Les gouvernements qui conservent des parts importantes dans les entreprises de défense découragent les efforts de développer des solutions à l'échelle européenne. De plus, lorsque des fonds sont disponibles, ils sont généralement consacrés au soutien des entreprises de défense anciennes plutôt qu'à des entreprises non-traditionnelles ou à des *startups* de défense.

Deuxièmement, lorsqu'il y a des besoins à l'échelle européenne, les entreprises de défense nationales *leaders* en Europe ont tendance à favoriser les plateformes multi-missions à coût élevé. Cependant, leur développement entraîne souvent une importante duplication des efforts. Un exemple concret : le *Tempest Future Fighter Aircraft* et le *Future Combat Air System* sont deux programmes chiffrés à des milliards d'euros chacun et qui développent des plateformes aux capacités très similaires.

Troisièmement, il n'existe pas d'incitation pour utiliser du capital-risque en Europe dans le secteur de la défense, contrairement aux États-Unis. Les contrats sont rarement attribués directement aux petites entreprises et sont plutôt alloués en tant que contrats de sous-traitance pour des travaux plus spécialisés et/ou à faible marge, entraînant donc des profits plus faibles et réduisant l'attrait potentiel pour les investisseurs. En outre, il y a eu peu de tentatives au niveau européen ou au niveau national pour fournir des opportunités de revenus rapides ou des leviers innovants et complémentaires comme, par exemple, l'alignement des gouvernements sur le financement privé des entreprises.

Quatrièmement, les acteurs traditionnels de la défense en Europe ont du mal à concurrencer les entreprises *tech* et les *startups* pour le recrutement des meilleurs employés techniques et non techniques en raison de leur lourde bureaucratie, de salaires faibles, d'un manque de culture de l'innovation et de la lenteur des délais de promotion de carrière.

Aux États-Unis, plusieurs de ces problèmes demeurent des défis pour le secteur de la défense, ce qui devrait donner de l'espoir à l'Europe : les situations ne sont pas toujours très éloignées et l'adoption des meilleures pratiques américaines devrait apporter des avantages similaires. Les entités de défense de l'UE et surtout les gouvernements européens doivent offrir un accès beaucoup plus important aux contrats des *startups*, même si cela semble se faire au détriment des champions nationaux. En parallèle, les nouveaux entrepreneurs et entreprises doivent être incités à rechercher les contrats et les subventions susmentionnés. L'Europe dispose d'une communauté de capital-risque solide et en pleine expansion qu'il convient d'exploiter. De même, les universités sont des partenaires potentiels clés et sources de futurs talents.

### Quelles recommandations ?

Alors que les pays occidentaux envisagent des approches plus concrètes pour reconstruire leurs capacités d'innovation en matière de défense, la *Responsive Defense* propose des principes fondamentaux que les entreprises et les acteurs nationaux peuvent utiliser pour planifier de manière plus tactique leur stratégie d'adaptation. Dans l'UE, au Royaume-Uni et aux États-Unis, un grand nombre de défis similaires subsistent. Des solutions existent et sont résumés ci-dessous :

- Investissements à très grande échelle : ajuster les équations de risque pour miser sur des acteurs ambitieux. Les *startups* ont souvent le plus haut degré de dynamisme organisationnel et d'agilité dans le secteur privé pour résoudre les plus grands défis technologiques de l'industrie de défense. Les gouvernements doivent évaluer quels acteurs nouveaux possèdent les atouts pour prospérer, puis leur proposer un contrat de premier ordre pour qu'ils puissent y parvenir.
- Investir dans des talents aux compétences spécifiques : investir massivement dans le capital humain et attendre en retour beaucoup de ses employés. Pour les gouvernements et les armées, cela signifie réévaluer les variables qui sont prioritaires pour les attributions des contrats et reconnaître que le prix est en corrélation avec la qualité et pas uniquement avec la concurrence. En investissant et en exigeant davantage du secteur privé dès le départ, les acteurs de l'industrie ont la possibilité de recruter les bons profils, ce qui réduit les risques lors du développement de l'entreprise et des dérives budgétaires lors des livraisons.
- Budgets à long terme et création de voies de transition : la promotion d'un environnement commercial plus prévisible en réduisant les contrats sporadiques et en augmentant les possibilités pour les entreprises de poursuivre des programmes de plus en plus importants permettra à la communauté des investisseurs privés de prendre plus de risques sur les *startups*. Le capital-risque réagit mieux à la rapidité et à la prévisibilité dans le cycle des affaires. C'est la clé pour débloquer les investissements du secteur privé qui permettront à l'industrie de défense européenne de prospérer.

- Pour l'Europe en particulier :
  - Donner la priorité aux problèmes à résoudre plutôt qu'aux objectifs politiques. Bien que la géopolitique et les lacunes en matière de capacités soient étroitement liées, elles ne sont pas identiques. La budgétisation des programmes de défense doit être axée sur ces dernières afin de garantir un engagement à long terme envers les programmes essentiels et par conséquent des résultats positifs.
  - Les membres de l'OTAN ne peuvent pas se permettre d'adopter une attitude protectionniste à l'égard des technologies de défense. Les flux de propriété intellectuelle, de talents, de programmes de développement et de possibilités de financement doivent faire l'objet d'une approche trans-frontalière afin de permettre aux nouveaux venus sur le marché de trouver les bonnes opportunités pour créer des entreprises.

L'Europe a la population, les dépenses de défense, la recherche et les talents pour développer un écosystème d'innovation. Alors que les changements structurels de ce type ne sont pas aisés à réaliser, l'approche actuelle, dont les États-Unis sont les pionniers, permet d'accélérer ce processus. Avec un nouvel ensemble d'entreprises de défense de premier plan et de capacités *EDTs* sur les deux continents, l'OTAN et ses États membres ont tout à gagner sur le plan géopolitique, en décourageant plus fortement les entreprises hostiles et en comblant les lacunes capacitaires existantes.

Atteindre cet état futur par le biais d'une *Responsive Defense* est toutefois une entreprise de longue haleine. L'Europe devra créer des opportunités de financement durables par le biais de programmes gouvernementaux et hybrides, tout en réévaluant les modèles opérationnels traditionnels d'acquisition d'armement et d'attribution de contrats. L'acquisition d'un avantage concurrentiel dans la compétition entre grandes puissances, qui favorisera la croissance économique et l'innovation technologique des économies nationales au XXI<sup>e</sup> siècle, nécessitera une attention accrue et un effort constant de la part des nations européennes et de leurs alliés.



# Hypersonique : entre rhétorique et réalité

David Pappalardo

*David Pappalardo est un colonel servant à la Direction stratégie de défense, prospective et contre-prolifération, au sein de la Direction générale des relations internationales et de la stratégie.*

« *Nouvelles armes fatales* » ; « *spectaculaires et révolutionnaires* » ; « *Moment Spoutnik* ». Les hyperboles ne manquent pas pour qualifier les développements actuels en matière d'engins hypersoniques si bien que le 4 janvier 2022, une enquête du journal *Les Echos* titrait que cette nouvelle course aux armements était de nature à « *rebattre les clés de la sécurité mondiale* »<sup>1</sup>. L'année 2021 ne fut en effet pas avare en annonces : les Américains ont tout d'abord accusé les Chinois d'avoir testé en août une nouvelle arme de rupture, capable d'être mise en orbite basse puis de fondre sur sa cible avant d'avoir effectué une révolution terrestre complète. Bien que Pékin ait démenti, arguant qu'il s'agissait d'un test de véhicule spatial réutilisable, le Général Milley – chef d'état-major américain – a comparé cet essai avec le lancement en 1957 du satellite *Spoutnik* par les Soviétiques, qui avait pris de vitesse et par surprise les Américains dans la conquête spatiale.

Par ailleurs, le 11 octobre 2021, la Corée du Nord dévoilait lors de l'exposition « *Autodéfense 2021* » une série d'armes, dont un planeur hypersonique et un véhicule de rentrée manœuvrant (*MaRV*<sup>2</sup>) posé sur un nouveau propulseur, dénommé *Hwasong-8*<sup>3</sup>. Quelques jours auparavant, le planeur avait été testé en vol. Bien que des doutes subsistent sur la vitesse réellement atteinte et la réussite effective de l'essai, Pyongyang a insisté sur le qualificatif « hypersonique » lors de ses annonces, assurant une diffusion virale à la démonstration. La même

---

1. A. Bauer, [La course aux armes hypersoniques rebat les cartes de la sécurité mondiale](#), *Les Echos*, 04/01/2022.

2. *Maneuverable Re-entry vehicle*.

3. C. Zwirko, [New missiles and Kim Jong Un idolatry dominate 'Self-Defense-2021' expo](#), *NK-PRO*, 12/08/2021.

stratégie déclaratoire fut utilisée par la Corée du Nord lors de deux tests d'un corps de rentrée manœuvrant les 6 et 11 janvier derniers. Cette tête ressemblait à celle que les Américains avaient développée dans les années 80 avec le missile *Pershing-II* et semblait inspirée des coiffes des missiles chinois DF-21D et DF-26. Lors du premier test, l'ogive aurait atteint avec précision une cible distante de 700 km tout en démontrant une capacité à se déplacer latéralement sur 120 km selon l'agence centrale de presse officielle nord-coréenne KCNA (*Korean Central News Agency*).

Enfin, la Russie a annoncé le 19 mars 2022 avoir utilisé pour la première fois son missile balistique aéroporté Kh-47M2 *Kinzhal* tiré par un MiG-31 modernisé contre un dépôt de munitions en Ukraine<sup>4</sup>. Là encore, la communication s'est essentiellement focalisée sur la nature hypervélocité de cette munition à des fins d'intimidation et de signalement stratégique vers l'OTAN. Pour autant, le *Kinzhal* n'est pas une arme de rupture conférant à la Russie un avantage opérationnel significatif dans la guerre en Ukraine. Il ne s'agit au contraire que d'une adaptation du missile balistique sol-sol *Iskander-M*, déjà tiré à de nombreuses reprises depuis le début du conflit pour créer des effets militaires similaires.

Concentrer aveuglément son attention sur le mot « hypersonique » revient à oublier qu'une grande partie des missiles balistiques classiques le sont déjà, dans la mesure où ils atteignent, selon leur portée, des vitesses souvent largement supérieures à 5 fois la vitesse du son. Les développements technologiques actuels marquent au contraire la recherche d'une manœuvrabilité à très grande vitesse et sous très fortes contraintes dans les couches les plus denses de l'atmosphère (planeur, missile de croisière) ou lors de la rentrée d'une ogive dans celle-ci (*MaRV*). Ces efforts s'inscrivent dans la dialectique classique entre l'attaque et la défense et cherchent à augmenter les capacités de pénétration face à des défenses antimissiles de plus en plus élaborées et intégrées. Les armes hypersoniques servent ainsi quatre ambitions stratégiques : elles garantissent d'abord la crédibilité de la dissuasion nucléaire pour les États dotés. En outre, les armes hypersoniques augmentent les capacités de frappe conventionnelle dans la profondeur, pouvant nourrir une posture de déni d'accès (Russie, Chine), ou au contraire chercher à les pénétrer grâce au couple énergie/manœuvrabilité (États-Unis). Ce sont enfin des armes de statut, ainsi que des vecteurs de signalement stratégique pouvant servir une posture d'intimidation (Russie, Chine, Corée du Nord). Ces quatre ambitions stratégiques étant déjà soutenues pour les autres technologies de missile plus classiques, l'hypersonique est donc moins une révolution qu'un progrès incrémental dans des fonctions établies.

De fait, les stratégies déclaratoires des différents compétiteurs entremêlent rhétorique et réalité si bien que les effets sur la stabilité stratégique ne doivent

---

4. Cette arme a été dévoilée en 2018. Elle est en expérimentation opérationnelle sur MiG-31 K depuis 2020.

pas être surestimés par rapport aux autres technologies de missiles déjà en service. D'une part, la prolifération de ces technologies demeure relative à ce jour du fait de leur haut niveau de sophistication ; d'autre part, les armes hypersoniques n'altèrent pas significativement les logiques de dissuasion nucléaire, dans la mesure où les arsenaux actuels assurent déjà – et continueront de garantir à un horizon prévisible – la vulnérabilité mutuelle des grandes puissances dotées. Affirmer que les États-Unis et leurs alliés sont face à un « moment *Sputnik* » relève ainsi de l'exagération. En revanche, si ces engins ne suscitent pas de nouveaux problèmes, ils peuvent les amplifier du point de vue de la gestion de l'escalade, en dilatant le champ de bataille<sup>5</sup> et contractant le temps de réaction simultanément, notamment lorsqu'ils sont mis au service de doctrines opaques et ambiguës.

### Une redéfinition de la dialectique entre l'attaque et la défense

#### *La grande vitesse au service du couple énergie/manœuvre*

Les engins capables d'atteindre des vitesses supérieures à Mach 5 existent déjà : ce sont les missiles balistiques, dont la vitesse maximale augmente avec la portée (jusqu'à dépasser 20 fois la vitesse du son pour des *ICBM*<sup>6</sup>). Pour autant, leur trajectoire est prévisible : dès qu'ils sont détectés, il est relativement aisé de déterminer leur point de lancement – et d'attribuer l'origine de l'attaque – comme leur point d'impact. De même, tout véhicule en orbite spatiale se déplace à une vitesse hypersonique en suivant une trajectoire prévisible. En contraste, les efforts de développement actuels concernent à la fois les engins capables d'évoluer à des vitesses supérieures à Mach 5 et d'utiliser leur énergie pour manœuvrer à très grande vitesse dans l'atmosphère afin de percer les défenses les plus élaborées.

Deux grands types d'armes hypersoniques peuvent être distingués : les premiers sont les planeurs (*Hypersonic Glide Vehicle* ou *HGV*), mis à poste à partir d'un vecteur balistique tiré depuis le sol ou depuis un vecteur aérien (on parle alors de missile balistique aéroporté). Une fois séparés de leur propulseur, ces planeurs volent à des vitesses moyennes de l'ordre de 2 à 5 km/s pour des altitudes de vol comprises entre 50 à 70 km. La vitesse moyenne dépendra de la vitesse initiale à l'éjection du planeur et des manœuvres réalisées pendant le vol. Ils peuvent rebondir sur l'atmosphère pour augmenter leur portée et convertir leur vitesse en énergie pour manœuvrer. L'absence de propulsion fait en revanche apparaître un dilemme entre la portée et la pénétration : si la portée obtenue au premier rebond permet de garder une vitesse suffisante, la sortie des manœuvres suivantes est réalisée à des vitesses décroissantes, qui exposent le planeur à l'in-

---

5. La dilation du champ de bataille est plus significativement liée à l'augmentation de la portée des armements de précision, hypersoniques ou non.

6. *InterContinental Ballistic Missile* (missiles balistiques intercontinentaux d'une portée supérieure à 5 500 km.)

terception en phase terminale du vol. Dès lors, la portée théorique ne représente pas forcément la portée opérationnelle.

La seconde grande catégorie concerne les missiles de croisière (*Hypersonic Cruise Missile* ou HCM), propulsés par un superstatoréacteur pendant une partie du vol. Ces engins sont moins rapides que les planeurs (vitesses de l'ordre de 1,5 à 2,5 km/s), ont généralement des portées plus courtes, mais volent à des altitudes plus basses (entre 20 et 30 km) rendant leur détection plus compliquée. Ils sont capables de manœuvrer très fortement, la propulsion assurant une certaine préservation de l'énergie. Ils peuvent être tirés depuis des plateformes terrestres, navales ou aériennes. En revanche, le développement de la technologie superstatoréacteur demeure complexe. Les ingénieurs la comparent à « *maintenir une allumette allumée au milieu d'un ouragan* », ce qui avait poussé certains compétiteurs à privilégier initialement les planeurs dans leurs quêtes d'engins hypersoniques. Des progrès notables ont toutefois été atteints de sorte que la propulsion par superstatoréacteur est désormais au cœur des priorités de l'*United States Air Force (USAF)* pour obtenir une capacité de frappe hypersonique à grande échelle. En outre, les Russes ont activement poursuivi à la fin de l'année 2021 leur campagne d'essais étatiques du missile de croisière hypersonique 3M22 *Tsirkon*, tiré depuis la frégate *Admiral Gorshkov* et le sous-marin *Severodvinsk*. Moscou est ainsi sur le point de mettre en service le premier missile à propulsion par superstatoréacteur, capable d'atteindre une vitesse de l'ordre de Mach 8, avec plusieurs mois d'avance sur les estimations initiales<sup>7</sup>. Enfin, la France poursuit la recherche et le développement sur le futur missile ASN-4G devant entrer en service en 2035 dans le cadre de sa dissuasion.

---

7. « [3M22 Zircon](#) », *Missile Defense Advocacy Alliance*, 2022.

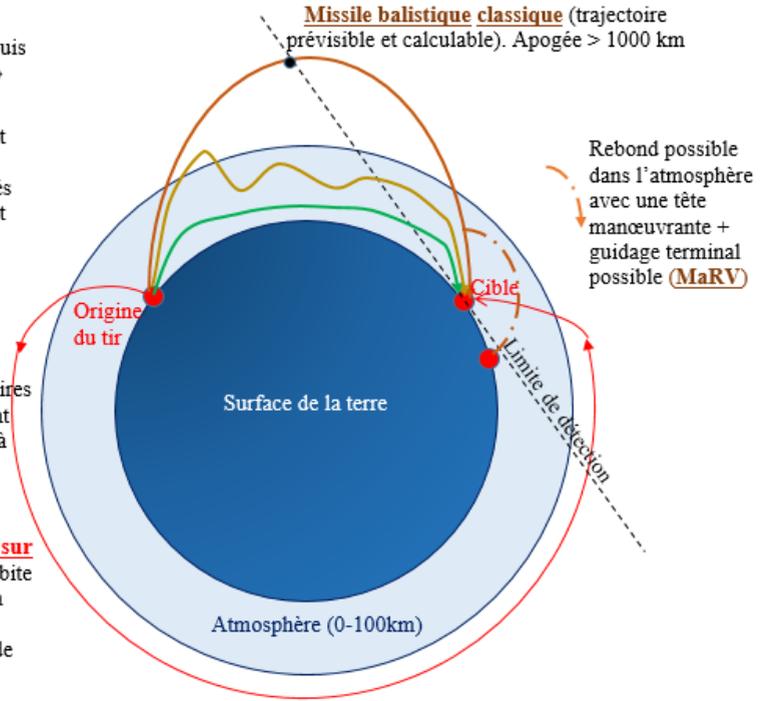
**Les planeurs** sont injectés à partir d'un engin balistique, puis planent et/ou « rebondissent » jusqu'à leur cible.

**Les missiles de croisière** sont propulsés par des super statoréacteurs. Ils sont détectés plus tardivement car ils volent plus bas. Leur portée est généralement inférieure aux planeurs.



Les deux restent dans l'atmosphère, ont des trajectoires moins prévisibles, et disposent d'une capacité de manœuvre à grande vitesse.

**Systèmes de bombardement sur fraction d'orbite.** Reste en orbite basse avant d'accélérer vers sa cible. Vulnérable aux tirs antisatellites et aux systèmes de défense exo-atmosphériques.



Attention, les échelles ne sont pas respectées.

Figure 1: ce schéma illustre en synthèse les différents profils de vols ainsi que les principales caractéristiques des engins hypersoniques considérés (missiles balistiques, ogives manœuvrantes, planeurs, missiles de croisière à superstatoréacteur, FOBS).

Au-delà des planeurs et missiles de croisière, deux autres catégories d'engins « hybrides » peuvent être identifiées. La première concerne les ogives manœuvrantes de missiles balistiques (*MaRV*), évoquées en introduction, et qui sont conçues notamment pour augmenter la précision du guidage terminal et frapper éventuellement des cibles mobiles lentes. L'Iran, la Chine et la Corée du Nord développent et emploient ce type de technologie, suscitant l'inquiétude dans la perspective d'une mission antinavire.

L'autre catégorie porte sur les systèmes de bombardement sur fraction d'orbite (FOBS<sup>8</sup>), qu'un test chinois réalisé pendant l'été 2021 aurait remis à l'ordre du jour (il n'est toutefois pas possible de confirmer à ce jour la nature exacte de ce test). Contrairement aux planeurs qui « volent » dans l'atmosphère, les *FOBS* circulent sur une fraction d'orbite basse avant d'opérer une manœuvre de rentrée et se diriger vers sa cible. Les premiers exemplaires avaient été mis en service par les Soviétiques en 1968 avant d'être abandonnés dans les années 1980. Sans

8. *Fractional Orbital Bombardment System.*

contrevenir aux termes du Traité de l'Espace de 1967 (à défaut de son esprit)<sup>9</sup>, leur intérêt opérationnel reste limité. Certes, ils permettent par exemple de désorbiter une arme « en passant par le pôle Sud » (alors que l'architecture de défense exo-atmosphérique américaine est tournée « vers le Nord »). Toutefois, l'allongement de la portée des *ICBM* le permet aussi, à l'instar du nouveau missile russe *SARMAT* qui devrait rentrer en service d'ici 2025. En outre, le *FOBS* souffre d'une limite en termes de charge utile dont la rentrée dans l'atmosphère est plus délicate à gérer tandis que l'utilisation d'une orbite basse rend leur trajectoire intermédiaire plus prévisible que celle des planeurs ou des missiles de croisière hypersoniques<sup>10</sup>. En revanche, coupler un *FOBS* à un corps de rentrée manœuvrant augmenterait l'incertitude sur la trajectoire finale ainsi que sur le point d'impact.

### *Augmenter les capacités de pénétration comme finalité opérationnelle*

Au-delà des différentes technologies utilisées, l'objectif opérationnel reste identique. Il s'agit de garantir et augmenter les capacités de pénétration des systèmes offensifs en déjouant les défenses adverses (évitement ou pénétration) et/ou en les restreignant (suppression). Les principes adoptés sont constants : convertir la vitesse en manœuvrabilité ; adopter un profil de vol peu exposé aux systèmes de détection et d'interception actuels (hautes couches de l'atmosphère) ; sidérer l'adversaire au point de le paralyser (mise à mal des chaînes d'engagement) ; augmenter l'imprévisibilité des trajectoires (posant au passage ainsi un dilemme d'interprétation).

## **Des technologies au service de quatre grandes finalités stratégiques**

D'un point de vue stratégique, le développement d'engins hypersoniques peut répondre à quatre grandes ambitions, qu'il est possible d'illustrer avec les choix des principaux acteurs de l'hypersonique actuels.

### *1 – Garantir la crédibilité de la dissuasion nucléaire*

La première est l'exercice de la dissuasion nucléaire, pour garantir sa crédibilité face à la montée en gamme des défenses antimissiles adverses. Il s'agit là par exemple du narratif russe qui présente le système *Avanguard* comme une réponse aux systèmes de défense antimissile des États-Unis et de l'OTAN alors que ces derniers ne sont pas dirigés contre la Russie, ni dimensionnés pour faire échouer une attaque balistique d'ampleur. L'*Avanguard* est un planeur hypersonique connu

---

9. Le Traité de l'Espace de 1967 interdit explicitement le placement en orbite d'armes de destruction massive (ADM). Tout comme les missiles balistiques qui ne font que transiter par l'espace, les FOBS se sont pas considérés juridiquement comme des objets spatiaux dans la mesure où ils ne réalisent pas une orbite complète autour de la Terre. À ce titre, ils ne rentrent pas dans le champ d'application du droit spatial.

10. E. Maitre. « [Système de bombardement orbital fractionné \(FOBS\) : une nouvelle capacité chinoise ?](#) », *Bulletin mensuel* n°91, Fondation pour la Recherche Stratégique, Observatoire de la dissuasion, 10/2021.

auparavant sous l'appellation *Projet 4202*. Doté d'une charge nucléaire, il peut atteindre une vitesse de l'ordre de Mach 20 tout en étant manœuvrable, ce qui lui assure une plus grande capacité de pénétration. L'*Avanguard* est aujourd'hui porté par des missiles SS-19 *Stiletto*, dans l'attente de la mise en service du RS-28 *Sarmat*, le nouvel *ICBM* russe, fin 2025. Par ailleurs, les États-Unis estiment que la Chine recourerait également à ces technologies pour moderniser son outil de dissuasion nucléaire. Si l'hypothèse déjà évoquée d'un *FOBS* reste envisageable, le test mené cet été pourrait aussi correspondre au vol d'un planeur largué depuis un *ICBM*, dont l'intérêt opérationnel est plus important.

La France progresse également dans la voie de l'hypersonique avec les travaux sur le missile air-sol nucléaire de 4<sup>e</sup> génération (ASN-4G), qui doit être mis en service en 2035<sup>11</sup>. Ce nouveau missile hypervélocité et manœuvrant garantira la crédibilité de la composante aéroportée de la dissuasion française au-delà de 2040, tout en respectant le principe de stricte suffisance. *A contrario*, les Américains ne semblent pas à ce jour investir dans la technologie hypersonique manœuvrante pour moderniser leur triade nucléaire<sup>12</sup>, dont le budget est déjà évalué à 27 milliards de dollars en 2022. Les États-Unis poursuivent notamment l'option de la furtivité et du nombre plutôt que de l'hypervélocité pour la composante aéroportée de leur dissuasion nucléaire.

## 2 – Augmenter les capacités de frappe conventionnelle dans la profondeur

La deuxième finalité stratégique consiste à améliorer les capacités de frappe conventionnelle dans la profondeur, sous très faible préavis, à des fins de coercition. C'est l'option que valorise Washington selon l'esprit du concept *Conventional Prompt Global Strike* (CPGS), annoncé en 2003 mais qui ne s'est jamais concrétisé depuis<sup>13</sup>. L'ambition initiale de ce programme était de pouvoir frapper de manière précise n'importe quel endroit sur Terre en moins d'une heure, avec des missiles balistiques intercontinentaux à charge conventionnelle tirés depuis un sous-marin. Ce programme fut arrêté pour deux raisons : d'une part, le ratio coût/efficacité était trop élevé ; d'autre part, les risques de mauvaise interprétation par un adversaire sur la nature de la tête (conventionnelle ou nucléaire) auraient pu entraîner une escalade nucléaire non maîtrisée.

Avec la fin du Traité sur les forces nucléaires de portée intermédiaire (FNI) et le durcissement des postures de déni d'accès russe et chinoise, le Pentagone revisite désormais ce concept à la lumière des développements en matière d'hypersonique dans les trois armées. L'*US Army* développe notamment un système de feu

11. Parallèlement, le projet expérimental V-MAX visant à développer un planeur hypersonique a été notifié à *Ariane Group* par la Direction générale de l'armement en 2019. Ce projet innovant vise à développer des briques technologiques liées au planeur hypersonique, dont l'usage futur n'a toujours pas été arrêté (conventionnel ou nucléaire).

12. Sous-marin nucléaire lanceur d'engins de classe *Columbia* ; programme *Ground Based Strategic Deterrent* ; bombardiers B-21 et missile aéroporté furtif AGM-181 *Long Range Stand-Off Weapon*.

13. « [Conventional Prompt Global Strike and Long-Range Ballistic Missiles: Background and Issues](#) », *Report Congressional Research Service*, 16/07/2021

sol-sol hypersonique baptisé *Long Range Hypersonic Weapon* « *Dark Eagle* » (*LRHW*) qui devrait rentrer en service en 2023. Pouvant atteindre une portée supérieure à 2 000 km, le *LRHW* met en œuvre un planeur développé avec l'*US Navy*<sup>14</sup> tiré depuis un lanceur terrestre. La Marine américaine a quant à elle lancé le programme *IRCPS* (*Intermediate-Range Conventional Prompt Strike*), dont l'objectif est de pouvoir tirer cette même ogive hypersonique conventionnelle à partir des destroyers de la classe *Zumwalt* dès 2023, et des futurs sous-marins nucléaires d'attaque de la classe *Virginia* en 2028.

Pour sa part, l'*USAF* explore deux pistes complémentaires : la première concerne le développement du planeur hypersonique aéroporté *AGM-183A ARRW* pour *Air-Launched Rapid Response Weapon*<sup>15</sup>, devant être tiré à partir des bombardiers B-52, voire B1-B. Or le programme connaît actuellement de nombreuses difficultés techniques : les Américains ont essuyé un troisième échec consécutif lors du test du système de propulsion le 15 décembre 2021 depuis un B-52<sup>16</sup>. Alors que l'*AGM-183A* devait être la première arme hypersonique à rentrer en service aux États-Unis, la publication du budget de la défense américain pour l'année 2023 est venue obscurcir l'horizon du programme en annulant la réception des premiers missiles et en réinvestissant les fonds dans la recherche et le développement<sup>17</sup>. L'*USAF* explore aussi une autre voie avec l'accélération du programme de missile de croisière hypersonique propulsé par superstatoréacteur, suite aux tests en vol réussis le 27 septembre 2021 et en mars 2022 du démonstrateur *HAWC* (*Hypersonic Air-breathing Weapon Concept*). L'objectif est d'arrêter en 2023 la forme du futur missile (*Hypersonic Attack Cruise Missile* ou *HACM*), ce dernier devant être l'objet principal de l'effort principal de l'*USAF* en matière d'hypersonique aéroporté d'ici la fin de la décennie<sup>18</sup>.

Ainsi, les Américains envisagent à ce stade un usage uniquement conventionnel des engins hypersoniques, qui ne devraient pas atteindre des portées intercontinentales pour éviter toute ambiguïté avec les engins servant leur dissuasion nucléaire. En revanche, l'hypersonique incarne la compétition stratégique actuelle avec la Russie et la Chine. Washington investit massivement pour rattraper son retard sur Moscou et Pékin comme en témoignent les montants consacrés dans la loi de finances 2022 relative au budget de défense (2,7 milliards de dollars provisionnés, soit une augmentation de plus de 750 % d'investissements entre 2015 et 2020)<sup>19</sup>. Pour les États-Unis, les systèmes hyperso-

---

14. *Common-Hypersonic Glide Body* (C-HGB)

15. Se prononce « Arrow ».

16. « [Air Force hypersonic weapon runs into trouble after a third failed test](#) », *Breaking Defense*, 20/12/2021.

17. « [Air Force ditches plans to buy first hypersonic ARRW missile in FY23](#) », *Breaking Defense*, 29/03/2022e.

18. Le contrat devant définir le premier plan de forme missile du programme *HAWC* a été attribué en juin 2021 à *Lockheed* et *Raytheon* (pour une durée 15 mois). Par ailleurs, il existe une forte adhérence avec le programme mené en coopération avec l'Australie dans le cadre du *SCIFIRE* (*Southern Cross Integrated Flight Research Experiment*).

19. « [Hypersonic Weapons: Background and Issues for Congress](#) », *Report*. Congressional Research Service. 05/05/2022 p. 4

niques sont devenus des facteurs essentiels de supériorité opérationnelle face aux postures de déni d'accès russe en Europe et chinoise en Asie. Ils doivent permettre de rétablir la liberté d'action en neutralisant les défenses ennemies et plus spécifiquement les éléments constitutifs de ces postures (centres de détection et de commandement, systèmes surface-air, sites de lancement des principaux systèmes offensifs, etc.)<sup>20</sup>.

### 3 – Durcir les postures de déni d'accès

*A contrario*, la troisième ambition stratégique liée aux armes hypersoniques porte sur la modernisation de la dimension offensive des postures de déni d'accès, comme en témoignent les efforts consentis par les Russes et Chinois. Par leur capacité à sidérer l'adversaire et à frapper des cibles dans la profondeur sous bref délai, les systèmes hypersoniques développés par Moscou et Pékin sont susceptibles d'interdire à un adversaire d'atteindre ses objectifs stratégiques.

Cette ambition vise à contrer la capacité de l'adversaire à projeter sa puissance depuis les différents milieux. En faisant peser une menace sur les infrastructures aéroportuaires, les moyens hypersoniques concourent par exemple à la contestation de la supériorité aérienne. Dans le domaine maritime, le but est d'éloigner les groupes aéronavals qui incarnent la suprématie américaine sur les mers. Le *Tsirkon* russe est ainsi présenté comme un missile principalement antinavire avec des caractéristiques qui lui permettraient d'atteindre une cible en surface nonobstant les couches successives de défense de la flotte.

Le cas chinois est aussi emblématique de cette ambition, en particulier en raison de la géographie. Pékin cherche en effet à étendre sa zone d'interdiction maritime jusqu'à la deuxième chaîne d'îles, incluant l'île Bonin et les îles Marshall, dont Guam. La Chine a tout d'abord développé des ogives manoeuvrantes (*MaRV*) mises en œuvre à partir de missiles balistiques, dont le DF-21D d'une portée d'environ 1 400 km et le DF-26 qui peut atteindre une cible à plus de 4 000 km (ces deux engins étant respectivement connus sous les sobriquets de « *Carrier killer* » et « *Guam killer* »). En outre, Pékin a mis en service en 2019 le missile balistique de portée moyenne DF-17 servant à propulser un planeur hypersonique (atteignant Mach 10 pour 2 500 km de portée)<sup>21</sup>, laissant entendre qu'il aurait une vocation antinavire. Autre projet, la Chine développe un missile balistique aéroporté antinavire à deux étages sur son bombardier H6-N. Connu sous le nom de CH-AS-X-13, il aurait été développé à partir du missile sol-sol DF-21D et constitue une menace supplémentaire pour les forces navales adverses.

---

20. Avec le risque d'escalade que cela comporte, eu égard à l'enchevêtrement des éléments conventionnels et nucléaires sur les architectures de commandement, de contrôle et de renseignement.

21. « [DF-17](#) », *Missile Threat*, CSIS Missile Defense Project, 02/08/2021.

Enfin, des puissances régionales comme la Corée du Nord et l'Iran cherchent aussi à posséder de telles capacités, même si leurs efforts se concentrent principalement sur les ogives manœuvrantes.

#### *4 – Un vecteur de signalement stratégique*

Au-delà du durcissement des postures, l'hypersonique est incontestablement un vecteur de signalement stratégique pouvant soutenir une posture d'intimidation dans un contexte de retour de la compétition entre grandes puissances et d'enhardissement des puissances régionales (Iran, Corée du Nord en particulier). Au-delà des finalités opérationnelles précédemment évoquées, les armements hypersoniques participent au prestige d'une nation et contribuent aux stratégies déclaratoires caractéristiques de la compétition entre puissances. La surenchère d'annonces actuelle doit également être lue à cette aune pour démêler l'écheveau où s'entremêlent rhétorique et réalité. Cet effort est d'autant plus nécessaire qu'une capacité de frappe hypersonique – *a fortiori* sur une cible mobile – ne relève pas uniquement d'un effecteur et d'une brique technologique. Elle nécessite également une architecture intégrée de renseignement, de ciblage et de commandement, dont le segment spatial revêt une importance capitale.

### **Entre rhétorique et réalité : quels effets sur la stabilité stratégique ?**

Sources d'inquiétudes ou de promesses, les tensions que suscitent les vecteurs hypersoniques sur la stabilité stratégique font l'objet de nombreux débats, à la lumière des quatre ambitions précédentes. Ils doivent être analysés avec d'autant plus de prudence que la technologie hypersonique peut être instrumentalisée au service d'une rhétorique agressive ou selon des logiques bureaucratiques pour capter les budgets.

La stabilité stratégique peut se définir comme une situation où les belligérants ne sont pas structurellement portés vers le choix de l'escalade. Trois domaines sont particulièrement concernés par cette problématique : la stabilité nucléaire, les logiques de canalisation de la violence en temps de crise et les dynamiques liées à la course aux armements<sup>22</sup>.

#### *Des effets probablement surestimés en matière de stabilité nucléaire*

Suite à la révélation du test chinois de l'été 2021 par les Américains, le General J. Hyten (à cette époque, vice-chef d'état-major des armées américaines) a accusé la Chine de rechercher une capacité de frappe nucléaire en premier susceptible d'empêcher les États-Unis de riposter<sup>23</sup>. Nuancée quelques jours plus tard par le secrétaire à la Défense Lloyd Austin, cette annonce prouve

---

22. B. Hautecouverture, E. Maitre, B. Tertrais. [The future of strategic stability](#), *Recherches & Documents* n°7, Fondation pour la Recherche Stratégique.

23. D. Martin « [Exclusive: No. 2 in U.S. military reveals new details about China's hypersonic weapons test](#) ». CBS News, 16/11/2021.

que la rhétorique peut parfois masquer la réalité en matière d'hypersonique. Contrairement à ce qu'avance le Général Hyten, l'influence de l'hypersonique sur la stabilité nucléaire ne doit pas être surestimée puisque la vulnérabilité réciproque au cœur de la dissuasion est déjà assurée par les moyens existants. Il n'existe de fait aucune parade actuelle face à une attaque complexe de missiles balistiques intercontinentaux. Cette situation devrait perdurer au moins dans la ou les décennies à venir. La défense antimissile de territoire américaine n'est pas dimensionnée pour défaire une attaque saturante (elle ne dispose par exemple que de 44 intercepteurs exo-atmosphériques situés en Alaska et en Californie). Elle n'est de surcroît orientée que vers des puissances régionales comme la Corée du Nord ou l'Iran avec lesquelles elle refuse d'entrer dans une logique de vulnérabilité mutuelle. Le même raisonnement s'applique pour la défense antimissile de l'OTAN, qui ne dispose que de capacités d'interception contre des vecteurs balistiques de moyenne portée<sup>24</sup>. Par ailleurs, la capacité de frappe en second, portée par les sous-marins nucléaires lanceurs d'engins, n'est pas directement menacée par ce type de développement. En d'autres termes, évoquer un « moment *Sputnik* » en matière de stabilité nucléaire caractérise assez mal la situation présente.

Au contraire, les efforts en matière d'hypersonique peuvent être vus comme favorables à la stabilité nucléaire puisqu'ils garantissent la pénétration des armements (améliorations qualitatives) sans avoir à saturer les défenses (modération quantitative). C'est le chemin que suit par exemple la France avec le programme ASN-4G, comme évoqué précédemment.

#### *Un risque sur la stabilité en temps de crise et la gestion de l'escalade*

En revanche, les engins hypersoniques compliquent la gestion de l'escalade en temps de conflit par leur nature intrinsèque. Ils altèrent la relation entre temps et espace en contractant le premier (temps de réaction raccourci) et en dilatant le second (moindre prévisibilité des trajectoires et de la cible finale). Au service de doctrines ambiguës, ils exacerbent les risques préexistants et placent l'adversaire face à un dilemme de sécurité à deux niveaux, le forçant à décider dans l'incertitude<sup>25</sup>.

Le premier niveau est un dilemme d'interprétation provenant d'une double ambiguïté. D'une part, elle concerne la destination de l'arme puisqu'il est impossible de connaître avec certitude la cible visée. En cas de présence de deux puissances nucléaires, cette ambiguïté exacerbe la suspicion d'une frappe conventionnelle de décapitation sur les forces nucléaires de l'adversaire. D'autre part, l'ambiguïté est liée à la nature de l'arme, pouvant être conventionnelle ou nucléaire<sup>26</sup>.

---

24. Incarnées par les frégates *Aegis* ainsi que les deux sites *Aegis ashore*, le premier étant opérationnel en Roumanie depuis 2016, le second devant rentrer en service au cours de l'année 2023.

25. C.-P. David, O. Schmitt, *La guerre et la paix. Approches et enjeux de la sécurité et de la stratégie*, Paris, Presses de Sciences Po, « Les Manuels de Sciences Po », 2020.

26. H. Williams, « [Asymmetric arms control and strategic stability: Scenarios for limiting hypersonic glide vehicles](#) », *Journal of Strategic Studies*, Vol. 42, Issue 6, 22/08/2019, pp. 789-813.

Une fois tranché, ce dilemme cède la place à un autre pour lequel le décideur doit calibrer sa réponse avec un temps de réaction extrêmement faible. L'usage d'armements hypersoniques peut alors forcer la réponse dans un sens agressif, pour ne pas perdre l'avantage conféré par ces munitions (scenario « *use-it-or-lose-it* »). Dans ce contexte, il existe à la fois un risque fort de mauvaise interprétation des intentions de l'ennemi et la possibilité de déclenchement d'un processus d'escalade incontrôlé. Ce risque sera d'autant plus élevé si le défenseur s'appuie sur une posture d'alerte élevée (« *launch on warning* ») et/ou octroie de fortes délégations sur les autorisations d'emploi (y compris pour conduire des frappes préventives). *A contrario*, la conscience de ces risques par les États pourrait les inciter à maintenir un contrôle politique fort sur le déploiement et l'utilisation de ces capacités, afin de ne pas rentrer dans un processus échappant à leurs intentions initiales.

En somme, l'ambiguïté à la source de l'instabilité réside au moins autant dans les doctrines que dans les technologies. La Chine et la Russie entretiennent par exemple l'ambiguïté sur la nature des têtes déployées sur leurs vecteurs et maintiennent une intrication forte entre forces nucléaires et non-nucléaires qu'elles soient hypersoniques ou non. En outre, l'enchevêtrement des éléments conventionnels et nucléaires en matière d'architectures de commandement, de contrôle et de renseignement augmente déjà le risque d'escalade involontaire en cas de frappe conventionnelle contre l'un de ces constituants<sup>27</sup>. L'hypersonique ne crée donc pas de nouveaux problèmes dans la gestion de l'escalade. En revanche, il les amplifie dans un contexte de compétition stratégique.

### *Vers une course aux armements hypersoniques*

La course aux armements hypersoniques a incontestablement débuté mais il est encore trop tôt pour affirmer avec certitude que les clés de la sécurité mondiale vont être rebattues et que la stabilité stratégique va être bouleversée. Parler de prolifération non-maîtrisée est excessif alors que la technologie pour développer des planeurs et surtout des superstatoréacteurs reste pour le moment l'apanage des grandes puissances. Mais il est vrai qu'un nombre croissant de pays s'y intéresse, de manière autonome ou en coopération, comme en témoigne l'acquisition de *MaRV* par des puissances régionales comme l'Iran ou la Corée du Nord.

Par ailleurs, la viralité du mot et la prime au sensationnel ne doivent pas faire oublier le développement des autres technologies de missiles, plus accessibles et donc qui prolifèrent plus, contre lesquelles les États n'ont que peu de réponses opérationnelles tangibles (munitions maraudeuses, drones-munitions, missiles de croisière classiques etc.). Le label « hypersonique » ne doit pas devenir la *muleta* utilisée par le *torero* pour leurrer et épuiser l'adversaire dans l'arène de

---

27. J. Acton, « [Escalation through Entanglement: How the Vulnerability of Command-and-Control Systems Raises the Risks of an Inadvertent Nuclear War](#) », *International Security*, Vol. 43, Issue 1, 01/08/2018, pp. 56-59.

la compétition stratégique. Pour autant, ces technologies doivent continuer à être explorées en France pour éviter un déclassement ou une surprise stratégique. Les changements que le déploiement de ces armes pourraient introduire dans notre stratégie de défense nationale doivent continuer à être évalués, dans leurs dimensions offensive et défensive, nucléaire comme conventionnelle et au sein de toutes les armées.



# Le quantique au service de la troisième dimension

Pierre Vallée

*Pierre Vallée est officier au Centre d'études stratégiques aérospatiales et doctorant en science politique.*

« *Quiconque n'est pas choqué par la théorie quantique ne la comprend pas* »  
Niels Bohr, prix Nobel de physique (1922)

En juin 2002, deux physiciens anglo-saxons cosignent une étude au titre provocateur<sup>1</sup>. Selon la thèse des auteurs, le monde serait à l'aube d'une nouvelle ère sous l'effet de la « *seconde révolution quantique* ». Cette analyse, ambitieuse pour l'époque, a depuis été endossée par une partie de la communauté scientifique.

Succédant à la première révolution du XX<sup>e</sup> siècle ayant permis l'essor du transistor, du laser, des circuits d'ordinateur ou encore l'IRM, ce nouvel âge quantique serait rendu possible par le perfectionnement des connaissances au niveau subatomique et des principes « *contre-intuitifs* » en vigueur à cette échelle. Ces progrès ouvriraient un champ des possibles technologiques jusque-là inenvisageable.

Si le domaine commercial expérimente dès à présent certains de ces nouveaux outils, les armées ne sont pas en reste. Rythmée par les innovations des principaux compétiteurs stratégiques, la recherche militaire bat son plein. Les forces s'engagent résolument dans cette course au quantique qui promet des réalisations capacitaires et des perspectives opérationnelles nouvelles, notamment dans le domaine aérospatial. La troisième dimension étant le milieu d'expression privilégié des avancées technologiques, les plus-values quantiques dans le segment des capteurs, des communications ou de l'informatique font espérer un bond qualitatif sans précédent des outils aérospatiaux.

---

1. J. Dowling, G. Milburn, « Quantum technology: the second quantum revolution », *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 13/06/2002.

Cet article se propose donc de faire entrer la puissance aérospatiale à l'heure de la « *seconde révolution quantique* ». Sans chercher l'exhaustivité, l'examen de certaines concrétisations capacitaires pourrait amener le lecteur à être « *choqué* » par les perspectives attendues.

Trois groupes d'application – jouant un grand rôle dans la mise en œuvre de la puissance aérospatiale – vont être particulièrement étudiés : les capteurs, les communications et l'informatique (I). Si le passage en revue successif de ces trois domaines présente l'avantage de la clarté, cette méthodologie ne doit pas conduire à y percevoir une quelconque herméticité entre eux. De même, le parti résolument explicatif de cet article – esquisser les concrétisations technologiques espérées – ne s'attarde pas sur le chemin qu'il reste à parcourir pour certains outils. Dès lors, si la seconde révolution quantique doit bouleverser notre façon d'envisager le monde – et, dans notre cas, d'y faire la guerre –, cette dernière reste suspendue à l'affranchissement de nombreux défis et inconnues dont le lecteur doit être conscient. Dans le même temps, ces considérations d'ordre tactique ne peuvent se défaire d'une analyse de niveau stratégique. Celle-ci invite l'observateur à ne pas tomber dans l'*hubris* du *game changer*, qualificatif qui peut être facilement accolé dès à présent aux futures technologies quantiques (II).

### **Les capteurs quantiques (*quantum sensing*)**

Le quantique appliqué au domaine des capteurs permet d'améliorer de façon impressionnante la précision et la fiabilité des outils de mesure. L'intérêt du tel gain qualitatif paraît évident pour la puissance aérospatiale tant les capteurs – de navigation, de détection, de positionnement et de guidage... – sont essentiels pour se déplacer et agir dans la troisième dimension.

Une centrale à inertie donne ainsi la position d'un aéronef dans un plan tri-dimensionnel *x, y, z* (longitude, latitude, altitude). Les mesures de ses capteurs (gyromètres et accéléromètres) comportent néanmoins une marge d'erreur qui croît de manière exponentielle en fonction du facteur temps. S'il est possible de filtrer et d'atténuer les bruits qui perturbent le fonctionnement de ces instruments, on ne peut corriger totalement la dérive de ces centrales.

Dérive des centrales à inertie produites par *Safran Electronics & Defense*

<b>Modèle de centrale</b>	GADIRU	SIGMA 95L	SIGMA 95N
<b>Aéronef français concerné</b>	A400M	NH90	Rafale
<b>« Position Drift » (approx.)<sup>2</sup></b>	3 700 m/h de vol	2 900 m/h de vol	1 850 m/h de vol

Source : *Safran* (2018)

2. « Écart dans le positionnement » ; en d'autres termes, la différence entre la position réelle et celle affichée par les instruments embarqués.

Si l'on prend l'exemple du vol lors de l'exercice *Marathon-Monfreid* en 2019 (Saint-Dizier/La Réunion en 12 heures), une navigation en inertie pure entraînerait une différence d'une vingtaine de kilomètres entre le positionnement réel et celui affiché par la console des *Rafale*. Pour pallier cet écart, les informations des centrales sont couplées aux données de positionnement par satellites (GNSS<sup>3</sup>) lors d'opérations de recalage.

À l'ère quantique, ce mécanisme hybride ne serait plus nécessaire. La centrale fonctionnerait avec des gyromètres et des accéléromètres atomiques. Refroidis à une température proche du zéro absolu (-273,15°C), ces atomes agiraient comme une onde de matière ultra-sensible aux variations de vitesse et de rotation. Intéressé par cette perspective, *Thales* estime pouvoir atteindre une navigation jusqu'à cent fois plus précise que celle calculée avec les centrales à inertie « classiques ».

Tout vecteur utilisant une navigation inertielle profiterait de cette avancée : hélicoptères, drones, avions... mais aussi fusées spatiales et missiles. Par exemple, la navigation du lanceur *Ariane VI* repose uniquement sur sa centrale *Space-Naute* – sans correction GNSS. Sa dérive pourrait être réduite par le recours à des capteurs quantiques. Pour les missiles, la trajectoire képlérienne des engins balistiques gagnerait en précision tandis que les modèles haute-gamme verraient leur période de croisière gagner en qualité, facilitant l'accrochage de la cible par ses radars en approche terminale.

Par-delà l'avantage de la précision, la navigation inertielle quantique apparaît également comme une solution à la spatio-dépendance des plateformes militaires. Si la perte du signal GNSS peut advenir à cause de phénomènes naturels – paramètres topographiques, géomagnétiques ou météorologiques défavorables –, elle peut également résulter d'un acte délibéré d'entrave à la liberté d'action d'un adversaire. Dans ce cadre, une centrale à inertie quantique permettrait une navigation autonome dans des environnements aériens semi-ou non permissifs.

La nature de la mission peut également conduire à se passer de GNSS. Le ministère de la Défense rappelait d'ailleurs que les Forces aériennes stratégiques (FAS) devaient être en mesure de délivrer leur armement « *sans liaison de données, ni même positionnement par satellite* »<sup>4</sup>. Les FAS s'y exercent ; comme lors d'un tir d'évaluation des forces en mars 2019 durant lequel les *Rafale* avaient coupé leur récepteur GNSS pendant les 12 heures de l'exercice.

Ce double avantage de la précision et de l'autonomie est clairement identifié par le Pentagone. Dans son *Report on Applications of Quantum Technologies* (2019), le département de la Défense (DoD) annonce vouloir développer des centrales inertielles à fonctionnement quantique et cite deux cas d'usage : « *La*

3. Géolocalisation et navigation par un système de satellites.

4. *Télécommunication*. Question écrite n°9447. Ministère interrogé : Défense. Réponse publiée au JORF le 25/03/2014.

*navigation dans un environnement GPS-refusé [GPS-denied] », et « le guidage des missiles mer-sol balistiques stratégiques »<sup>5</sup>.*

Cet engouement est partagé outre-Manche. Dans le cadre de son plan décennal sur les technologies quantiques de 2014 (révisé en 2020), le *UK National Quantum Technologies Programme* porte le projet *High-BIAS*<sup>2</sup> dont l'objectif est de concrétiser les recherches sur la navigation quantique<sup>6</sup>. Si les compagnies aériennes civiles en seraient les premières bénéficiaires, la dimension militaire apparaît en filigrane. *BAE System* s'est d'ailleurs proposé pour fournir le démonstrateur chargé d'emporter la centrale. En France, la *Stratégie nationale sur les technologies quantiques* de 2021 témoigne de l'intérêt des autorités pour le sujet, bien qu'aucune ligne budgétaire ou programme public n'aient encore été officialisés<sup>7</sup>.

Ceci étant, le quantique n'est pas antinomique avec une utilisation du GNSS ; bien au contraire. Les horloges atomiques sont d'ailleurs issues de la « première révolution quantique ». Elles interrogent les changements d'énergie des électrons d'un atome – aussi appelés « oscillations » – sous l'effet de micro-ondes lumineuses. Celles-ci sont émises par un oscillateur macroscopique à quartz ou laser qui génère une fréquence calquée sur la fréquence naturelle de résonance au sein d'un atome. À chaque fois que celle-ci est atteinte, un signal est généré et détermine la seconde. Depuis 1967, elle équivaut à 9 192 631 700 oscillations des électrons d'un atome de césium, permettant ainsi une précision de la seconde de l'ordre du dix-millionième de milliardième ( $10^{-16}$ ).

Dans le cas du GNSS, circonscrire ces approximations est un enjeu central. En effet, la géolocalisation par satellite s'obtient en calculant le temps que parcourt un signal entre l'émetteur (avion) et le récepteur (satellite), rapporté à la vitesse de la lumière. Pour donner un ordre de grandeur, une imprécision d'une unique seconde équivaut à un écart de positionnement d'environ 300 000 km.

Les constellations GNSS offrent aujourd'hui une précision décimétrique, voire centimétrique. Avec *Galileo*, chaque satellite embarque quatre horloges (deux à rubidium, deux à hydrogène). Elles fonctionnent sans correction pendant 12 heures, soit le temps nécessaire à un satellite pour revenir au-dessus d'une station sol et recevoir la mise à jour d'une horloge basée à terre. Durant cette période, la désynchronisation des horloges (1,8 nanoseconde pour celles au rubidium, 0,45 pour celles à hydrogène) engendre une approximation moyenne et théorique de l'ordre de 0,3225 mètre. Cependant, cette qualité optimale s'obtient dans un cadre idéal – stabilité des horloges, sans dysfonctionnement du dispositif ou de la liaison satellite. Elle peut d'ailleurs s'avérer insuffisante dans certains

---

5. *Applications of Quantum Technologies, Executive Summary*, Defense Science Board, DoD, 08/2019, p. 17.

6. *High Bandwidth Inertial Atom Source*.

7. *Stratégie nationale sur les technologies quantiques*, Saclay, 21/01/2021, p. 9.

cas – suppression sol-air ou air-sol de cibles mobiles de haute valeur, défense antimissile ou guidage de systèmes hypersoniques manœuvrants<sup>8</sup>.

Avec la seconde révolution quantique apparaissent de nouvelles horloges. Le fonctionnement à micro-ondes est supplanté par un mécanisme optique, utilisant des atomes ultra-sensibles à la simple lumière visible (aluminium, ytterbium ou strontium). Leur fréquence de variation, bien plus grande que celle du césium, permettra d'ajouter des données supplémentaires à la mesure de la seconde<sup>9</sup>.

Ensuite, plutôt que d'observer les oscillations de façon indépendante, le phénomène d'intrication quantique permettrait d'examiner des collectifs d'atomes unis. La moyenne obtenue serait alors égale à la vibration individuelle de chaque atome, ce qui rendrait la mesure sensiblement plus précise. Enfin, cet enchevêtrement quantique pourrait se réaliser entre les horloges et permettrait une synchronisation parfaite de leurs systèmes<sup>10</sup>. Les satellites partageraient dès lors une unité de temps fondamentalement identique afin d'atteindre l'ultra-précision dans le calcul du positionnement.

Concrètement<sup>11</sup>, une horloge optique pousserait la finesse de la seconde à  $10^{-19}$ . En comparaison théorique sur 24 heures, la précision obtenue par les modèles optiques quantique pourrait atteindre un facteur 1 000 sur leur prédécesseur atomique classique<sup>12</sup>.

L'autre domaine d'espérance du *quantum sensing* concerne les capacités de détection radar ou lidar<sup>13</sup>. Leurs développements s'appuient sur l'un des principes contre-intuitifs de cette physique : le phénomène d'intrication ou d'enchevêtrement quantique. D'après ce dernier, à l'échelle subatomique, une particule, comme le photon, peut se trouver simultanément dans plusieurs endroits à la fois, qu'importe la distance. À l'inverse du principe d'unicité du monde visible, ces parties restent en relation et ne forment au final qu'un seul et même système. Autrement dit, un dérèglement subis sur une partie de ce système se répercute sur l'ensemble de la structure quantique.

---

8. Si l'importance de la précision face à une cible mobile apparaît évidente, la finesse du guidage et de l'enveloppe de vol dans le cas des armes hypersoniques représente également un enjeu essentiel « pour juger de la concrétisation des espérances stratégiques comme de la pertinence de l'investissement » en la matière. Sur ce dernier sujet, voir J. Henrotin, « Armes hypersoniques : quels enjeux pour les armées ? », *Briefings de l'IFRI*, 18/06/2021, pp. 8-9.

9. Par exemple, il faut 518 295 836 590 864 oscillations d'ytterbium pour sonner une seconde.

10. Les algorithmes d'Einstein-Poincaré et d'Eddington (horloge classique) ou celui DE Jozsa (horloge quantique) proposent des moyens théoriques d'obtenir cette synchronisation.

11. Cette performance a été réalisée en 2018 sur quelques secondes par une équipe du *Joint Institute for Laboratory Astrophysics* avec une horloge au strontium.

12. Il est possible de calculer théoriquement cet écart : les modèles atomiques classiques offrent une précision de l'ordre de 0,002592 mètre là où les horloges optiques quantiques atteindraient 0,002592 millimètre.

13. *Radio detection and ranging* (détection par ondes électromagnétiques) et *light detection and ranging* (détection par lumière).

Cet état quantique se révèle extrêmement sensible aux changements les plus infimes : variations de températures, de la gravité ou même du temps. À l'instar de l'écho radar, ces perturbations subies par le photon envoyé se répercutent sur le photon conservé. L'analyse de ce dernier fournit donc des informations d'une précision inégalée qui, dans le cas de la détection, permettent de rendre compte de la présence d'un objet.

En théorie, la sensibilité des radar/lidar quantiques leur permettrait de déceler tout type de plateforme, quelle que soit leur surface équivalente radar ou laser. Cette hypothèse bouleverserait l'équilibre des puissances, tant la quête pour la « *furtivité* » est devenue une norme capacitaire : à l'image des générations d'avions de combat, chaque saut qualitatif du matériel militaire depuis la fin de la Guerre froide s'est traduit par une furtivité améliorée<sup>14</sup>.

Toutefois, la communauté scientifique (et militaire) internationale reste divisée sur le sujet. La Chine place de grands espoirs dans cette technologie. En 2016, elle est d'ailleurs la première à annoncer avoir développé un radar quantique basé sur l'intrication de photons et capable de déceler une cible dans une enveloppe de 100 km. Un tel outil s'insérerait parfaitement dans l'architecture de défense aérienne et antimissiles intégrée sur son *limes* côtier. Si une logique similaire pourrait s'appliquer dans le cas des marches russes de Kaliningrad, en Crimée ou dans les îles Kouriles, Moscou garde un secret absolu en la matière.

Washington prend le contrepied du pari chinois. En 2019, le comité en charge des questions scientifiques du DoD affichait son scepticisme en la matière – « *Le radar quantique ne fournira pas de capacité améliorée* »<sup>15</sup> – sans pour autant déclassifier son analyse. Ce discours est d'autant plus surprenant que, dans le même temps, le voisin canadien partage l'engouement chinois. Ottawa considère l'illumination quantique comme le moyen d'optimiser les capacités de détection du Commandant américano-canadien de la défense aérospatiale de l'Amérique du Nord (NORAD) contre les perturbations électromagnétiques en Arctique et les vecteurs furtifs.

Comment expliquer ces divergences ? S'il faut prendre avec circonspection les déclarations chinoises sur le sujet, la concrétisation capacitaire de leurs recherches pourrait bien représenter un défi immense pour une architecture aérienne américaine fondée largement sur la furtivité. Déjà mise à mal par la prolifération et l'amélioration des radars hautes et basses fréquences, ce principe ordonnateur des moyens de l'*US Air Force* pourrait bien se retrouver définitivement disqualifié. Pour sa part, Paris rappelle qu'il est hors de question de « *tout miser sur la furtivité* » dans le cadre du système SCAF. Sur ce dossier, l'Agence de l'innovation de Défense est d'ailleurs chargée d'imaginer et d'anticiper des

---

14. « *Furtivité améliorée* » (4<sup>e</sup> génération++), « *furtivité extrême* » (5<sup>e</sup> génération) puis « *furtivité totale* » (6<sup>e</sup> génération) ; d'après un tableau réalisé par O. Zajec, « Faut-il encore penser en termes de 'génération' d'avions de combat ? », *Stratégique*, ISC, n°102, 2013.

15. *Applications of Quantum Technologies... op. cit.*

« technologies qui n'existent pas encore [comme] les radars quantiques » afin de conjecturer la permissivité de l'environnement aérien à laquelle sera confronté le système<sup>16</sup>.

### **La communication quantique (*quantum communication*)**

À l'instar des capteurs quantiques, le principal apport des communications quantiques est qualitatif : il résiderait en un rehaussement considérable du niveau de sécurité des échanges. En théorie, elles autoriseraient une transmission de données sans s'inquiéter du risque d'écoute ou d'interception.

La notion de « clef » est ici essentielle. À l'origine, pour crypter leurs échanges, Alice et Bob<sup>17</sup> se réfèrent à un code (une clef) connu des deux parties afin de pouvoir chiffrer puis déchiffrer leurs messages. Si la « cryptographie symétrique » continue d'être utilisée par certains algorithmes<sup>18</sup>, ce procédé oblige cependant les deux correspondants à connaître par avance la clef et donc à anticiper des procédures d'échange en amont.

Avec le temps, la « cryptographie asymétrique » s'est développée afin de rajouter un niveau de sécurité supplémentaire dans les transmissions. Cette méthode repose sur une clef « publique » qui peut être échangée et une « privée » qui n'est pas partagée. Dans ce modèle, Alice transmet sa clef publique à Bob. Bob chiffre son message à l'aide de la clef puis le renvoie à Alice. Une fois réceptionné, elle le déchiffre à l'aide de sa clef privée. Ce procédé est peu à peu devenu la norme des protocoles de sécurité classiques sur internet et pour certains échanges secrets. C'est notamment le cas de l'algorithme *ACiD Cryptofiler*, utilisé par le ministère des Armées français pour l'échange d'informations de niveau « DR ».

Dans les deux systèmes, aucune des clefs n'est inviolable : elles reposent sur des factorisations complexes de nombres premiers qu'il est possible de mettre à jour. Dès à présent, certains supercalculateurs pétaflopiques sont capables de passer en revue plusieurs milliards de combinaisons en quelques secondes<sup>19</sup>. L'émergence des ordinateurs quantiques ne fera qu'augmenter ce risque et rendrait même, d'après certaines simulations, l'ensemble des protocoles de sécurité classiques obsolète. En outre, des algorithmes quantiques conçus pour optimi-

---

16. 2040, *l'odyssée du SCAF*. Rapport d'information n°642, 2020. Cette différence peut aussi s'expliquer par la divergence des stratégies génétiques américaine et française sur la place à accorder à la furtivité dans les systèmes d'armes.

17. En cryptographie, « Alice » et « Bob » sont deux interlocuteurs tandis que « Ève » (attaque passive) et « Mallory » (attaque active) sont leurs adversaires.

18. Comme *AES (Advanced Encryption Standard)*. Approuvé en 2005 par la *NSA*, il fut l'un des algorithmes de chiffrement les plus sollicités pour les échanges gouvernementaux américains. Il est aujourd'hui supplanté par des modèles asymétriques, comme *RSA (Rivest-Shamir-Adleman)*, les trois inventeurs).

19. Le supercalculateur *Jean Zay* du CNRS peut réaliser 28 millions de milliards d'opérations par seconde (28 pétaflopes), capacité idéale pour les attaques « par force brute ». Cette puissance leur permet d'effectuer du « calcul haute performance ».

ser les vitesses de factorisation existent d'ores et déjà. Celui de Shor – nommé d'après son inventeur, le mathématicien américain Peter Shor – serait capable de factoriser les nombres entiers en temps polynomial. Autrement dit, s'il est aujourd'hui impossible pour les ordinateurs et algorithmes classiques les plus performants de factoriser un nombre à 300 chiffres, l'algorithme de Shor y parviendrait en moins d'une dizaine de secondes.

Face à ces risques, la communication à l'heure quantique propose un autre « cryptosystème ». Si elle reprend le principe de fonctionnement de la cryptographie symétrique, elle ne le fait plus reposer sur des modèles mathématiques mais sur les propriétés de la physique quantique. Selon les protocoles les plus connus (BB84 ou BBM92), la distribution de la « clef » entre Alice et Bob s'opère par un canal quantique à l'aide d'une particule médiatrice transmise par air libre, liaison satellite ou fibre optique.

Dans ce modèle, lorsque Bob reçoit la clef d'Alice, il étudie la propriété du photon réceptionné afin de pouvoir la reconstituer. Une fois celle-ci connue, les interlocuteurs peuvent échanger sur un canal classique en chiffrant leurs messages à l'aide de la clef quantique. Ce modèle permet donc de générer une clef entre les parties – on parle de *Quantum Key Distribution (QKD)* – totalement imprévisible et en théorie inviolable. Sa sécurité ne repose plus sur la puissance de calcul ou l'ingéniosité mathématique de l'attaquant mais sur des propriétés quantiques. Par ailleurs, en raison du principe d'incertitude d'Heisenberg<sup>20</sup>, toute tentative d'interception ou d'observation d'un échange par un tiers engendrera un phénomène de décohérence. Cette perturbation permettra d'alerter immédiatement les correspondants. Les « attaques quantiques » n'échappent pas à cette règle.

La *quantum communication* permet donc de déjouer les menaces cyber actives (divulgaration et interception) et passives (modification et disponibilité). Tout dépend ensuite du délai nécessaire aux interlocuteurs pour régénérer des clefs quantiques. S'il est réduit, l'apparition d'une décohérence dans le signal met immédiatement un terme aux échanges et permet aux interlocuteurs de mettre en place un nouveau canal de communication par la distribution d'une clef. À l'inverse, pour un État ne disposant pas d'une capacité de régénération suffisante, les communications quantiques peuvent être perçues comme un simple moyen de garantir l'intégrité de l'information échangée.

Les applications de la *quantum communication* dépassent la seule puissance aérospatiale : l'efficacité militaire dans une logique multi-milieux/multi-champs (M2MC) présuppose des communications robustes entre les effecteurs et les senseurs. De surcroît, la possibilité de transmettre/recevoir des données en toute sécurité avec d'autres acteurs est un atout alors que les engagements au sein de coalition apparaissent comme une tendance lourde de l'action militaire.

---

<sup>20</sup>. Aussi appelé « *théorème de non-clonage* », il est impossible d'espionner un système quantique sans le perturber.

La qualité de la *QKD* dépend du vecteur choisi pour transmettre les photons polarisés – fibre optique, air libre, satellite – mais aussi de la pratique quantique retenue – enchevêtrement (BBM92) ou superposition (BB84). Elle varie également en fonction de la distance de distribution : la valeur du photon diminue à mesure que l'élongation croît. Les amplificateurs à fibre utilisés pour les transmissions câblées longue distance sont inopérants pour les photons polarisés.

En 2013, des scientifiques parviennent à réaliser une *QKD* par intrication entre deux points terrestres séparés de 300 km. En 2018, le record de 421 km par superposition est atteint. Si le réseau filaire terrestre est à l'avant-garde de la *quantum communication* dans le domaine commercial, il ne s'applique qu'à une aire géographique restreinte et se révèle donc d'un intérêt militaire limité – sauf pour de courtes distances ou dans le cas d'un maillage de relais terrestres.

Ces limitations sont atténuées dans le cas d'une transmission par air libre ou satellite<sup>21</sup>. La troisième dimension apparaît ici comme un domaine privilégié pour les projets de communications quantiques. La transparence qu'elle permet pourrait, à terme, contrebalancer la centralité actuelle des câbles sous-marins<sup>22</sup>. Dès 2017, le satellite chinois *Mozi* procède au test d'une *QKD* (protocole BB84) avec une station sol sur 1 200 km. Trois ans plus tard, *Mozi* assure une communication quantique entre Pékin et Vienne, soit sur plus de 7 000 km.

Pourtant, l'engouement pour la *quantum communication* n'est pas unanimement partagé. Interrogée sur l'utilisation de la *QKD* par des organismes d'État, la *National Security Agency* s'y oppose, pour des raisons de coût et d'inefficacité supposée. Cette analyse est partagée par le *National Cyber Security Center* britannique et l'Agence nationale de la sécurité des systèmes d'informations française (ANSSI). Si l'avis de l'ANSSI est plus nuancé, il reste que la *QKD* y bien est perçue comme une « *mesure complémentaire aux moyens de cryptographies classiques dans une logique de défense en profondeur* » et non comme un outil de substitution<sup>23</sup>.

Une fois de plus, la Chine fait figure de *leader* dans ce domaine, notamment grâce aux expérimentations avec son satellite *Mozi*<sup>24</sup> dès 2017. Cette date marque d'ailleurs la floraison de projets similaires en Asie – au Japon et à Singapour, notamment<sup>25</sup>. À terme, Pékin souhaite déployer une véritable constellation quantique composée d'une vingtaine de satellites.

21. Mais perdurent : le phénomène de diffraction atmosphérique altère l'échange de photons par laser.

22. 98 % des données internet et des communications internationales y transitent.

23. « L'avenir des communications sécurisées passe-t-il par la distribution quantique de clefs ? », *Avis scientifique et technique de l'ANSSI*, 24/07/2020.

24. Elle a d'ailleurs repris à son compte le projet de l'Agence spatiale européenne et de l'Institut autrichien des optiques quantiques – *Space-Quantum Experiment at Space Test* –, abandonné au début des années 2000.

25. Voir le discours de l'ancien Premier ministre S. Abe (« 宇宙開発戦略本部 », 内閣総理大臣, 令和2年6月29日). Pour sa part, en juin 2020, Singapour a réalisé un enchevêtrement quantique de photons depuis son CubSat *SpooQy-1* afin de valider le concept. En coopération avec le Laboratoire Rutherford Appleton (UK), la Cité-État s'est depuis lancée dans la construction d'un nano-satellite qui devrait effectuer une *KQD* avec une station sol d'ici 2022.

Cette nouvelle divergence d'approche suscite des interrogations, au sein même du camp occidental. Si Washington, Paris et Londres semblent réfréner (pour l'instant) l'adaptation de leurs moyens d'échange aux dispositifs de *QKD*, une incompatibilité des systèmes de communication risque de se faire jour entre les « États dotés » et les autres. La position des trois capitales semble d'autant plus insoutenable qu'elles sont toutes parties prenantes de réflexions supranationales en faveur des communications quantiques. Le projet de constellation européenne de connectivité multi-orbitale, porté par le commissaire français Thierry Breton – et appuyé par Paris – est présenté comme le moyen de « projeter l'Europe sur le cryptage quantique, avec des applications civiles et militaires ». De même, le rapport prospectif du *NATO Science & Technology Organization* pour les années 2020-2040 jugeait indispensable « le développement d'une large architecture satellitaire de communication quantique » afin de garantir à l'Alliance une capacité d'échanges sécurisée<sup>26</sup>. Ces postures contradictoires posent la question de la viabilité de certaines positions nationales face à une dynamique supranationale favorable au développement des communications quantiques.

### **L'ordinateur quantique (*quantum computing*)**

Paradoxalement, le *quantum computing* est le domaine où la recherche est la moins avancée alors que ses débouchés sont les plus à même de révolutionner le mode de fonctionnement de nos sociétés. En résumé, l'ordinateur quantique représentera une accélération formidable de l'esprit de loi de Moore<sup>27</sup> : il permettra de décupler de manière exponentielle la vitesse de calcul, de traitement et d'exploitation de l'information collectée.

En informatique, l'unité de mesure s'exprime en « *bit* » d'information (« *binary digit* ») dont la valeur binaire est 1 ou 0. Dans le cas de l'unité d'information quantique, le « *qubit* » (« *quantum binary digit* ») représente une valeur linéaire : elle peut être 1, 0, ou les deux à la fois. Mis en œuvre dans des processeurs supraconducteurs ou photoniques<sup>28</sup>, le *qubit* permet de combiner linéairement des unités d'information et de réaliser un nombre d'opérations supérieur aux capacités des ordinateurs « classiques ». Pour donner un ordre d'idée, en 2020, à l'aide d'un processeur photonique quantique, Pékin est parvenu à réaliser un « échantillonnage de boson »<sup>29</sup> en 200 secondes. La même année, ces opérations

26. « Science & Technology Trends 2020-2040. Exploring the S&T Edge », *NATO S&TO*, 03/2020, p. 24.

27. Énoncée en 1985 par le docteur Gordon E. Moore, elle caractérise l'augmentation exponentielle de la puissance de calcul des ordinateurs. Celle-ci s'exprime en « *flops* » (*floating-point operations per second*) et passe du mégaflops ( $10^6$ ) en 1964 aux pétaflops ( $10^{15}$ ) en 2008. L'exaflops ( $10^{18}$ ) est en cours de généralisation.

28. Si ces deux technologies reprennent le principe d'intrication quantique, les processeurs photoniques marchent aux photons uniques ; tandis que les supraconducteurs recourent aux atomes ultra-froids (de Rydberg, généralement).

29. H. Zhong et *al.*, « Quantum computational advantage using photons », *Science*, 18/12/2020. En théorie de la complexité, cette expérience et sa variante du « *boson gaussien* » sont fréquemment sollicitées pour tester les avantages des ordinateurs quantiques sur leurs homologues classiques.

auraient réclamé 2,5 milliards d'année au meilleur supercalculateur classique *Fugaku* de Fujitsu.

Comme évoqué plus haut, le développement des supercalculateurs quantiques remet en cause la pérennité des certificats d'échange symétrique et asymétrique. En l'état des capacités informatiques actuelles, un diagnostic réalisé par l'ANSSI en 2020 sur la sécurité des algorithmes de chiffrement recommandait une clef d'*a minima* 112 bits pour les modules symétriques et de 2 048 (privée) et 65 536 bits (public) pour les modèles asymétriques<sup>30</sup>. D'après l'audit, ces longueurs permettent de décourager toute tentative de factorisation « en un temps raisonnable » jusqu'en 2026 pour les premiers et 2030 pour les seconds. Passées ces dates, l'Agence préconise respectivement le passage à des clefs de 128, 3 072 et 65 536 bits pour garantir la sécurité des échanges. En cela, l'émergence des ordinateurs quantiques pourrait faire passer cette « recommandation » à l'état de « règle » plus tôt qu'anticipé. Pour preuve, en 2019, une étude publiée dans le journal *Quantum* estimait qu'un ordinateur quantique appliquant l'algorithme de Shor – permettant une factorisation des nombres premiers à une vitesse exponentielle – pourrait, en théorie, parvenir à bout d'une clef 2 048 en seulement 8 heures.

L'intérêt militaire des supercalculateurs quantiques dépasse largement leur seul pouvoir de déchiffrement. En raison du phénomène de « *datafication* » de l'écosystème militaire<sup>31</sup>, les domaines d'application de ces ordinateurs sont bien plus larges. Face à l'afflux exponentiel de données, ils permettraient une gestion optimale de la *data* – de sa création, à son traitement (*data mining*) en passant par son exploitation<sup>32</sup>. Cette faculté à pouvoir réaliser des milliards de milliards d'opérations à la seconde sera l'une des clefs pour surmonter les défis techniques qu'induit le « *combat en mosaïque* » (*mosaic warfare*)<sup>33</sup>.

La diversité des capteurs que détient l'arme aérospatiale lui confère une place particulière dans l'animation des futures architectures *C4ISR*<sup>34</sup>. De même, la dynamique capacitaire actuelle en faveur des « *systèmes de systèmes* », le développement des pratiques de vol en essaim tout comme la mise en oeuvre de *cloud* de combat renforcent l'importance de détenir un outil capable de collecter et de fusionner ces informations. Comme le souligne la *Vision stratégique de l'AAE* d'avril 2022, « *l'exploitation massive de données [qu'il] s'agit de structurer,*

30. Règles et recommandations concernant le choix et le dimensionnement des mécanismes cryptographiques, ANSSI, 01/01/2020, p. 50.

31. Nous préférons le terme anglais à celui de « *numérisation* », qui insiste davantage sur le rôle central de la donnée (*data*).

32. L'algorithme quantique de Grover – du nom de son inventeur, l'informaticien indo-américain Lov Grover – offre (en théorie) une accélération quadratique de la recherche exhaustive. Il est réputé comme étant le meilleur outil de traitement d'une base de données massive non-structurée.

33. Sur l'importance des nouvelles technologies (dont celles quantiques) dans la vision multi-domaine portée par la *DARPA*, voir le propos introductif de son directeur, le Dr. S. Walker, lors du *60th Annual Symposium* de 2018 : « Opening Remarks – Dr. Steven Walker, DARPA Director », Youtube, *DARPAtv*, 24/09/2018.

34. *Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance*.

*de stocker, de diffuser et de traiter [...] tiendra un rôle central dans nos opérations* »<sup>35</sup>. L'ordinateur quantique apparaît comme l'une des meilleures réponses au défi militaire de la « *primauté de la donnée* ».

Pour la puissance aérospatiale, ce défi s'exprime en des termes particuliers avec l'autonomisation des outils de la 3D. À ce titre, les capacités de traitement quantique permettraient d'optimiser le rendement des algorithmes d'intelligence artificielle<sup>36</sup>. Cette vitesse et qualité des calculs offerts par la puissance quantique se répercuteraient sur la boucle *Observe-Orient-Decide-Act*, à chacune de ses étapes, en contractant les rétroactions pour prendre *in fine* l'ascendant sur l'adversaire.

En amont même des opérations, les ordinateurs quantiques viendraient en appui des processus de planification, de ciblage et de *wargaming*. Le *quantum computing* contribuerait à optimiser certaines procédures de soutien. Par exemple, dans le cas de la maintenance prédictive des véhicules militaires – et des aéronefs en particulier – un ordinateur quantique pourrait détecter encore plus finement les premiers signaux annonciateurs d'une défaillance technique. De même, il passerait en revue les millions de lignes de code des systèmes logiciels embarqués – 2 millions pour un *F-22*, 3,5 pour le *Reaper*, 8 pour le *F-35* (24 avec *ALIS*) – en un temps record et accélérerait les séquences de mise à jour. Le maintien en condition opérationnelle et, en conséquence, le taux de disponibilité technique des aéronefs en seraient bonifiés.

Enfin, la force de simulation des ordinateurs quantiques profiterait aux développements industriels de capacités complexes, à l'instar des systèmes aérospatiaux. L'*US Air Force* est pleinement engagée dans la voie de « l'ingénierie digitale » (*digital engineering*) afin d'assurer une meilleure maîtrise des coûts et des retards dans ses programmes. Cette simulation quantique s'élargit également aux systèmes nucléaires. Le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) a initié un ensemble de collaboration avec plusieurs « pépites » françaises – *Atos* en mai 2021, *CI2* en mars 2022 – pour faire entrer son programme *Simulation* dans l'ère quantique et garantir la crédibilité opérationnelle des têtes nucléaires océaniques et aéroportées.

Ces quelques exemples résument à peine les attentes militaires autour des ordinateurs quantiques... Le champ est immense. Le ministère des Armées français l'a compris. Le 4 janvier 2022, il lance la Plateforme nationale de calcul quantique, à Saclay, dont l'objectif est d'obtenir un premier ordinateur d'ici 2023<sup>37</sup>.

---

35. *Décourager – Défense – Défaire. Vaincre par la 3D*, 2022.

36. Ici, l'algorithme quantique Harrow-Hassidim-Lloyd ouvre des perspectives novatrices pour améliorer les mécanismes d'apprentissage profond (*deep learning*) et de réseau neuronal.

37. À cette occasion, le podcast « 60 secondes Défense » du porte-parolat du Ministère listait trois domaines d'intérêt immédiat : le renseignement (« l'ordinateur quantique permettrait de collecter et de traiter des milliards de données en un temps records »), la coordination (« nous pourrions coordonner finement la trajectoire de milliers de satellite dans l'espace ou de milliers de blindés sur un théâtre d'opération ») et l'industrie de défense (« il permettrait de concevoir rapidement des objets compliqués comme des antennes radar ou des coques de bateaux »).

Contrairement aux *quantum communication* et *quantum sensing*, l'intérêt des ordinateurs quantiques fait consensus au niveau international. Les attentes sur le plan militaire sont unanimement partagées dans le domaine de la « *datafication* ». Cet attrait se traduit par la compétition féroce dans le secteur privée – soutenue par les acteurs publics – pour atteindre le premier la « *suprématie quantique* »<sup>38</sup>. Les annonces s'enchaînent : *Google* a fait les premières déclarations en 2019 avec son ordinateur *Sycamore*, suivi par l'Institut de sciences et technologie de Chine en 2020 avec *Zuchongzhi2*, avant que *IBM* ne rentre dans la course en 2021 avec *Eagle*. Les états-majors suivent ces déclarations avec attention et espèrent profiter du caractère dual de cette technologie pour capitaliser sur les avancées commerciales.

### Enfin le *game changer* du XXI<sup>e</sup> siècle ?

Si l'analyse des technologies quantiques par catégorie – *sensing*, *communication*, *computing* – a le mérite de l'intelligibilité du propos, elle ne doit pas conduire le lecteur à y percevoir un quelconque cloisonnement. Bien au contraire, ces domaines sont interdépendants et se renforcent l'un l'autre. La véritable « *guerre quantique* » est intrinsèquement holistique.

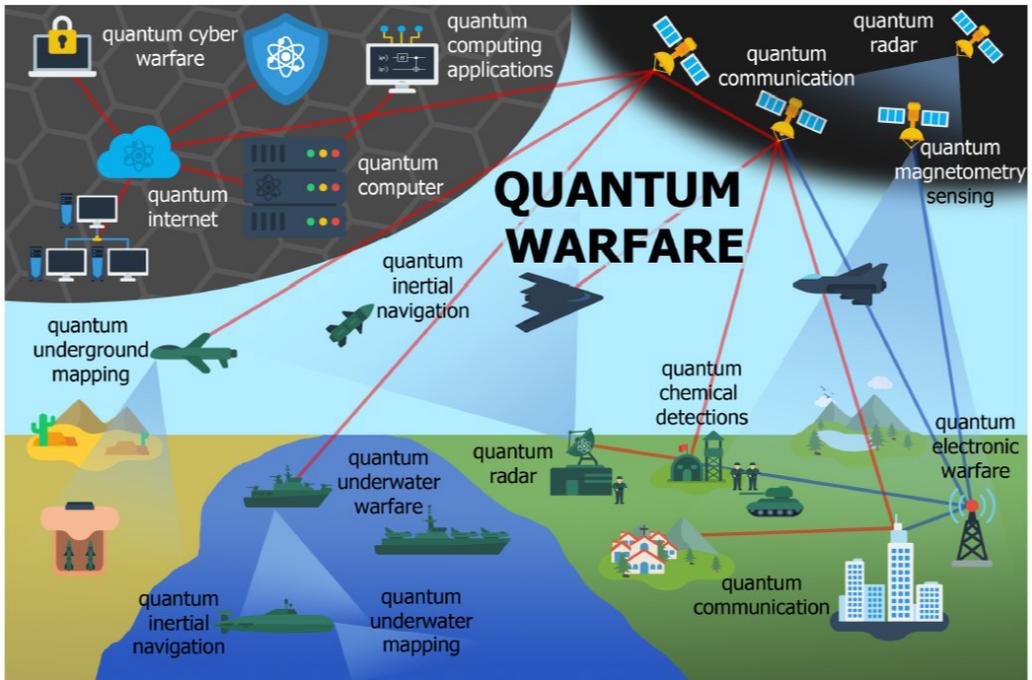


Figure 1: Sketch of quantum warfare utilising various quantum technology systems.

38. Autrement dit, le point de bascule où un problème n'est plus solvable par un ordinateur classique et nécessite une réponse quantique.

De l'examen d'une partie des applications militaires du quantique se dégage l'impression d'une rupture à venir entre le « monde d'avant » et le « monde d'après », entre celui de la première et de la seconde révolution quantique. Cette transition d'un modèle à l'autre sera laborieuse pour certains États : l'adoubement est loin d'être automatique et repose au contraire sur un « ticket d'entrée » scientifique, technologique et financier qui n'est, pour l'instant, qu'à la portée d'un nombre restreint de pays. Dès lors, cette « *aristocratie quantique* » confèrera aux « États dotés » un ascendant net sur leurs adversaires restés au premier âge. Toute proportion gardée, on se retrouverait dans un rapport de force similaire à ceux des deux guerres du Golfe pour le plan spatial, entre des États pourvus à l'instar des États-Unis et un adversaire démuné comme l'Irak.

Ce passage en revue des applications militaires des technologies quantiques offre un avant-goût du changement de paradigme annoncé pour la puissance aérospatiale. Ceci étant, il convient de questionner les apports de cette « seconde révolution » dans leur ensemble afin de confronter les espérances quantiques à la réalité des faits d'une part et de questionner la réalité du changement attendu dans la façon d'envisager le phénomène guerre d'autre part.

Au final, « *les technologies quantiques, hype ou game changer ?* ». Cette question posée par un officiel du DoD australien à l'occasion du *48<sup>th</sup> Annual Collaborative EW Symposium* de 2019 ravive le vieux mythe de l'arme décisive. Dans ce débat, les États font le choix de la prudence. Le document-cadre du Pentagone accorde aux technologies quantiques un « *potentiel remarquable [...] un impact significatif* » sans évoquer la notion de *game changer*. Pour sa part, la *Stratégie nationale* française porte ici un jugement de Salomon et invite les militaires à suivre, anticiper, détecter et s'approprier « *toute évolution pouvant constituer un 'game changer' pour les opérations militaires* ». La palme de l'ambiguïté revient cependant à cet officiel australien en 2019 qui concluait son intervention sur ces mots : « *Les technologies quantiques fourniront des capacités 'game changer', même s'il y a beaucoup de hype à leur sujet* ».

Comment analyser leur impact ? Ces technologies vont-elles susciter des tactiques miracles ? Trouver un début de réponse à ces questions nécessite au préalable de s'accorder sur la notion de « *game changer* ». Ce terme protéiforme peut s'entendre de différente façon que l'on se place au niveau stratégique, opératif ou tactique.

Une première compréhension de ce concept s'inspire de l'imaginaire nucléaire : le terme y est synonyme « d'arme absolue », aux caractéristiques si particulières qu'elles en modifieraient la nature même de la guerre<sup>39</sup>. Toutefois, dupliquer ce discours aux technologies quantiques reviendrait à négliger les principes élémentaires du phénomène guerre.

---

39. Pour l'arme nucléaire, ce mythe apparaît dès 1946 dans l'ouvrage d'un des premiers penseurs de l'apocalypse, B. Brodie ; *The Absolute Weapon: Atomic Power and World Order*, Yale, Yale Institute of International Studies, 1946.

Tout d'abord, aucun parallèle tangible ne peut être envisagé entre « technologies quantiques » et « armes nucléaires ». S'il existe une « aristocratie nucléaire » fondée sur le traité de non-prolifération de 1967<sup>40</sup>, le quantique n'est régulé par aucun régime juridique. De ce fait, la loi du nivellement technologique (par développement ou dissémination) est inévitable à moyen/long terme. Si une « aristocratie quantique » émerge avec le temps, elle ne sera que temporaire : tôt ou tard, le quantique s'imposera comme l'un des dialectes des relations internationales.

Plus largement, la vision du quantique comme « arme miracle » est infondée. Elle s'inscrit dans la lignée des discours issus de la Révolution dans les Affaires Militaires des années 1990. Si certaines armes et technologies induisent un changement dans la façon de faire la guerre, aucune d'entre elles ne disqualifie la guerre. Le nucléaire et le quantique ne font pas exception : tous deux s'inscrivent dans la pendule historique de l'épée et du bouclier dont rend compte la loi du facteur tactique constant de Fuller.

De surcroît, la seconde révolution quantique n'est pas un horizon indépassable. De nombreux États anticipent dès à présent « le coup d'après ». La circonspection des pays occidentaux sur l'imminence d'un « *Q-Day* » remettant en cause l'ensemble des protocoles d'échange s'explique par l'existence de contre-mesures, à l'instar de la cryptographie post-quantique fondée sur l'émergence de nouveaux concepts mathématiques. D'après un avis du 4 janvier 2022 – suivi d'une analyse scientifique et technique publiée le 14 avril 2022 –, l'ANSSI la considérerait même comme « *la voie la plus prometteuse pour contrecarrer la menace quantique* »<sup>41</sup>.

Des faiblesses existent également dans le cas des communications quantiques. La mise en œuvre de la *QKD* dans le domaine commercial a permis de mettre en lumière certaines vulnérabilités<sup>42</sup>. Les protocoles de *QKD* ne feront qu'augmenter l'importance des infrastructures physiques d'Alice et Bob : les attaques se réorienteront sur la corruption du *hardware* plutôt que sur le *software*. Enfin, dans le domaine des capteurs, l'interférométrie quantique n'est pas la panacée. D'autres approches technologiques – moins coûteuses et plus stables – existent. Le fonctionnement quantique des centrales à inertie pourrait être supplanté (avec les mêmes avantages) par des mécanismes de visée stellaire. Si ce procédé est déjà à l'œuvre pour le guidage des MSBS M51, l'adaptation de ce dispositif sur aéronefs est actuellement à l'étude et pourrait mener à une généralisation du système dans les années à venir<sup>43</sup>.

---

40. Nous reprenons ici le concept « *d'aristocratie conventionnelle* » du doyen R.-J. Dupuys au sujet du Traité sur l'Antarctique (1959).

41. « Avis scientifique et technique de l'ANSSI sur la migration vers la cryptographie post-quantique », ANSSI, 14/04/2022.

42. Par exemple, la plateforme de *QKD Clavis<sup>2</sup>* commercialisée par l'entreprise *ID Quantique* n'a su résister à une « attaque aveugle » (*blinding attack*). Cette dernière était parvenue à prendre le contrôle du récepteur à photon de Bob sans même l'alerter. Voir A. Huang et al., « Testing random detector efficiency countermeasure in a commercial system reveals a breakable unrealistic assumption », *IEEE Journal of Quantum Electronics*, vol. 52, Issue 11, 2016.

43. Dénommé « *Vision* » est porté conjointement par *Safran Electronics & Defense* et *Sodern*, ce système couplerait des gyroscopes résonnants hémisphériques à un viseur d'étoiles.

Plus généralement, la « révolution » attendue reste suspendue à des difficultés d'ordre scientifique – obtenir un nombre suffisant de *qubits*, maintenir le zéro absolu pour les atomes froids, etc. – comme l'illustre la disparité des *Technology Readiness Levels*. Par ailleurs, l'atteinte d'une maturité technologique n'est pas synonyme de disponibilité militaire immédiate. Arrivé à ce stade, l'outil doit encore passer au travers de procédures d'adaptation, de miniaturisation, de durcissement, de qualification... afin de pouvoir être pleinement intégré sur une plateforme. On peut donc raisonnablement arguer que l'outil aérospatial ne profitera pas de cette « seconde révolution » avant plusieurs années. Une phase de transition « hybride » associant technologies classiques et briques quantiques pourrait même précéder cette « révolution ».

Technology	TRL	Horizon
Quantum computer (annealer)	4-5 (5-6)	2030
QKD (satellite)	7-8 (6-7)	2025 (2030)
Post-quantum cryptography	7-8	2025
Quantum communication network	1-3	2030-2035
Quantum inertial navigation	4-5	2025-2030
Quantum clocks	4-6	2030
Quantum radar	1-2	none
Quantum RF antenna	4	2025-2030
Quantum magnetic and gravity sensing	5-6	2025
Quantum imaging	5	2025-2030

Table 1: TRL and time horizon expectations. These expectations reflect general TRL rather than just military TRL. Note that various quantum technologies are at different TRL within the same application.

Source: M. Krelina, *Quantum Technology for Military Applications*, 11/2021

Une autre définition du « *game changer* » sied davantage aux technologies quantiques. Elle émerge en réaction aux discours sur les « armes absolues » et invite à remplacer cette notion dans la réalité des lois vivantes de la guerre. Ici, si les technologies quantiques n'incarnent pas un *game changer* de niveau stratégique, elles transforment néanmoins la façon de planifier et de mener les opérations. En d'autres termes, elles ne sont pas une rupture des lois intangibles de la guerre mais en révolutionnent néanmoins les principes<sup>44</sup>. C'est davantage au niveau opérationnel et tactique qu'à l'échelon stratégique que se situe le changement de paradigme.

Les capteurs quantiques fournissent ici un bon exemple. Ils offrent l'opportunité d'accomplir le plus vieux rêve de tout stratège, de « *découvrir ce qu'il y avait de l'autre côté de la colline* »<sup>45</sup>. Silo, mine terrestre et maritime, réseau de tunnels... apparaîtrait. Si cette perspective suscite l'inquiétude de certains

44. Sur cette distinction entre principes intemporels (*principles of strategy*) et contextuels (*principles of war*), voir O. Zajec, « Principes de la stratégie, principes de la guerre », in M. Motte (dir.), *La mesure de la force. Traité de stratégie de l'École de guerre*, Paris, Tallandier, 2018, pp. 107-130.

45. On accord la paternité de cette remarque au duc Arthur Wellesley de Wellington : « *J'ai passé ma vie à tenter de découvrir ce qu'il y avait de l'autre côté de la colline* ».

états-majors<sup>46</sup>, elle ne doit pas pour autant occulter – une fois encore – l'immanence des lois conflictuelles. À la transparence des océans et des terres répondra le brouillard de la guerre par la capacité d'adaptation de l'adversaire.

En résumé, il serait dangereux de vouloir à tout prix appréhender le phénomène guerrier sous l'ornière d'un prisme quantique, au risque de confondre procédés et principes, opérationnel et stratégique ; pour au final ne jamais atteindre l'état final recherché. Le risque induit par cette fuite en avant quantique serait d'accorder aux outils de la guerre (moyens) une importance plus grande qu'aux objectifs qu'ils sont censés servir (fins).

La comparaison entre seconde révolution quantique et Révolution dans les affaires militaires (Ram) invite d'ailleurs à se garder d'un trop grand optimisme. Contrairement au dogmatisme technologique que cette vision continue d'insuffler sur les écosystèmes militaires, la Ram n'a pas systématiquement eu pour effet d'accorder aux « États-parties » la victoire sur un adversaire resté au premier âge. À l'inverse, elle favorise l'émergence des biais cognitifs menant à des sous-estimations générales des capacités ennemies.

Cette volonté à vouloir appréhender le monde par « révolution » – dans les affaires militaires, quantique, ; ces deux termes n'étant pas antinomiques – comporte une vision nihiliste dangereuse. À l'ère de la Ram d'aujourd'hui ou du quantique de demain, d'autres voies alternatives existent et perdureront. Sur le plan doctrinal, l'omniscience technologique trouve ses limites dans la résilience asymétrique. Dans les forces, au focus qualitatif répond l'impératif quantitatif.

Malheureusement, dans l'un comme pour l'autre niveau, les systèmes quantiques ne feront qu'aggraver ces écarts et risquent de formater le décideur à répéter les erreurs du passé. Les conclusions des séquences opérationnelles irako-afghanes ou les analyses occidentales aux premiers jours du conflit en Ukraine nous rappellent pourtant la vacuité de vouloir dicter à l'adversaire notre vision de la guerre, en oubliant qu'elle reste d'abord un jeu d'actions réciproques (*Wechselwirkungen*).

---

46. Sur le risque de la « transparence des océans », voir K. Kubiak, « Quantum Technology and Submarine Near-Invulnerability », *European Leadership Network*, Global Security Policy Brief, Décembre 2020, 18 p.



# La machine comme partenaire. La question du *Human Autonomy Teaming*

Professeur Guy André Boy<sup>1</sup>

*Guy André Boy est titulaire de la Chaire Flex Tech à CentraleSupélec (Université Paris Saclay) et Président du Conseil scientifique de l'ESTIA Institute of Technology. Il est Fellow de l'International Council on Systems Engineering et de l'Académie de l'Air et de l'Espace, membre correspondant de l'Académie internationale d'aéronautique. Il a été Chief Scientist à la NASA Kennedy Space Center et doyen au Florida Institute of Technology.*

L'être humain a construit depuis plus de trois millions d'années des outils pour étendre ses capacités. Ces outils ont tout d'abord été des instruments manipulés manuellement. Ils se sont progressivement étendus à d'autres effecteurs et capteurs humains. Ils ont été des extensions avant de devenir des prothèses, comme l'avion, qui permet à l'humain de voler – le vol étant une capacité physique que l'humain n'a pas *a priori*. Aujourd'hui, il s'agit d'étendre les capacités de l'humain au niveau cognitif. L'ordinateur est devenu une extension des capacités mentales et les réseaux informatiques – Internet notamment – permettent d'aller encore plus loin dans l'augmentation de l'intelligence humaine, à la fois individuelle et collective. Nous développons et utilisons des machines qui dépassent la capacité de simples outils pour devenir de véritables partenaires. Cette évolution est aussi vérifiée dans l'aéronautique avec les avions qui n'ont jamais cessé d'être automatisés. Après les premiers pilotes automatiques installés sur les avions de ligne dès les années 1930, des systèmes automatiques de plus en plus sophistiqués ont été développés, comme les systèmes de gestion de vol (ou *FMS* pour *Flight Management Systems*), les systèmes d'anticollision (ou *TCAS* pour *Traffic-alert and Collision Avoidance Systems*) et les systèmes de liaison de données (ou *datalink*). Aujourd'hui, l'intelligence artificielle (IA), qu'il conviendrait mieux de qualifier d'intelligence augmentée, fait son entrée dans les systèmes des futurs avions pour de plus en plus les considérer comme des partenaires. Cet article analyse les défis posés par ces évolutions.

---

1. Contact : [guy-andre.boy@centralesupelec.fr](mailto:guy-andre.boy@centralesupelec.fr)

### I.a. Le système de systèmes (SdS) et le système multi-agents...

Qu'entendons-nous par système ? Plusieurs définitions précises ont été proposées<sup>2</sup>, mais l'image commune d'un système est celle d'une machine. Pourtant, quand les médecins parlent du système cardiovasculaire, ils se réfèrent à la représentation d'un organe humain qui permet au sang de circuler dans tout le corps, pas d'une machine au sens mécanique du terme. Les spécialistes des sciences sociales parlent eux de systèmes socioculturels. Là encore, ils évoquent des représentations (Figure 1).

Il est important de remarquer qu'un système peut être qualifié d'agent, au sens d'une entité capable d'agir, c'est-à-dire « *quelque chose qui fait quelque chose* [qui possède une fonction capable de créer une activité] *et qui a une structure, qui évolue dans le temps, dans quelque chose* [environnement] *pour quelque chose* [but] »<sup>3</sup>. De ce fait, les termes « système » et « agent » seront utilisés ici indifféremment pour désigner « *un ensemble d'éléments* [humains ou machines], *en interaction dynamique, organisés en fonction des objectifs* »<sup>4</sup>.

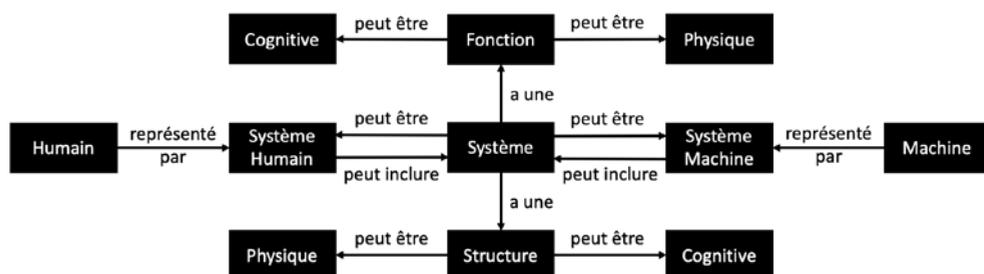


Figure 1. Un système en tant que représentation.

Plus généralement, nous parlerons de « systèmes naturels » et de « systèmes artificiels » et plus précisément de systèmes humains et de systèmes machines, qui peuvent inclure d'autres systèmes, définissant de manière récursive le concept plus large de système de systèmes (c'est-à-dire un système multi-agents). Par exemple, le corps humain (c'est-à-dire un système naturel) peut inclure un stimulateur cardiaque (c'est-à-dire un système artificiel) ; *a contrario* une voiture (c'est-à-dire un système artificiel) peut inclure un être humain (c'est-à-dire un système naturel).

Un système est enfin défini par sa structure et sa fonction qui peuvent être physiques et/ou cognitives. Par exemple, le cœur humain a une structure spécifique qui lui permet de pomper le sang (c'est-à-dire sa fonction principale).

2. Un système est généralement défini comme « *une combinaison d'éléments systémiques en interaction, organisée pour atteindre un ou plusieurs objectifs déclarés* » (ISO/IEC 15288, 2015).

3. J. L. Le Moigne, *La modélisation des systèmes complexes*, Paris, Dunod, 1990.

4. J. de Rosnay, *Le Macroscopie, Vers une vision globale*, Paris, Seuil - Points Essais, 1977.

Les ingénieurs automaticiens parlent de systèmes cyber-physiques (*CPS* pour *Cyber-Physical Systems*), associant des capacités cognitives à des systèmes physiques, tandis que les informaticiens ont développé l'Internet des Objets (*IoT* pour *Internet of Things*), où certains logiciels sont complétés par des capacités physiques (par exemple des capteurs)<sup>5</sup>. Il convient de noter que les concepts de *CPS* et d'*IoT* peuvent conduire à des systèmes très similaires en pratique.

**I.b. ... contiennent des fonctions importantes d'automatisation et d'autonomie.**

Mieux comprendre les systèmes sociotechniques<sup>6</sup> nous impose de définir le concept de « fonction cognitive »<sup>7 8</sup>. Il faut noter que les humains possèdent des fonctions cognitives qualifiées de naturelles, comme les machines numérisées peuvent avoir aussi des fonctions cognitives artificielles. Les fonctions cognitives peuvent être catégorisées par rapport au modèle de comportement humain de Rasmussen<sup>9</sup> pour mieux interpréter l'émergence des disciplines d'ingénierie contributives par rapport à l'automatisation des machines (Figure 2). Nous avons commencé à utiliser ce modèle lors du passage du pilotage de trois à deux membres d'équipage dans les cockpits des avions de ligne, au début des années 1980. À cette époque, il s'agissait de remplacer le mécanicien navigant par de nouveaux systèmes embarqués plus automatisés que le commandant de bord et son co-pilote pouvaient facilement gérer. Nous étions déjà en présence de fonctions cognitives de contrôle d'objets physiques évoluant vers des fonctions cognitives de gestion de systèmes de plus en plus automatisés.

---

5. Principalement axée sur le logiciel, qu'il soit intégré au matériel ou non, l'IA est née dans le domaine de l'informatique, comme l'IS est née dans le domaine de l'ingénierie et s'est longtemps concentrée sur le matériel et les choses physiques.

6. Un « système sociotechnique » est défini comme un système de systèmes humains et machines qui implique une interaction entre les infrastructures complexes de la société et le comportement humain dans divers domaines tels que les soins de santé, le transport, la défense et les questions de systèmes environnementaux.

7. G. A. Boy, *Cognitive Function Analysis. Contemporary Studies in Cognitive Science and Technology Series*, USA, Ablex-Praeger Press, 1998.

8. La représentation de la fonction cognitive est généralement définie de deux façons : (1) une manière logique où une fonction cognitive est considérée comme une application utilisée par un agent humain ou une machine pour transformer une tâche (ce qui est prescrit pour être exécuté) en une activité (ce qui est effectivement exécuté) ; (2) une manière téléologique qui fournit à une fonction cognitive des attributs tels qu'un rôle, un contexte de validité et des ressources.

9. J. Rasmussen, *Information Processing and Human-Machine Interaction*, Amsterdam, Elsevier, 1986.

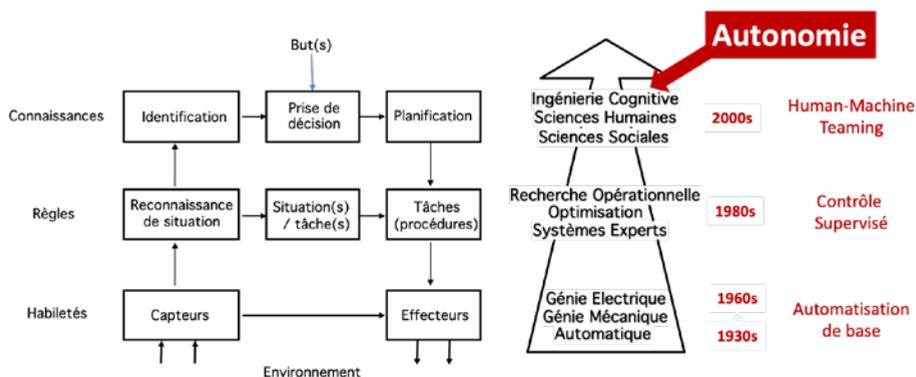


Figure 2 : l'évolution de l'automatisation vers l'autonomie selon le modèle de Rasmussen.

Dans le domaine aéronautique, les fonctions cognitives basées sur les compétences ou habiletés (c'est-à-dire l'inférence directe détection-action ou stimulus-réponse), ont été transférées aux machines dès les années 1930 sous la forme de pilotes automatiques sur des avions commerciaux en utilisant le génie électrique, le génie mécanique et les théories du contrôle qui ont donné naissance à l'automatique. Ce transfert de fonctions cognitives sensori-motrices subconscientes est généralement appelé automatisation de base (par exemple, les régulateurs de vitesse sur les automobiles actuelles). Les fonctions cognitives basées sur des règles ont été transférées à des machines au cours des années 1980 en utilisant la recherche opérationnelle, l'optimisation et les systèmes experts. Ce transfert de fonctions cognitives conscientes est généralement appelé contrôle supervisé (le *FMS*, par exemple). Les fonctions cognitives basées sur la connaissance sont actuellement étudiées dans les domaines de l'ingénierie cognitive, de la conception anthropocentrée, de l'intégration humains-systèmes, ainsi que des sciences humaines et sociales. Ces fonctions cognitives de résolution de problèmes nécessitent des capacités d'autonomie de la part des agents impliqués. Nous parlons d'équipe humain-automate au sein de laquelle les humains doivent traiter avec des machines hautement automatisées offrant certains types d'autonomie (par exemple, certaines technologies qui servent de support à la résolution de problèmes).

Tant les personnes que les machines peuvent être « automatisées ». D'une part, les fonctions cognitives humaines peuvent être automatisées soit par une formation intensive et une longue expérience, soit par le suivi d'une procédure (par exemple, la *checklist* des pilotes). D'autre part, du point de vue de l'ingénierie, l'automatisation des machines consiste à développer des algorithmes appropriés qui remplacent les fonctions cognitives humaines (c'est-à-dire naturelles) par des fonctions cognitives machines (c'est-à-dire logicielles et donc artificielles).

Cependant, ces deux types d'automatisation ne peuvent fonctionner et être utilisés que dans des contextes très spécifiques, c'est-à-dire des situations prévisibles. En dehors de ces contextes (c'est-à-dire dans des situations inattendues), leur rigidité peut être à l'origine d'incidents ou d'accidents<sup>10 11</sup>. C'est la raison pour laquelle, dans ces situations inattendues, les personnes aux commandes doivent résoudre les problèmes par elles-mêmes en utilisant les ressources physiques et/ou cognitives disponibles, qu'il s'agisse d'humains ou de machines. Ces acteurs ont donc besoin de flexibilité, ainsi que de connaissances et compétences appropriées pour résoudre des problèmes inattendus, nécessitant une autonomie, par opposition au suivi de procédures ou à la surveillance de l'automatisation de machines basées sur une planification initiale.

Donnons ici trois grandes classes de fonctions cognitives qui contribuent à l'autonomie : la conscience de la situation (perception, surveillance, construction de modèle mental et de connaissances, identification de tendances et détection d'anormalités) ; le raisonnement et l'action (planification de mission, ordonnancement d'activité et de ressources, exécution et contrôle de tâches, diagnostic de pannes, gestion de crise, apprentissage et adaptation) ; l'interaction et la collaboration (connaissances et compréhension partagées, prédiction du comportement et des intentions, négociation de tâches et de buts, construction de la confiance opérationnelle). Lorsqu'il s'agit d'agents machines, ces fonctions cognitives doivent être construites, vérifiées et validées par des séries de tests sur des simulations avec des opérateurs humains ou « humains-dans-la-boucle », ce qui donne lieu à des questions systémiques de conception d'architectures spécifiques.

Les ressources utiles et utilisables pour la résolution de problèmes, en particulier dans des situations inattendues, sont appelées « *FlexTech* »<sup>12</sup>. Les ressources *FlexTech* servent à aider les opérateurs humains à être plus autonomes et leur permettent de passer facilement d'une automatisation rigide à une autonomie flexible. La flexibilité opérationnelle est obtenue lorsque chaque agent en situation de résolution de problème, à la suite d'un événement inattendu par exemple, trouve une aide effective de la part d'un ou plusieurs de ses partenaires. Par exemple, une ressource *FlexTech* est la fonction « défaire » (i.e., *undo*) utilisée en traitement de texte pour effacer un mot mal orthographié, offrant ainsi une certaine souplesse aux rédacteurs dans leurs tâches de frappe. Cette fonction est très différente de celle d'un vérificateur de texte automatisé lexical et/ou syntaxique qui modifie automatiquement les phrases au fur et à mesure de la frappe. L'automatisation remplace, alors que *FlexTech* sert de support à l'activité hu-

---

10. G. A. Boy, « Dealing with the Unexpected in our Complex Sociotechnical World », in *12th IFAC/IFIP/IFORS/IEA Symposium on Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems*, Las Vegas, 2013. Voir également P. Millot (dir.), *Risk Management in Life-Critical Systems*, Londres, ISTE Ltd, 2014.

11. M. R. Endsley, « Situation awareness in future autonomous vehicles: Beware the unexpected », in *20th Congress of the International Ergonomics Association*, Florence, 2018.

12. 12 - G. A. Boy, *Design for Flexibility - A Human Systems Integration Approach*, Suisse, Springer, 2021.

maine. L'automatisation peut être très inefficace lorsqu'elle diminue la prise de conscience de la situation et entraîne généralement des baisses de performance plaçant l'opérateur humain hors de la boucle<sup>13</sup>. En pratique, les opérateurs humains utilisant des machines automatisées ont tendance à devenir complaisants, surtout lorsque l'automatisation fonctionne parfaitement, dans les contextes dans lesquels elle a été validée.

Dans le cas du postier, la fonction cognitive, « distribuer les lettres », peut être automatisée en fonction de différents niveaux d'automatisation. Par exemple, la bicyclette du facteur peut être remplacée par une automobile – notez que nous voyons ici comment les fonctions physiques et cognitives peuvent être articulées. Le courrier électronique représente un niveau d'automatisation beaucoup plus élevé, où les postiers sont radicalement remplacés par des ordinateurs, des logiciels et des réseaux d'information. Les usages du courrier électronique supposent également que les différents agents humains impliqués disposent d'outils appropriés dotés de fonctions physiques et cognitives adéquates, définies dans des contextes de validité spécifiques (par exemple, une alimentation électrique et des serveurs fonctionnant bien, en même temps qu'une interface utilisateur appropriée).

L'autonomie est une propriété qui confère à un humain ou à une machine une robustesse suffisante pour fonctionner sans intervention ni surveillance externe. Dans le cas d'un humain, certaines machines plus ou moins automatisées nous permettent d'être plus autonomes et, plus généralement, nous dotent de fonctions que nous n'avons pas naturellement. Deux exemples peuvent être cités : les systèmes d'exosquelette peuvent offrir plus d'autonomie à des personnes handicapées ; et comme déjà dit dans l'introduction, l'avion nous permet de voler, alors que l'être humain n'est pas naturellement capable de le faire. Dans le cas d'une machine, leur autonomie est nécessaire lorsqu'un système doit prendre une décision critique, en termes de temps et/ou de vie, qui ne peut pas attendre un soutien extérieur. Ceci est particulièrement vrai dans la gestion d'un système à distance ; le système doit alors être équipé de données embarquées riches et de systèmes de prise de décision<sup>14</sup>. Par exemple, les rovers *Curiosity* et *Perseverance* de la *NASA* peuvent se déplacer de manière autonome d'un point à un autre sur la planète Mars en utilisant la vision stéréo et la planification de trajectoire embarquée. Ce type d'autonomie est limité, laissant aux équipes de la *NASA* la possibilité de modifier la trajectoire du robot, d'effectuer des activités en fonction du contexte et d'autres activités de résolution de problèmes inattendus par exemple. Dans les deux cas, l'autonomie nécessite une définition systémique claire de ce que nous entendons par un humain ou une machine (Figure 1).

---

13. M. R. Endsley, « [Autonomous Horizon: System Autonomy in the Air Force – A Path to the Future. Volume 1: Human-Autonomy Teaming](#) », Officer of the Chief Scientist, Technical Report, USAF, AF/ST TR 15-01, 06/2015.

14. T. Fong, « [Autonomous Systems - NASA Capability Overview](#) », *NASA*, 24/08/2014.

## II. Le développement de l'IA questionne à nouveau la place de ces fonctions et amène à repenser les notions de confiance et de collaboration.

L'association de l'intelligence artificielle (IA)<sup>15 16</sup> et l'ingénierie des systèmes (IS)<sup>17,18</sup> s'est récemment développée parce que l'ingénierie numérique n'a cessé de croître rapidement depuis le début du XXI<sup>e</sup> siècle, immergeant la conception technique dans les logiciels et promouvant l'industrie 4.0 (principalement basée sur l'impression 3D). Au cours de la dernière décennie, l'IA s'est développée encore plus rapidement.

Le développement de systèmes de défense basés sur l'IA contribue à la génération de nouveaux rôles humains émergents, puis de fonctions qui doivent être identifiées plus précisément. Plus spécifiquement, une intégration *HAT* (*Human Autonomy Teaming*) plus sûre, plus efficace et plus confortable nécessite une meilleure compréhension des facteurs humains émergents tels que la conscience de la situation, la prise de décision et la prise de risque. De plus, le triptyque confiance-collaboration-performance doit être mieux articulé et mesurable.

### *La confiance*

La confiance est justement un sujet très riche qui a été exploré dans de nombreux domaines, tels que la psychologie, la sociologie, les facteurs humains, la philosophie, l'économie et les sciences politiques. La confiance est intimement liée à la coopération et à la collaboration. Dans cet article, nous nous concentrons sur une vision systémique et organisationnelle (c'est-à-dire multi-agents) de la confiance et de la collaboration<sup>19 20</sup>. Selon French et ses collègues<sup>21</sup>, l'intérêt pour la confiance apparaît le plus souvent dans des situations d'incertitude et de vulnérabilité. La confiance est nécessaire lorsque le risque existe que l'on puisse

---

15. L'IA désigne les systèmes qui font preuve d'un comportement intelligent en analysant leur environnement et en prenant des mesures – avec un certain degré d'autonomie – pour atteindre des objectifs spécifiques. Les systèmes basés sur l'IA peuvent être purement logiciels et agir dans le monde virtuel (par exemple, les assistants vocaux, les logiciels d'analyse d'images, les moteurs de recherche, les systèmes de reconnaissance de la parole et des visages) ou l'IA peut être intégrée dans des dispositifs matériels (par exemple, les robots avancés, les voitures semi-autonomes, les drones ou les applications de l'Internet des objets).

16. N. Smuha, « [A definition of AI: Main capabilities and disciplines](#) », *The European Commission*, 18/12/2018.

17. « [Systems engineering definition](#) », *INCOSE*, 2022.

18. « [Systems Engineering Vision 2035](#) », *INCOSE*, 2022. On s'attend à ce que les systèmes « soient plus acceptables socialement en considérant leur impact sur la société et l'environnement... et plus autonomes, ce qui leur permet d'interagir de manière transparente, de comprendre et de répondre à leurs demandes ».

19. C. Castelfranchi et R. Falcone, « Trust is much more than subjective probability: mental components and sources of trust », in *33rd Hawaii International Conference on System Sciences*, 2000..

20. R. C. Mayer, J. H. Davis et F. D. Schoorman, « [An integrative model of organizational trust](#) », *The Academy of Management Review*, Vol 20, n°3, 07/1995, pp. 709-733.

21. B. French, A. Duenser & A. Heathcote, « Trust in Automation – A Literature Review », *CSIRO Report*, 2018..

ne pas parvenir à accomplir la tâche à effectuer<sup>22</sup>. Elle est donc essentielle dans le partenariat entre humains et machines ayant des capacités d'autonomie. Ce besoin est encore plus aigu dans les systèmes qui évoluent constamment. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle l'explicabilité des données en sorties que fournissent les systèmes d'IA mérite une attention particulière.

David Atkinson<sup>23,24</sup> a postulé que « *la confiance que nous accordons aujourd'hui à l'automatisation repose sur la confiance acquise au fil de nombreuses années de développement de systèmes très fiables et très complexes* ». Cela signifie que la confiance dans les systèmes complexes repose sur la familiarité. La familiarisation peut prendre du temps. Plus on se familiarise avec un système sociotechnique complexe, plus on sait s'en servir, plus on peut lui faire confiance ou s'en méfier<sup>25</sup>. Les simulations du type humains-dans-la-boucle sont très efficaces pour accélérer ce processus<sup>26,27,28</sup>. Les personnes participant à ces simulations sont susceptibles de développer des stratégies appropriées en fonction des événements.

La confiance dépend d'une interaction stable entre les agents, de la résolution de conflits minimales entre eux et de la prévisibilité des interactions. La confiance est une question de contrôle. Les opérateurs font confiance à un système lorsqu'ils comprennent bien qui (par exemple, le pilote) ou quoi (par exemple, l'assistant virtuel) est aux commandes.

La confiance est enfin une question de fiabilité du système. Les opérateurs ont tendance à se méfier d'un système lorsqu'ils subissent trop de désagréments en l'utilisant, et inversement, à lui faire confiance lorsqu'il offre très souvent des résultats satisfaisants. Il s'agit d'une règle générale qui infirme ou confirme une réputation (les systèmes peuvent être notés en fonction de leurs succès et de leurs échecs – de la même manière que plusieurs systèmes Web sont notés par

---

22. R. Hardin, *Trust. Key Concepts*, Cambridge, Polity Press, 2006.

23. D. Atkinson, ancien directeur de recherche au JPL-Caltech, est l'un des principaux scientifiques ayant travaillé sur la confiance dans les systèmes hommes-machines, où les machines sont de plus en plus autonomes.

24. D. Atkinson, « Human-Machine Trust », conférence donnée au *Florida Institute for Human and Machine Cognition*, le 04/11/2012.

25. E. Salas, N. J. Cooke et M.A. Rosen, « On Teams, Teamwork, and Team Performance: Discoveries and Developments », *Human Factors*, Vol. 50, N°3, 06/2008.

26. Les outils de modélisation et de simulation humains-dans-la-boucle conduisent aux concepts et outils de jumeaux numériques permettant une représentation virtuelle d'un objet ou d'un système qui couvre son cycle de vie (de la première idée à l'obsolescence d'un système). Nous développons ce concept de jumeau numérique dans plusieurs domaines incluant la maintenance opérationnelle de moteurs d'hélicoptères et les opérations à distance d'un puit de forage pétrolier. Dans ces deux cas d'applications, nous mettons en œuvre des simulations, des systèmes d'apprentissage automatique et de raisonnement pour faciliter la prise de décision.

27. Q. Lorente, E. Villeneuve, C. Merlo, G. A. Boy et F. Thermy, « Development of a digital twin for collaborative decision-making, based on a multi-agent system: application to prescriptive maintenance », in *HIS 2021 – Human Systems Integration, INCOSE*, 11/2021, pp. 109-117.

28. S. Camara Dit Pinto, D. Masson, E. Villeneuve, G. A. Boy et L. Urfels, « [From requirements to prototyping: Application of human systems integration methodology to digital twin](#) », in *International Conference on Engineering Design, ICED*, 16-20/08/2021.

des communautés de personnes). Il en va de même pour les erreurs humaines. Lorsque les gens commettent trop d'erreurs (identiques), ils ont tendance à se méfier du système. Cela peut être dû à leur niveau de maîtrise du système, ou à la qualité du système lui-même.

Cette relation entre la confiance et la fiabilité encourage les efforts de recherche sur les questions de tangibilité<sup>29</sup> : tangibilité physique (c'est-à-dire la capacité à saisir des objets physiques) et tangibilité figurative (c'est-à-dire la capacité à saisir des abstractions et des concepts). Plus précisément, l'*US Air Force* a étudié la confiance au sein d'une équipe humain-robot et fait ressortir la nécessité de prise de décisions à la fois indépendantes et interdépendantes dans des environnements dynamiques à haut risque<sup>30</sup>. En bref, la confiance concerne : la compétence (comprenant la perception, compréhension et projection pour la prise de décision/action), la prévisibilité et la transparence, la réputation (signaux et comportements stables) et la fiabilité (anticiper, guider, permettre le travail d'équipe).

### *La coopération et la collaboration*

Dans le contexte multi-agents d'un système de combat aérien du futur, la coopération et la collaboration sont des paramètres également importants à prendre en compte. Dans la coopération, l'objectif de chaque agent est le même, mais leurs intérêts sont individuels. Au contraire, dans le cas de la collaboration, les opérateurs se réunissent en fonction d'un intérêt commun et d'un même objectif. Dans un orchestre, par exemple, les musiciens collaborent pour jouer une symphonie. Ils sont coordonnés par le biais de partitions, qui ont été préalablement écrites par un compositeur<sup>31</sup>. La collaboration entre les humains et les systèmes de plus en plus autonomes, en tant que coéquipiers, dans des environnements dynamiques incertains, consiste en des activités hautement interdépendantes. Tant du côté de l'homme que de la machine, l'entraînement à la collaboration est une question essentielle<sup>32</sup>.

Salas, Cooke et Rosen<sup>33</sup> ont travaillé sur ce point et souligné l'importance de certains processus. Citons le besoin de la mesure de la cognition partagée, les avancées en matière de formation d'équipe, l'utilisation d'environnements de

---

29. G. A. Boy, *Tangible Interactive Systems*, Londres, Springer, 2016.

30. K. E. Schaefer, S. G. Hill & F. G. Jentsch, « Trust in Human-Autonomy Teaming: A Review of Trust Research from the US Army Research Laboratory Robotics Collaborative Technology Alliance », in *Advances in Human Factors in Robots and Unmanned Systems*, 01/2019, pp. 102-114.

31. G. A. Boy, *Orchestrating Human-Centered Design*, Londres, Springer, 2013.

32. J. E. Driskell et E. Salas, « Collective Behavior and Team Performance », *Human Factors*, Vol. 34, n°3, 1992, pp. 277-288. Ces auteurs ont montré expérimentalement que les membres d'une équipe orientée collectivement sont plus susceptibles d'être attentifs aux apports des autres membres de l'équipe et d'améliorer leurs performances pendant l'interaction de l'équipe que les membres égocentriques. La question s'applique maintenant à la collaboration entre les pilotes et les assistants virtuels. Quel type de formation faut-il développer pour s'adapter à ces nouveaux collaborateurs ? L'assistant virtuel est-il égocentrique ? Quel type d'apprentissage automatique faut-il mettre en œuvre ?

33. J. E. Driskell et E. Salas, « Collective Behavior and Team Performance », *art. cit.*

tâches synthétiques pour la recherche, le besoin d'adopter une perspective multidisciplinaire et des formations ou interventions technologiques destinées à améliorer l'efficacité de l'équipe<sup>34</sup>. Il est aussi crucial de déterminer les ressources *FlexTech* appropriées qui peuvent améliorer la cognition partagée.

Quelques principes peuvent être aussi suggérés. En reformulant ce que Klein et ses collègues ont déjà produit dans le domaine de l'interaction humain-robot, voici quelques concepts très pertinents<sup>35</sup> pour le *Human Autonomy Teaming* : plus on est adaptable, moins on est prévisible ; la collaboration doit être basée sur le modèle *SADMAT* (c'est-à-dire conscience de la situation [*SA* pour *Situation Awareness*] – prise de décision [*DM* pour *Decision Making*] – action [*AT* pour *Action Taking*], développé dans le projet MOHICAN (DGA-PEA-MMT-2020) ; la gestion de l'attention doit dépendre du contexte, selon une compréhension partagée.

Finalement, pour mieux comprendre et maîtriser la machine considérée comme un partenaire, il sera utile de considérer trois types de modèles d'interaction systémique (*SIMs* pour *Systemic Interaction Models*) : (*SIM 1*) supervision ; (*SIM 2*) médiation et (*SIM 3*) coopération par compréhension mutuelle<sup>36 37</sup>. Le modèle *SIM 3* concerne l'intersubjectivité, où un agent peut construire un modèle de son environnement pour interagir avec lui de manière sûre, efficace et confortable. Un tel modèle inclut une fonction d'apprentissage, qui consiste à travailler suffisamment ensemble pour s'assurer que le travail d'équipe prenne en compte l'identité de l'autre partenaire. L'intersubjectivité est bien une question de maturité humaine (maturité des pratiques mises en jeu) définie par les niveaux de préparation humaine (*HRL* ou *Human Readiness Levels*)<sup>38 39</sup>, de maturité technologique mesurée par les niveaux de préparation technologique (*TRL* ou *Technology Readiness Levels*) et de maturité de l'organisation (ou sociétale) caractérisée par les niveaux de préparation organisationnelle (*ORL* ou *Organizational Readiness Levels*)<sup>40</sup>, qui seront intégrés dans un modèle *TOP* (Technologies, Organisations et Personnes)<sup>41</sup>.

---

34. Parmi les défis à relever au cours des prochaines décennies, citons l'importance accrue accordée à la cognition en équipe, les équipes reconfigurables et adaptatives, les influences multiculturelles et la nécessité d'une étude naturaliste et de meilleures mesures.

35. G. Klein, D.D. Woods, J.M. Bradshaw, R.R. Hoffman & P.J. Feltovich (2004). Ten Challenges for G. Klein, D. D. Woods, J. M. Bradshaw, R. R. Hoffman et P. J. Feltovich, « Ten Challenges for Making Automation a « Team Player » in Joint Human-Agent Activity », *IEEE Intelligent Systems*, 11/2004, pp. 91-95.

36. G. A. Boy, *Human Systems Integration: From Virtual to tangible*, Miami, Taylor & Francis Press, 2020.

37. Les modèles *SIMs* ont été souvent utilisés dans le déploiement de l'analyse de fonctions cognitives (CFA), notamment dans l'aéronautique civile et l'espace.

38. M. Endsley, « Human readiness levels: Linking S&T to acquisition [Plenary address] », *National Defense Industrial Association Human Systems Conference*, Alexandria, VA (USA), 2015..

39. G. Salazar, See, J. E., Handley, H. A. H., R. Craft, « Understanding human readiness levels », in *Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, Vol. 64, Issue 1, 2021, pp. 1765-1769.

40. G. A. Boy, « Socioergonomics: A few clarifications on the Technology-Organizations-People Tryptic », in *INCOSE HSI2021 International Conference*, INCOSE, San Diego, CA, USA 2021.

41. G. A. Boy, *Orchestrating Human-Centered Design*. Londres, Springer, 2013.

### III.a. Face aux nouveaux défis, ...

De nombreux défis de recherche attendent donc les chercheurs pour parvenir à des formes satisfaisantes de partenariat homme-machine. En voici quelques-uns parmi d'autres<sup>42</sup> dans le domaine du *Human Autonomy Teaming* notamment :

- quel type de modèles conceptuels d'équipe humains-machines devrait être développé et validé ? ; comment la confiance collective peut-elle être construite, calibrée et exploitée de manière appropriée pour établir les rôles de chacun des agents et le bon partage de l'autorité (qui est en charge ?) ? ; dans le combat aérien par exemple, la collaboration entre les humains et les machines devrait se faire au bon niveau de granularité<sup>43</sup> et s'éloigner de l'idée qu'une machine dotée d'intelligence artificielle pourrait être autonome<sup>44</sup> ; d'un point de vue éthique, peut-on laisser par ailleurs une machine décider seule de certaines actions létales ? ;
- comment un système de systèmes peut-il maintenir la continuité des opérations dans des situations inattendues, incertaines, imprévues et imprévisibles – la continuité est intimement liée à la résilience<sup>45</sup> ; si, par exemple, le système sociotechnique global est partiellement ou totalement détruit, comment ses constituants pourraient rester en mesure d'accomplir leur propre mission de manière autonome, alors que chaque système du système global a sa propre raison d'être et peut être dépendant, indépendant, ou interdépendant des autres<sup>46</sup> ;
- comment mesurer la performance de l'équipe humain-machine et en tirer parti pour améliorer de manière continue la performance du système ? Et comment certifier les concepts et les systèmes humains-machines en partenariat ?

Ces défis sont des incitations pour les recherches en cours et à venir. L'intégration humains systèmes (*HSI*) d'un système de combat aérien peut être

---

42. J. B. Holbrook, L. J. Prinzel, E. T. Chancey, R. J. Shively, M. S. Feary, Q. V. Dao, M. G. Mark G. Ballin et C. Teubert, « Enabling Urban Air Mobility: Human-Autonomy Teaming Research Challenges and Recommendations », *AIAA Aviation Forum* (virtual event), 15-19/06/2020. Un comité de l'aviation civile de la NASA a récemment passé en revue les recherches existantes sur le *Human Autonomy Teaming (HAT)*, identifié les objectifs de la communauté des parties prenantes, examiné les concepts d'exploitation pertinents et défini un cadre pour l'établissement d'un plan de recherche coordonné, complet et hiérarchisé qui permettrait de futures applications sur le marché de l'aviation. Cet effort d'examen vise à fournir aux décideurs, aux ingénieurs et aux chercheurs des conseils utiles pour diriger et coordonner les activités de recherche sur le *HAT*.

43. Le bon niveau de granularité ne peut être déterminé que par une équipe d'experts-métiers confrontés à la situation en cours. C'est la raison pour laquelle cette détermination demande des faire des simulations humains-dans-la-boucle.

44. J. M. Bradshaw et ali, « Teamwork-centered autonomy for extended human-agent interaction in space applications », *AAAI 2004 Spring Symposium Proceedings*, 2004, pp. 22–24..

45. Encore une fois, c'est par la modélisation et des simulations humains-dans-la-boucle que la construction de systèmes de systèmes pourra être faite, et en particulier la prise en compte de la séparabilité des systèmes. La séparabilité étant une propriété fondamentale des systèmes complexes (vivants).

46. D. D. Woods et D. L. Alderson, « Progress toward Resilient Infrastructures: Are we falling behind the pace of events and changing threats? », *Journal of Critical Infrastructure Policy*, Vol. 2, n°2, hiver 2021.

envisagée de deux points de vue coordonnés pour garantir une cohérence globale, l'interopérabilité et un partage approprié de l'autorité. Le premier est de se concentrer sur le pilote de chasse pour améliorer son environnement de travail (par exemple, la conception du *cockpit* pour la gestion de drones ou *remote carriers*). Le second est de privilégier le C2 pour améliorer l'exploitation du *combat cloud*. Une telle approche ne pourra être mise en œuvre correctement qu'en développant des scénarios et de simulations humains-dans-la-boucle qui permettent de découvrir pas-à-pas des fonctions et structures émergentes des systèmes concernés. Bien qu'il existe des pistes théoriques solides, tout reste à construire en pratique dans ce domaine.

Sur la notion d'émergence, nous avons travaillé sur le système de navigation du *rover* lunaire piloté de la *NASA*. Ce système, appelé « Virtual Camera »<sup>47</sup>, permet non seulement de s'orienter sur des secteurs déjà répertoriés, comme nous avons l'habitude de le faire en suivant les instructions d'un *GPS* dans notre véhicule, mais aussi de découvrir des secteurs inconnus. Ils sont renseignés progressivement en utilisant des capteurs et en incorporant au fur et à mesure de nouvelles données géographiques et géologiques dans la base de données initiale<sup>48</sup>. Ce système a été étendu à celui de prise de conscience de la situation météorologique à bord des avions de transport civil, le système *Onboard Weather Situation Awareness System (OWSAS)*<sup>49</sup>.

Nous travaillons actuellement sur des techniques et des outils de visualisation avancés pour accroître la tangibilité physique et figurative<sup>50</sup>. Les simulations humains-dans-la-boucle demandent le développement de systèmes numériques représentant le système sociotechnique considéré, qu'on appelle aujourd'hui jumeaux numériques. Plusieurs versions du *combat cloud* futur pourraient être conçues, comparées virtuellement et progressivement « tangibilisées » pour favoriser la distribution de la bonne information facilement compréhensible, au bon moment et au bon endroit.

Enfin, nous devons continuer d'analyser et de mieux comprendre les questions liés à la confiance et à la collaboration, en n'oubliant jamais que tout système sociotechnique évolue dans le temps. Ses fonctions et ses structures peuvent être modifiées, supprimées et/ou ajoutées en fonction de l'expérience acquise, de l'évolution des besoins et des risques opérationnels. C'est la raison

---

47. 47 - G. A. Boy, R. Mazzone et M. Conroy, M, « The Virtual Camera Concept: A Third Person View », *Third International Conference on Applied Human Factors and Engineering*, 17-20/07/2010.

48. D. Platt, M. Millot et G. A. Boy, « Design and Evaluation of an Exploration Assistant for Human Deep Space Risk Mitigation », *12th IFAC/IFIP/IFORS/IEA Symposium on Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems*, 2013.

49. S. Boulnois et G. A. Boy, « Onboard Weather Situation Awareness System: A human-systems integration approach », *International Conference on Human-Computer Interaction in Aerospace*, 14-16/09/2016.

50. G. A. Boy, *Design for Flexibility - A Human Systems Integration Approach*, Londres, Springer, 2021.

pour laquelle la flexibilité du système de systèmes correspondant doit être une préoccupation constante.

### III.b. ...une approche empirique est indispensable pour aboutir.

Les futurs systèmes basés sur l'IA doivent être développés avec les paramètres, méthodes et outils d'évaluation appropriés du *HSI*. Le *HSI* privilégie la conception basée sur des scénarios (*SBD*, *Scenario-Based Design*) pour ancrer les solutions proposées dans la réalité. Ce type de conception nécessite la participation d'experts métiers, par exemple des pilotes de chasse ou des contrôleurs aériens. La méthode PRODEC<sup>51</sup> a été mise au point pour favoriser l'acquisition de connaissances par les experts métiers, la conception de scénarios et de simulations humains-dans-la-boucle, la découverte de certaines propriétés émergentes du système sociotechnique à partir des interactions entre les différents agents<sup>52</sup>. PRODEC a été utilisée dans le cadre du projet DGA MOHICAN<sup>53</sup>.

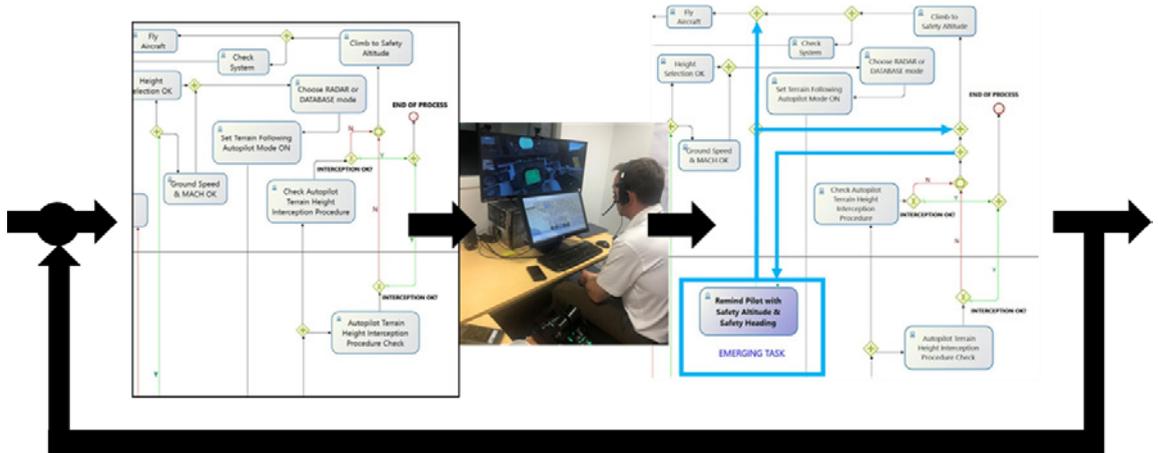


Figure 3 : exemple d'analyses de tâches (partie gauche) et de l'activité (partie droite) à l'aide de graphes BPMN<sup>54</sup> et identification de propriétés émergentes (en bleu côté activité).

Le cycle PRODEC (Figure 3) peut être décrit comme suit : (Étape-1) analyse initiale des tâches ; (Étape-2) explicitation des fonctions et structures émergentes ; (Étape-3) mise en œuvre du prototype à l'aide de la représentation déclarative pré-

51. PRODEC est utile pour l'analyse, la conception et l'évaluation d'un système sociotechnique complexe. Les connaissances obtenues auprès des experts métiers sous la forme de scénarios procéduraux (la partie PRO de la méthode PRODEC, pour « procédural ») peuvent être transcrites sous la forme de graphes orientés, par exemple des tâches impliquées dans la description d'une mission ou d'un travail à effectuer.

52. 52 - G. A. Boy, D. Masson, E. Durnerin et C. Morel, « Human Systems Integration of Increasingly Autonomous Systems using PRODEC Methodology », *FlexTech work-in-progress technical report* (à paraître).

53. Nous tenons à remercier ici l'équipe de Synapse Défense qui a fortement contribué à l'applicabilité de la méthode PRODEC pendant l'exécution du projet MOHICAN.

54. S. A. With, X. Bock, N. Palmer, *Business Process Model & Notation*, US, Future Strategic Inc, 2011.

sentée sur la Figure 4 ; (Étape-4) simulation humains-dans-la-boucle ; (Étape-5) observation et analyse de l'activité en vue de l'explicitation des propriétés émergentes ; (Étape-6) modification de l'analyse des tâches précédente et (Étape-7) pour plus de raffinement, retour à l'Étape-2. L'analyse des tâches (c'est-à-dire l'élaboration de scénarios procéduraux aux étapes 1 et 6) permet la mise en œuvre de scénarios qui guident le développement de prototypes pour tester les nouvelles configurations du système, mais explicitent aussi progressivement des propriétés émergentes et la modification pas-à-pas de l'analyse des tâches.

Cette approche d'intégration humains-systèmes à autonomie croissante, comme la méthode PRODEC, est développée au sein de la Chaire *FlexTech* (localisée à CentraleSupélec – Université Paris-Saclay et l'ESTIA) à laquelle l'armée de l'Air et de l'Espace est associée.

# Les drones et leurs pilotes. Les technologies et les hiérarchies sociales dans l'armée de l'Air et de l'Espace

Vicky Karyoti

*La Dr Karyoti est chercheuse au Swedish Institute of International Affairs. Elle est docteur en sciences politiques de l'University of Southern Denmark (SDU), possède un MSc d'International Security & Law de la SDU et un BA en études internationales et européennes de l'université Panteion à Athènes. Ses recherches portent sur les technologies émergentes et nouvelles, le professionnalisme militaire, la sécurité, la sociologie et les alliances.*

Les développements technologiques ont toujours fait partie intégrante de la guerre<sup>1</sup>. Qu'elle permette de résoudre un problème de nature militaire ou qu'elle adopte un artefact civil afin de maximiser l'efficacité militaire, la technologie est toujours allée de pair avec la guerre – chaque avancée reflétant la technologie disponible, l'inventivité humaine et le contexte sociétal de la période historique concernée<sup>2</sup>. Les développements technologiques changent non seulement la conduite de la guerre, mais aussi la société elle-même. Cela pose la question de la primauté, à savoir si la technologie est le facteur qui détermine le changement social. Cette idée, connue sous le nom de « déterminisme technologique », considère que l'ontologie précède la technologie et la science sur le changement social et que la technologie est un facteur plus déterminant que les autres sur ce dernier<sup>3</sup>. Dans cette perspective, les nouvelles technologies – et en particulier

---

1. A. Krishnan, « Automating War: The Need for Regulation », *Contemporary Security Policy*, Vol. 30, n° 1, 03/04/2009, pp. 172-193 ; H. Strachan, *The Direction of War*, Cambridge, Cambridge University Press, 2013 ; C. Coker, « Post-modern War », *RUSI Journal*, n°143, 1998 ; C. Coker, « Artificial Intelligence and the Future of War », *Scandinavian Journal of Military Studies*, Vol. 2, n°1, pp. 55-60 ; A. Bousquet, « [A Revolution in Military Affairs? Changing Technologies and Changing Practices of Warfare](#) » in D. R. McCarthy (dir.), *Technology and World Politics: An Introduction*, Londres, Routledge, 2017 ; M. V. Crevel, *Technology and War: From 2000 BC to the Present*, New York, The Free Press, 1991.

2. P. Fontenoy, *Submarines: An Illustrated History of Their Impact*, Santa Barbara, ABC-CLIO, 2007.

3. L. Marx et M. R. Smith, *Does Technology Drive History? : The Dilemma of Technological Determinism*, Cambridge, The MIT Press, 1994.

les meilleures d'elles – remplaceront les anciennes en raison de leur efficacité et mèneront à un changement social.

Cet article étudie le niveau d'acceptation des drones au sein de l'armée de l'Air et de l'Espace (AAE) en examinant plus spécifiquement le processus ayant permis leur intégration dans les armées. Il adopte un angle à la fois culturel et organisationnel en tentant de répondre à la question suivante : que se passe-t-il au sein d'un groupe professionnel, telle qu'une organisation militaire, lorsqu'une nouvelle technologie est introduite ? Comment l'arrivée des drones a eu un impact sur la structure sociale interne, la cohésion et la culture de l'AAE ? Enfin, que cela nous apprend-t-il sur les conséquences possibles de tels processus sur l'efficacité et le futur de la puissance aérienne ? Par ailleurs, compte tenu des nouveaux développements portés par la présidence française du Conseil de l'Union européenne, les discussions de praticiens et d'universitaires à propos du futur de la puissance aérienne européenne seront examinées. Il est ainsi plus que jamais opportun de discuter de la façon dont les technologies émergentes – et potentiellement perturbatrices – peuvent avoir un impact sur les forces aériennes.

### **Histoire et importance du drone**

D'un point de vue scientifique, le drone n'est pas perçu comme étant une « nouvelle technologie », pas même dans les standards du XX<sup>e</sup> siècle. Apparu pour la première fois en 1918, il est considéré comme l'un des premiers jalons de l'autonomie de la puissance aérienne<sup>4</sup>. Pourtant, il n'a pas été intégré à la puissance aérienne de la même manière qu'aujourd'hui avant la fin du XX<sup>e</sup> siècle. Au-delà des progrès scientifiques et technologiques, le drone était présenté comme une solution pour un domaine d'opérations devenu central dans la guerre des années 1990 : l'information et la reconnaissance<sup>5</sup>. Les drones permettaient alors de soutenir d'autres plateformes de combat en apportant des données plus précises, détaillées et rapides, sans avoir à déployer des soldats et des équipements onéreux. Ils fournissaient ainsi vitesse, précision, agilité et protection, avec un rapport coût/bénéfice intéressant.

Par ailleurs, les drones diminuent les risques de pertes en réduisant le nombre de soldats sur les théâtres d'opérations. Cet apport est devenu inestimable en raison de l'avènement d'une société que certains auteurs qualifient de « post-héroïque ». Ce terme s'applique avant tout aux sociétés occidentales et en particulier aux États qui ont été impliqués dans des opérations extérieures<sup>6</sup>. D'après ces auteurs, l'absence de risques existentiels encourus lors des opérations menées en Afghanistan, en Irak, en Syrie et ailleurs, couplée avec la prévalence des réseaux

---

4. T. P. Schultz, *The Problem with Pilots: How Physicians, Engineers, and Airpower Enthusiasts Redefined Flight*, Baltimore, John Hopkins University Press, 2018.

5. W. Phelps, *On Killing Remotely: The Psychology of Killing with Drones*, New York, Little, Brown and Company, 2021.

6. M. Hasian, *Drone Warfare and Lawfare in a Post-Heroic Age*, Alabama, university of Alabama, 2016.

sociaux relayant des images de soldats tués ou blessés, ont considérablement fait baisser le seuil de tolérance des opinions publiques au sujet des pertes et souffrances humaines.

Le début de l'utilisation de drones armés et leur déploiement ultérieur en vue d'un engagement létal a constitué un tournant dans son histoire. Bien que cela était déjà possible d'un point de vue théorique et technique depuis longtemps, la décision et l'usage de drones armés remontent seulement aux attaques du 11 septembre et aux réactions des États-Unis et de leurs alliés<sup>7</sup>. Cette omniprésence des drones a donné lieu à d'innombrables débats sur les questions éthiques, légales, opérationnelles et politiques posées par les drones ; discussions qui n'ont pas pour autant entravé leur usage<sup>8</sup>. Ils ont également donné naissance à un marché pour les experts de la surveillance sur les besoins de recrutements, d'entraînement, d'infrastructures et, bien sûr, à un nouveau groupe entier de militaires affectés à leur exploitation dans ses différentes missions. Cet article explore par conséquent ces nouveaux rôles et individus, qui font émerger des défis à la fois culturels et organisationnels.

### L'armée de l'Air et de l'Espace

Ces défis apparaissent en raison des règles, pratiques et suppositions sous-jacentes qui existent dans la culture de l'AAE. L'importance et la spécificité du modèle français dans le cadre de la puissance aérienne européenne en font un exemple remarquable pour étudier l'introduction des drones. Bien que l'AAE soit historiquement connue pour préférer développer ses propres capacités militaires au lieu de dépendre de ses alliés de l'OTAN et de ses partenaires, elle a accusé un retard pour développer ses propres drones – retard qui a été attribué à la réticence de l'industrie aéronautique française pour investir des ressources dans cette nouvelle technologie et son souhait de se reposer sur des plateformes héritées du passé<sup>9</sup>. À cela s'ajoute la lenteur française quant à l'armement de ses drones : ce n'est qu'en 2017 que le gouvernement français a annoncé armer ses drones de surveillance. D'après la ministre des Armées Florence Parly, le premier drone à avoir été équipé de la sorte était le *MQ-9 Reaper*, drone MALE (Moyenne Altitude, Longue Endurance), appartenant à l'escadron de

---

7. V. Karyoti, « [9/11's legacy of drone warfare has changed how we view the military](#) », *The Conversation*, 07/09/2021.

8. C. Kennedy et J. Rogers, « [Virtuous Drones?](#) », *The International Journal Of Human Rights*, Vol. 19, 2015, pp. 211-227 ; W. Chappelle et alii, « Combat and Operational Risk Factors for Post-Traumatic Stress Disorder Symptom Criteria among United States Air Force Remotely Piloted Aircraft 'Drone' Warfighters », *Journal of Anxiety Disorders* n°62, 03/2019, pp. 86-93 ; A. Johnson et S. Axinn, « [The Morality of Autonomous Robots](#) », *Journal of Military Ethics*, Vol. 12, n° 2, 08/2013 ; D. Whetham, « Drones to Protect », *The International Journal of Human Rights*, Vol. 19, n° 2, 2015, pp. 199-210 ; D. R. Brunstetter, « Can We Wage a Just Drone War? », *The Atlantic*, 19/07/2021.

9. « [Les drones militaires aériens : une rupture stratégique mal conduite](#) », *Rapport public annuel*, Cour des comptes, 02/2020 ; J.-B. Jeangène Vilmer, « [The French Turn to Armed Drones](#) », *War on the Rocks*, 22/09/2017.

drones 1/33 Belfort. Le type de munitions ou le calendrier du processus n'ont pas été spécifiés. Il faudra attendre 2019 pour voir la première frappe réalisée au Mali<sup>10</sup>. À cet égard, en 2021, le gouvernement français a signé l'acquisition d'un drone *Reaper* additionnel de catégorie MALE (Moyenne Altitude, Longue Endurance).

Aujourd'hui, l'AAE dispose de deux escadrons opérationnels : l'escadron de drones 1/33 Belfort, basé à Cognac (d'abord nommé Escadron d'expérimentation 1/33 Adour) et l'escadron de reconnaissance 2/33 Savoie (un escadron déployant traditionnellement des *Mirage F1*). La rédaction de cet article s'appuie notamment sur des échanges avec les pilotes d'escadron et d'appareils variés, dont des pilotes de chasse, de drones et d'hélicoptères. Cette diversité a permis d'avoir une approche holistique de l'AAE, avec une compréhension plus riche et plus nuancée de la culture et des individus qui la composent. L'accent mis sur la culture de l'AAE devient évident lorsqu'on constate qu'à travers le monde, la composante aérienne des forces armées de chaque nation a été, la plupart du temps, celle qui a rendu possible l'utilisation de ces aéronefs et la réalisation de la supériorité aérienne. Cela ne veut pas dire que les services des autres composantes, comme la Marine nationale, n'ont jamais employé ces aéronefs ; il s'agit plutôt de dire qu'une tradition séparée et dédiée en priorité à l'AAE a eu une signification différente sur la création, le développement et la vie de la culture de cette armée.

En effet, les conséquences que cela a eu sur l'histoire et la nature de l'aviation militaire sont claires : lorsqu'une branche armée a pour objectif l'utilisation d'un aéronef, son identité et sa culture se construisent autour de la fonction de pilotage de celui-ci<sup>11</sup>. Durant de nombreuses décennies, cela se traduisait par la présence physique du pilote. Même dans les cas où un équipage entier est concerné – dans un bombardier par exemple –, c'est le pilote qui reste aux commandes et incarne la figure centrale<sup>12</sup>. De plus, beaucoup de pilotes estiment que la fonction principale de l'AAE est le combat, ce qui réduit d'autant plus l'identité de la composante à une force réalisant des opérations de combat aérien et donnant alors une perception auxiliaire de toutes les autres missions – comme le transport, l'*ISR* (*Intelligence, Surveillance and Reconnaissance*) et le soutien.

La primauté de certaines technologies – et les tâches dédiées à leurs fonctionnements – crée une hiérarchie sociale interne au sein du groupe professionnel que forme l'AAE. Celle-ci reflète la configuration interne de ce groupe, qui se subdivise en sous-groupes correspondant à chaque tâche. Ainsi, on peut distinguer dans cette hiérarchie les pilotes des ingénieurs ou des membres de l'administration, mais aussi les pilotes de chasse des pilotes d'hélicoptères ou de

---

10. « [France Carries out First Armed Drone Strike in Mali](#) », France 24, 24/12/2019.

11. T. P. Schultz, *The Problem with Pilots: How Physicians...*, *op. cit.* ; C. H. Builder, *The Icarus Syndrome: The Role of Air Power Theory in the Evolution and Fate of the U.S. Air Force*, Londres, Routledge, 2002.

12. L. Calhoun, « [The End of Military Virtue](#) », *A Journal of Social Justice*, Vol. 23, n° 3, 2011, pp. 377-386.

drones. Les distinctions s'opèrent également entre les unités de l'AAE, telles que les escadrons. Tout cela s'explique par le fait que les différentes tâches et formations ont leur propre sous-culture et identité, qui se sont formées à travers l'histoire, les traditions et l'évolution, toujours guidées par la mission, le sens du devoir et le professionnalisme des individus.

### **Le statut des professions**

La hiérarchie sociale d'un service est créée par la distribution de statuts parmi les tâches qui incombent aux personnels et aux unités. Certaines tâches induisent un prestige social plus important que d'autres, car elles sont considérées comme primaires alors que d'autres sont considérées comme auxiliaires ou de soutien<sup>13</sup>. Les tâches dites « primaires » sont celles qui se rapprochent le plus du travail « idéal » ou « emblématique » du groupe, c'est-à-dire le travail qui fait la renommée de ce dernier. Les individus responsables des tâches primaires ou « emblématiques » jouissent d'un statut social plus élevé à la fois au sein du groupe professionnel et de la société. Ce sont donc souvent les tâches que les individus cherchent à effectuer quand ils entrent dans un groupe militaire professionnel.

La sociologie professionnelle nous enseigne que la position prestigieuse d'un groupe est conférée par la primauté historique de certaines professions. La profession militaire appartient à une catégorie professionnelle spécifique – à l'instar des médecins, des clercs et des juristes – qui jouit d'une préséance au sein d'une société<sup>14</sup>. Selon certains chercheurs, cela s'explique par diverses raisons : l'expertise, les connaissances spécialisées, les mandats uniques, la responsabilité sociale et la relation avec l'État<sup>15</sup>. En ce qui concerne les professions requérant une expertise ou des connaissances spécialisées, les individus doivent l'acquérir par un entraînement et une formation au plus haut niveau afin de réussir leurs missions. Une telle expertise est, dans un sens, ésotérique car elle constitue un prérequis pour entrer et appartenir à la profession et nécessite sa maîtrise aux standards les plus élevés – ces attentes sont imposées par la structure de la profession et restent indispensables pour la réussite de tâches spécifiques.

Ceci nous amène à la deuxième caractéristique la plus importante des professions : elles ont un mandat unique pour opérer des tâches qui sont interdites aux non-membres du groupe. La condition de base du devoir des militaires professionnels est de tuer et de se sacrifier. De la même manière, les avocats sont les seuls individus à pouvoir défendre les autres devant une cour de justice et les juges sont les seuls à pouvoir statuer. De même, les médecins sont les seuls individus mandatés pour prendre et appliquer des décisions médicales tandis que les clercs sont les seuls individus autorisés à effectuer des devoirs

---

13. E. C. Hughes, *Men and Their Work*, Glencoe, The Free Press, 1958..

14. A. Cribb et S. Gewirtz, *Professionalism*, Cambridge, Polity Press, 2015.

15. S. P. Huntington, *The Soldier and the State: The Theory and Politics of Civil–Military Relations*, Harvard, Harvard University Press, 1957 ; M. Janowitz, *The Professional Soldier: A Social and Political Portrait*, Glencoe, The Free Press, 1960.

cléricaux. En effet, les professionnels ont une relation spéciale aussi bien avec la société dans laquelle ils évoluent qu'avec l'État qui les a mandatés pour leurs devoirs. Ces professions ont une relation de responsabilité envers la société et doivent lui rendre des comptes ; leurs mandats constituent autant une liberté qu'un frein. De plus, elles entretiennent une relation très encadrée avec l'État. C'est le cas en particulier des militaires qui, dans les sociétés modernes, font partie intégrante de la structure étatique. L'État régule la portée et les limites de la compétence militaire.

Toutes ces raisons expliquent le statut social élevé dont bénéficient les militaires au sein de la société, tout en étant soumis à un contrôle strict de la part de celle-ci. Ce statut élevé se reflète dans la profession et dans sa configuration interne, en lien avec les tâches susmentionnées et la perception de leur primauté respective. Dans les armées de l'Air, la primauté appartient au pilote de chasse. Cette affirmation n'est pas déterministe pour autant : cela ne veut en aucun cas dire que c'est la seule carrière souhaitée par les individus, ni que les autres tâches ne sont pas prestigieuses. Au cours des discussions menées avec des pilotes de l'AAE dans le cadre de la rédaction de cet article, beaucoup d'entre eux ont mentionné qu'ils avaient choisi volontairement de se tourner vers d'autres tâches que la chasse. Par ailleurs, tous ont souligné l'importance et la nécessité des individus et de leurs contributions, mais aussi la valeur indispensable de chacun de leurs collègues. Cette multiplicité de désirs personnels, de choix de carrière, d'histoires et de traditions, crée néanmoins une hiérarchie sociale, admise par tous.

Les nouvelles technologies peuvent par conséquent perturber cette hiérarchie sociale et la distribution de statuts parmi les sous-groupes et les individus qui les composent. L'utilisation de ces dernières peut entraîner des effets en fonction de certains facteurs. Sans surprise, elles auront plus d'impact sur les sous-groupes et les individus dont les tâches dépendent des technologies et plus particulièrement des « anciennes » technologies. De nouveaux individus vont entrer dans le groupe, de nouvelles missions leur seront assignées et de nouveaux sous-groupes avec leurs propres cultures apparaîtront. Alors que les sous-groupes préexistants peuvent résister à ces nouvelles missions et ces nouveaux individus, ils peuvent aussi accepter la nouvelle réalité : la nouveauté ne remplace pas ce qui existait auparavant.

### **Les pilotes de drones : mythes et réalité**

Pourquoi les drones conduisent-ils à des changements culturels et organisationnels ? En quoi sont-ils si différents d'autres technologies et pourquoi ont-ils une dimension sociologique ? C'est en partie en raison des idées répandues dans la société et de toute la mythologie qui s'est construite autour de ces outils, dont beaucoup sont souvent reflétées par les groupes militaires professionnels. Par exemple, un mythe particulièrement tenace est celui de la comparaison entre jouer à un jeu vidéo et utiliser un drone. D'après Wayne Phelps, cette comparai-

son est très populaire pour quatre raisons : l'aspect des drones – aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur –, la manière dont ils volent, la longueur et le niveau de formation des équipages, mais aussi leur pilotage à distance. En ce qui concerne leur aspect, certains drones ressemblent à des modèles de loisir ou à des gadgets vendus au grand public. D'un point de vue extérieur, le contrôle au sol s'effectue à l'aide d'une manette de jeux vidéos avec ses boutons, ses molettes et, bien sûr, son célèbre « joystick ». Le fait que ces outils de contrôle aient été construits précisément parce que les équipages étaient déjà familiarisés avec les jeux vidéos n'aide pas à sortir de cette comparaison. La façon dont ils sont pilotés et le contrôle à distance sont similaires à l'aspect intérieur de la station de contrôle au sol : les équipages des drones n'étant pas physiquement présents à l'intérieur du drone mais dans la station au sol, ils font vivre et contrôlent le drone par le biais d'un flux vidéo en direct présenté sur un écran d'ordinateur<sup>16</sup>. L'association des commandes avec l'écran d'ordinateur facilite la comparaison avec le jeu vidéo.

Cette comparaison vidéoludique est profondément ancrée dans la société mais aussi au sein des forces et en particulier dans les services utilisant les drones<sup>17</sup>. Cette analogie est lourde de conséquences sur la perception des pilotes de drones par les autres militaires et tend à prendre une teinte négative et souvent méprisante. Parmi les professionnels qui ont été interrogés, l'un d'eux a raconté l'histoire d'un de ses collègues dans un escadron d'aéronefs habités qui a ensuite été assigné à un escadron de drones. Il y est resté deux ans avant de retrouver son escadron initial. D'après son récit, le pilote a admis qu'après avoir expérimenté la mise en œuvre de drones de l'intérieur et vu ce que signifiait « piloter un drone », son opinion avait évolué : il éprouve désormais plus de respect à l'égard des pilotes de drones. Cette expérience a influencé sa perception :

*« Il m'expliquait qu'il y avait plein de bonnes choses à propos des drones. Il m'a un peu poussé dans ma réflexion quand je lui disais que je devais choisir à la fin de ma deuxième année de commandant d'escadron et je pense que ça m'a aidé à prendre la bonne décision parce que je l'ai compris grâce à cette personne qui avait reçu la même formation que moi, avec le même parcours et la même manière de voir les choses. S'il m'a dit que ce n'était pas si mal et qu'il y avait beaucoup de bons côtés, alors c'est que c'était sûrement le cas ».*

Néanmoins, l'opinion la plus répandue au sujet des pilotes de drones reste négative, ce qui perpétue leur traitement différencié et la primauté des pilotes d'aéronefs habités<sup>18</sup>.

---

16. W. Phelps, *On Killing Remotely: The Psychology of Killing with Drones*, op. cit.

17. J. L. Campo, « [Distance in War: The Experience of MQ-1 and MQ-9 Aircrew](#) », *Air & Space Power Journal*, Vol. 27, n° 3, 2015.

18. W. Phelps, *On Killing Remotely: The Psychology of Killing with Drones*, op. cit. ; M. W. Byrnes, « Dark Horizon: Airpower Revolution on a Razor's Edge – Part Two of the 'Nightfall' Series », *Air & Space Power Journal*, Vol. 29, n° 5, 10/2015.

Une autre préconception erronée est celle qui veut que les pilotes et les équipages de drone passeraient leurs journées dans les bureaux climatisés de leur pays d'origine, avant de rentrer chez eux le soir. Cette image n'est qu'à moitié vraie et concerne seulement certains États et services<sup>19</sup>. Par exemple, l'*US Air Force* déploie en garnison – terme pour désigner le déploiement « chez soi » sans se trouver sur le théâtre extérieur – contrairement à l'*US Navy*. Quant à elle, l'AAE déploie des drones sur le terrain, ce qui signifie que les drones employés sur les théâtres d'opérations étrangers sont souvent stationnés sur les mêmes bases que les autres aéronefs. Cette pratique présente à la fois des avantages et des inconvénients. D'un côté, le déploiement sur le terrain favorise une meilleure intégration des pilotes dans le cadre de leurs missions, vis-à-vis de leurs collègues et au sein de l'organisation générale. Cela leur permet de maintenir un cloisonnement mental, de permettre une transition entre le déploiement et le retour au pays, entre la guerre et la paix. Cela permet aussi de rehausser la perception des pilotes de drones, qui sont rendus visibles dans leur contribution au combat au même titre que n'importe quel autre personnel déployé dans le groupe professionnel au sens large<sup>20</sup>. Le déploiement sur terrain contribue par ailleurs au développement d'une culture commune aux membres du groupe professionnel, mais aussi entre les sous-groupes par le fait d'interactions rapprochées qu'ils entretiennent dans un environnement intense. D'un autre côté, ce déploiement avancé expose les pilotes et les équipages des drones aux risques induits par la proximité de la zone d'opérations. Bien qu'ils ne soient pas en situation de danger immédiat comme les pilotes et équipages des aéronefs habités, les pilotes de drones ne sont toutefois pas sur le sol national. Leurs familles et leurs vies ordinaires en unité sur le territoire national leur manquent, tandis qu'ils peuvent ressentir des sentiments d'isolation et de séparation.

Un des obstacles majeurs à la reconnaissance des pilotes de drones réside non seulement dans le fait qu'ils ne sont pas présentés comme des héros iconiques contrairement aux autres pilotes, mais aussi que leur image est à l'opposé de ceux-ci en raison de leur absence physique de l'avion en vol. Cela est dû à l'existence de deux référentiels différents pour distinguer ce qu'est le travail idéal ou emblématique d'un membre du groupe professionnel telle que l'arme aérienne. Le premier référentiel de ce qu'est un pilote semble d'abord être sa présence physique à bord de l'aéronef. Cela concerne aussi bien les pilotes de chasse que les pilotes de transport, d'hélicoptères ou de bombardiers. Les pilotes de drones sont en revanche exclus de cette catégorisation malgré le maintien de leur appellation de « pilote », qui définit toute personne contrôlant un aéronef sans considération pour sa présence physique à bord<sup>21</sup>. C'est aussi pour

---

19. H. Gusterson, « [An American Suicide Bomber?](#) », *Bulletin of the Atomic Scientists*, 20/01/2010.

20. G. Chamayou, *A Theory of the Drone*, New York, The New Press, 2015 ; M. W. Byrnes, « Dark Horizon: Airpower Revolution on a Razor's Edge... », *art. cit.* »

21. W. Phelps, *On Killing Remotely: The Psychology of Killing with Drones*, *op. cit.* ; M. Hardison et alii, « [Stress Dissatisfaction Air Force's Remote. Pilot. Aircr. Community](#) », *RAND Corporation*, 2017.

cela qu'au sein des équipages de drones, la personne responsable du contrôle de l'aéronef – qu'elle soit en *Launch Recovery Element (LRE)* pour le contrôle en local ou en *Mission Control Element (MCE)* pour la gestion de l'appareil sur zone – est un pilote, tandis que les opérateurs des capteurs de renseignement ne le sont pas. Ce point se rapproche des aéronefs habités et de leurs équipages : être physiquement présent et membre de l'équipage ne donnent pas les « ailes » d'un pilote aux navigateurs par exemple.

L'importance accordée à la présence physique persiste en raison du danger que cela représente et *in fine* du courage et de la bravoure dont la personne aux commandes de l'appareil doit faire preuve. Comment des pilotes de drones pourraient-ils ainsi attester de leur bravoure s'ils se trouvent hors de danger ? Pourquoi devraient-ils être récompensés de médailles de courage et considérés au même titre que des personnels ayant expérimenté l'action de terrain ? Ces questions ont déjà été largement discutées par de nombreux auteurs et relèvent de la définition et de la compréhension du courage et de la bravoure. Pour certains membres de la société, dont des militaires professionnels, ces valeurs se manifestent uniquement dans le cadre d'une adversité immédiate face à un danger physique<sup>22</sup>.

Kirkpatrick propose une compréhension différente du courage, qui repose sur trois critères : une cause légitime, une intention juste et le fait d'être confronté à des risques réels qu'il est possible d'appréhender<sup>23</sup>. Les pilotes de drones font face à des risques réels, des effets psychologiques ainsi que des dilemmes éthiques et moraux qui constituent leur propre fardeau. D'après une des personnes interrogées (un ancien pilote de chasse et maintenant pilote de drone MQ-9 *Reaper*) :

« C'est un risque assez psychologique parce que quand tu manques ton attaque et... il y a une maison qui peut être endommagée à cause de ce que tu as fait, c'est quelque chose de très traumatisant et c'est pour ça que l'on s'entraîne autant, parce que c'est la pire chose qui puisse arriver aussi bien à un pilote de chasse qu'à un pilote de drone ».

Les équipages de drones ne sont peut-être pas présents physiquement, mais ils bénéficient d'une vision rapprochée du résultat de leurs attaques grâce au flux vidéo dont ils disposent, ce qui n'est pas nécessairement le cas des pilotes de bombardiers pour la zone qu'ils frappent ou des militaires professionnels qui effectuent un tir de missile à plusieurs milliers de kilomètres de distance<sup>24</sup>. Par conséquent, la présence physique n'est pas un argument valable pour justifier le manque de reconnaissance des pilotes de drones.

---

22. W. Phelps, *On Killing Remotely: The Psychology of Killing with Drones*, op. cit. ; T. P. Schultz, *The Problem with Pilots: How Physicians...*, op. cit.

23. W. Phelps, *On Killing Remotely: The Psychology of Killing with Drones*, op. cit. ; J. Kirkpatrick, « Drones and the Martial Virtue Courage », *Journal of Military Ethics*, Vol. 14, n° 3-4, 2015, pp. 202-219.

24. *Ibid.*

Les critiques émettant des doutes quant au fait que les pilotes de drones sont de véritables pilotes soulèvent la question du « combat », qui constitue le second référentiel. Les militaires interrogés soulignent que la fonction principale de l'arme aérienne demeure le combat. C'est un fait historique et organisationnel, en dépit de la diversification des missions. Le transport, la recherche et le secours ou encore l'*ISR* sont toutes des fonctions remplies par les armées de l'Air mais existent surtout pour soutenir et compléter la fonction principale : le combat<sup>25</sup>. C'est ainsi que s'établit la primauté des pilotes de chasse non seulement dans les armées de l'Air à travers le monde, mais aussi dans d'autres services disposant d'une branche aéronautique<sup>26</sup>. Il est erroné de penser que les drones ne participent pas aux opérations de combat, comme le confirment les personnes interrogées dans le cadre de la rédaction de cet article. S'il est indéniable que les drones sont surtout employés pour des missions *ISR*, ils sont aussi armés pour le combat depuis plusieurs années, en particulier aux États-Unis. La doctrine française d'emploi des drones consacre de larges pans à leur bon déploiement ainsi qu'aux principes directeurs d'emploi de la force armée<sup>27</sup>. Enfin, les drones non-armés participent au combat en fournissant du soutien aérien rapproché ou en contribuant à la précision des bombes guidées laser.

Ces deux critères ne sont donc pas pertinents parce qu'ils semblent complètement ignorer les nombreux autres sous-groupes au sein de la profession militaire, qui ne se mettent pas physiquement en danger et ne connaissent pas le combat dans le cadre de leurs fonctions. Il existe de nombreuses sous-spécialités qui ont des rôles non-combattants : médecins, contrôleurs aériens, personnes chargées de la logistique et de l'administration, mécaniciens et ingénieurs, agents de communication, etc. Il est fort probable qu'ils ne participent pas aux combats (à l'exception des médecins). Leur tâche étant éloignée de la fonction combattante, ils ne font pourtant pas l'objet d'un examen minutieux ni n'entendent de commentaires désobligeants sur leur éthique et leur identité professionnelle, contrairement aux pilotes de drones.

## **L'impact de la technologie**

### *La leçon du cheval*

Historiquement, les nouveaux développements technologiques ainsi que les changements sociétaux et stratégico-politiques ont eu des effets majeurs sur la conduite de la guerre, notamment par l'augmentation ou la diminution de la centralité et de l'importance de certaines branches, tâches et individus. Un exemple peut être tiré de l'histoire de la cavalerie : pendant des siècles, le cheval a représenté un élément fondamental pour la création d'armées, mais

---

25. D. A. Mindell, *Our Robots, Ourselves: Robotics and the Myths of Autonomy*, USA, Viking Press, 2015.

26. W. Phelps, *On Killing Remotely: The Psychology of Killing with Drones*, *op. cit.*

27. T. P. Schultz, *The Problem with Pilots: How Physicians...*, *op. cit.*

aussi de sociétés et de cultures. Le cheval a été l'épicentre de la guerre, qu'il soit seul pour les cavaliers ou qu'il tire un char. Sa centralité a été documentée et immortalisée dans d'innombrables représentations de guerriers de toutes les grandes cultures et à même conduit à la création de l'une des tactiques les plus célèbres de l'histoire : la charge<sup>28</sup>.

En ce sens, le cheval peut être comparé à l'avion de chasse : la culture du combat aérien s'est principalement construite sur et autour des *dogfights* (combats aériens). Les pilotes étaient surnommés les « chevaliers des airs »<sup>29</sup>, une allusion à l'iconographie des officiers de cavalerie, tandis que les médias populaires contribuaient à la création de l'image emblématique du pilote en publiant des histoires de valeureux pilotes de chasse et de leurs aventures. Par la suite, les branches qui ont été créées pour l'utilisation de l'avion comme outil de guerre sont nées de la culture de l'avion de chasse, par et pour les pilotes de chasse. La figure du groupe professionnel que forment les armées de l'Air demeure le pilote de chasse et tout ce qui est associé au fait d'être pilote – les combinaisons, les masques et les couvre-chefs, les écharpes – est devenu un symbole de ce statut social<sup>30</sup>. Les pilotes, comme les officiers de cavalerie en leur temps, jouissaient – et dans une certaine mesure, jouissent encore – d'un statut social élevé non seulement au sein de la profession militaire mais aussi au sein de la société. Ils incarnent l'image emblématique du groupe professionnel, car ils sont considérés comme responsables du travail auquel le groupe est associé.

Les nouvelles technologies peuvent venir perturber la hiérarchie établie et la distribution des statuts au sein d'une profession. Dans le cas de la cavalerie, l'introduction de véhicules mécanisés et blindés est présentée comme la raison de l'obsolescence du cheval dans la guerre<sup>31</sup>. Plus important encore, elle est également considérée comme la raison du démantèlement des régiments de cavalerie et du processus relativement tardif – et largement désordonné – d'introduction et d'adoption de la guerre mécanisée. Les recherches effectuées pour cet article ont révélé que le facteur déterminant résidait dans la perception de la nouvelle technologie au sein de la cavalerie, plutôt que dans la technologie en elle-même.

Au cours des premières décennies, il a été proposé soit de créer des régiments séparés et basés sur les véhicules mécanisés, soit de mélanger des régiments avec à la fois des chevaux et des véhicules. Cette idée trouvait de nombreux partisans mais aussi des opposants, notamment au sein des régiments de cavalerie : les officiers estimaient que leur position et leur appartenance régimentaire pouvaient

---

28. [Emploi des systèmes de drones aériens](#), *Réflexion doctrinale interarmées* n°136, DEF/CICDE/NP, 06/06/2012.

29. J. Robinson, F. Hendriks et J. Robinson, *The Last Great Cavalry Charge: The Battle of the Silver Helmets, Halen 12 August 1914*, Brimscombe, Fonthill Media, 2015 ; M. Favereau, *The Horde: How the Mongols Changed the World*, Cambridge, The Belknap Press of Harvard University Press, 2021.

30. S. A. Fino, *Tiger Check: Automating the US Air Force Fighter Pilot in Air-to-Air Combat, 1950-1980*, Baltimore, Johns Hopkins University Press, 2017.

31. T. P. Schultz, *The Problem with Pilots: How Physicians..., op. cit.*

être menacées d'obsolescence<sup>32</sup>. D'autres, plus pragmatiques, soulignaient les défauts de la technologie encore naissante, pointant ses lacunes et ses insuffisances<sup>33</sup>. Finalement, certains régiments de cavalerie ont été dissous – surtout ceux qui résistaient à la nouvelle configuration mixte – tandis que d'autres ont survécu en acceptant la nouvelle donne technologique et l'introduction des nouvelles tâches et des nouveaux individus qui en étaient responsables. Le cheval a lentement – mais pas linéairement – disparu de la guerre, à l'exception de quelques cas de guérilla ainsi que lors de certaines cérémonies.

### **Les nouvelles technologies et l'avenir des services**

L'histoire du cheval nous apprend que l'introduction d'une nouvelle technologie dans un groupe militaire professionnel peut avoir des effets négatifs sur la cohésion interne et l'avenir du groupe. Elle nous montre également que cela dépend de la réaction du groupe en question. En reprenant les théories sociologiques évoquées plus haut, un tel destin peut être évité grâce à une compréhension plus claire de la culture et de la structure d'un groupe professionnel et de la manière dont il peut s'adapter à la nouvelle réalité sans en être affecté de manière significative. Si sa tâche principale reste la même et que la nouvelle technologie ne la menace pas, il n'y a aucune raison pour que le changement engendré déclenche des effets perturbateurs voire catastrophiques.

Jusqu'à présent, les principales tâches de l'AAE demeurent le combat avec une hiérarchie interne reflétant la primauté des pilotes de chasse. Cela ne signifie pas que les pilotes de drones sont isolés : un nouvel escadron exclusivement dédié à ceux-ci a été créé et un ancien escadron de *Mirage* a été transformé en escadron de drones. De plus, le déploiement conjoint des drones avec le reste des forces atténue les critiques de leur supposé isolement.

L'AAE est également caractérisée par la mobilité : les officiers savent qu'ils peuvent être affectés à un nouvel escadron ou à un nouveau type d'avion – cela est perçu comme faisant partie intégrante de leur travail. D'après l'une des personnes interrogées :

« ... [si l'AAE] dit *'Hey vous allez être ici parce que vous ne pouvez pas être pilote de chasse'*. Parfois, il suffit de prendre un pilote de chasse ou un pilote de transport et de leur dire qu'ils doivent piloter des drones, mais que cela prendra trois ans et qu'ensuite ils auront ce qu'ils veulent. Vous voulez un Rafale ? Vous voulez aller à l'étranger ? Vous voulez aller passer un an sur les drones ? Et les gens disent *'Ok'* ».

Selon les recherches conduites pour cet article, les pilotes de drones et leur sous-culture sont reconnus comme appartenant à une culture plus large, com-

---

32. G. F. Hofmann, *Through Mobility We Conquer: The Mechanization of US Cavalry*, Lexington, The University Press of Kentucky, 2006.

33. D. French, « [The Mechanization of the British Cavalry between the World Wars](#) », *War in History*, Vol. 10, n° 3, 07/2003, pp. 296-320.

mune à tous les officiers de l'AAE. Comme l'a souligné un ancien pilote de chasse et maintenant en poste au sein de l'administration de l'AAE :

« Si vous avez un nouvel aéronef et que vous amenez des jeunes, vous aurez plus de jeunes que de vieux et la culture sera plus dynamique. Mais je pense que c'est un peu la même chose pour tous les groupes humains. Mais les cultures évoluent aussi et je pense que vous pouvez les cartographier en fonction de l'âge du système sur lequel elles fonctionnent et du temps que les gens passeront dans la même unité. Mais avec le temps, de nouvelles cultures vont se mélanger dans ce grand bain ».

La hiérarchie existante n'a pas subi de choc avec l'introduction des drones mais plutôt une réorganisation en souplesse pour les inclure. Cela ne veut pas dire que cela s'est fait sans heurts. Il a fallu du temps avant que les drones ne soient utilisés par les forces armées françaises, encore plus pour qu'ils soient armés. De plus, les recherches conduites pour cet article ont révélé qu'en dépit du fait que les pilotes de drones soient considérés comme des professionnels au même titre que n'importe quel autre pilote, certains individus ne souhaitent pas être « déclassés » en devenant pilote de drone lors d'une réaffectation ou en étant affecté au pilotage de drones immédiatement après avoir été diplômés de l'École de l'Air et de l'Espace.

L'une des tendances des décennies qui ont suivi le 11 septembre semble avoir été la guerre à distance et l'effort pour éviter les pertes humaines. Tout cela semble néanmoins se transformer avec les discours occidentaux au sujet du retour de la guerre de haute intensité<sup>34</sup>. On observe des investissements massifs dans des plateformes technologiques mais aussi un retour vers des plateformes plus traditionnelles (comme les sous-marins à propulsion nucléaire), ainsi qu'une inclinaison à conclure des accords bilatéraux en dehors des alliances<sup>35</sup>. Cela pourrait signifier que, les idéaux de la société « post-héroïque » mis de côté, l'accent serait de nouveau porté sur les militaires professionnels et leurs groupes ainsi que sur l'importance de l'adoption réussie et précoce de nouvelles technologies. Dans la future conflictualité de haute intensité, ceux qui développent et adoptent les premiers de nouvelles technologies pourraient disposer d'un avantage significatif sur leurs adversaires<sup>36</sup>.

La nature d'une nouvelle technologie militaire et la manière dont elle est perçue peuvent avoir des conséquences significatives sur ses chances d'être adoptée et mise en œuvre. La nécessité militaire a été l'une des forces majeures derrière les développements technologiques. Mais la réussite de celles-ci dépend de leur mise en pratique et de leur usage. Pour les technologies futures, cela reste à découvrir.

---

34. R. S. Cohen et alii, « [The Future of Warfare in 2030: Project Overview and Conclusions](#) », RAND Corporation, 2020 ; O. Schmitt, « [France: Between Autonomy and Allies](#) », in G. J. Schmitt, *A Hard Look at Hard Power: Assessing the Defense Capabilities of Key US Allies and Security Partners – Second Edition*, US Army War College, 01/10/2020, pp. 55-84.

35. K. Liptak et M. Vazquez, « [Biden and UK to Help Australia Acquire Nuclear-Powered Submarines in new pushback on China](#) », *CNN Politics*, 16/09/2021.

36. M. C. Horowitz, « [Artificial Intelligence, International Competition, and the Balance of Power](#) », *Artificial Intelligence*, Vol. 1, n° 3, 05/2018, pp. 36-57.



# L'emploi des drones : un atout sous-estimé pour la puissance aérienne ?

Lieutenant-colonel Romain Desjars de Keranrouë

*Romain Desjars de Keranrouë sert à la Cellule d'analyse et de prospective de l'état-major de l'armée de l'Air et de l'Espace.*

En quelques années, les drones aériens se sont imposés dans le ciel. Comme le rappelle un rapport récent, le nombre de drones commerciaux est passé en France « de 400 000 en 2017 à 2,5 millions aujourd'hui »<sup>1</sup>. D'un point de vue militaire, « les drones [...] sont [...] devenus des équipements militaires quasi standards, avec une flotte mondiale qui dépasserait de loin les 20 000 appareils, alors qu'il reste difficile d'évaluer avec précision l'état du parc de pays comme la Chine ou l'Iran »<sup>2</sup>.

De la Libye à l'Éthiopie jusqu'au Yémen, du Haut-Karabagh à l'Ukraine, les drones, quelles que soient leurs catégories<sup>3</sup>, font réagir et débattre stratèges, militaires, industriels et hommes politiques<sup>4</sup>. Incarnant une révolution dans les affaires militaires, voire une rupture pour les uns, ne répondant pas aux défis des conflits de haute intensité et seulement adaptés aux engagements asymétriques pour les autres, ils ne laissent personne indifférent.

---

1. C. Perrin, G. Roger, B. Sido et F. Bonneau, « Les drones dans les forces armées », *Rapport d'information de la commission des Affaires étrangères, de la défense et des forces armées*, n°711, juin 2021, p. 32.

2. S. Baudu et J. Lassalle, « La guerre des drones », *Rapport d'information de la commission de la défense nationale et des forces armées*, n°4320, juillet 2021, p. 9.

3. L'OTAN retient trois catégories de drones en fonction de leur masse. Cat. I : le drone léger, inférieur à 150 kg, qui regroupe les micro, mini et petits drones, au rayon d'action limité à la *Line of Sight* ; Cat. II : le drone tactique entre 150 et 600 kg non doté d'une liaison satellite (portée d'environ 200 km) ; Cat. III : le drone de plus de 600 kg, qui regroupe les drones de théâtre, d'attaque et stratégiques, doté d'une liaison satellite, s'affranchissant ainsi de la contrainte de distance.

4. Pas moins de quatre rapports parlementaires s'échelonnent entre 2020 et 2021 sur le sujet des drones dans les armées.

Ces interrogations ne sont pas récentes. Dans un ouvrage d'étude et de prospective publié en 2013, des chercheurs de l'Institut français des relations internationales (IFRI) évoquaient déjà l'apparition probable d'un « *adversaire ayant massivement intégré les drones à sa flotte [qui] pourrait amener à reconsidérer l'arbitrage qui a été accompli entre le perfectionnement des plateformes, leurs types et leur nombre* »<sup>5</sup>. L'observation des conflits actuels tend à confirmer ces propos et doit pousser les aviateurs à mieux appréhender la manière dont les drones pourraient faire évoluer les contours de la puissance aérienne.

Plusieurs questions se posent dès lors. Quelles leçons devons-nous tirer des engagements récents, dont les plus emblématiques sont ceux du Haut-Karabagh<sup>6</sup>, de Libye qualifiés de « *la plus grande guerre de drones au monde* »<sup>7</sup> ou du Yémen où les Houthis proclamaient que 2019 était « *l'année des drones* »<sup>8</sup> ? En privilégiant uniquement le MQ-9 *Reaper* aujourd'hui, l'EuroMALE demain ou les futurs effecteurs déportés de type *loyal wingman*, les armées de l'Air occidentales ne se privent-elles pas d'options supplémentaires ?

Pour répondre à ces interrogations, on soulignera initialement comment les drones offrent la possibilité à des organisations militaires parfois modestes de se doter d'une véritable puissance aérienne (I). On développera ensuite l'idée que les drones sont nécessaires pour conserver l'initiative et la liberté d'action, « *essence de la stratégie* »<sup>9</sup> (II). On suggérera enfin qu'un développement complémentaire de moyens aux *Reaper*, EuroMALE et autres *loyal wingmen* pourrait être sérieusement considéré pour répondre aux enjeux des conflits à venir (III).

## **La réinvention de la puissance aérienne par des acteurs régionaux**

En France et en Europe, l'emploi des drones et particulièrement du *Reaper*, se concentre sur le contre-terrorisme, dans un contexte de suprématie aérienne. Comme le rappellent les sénateurs O. Cigolotti et M-A. Carlotti, « *la France continue [...] d'avoir un emploi 'stratégique' de ses drones armés (le drone Reaper et demain, l'Eurodrone) qui ont vocation à être utilisés pour des opérations de haute valeur ajoutée* »<sup>10</sup>.

---

5. C. Brustlein, E. de Durand, E. Tenenbaum, *La suprématie aérienne en péril, menaces et contre-stratégies à l'horizon 2030*, Paris, La documentation française, 2014, p. 62.

6. La guerre en Ukraine s'est juste déclenchée au moment de la rédaction de cet article. L'auteur a jugé qu'il était trop tôt pour tirer des leçons de l'engagement. L'emploi de drones TB2 est cependant semblable à celui dans le conflit du Haut-Karabagh.

7. « Interview with UN Special Representative for Libya Ghassan Salamé », *United Nations Political and Peacebuilding Affairs*, 25 septembre 2019.

8. I. Williams, S. Shaikh, « [The missile War in Yemen](#) », Report, CSIS, 09/06/22, p. 50.

9. A. Beaufre, *Introduction à la stratégie*. Paris, Hachette Littératures, 1998, p. 184.

10. O. Cigolotti et M-A. Carlotti, « Haut-Karabagh : dix enseignements d'un conflit qui nous concerne », *Rapport d'information de la commission des Affaires étrangères, de la défense et des forces armées*, n°754, p. 61.

Pourtant, dans d'autres régions du monde, le drone prolifère comme la « *solution du pauvre* »<sup>11</sup>. Il permet de combiner les moyens et de manœuvrer à des coûts acceptables face à des puissances aériennes qui mettent en œuvre une stratégie des moyens coûteuse et d'un niveau technologique très élevé.

### *Les aptitudes opérationnelles des drones*

Quatre rôles sont traditionnellement dévolus à l'arme aérienne : le contrôle de l'air qui permet l'appui feu et l'interdiction, la mobilité, l'attaque stratégique et le renseignement. Les drones contribuent bien sûr à ces grandes fonctions, en valorisant d'abord, quelle que soit leur taille, les capacités d'observation. Leur persistance, grâce à leur endurance (supérieure à 24h pour certains types), ou leur présence permanente au-dessus d'une zone grâce à leur nombre et à des relais réguliers, renforcent cette capacité de renseignement. Il est désormais possible de cartographier en détail le dispositif ennemi, en repérant par exemple ses matériels terrestres, ses unités et leurs tactiques, ses systèmes de défense, etc.

Par ailleurs, la plupart des drones ont été armés en l'espace de 20 ans<sup>12</sup>. Le couple capteur-effecteur placé sur une même plateforme a sensiblement accéléré les opérations de ciblage et de frappe. Les munitions téléopérées<sup>13</sup>, parfois appelées « *rodeuses* », qu'on pourrait classer entre le missile et le drone, ont entraîné la multiplication des missions de *Strike, Coordination and Reconnaissance* (SCAR)<sup>14</sup> au-dessus du champ de bataille. Ces missions causèrent la destruction de nombreux systèmes sol-air arméniens, incapables de détecter les tirs<sup>15</sup>, pendant la guerre du Haut-Karabagh. Les cibles des attaques peuvent être variées, s'étendant d'objectifs militaires (comme des matériels terrestres blindés ou des bases aériennes comme à Lattaquié) jusqu'à des individus tenant une place essentielle dans le fonctionnement d'organisations ennemies (*High Value Target*)<sup>16</sup>, en passant par la destruction d'installations contribuant au potentiel économique adverse (attaque du site d'*Aramco* en Arabie Saoudite qui a ralenti de 5% la production mondiale brute de pétrole)<sup>17</sup>.

Cette évolution rapide n'est pas sans rappeler par certains aspects l'émergence de l'avion sur les champs de bataille au début du XX<sup>e</sup> siècle, d'abord cantonné à l'observation avant d'être employé pour l'appui feu et le bombardement.

---

11. C. Brustlein, E. de Durand, E. Tenenbaum, *La suprématie aérienne...*, *op. cit.*, p. 92.

12. Les premiers tirs de *Hellfire* sur MQ-1 *Predator* datent de 2001 pour les États-Unis et de 2004 pour Israël.

13. Les munitions télé-opérées sont des munitions aériennes automatisées et durantes. Elles sont de taille variable et disposent d'une capacité à évoluer au-dessus d'une zone à la recherche d'un objectif, à localiser et à identifier celui-ci et enfin à l'attaquer en s'abattant sur lui au moment opportun. Ce type de munitions est mis en œuvre comme un drone mais n'a pas vocation à être récupéré.

14. Mission de recherche et d'attaque dynamique de cible d'opportunité. Participe aux missions d'interdiction.

15. O. Cigolotti et M.-A. Carlotti, *op. cit.*, p. 59.

16. Frappe contre le général iranien Soleimani par exemple.

17. J.-V. Brisset, « Le drone s'impose comme la version pas chère du missile », *Institut de Relations Internationales et Stratégiques*, 17/09/2019.

### Occupation aérienne<sup>18</sup>

Grâce à leur persistance, les drones produisent des effets militaires et psychologiques chez l'adversaire, parfois même sociétaux comme cela a été le cas sur les populations survolées dans les zones tribales du Pakistan pendant la guerre en Afghanistan<sup>19</sup>.

La guerre entre l'Azerbaïdjan et l'Arménie a mis en lumière l'intérêt de l'emploi des drones quand ils peuvent évoluer sans être menacés. Omniprésent sur le champ de bataille, le drone *Bayraktar TB2*<sup>20</sup> contribua à réduire de manière très significative la puissance de feu adverse au sol. Les troupes terrestres, pourtant relativement aguerries, furent désemparées et essuyèrent de lourdes pertes sans pouvoir riposter efficacement<sup>21</sup>.

Cette occupation aérienne, plus facile à mettre en œuvre quand elle est associée à la suprématie aérienne, peut aussi être envisagée contre des adversaires mettant en œuvre des intercepteurs ou des moyens avancés technologiquement. Les Turcs ont ainsi soutenu le gouvernement de Tripoli en Libye, face aux forces du général Haftar qui possédaient des drones *Wing Loongs*<sup>22</sup> venant des Émirats arabes unis. Comme le soulignent les sénateurs O. Cigolotti et M.-A. Carloti, « l'entrée des TB2 dans le conflit libyen a créé une rupture de dynamique, jusque-là favorable à l'ANL/Émirats. [...] Leurs frappes ont remis en cause la supériorité aérienne de l'ANL sur le théâtre des opérations dont elle jouissait jusqu'alors grâce à l'appui des Émirats. »<sup>23</sup>.

La guerre en Ukraine semble confirmer cette tendance. Les drones *TB2* employés par les Ukrainiens ont infligé des pertes certaines aux troupes russes au début de la campagne<sup>24</sup>, malgré l'importance de l'arsenal aérien mis en œuvre par les Russes.

### Montée en gamme de l'ISR

La dissémination des drones, leur emploi de plus en plus systématique par des puissances régionales comme l'Éthiopie<sup>25</sup> ou le Maroc élèvent le niveau général de connaissance et d'anticipation des belligérants sur le champ de ba-

---

18. J.-C. Noël, « Occuper sans envahir : drones aériens et stratégie », *Politique étrangère*, 3, 2013, pp. 105-117.

19. « [Drones in Pakistan traumatise civilians, US report says](#) », *BBC.com*, 25/09/2012.

20. Drone sans liaison satellite, limité à 150 km de portée, doté de capteurs ISR et pouvant être armé jusqu'à 4 roquettes ou missiles légers antichars de fabrication locale *Roketsan*. Son endurance peut aller jusqu'à 24h. Il ressemble assez au drone *Patroller* que l'armée de Terre doit réceptionner.

21. O. Cigolotti et M.-A. Carloti, *op. cit.*, p. 84.

22. Drone MALE existant en plusieurs versions, d'une endurance de plus de 20h et de portée supérieure à 1 000 km. Il peut emporter plus de 500 kg de charge, dont de l'armement air-sol (missile et bombe).

23. A. Thomas, « Confrontation turco-émiratienne en Libye : le drone, nouvel atout stratégique », *Fondation pour la Recherche Stratégique*, n°12/2021, juin 2021, p. 15.

24. D. Malyasov, « Ukrainian Bayraktar TB2 drones successfully attack Russian convoys », *de-fence-blog*, 28/02/2022.

25. AFP, « Éthiopie : les drones, arme clé dans l'évolution récente de la guerre », *l'express.fr*, 14/01/2022.

taille tout en conservant une forme de rusticité. Grâce à la multiplication des capteurs, ces puissances bénéficient de meilleures capacités de commandement et de contrôle (C2) et peuvent préparer des actions où leurs moyens seront combinés. Leur niveau professionnel s'améliorera probablement en conséquence<sup>26</sup>. Certes, les capacités de C2 restent souvent rustiques, de sorte qu'il n'est pas question de planifier des manœuvres complexes. Pour autant, l'emploi de drones dans une manœuvre combinée avec les champs électromagnétique et informationnel peut produire des effets stratégiques, comme l'a prouvé l'arrivée des *Bayraktar TB2* en Libye.

### *Hybridité*

Une stratégie hybride brouille les limites entre les types et les niveaux des conflits, entraînant la possibilité, pour celui qui sait la manier, d'atteindre ses fins sans recourir à la mobilisation complète de ses moyens militaires traditionnels. Le drone peut jouer un rôle dans ce type de stratégie<sup>27</sup>. Si les attaques par drone sont plus aisément attribuables que dans le cyberspace, la désignation du commanditaire n'est cependant pas automatique. Alors que les drones ou missiles ayant frappé le site pétrolier d'*Aramco*<sup>28</sup> sont d'origine iranienne, l'attaque a été revendiquée par les Houthis, déchargeant en apparence les dirigeants de Téhéran de toute responsabilité. La *CIA* a conduit des frappes en dehors de théâtres d'opération reconnus en utilisant des drones, là où l'emploi d'avions de chasse, plus visibles, aurait moins convenu et certainement donné lieu à des réactions plus outrées.

La perte d'un drone suscite également moins de réactions que celle d'un aéronef et de son équipage. Aucune escalade sensible n'a par exemple débuté en juin 2019 après qu'un drone *Global Hawk* américain ait été abattu au Sud de l'Iran. Enfin, certaines catégories de drones achetées dans le civil, peuvent être militarisées, complexifiant l'attribution de la frappe.

Le drone peut donc contribuer à « gagner la guerre avant la guerre », ce que les plus hautes autorités françaises reconnaissent désormais. Le chef d'état-major des Armées affirme dans sa vision stratégique que « *les frappes de drone constituent une action offensive graduelle qui minimisent les implications géopolitiques* »<sup>29</sup> tandis que les députés S. Baudu et J. Lasalle confirment que « *les drones se trouvent au cœur des stratégies hybrides, définies par l'Actualisation stratégique 2021* »<sup>30</sup>.

---

26. J.-J. Patry, « La 'salve manœuvrante' : une avancée décisive dans les combats des 20 prochaines années en attendant l'ère des essais autonomes », *Defense&Industries*, n°15, Avril 2021.

27. W. Lacher, « Drones, deniability, and disinformation: warfare in libya and the new international disorder », *War on the Rocks*, 03/03/2020.

28. J.-V. Brisset, « Le drone s'impose comme la version pas chère du missile », *iris-france.org*, 17/09/2019.

29. A. Thomas, *op. cit.*, p. 4.

30. S. Baudu et J. Lassalle, « La guerre des drones », *Rapport d'information de la commission de la défense nationale et des forces armées, op. cit.*, p. 15.

*L'arme du pauvre pour défier le riche*

En janvier 2022, trois attaques combinées de drones et de missiles houthis ont contraint les Émirats arabes unis à mettre en alerte leur défense anti-missile *THAAD*<sup>31</sup> et leurs avions de combat. Batteries et avions devaient neutraliser ces drones développés à bas coûts. Or, le missile d'une batterie *Patriot* est estimé à plus d'un million de dollars quand le prix du drone employé pour l'attaque ne dépasse pas les quelques centaines de dollars<sup>32</sup>. Les drones peuvent ainsi réduire en partie le rapport de force entre les belligérants, en immobilisant du matériel et en imposant des coûts élevés aux forces dotées des équipements les plus avancés, qui doivent se prémunir des coups portés par des organisations non-étatiques.

De façon complémentaire, en Irak, après que l'État islamique ait recouru à des drones commerciaux – quadricoptère *Phantom-III* et aile volante *Skywalker X-8* – armés de grenades<sup>33</sup>, les États-Unis reconnaissent une forme d'incapacité à repousser ce type de menace. Le général McKenzie, commandant le *Central Command*, déclarait ainsi, suite à un rapport interne du Pentagone qui évaluait la capacité de détection et d'interception de ce type de drone à moins de 40 %, « [qu']utiliser des armes très chères sur un drone bon marché n'est ni rentable, ni efficace. Et si vous n'êtes pas capable d'abattre un engin qui survole une base, vous n'avez pas de supériorité aérienne »<sup>34</sup>.

*Des leçons à tirer de ces nouveaux usages*

Ces exemples soulignent l'émergence de nouveaux modes d'action qui montrent le potentiel offensif des drones. Certes, il faut éviter le piège de la fascination envers la nouveauté. Les limites des drones sont encore mal définies et elles dépendront sans aucun doute du contexte opérationnel dans lequel ils sont employés. Mais il serait regrettable de ne pas s'inspirer de ce que font nos adversaires potentiels pour améliorer nos modes d'action. D'autant que les conséquences sont sensibles du point de vue de l'art de la guerre, « art tout d'exécution ».

## **L'impact du drone aérien dans la stratégie militaire**

*La saturation, comme « manœuvre par la lassitude »*<sup>35</sup>

Une des premières conséquences dans l'art de la guerre du développement des drones est le retour du principe de saturation. L'emploi d'un nombre significatif de drones sur un champ de bataille met en évidence les limites des stratégies re-

31. G. Powis, « [Les Émirats arabes unis interceptent missiles et drones houthis](#) », *Air & Cosmos*, 25/01/2022.

32. S. G. Jones, J. Thompson, D. Ngo, B. McSorley, J. S. Bermudez Jr, « The Iranian and Houthi War against Saudi Arabia », *Center for Strategic International Studies*, 12/2021, p. 11.

33. P. Grasser, « Conquérir et sanctuariser le ciel syrien », *Vortex* n°2, 12/2021.

34. P. Samama, « L'armée américaine reconnaît sa difficulté à lutter contre les drones «Costco» », *BFM Éco*, 09/01/2022.

35. A. Beaufre, *op. cit.*, p. 155.

posant sur l'excellence technologique, avec des équipements comptés en nombre et coûteux. C'est la « *manœuvre par la lassitude* » décrite par le général Beaufre. Ainsi, pour S. Baudu et J. Lassalle, « *l'emploi de drones permet [...] de faire peser une menace disproportionnée par rapport aux moyens investis, nécessitant, pour celui qui doit s'en défendre, de fortes ressources pour la contrer* »<sup>36</sup>. Si l'*Iron Dome* israélien est efficace contre les attaques du Hezbollah (90% d'interception pour un prix unitaire d'environ 50 000\$<sup>37</sup>, face à des drones coûtant parfois quelques centaines de dollars), la facture augmente régulièrement quand les batteries doivent faire face à environ 400 tirs palestiniens par jour, roquettes et drones confondus. Et S. Baudu et J. Lassalle d'ajouter : « *Face à des nuées de drones à un millier d'euros, est-il intelligent d'utiliser des missiles qui coûtent entre un à deux millions d'euros pièce ?* »<sup>38</sup>. Les termes du débat « *qualité versus quantité* » appliqués au matériel pourraient donc évoluer à l'avenir avec le développement des drones.

#### *Retour de la manœuvre*

Un des aspects fondamentaux de la stratégie est de chercher à accroître sa liberté d'action grâce au « *facteur manœuvre qui marie la mécanique rationnelle et les combinaisons* »<sup>39</sup>. Ainsi le couple reconnaissance-frappe augure un retour de cette manœuvre au cœur de la puissance aérienne, avec le triptyque feux/manœuvre physique/opérations d'information<sup>40</sup>.

Les drones sont des engins particulièrement adaptés pour développer et valoriser ces combinaisons, comme le prouve l'emploi des *TB2* en Syrie, puis au Haut-Karabagh. Ainsi, en 2020, l'opération turque *Spring Shield* combinait une centaine de drones *Anka* et *Bayraktar TB2* avec le brouillage des systèmes syriens de défense sol-air. Le bilan fut sans appel. Au prix d'une demi-douzaine de drones abattus, plus d'une centaine de véhicules et plateformes lourdes auraient été détruits. *Bis repetita* au Haut-Karabagh, où l'ajout et l'intégration de munitions maraudeuses au dispositif évoqué précédemment donna aux forces azerbaïdjanaises l'opportunité de maîtriser un ensemble cohérent constitué par des drones, des munitions téléopérées et de la guerre électronique en appui de la manœuvre aéroterrestre<sup>41</sup>.

36. S. Baudu et J. Lassalle, *op. cit.*, p. 19.

37. T. Fournol, « Défense antimissile : débats et actualités », *Fondation pour la Recherche Stratégique, observatoire de la défense anti missiles*, n°12, septembre-octobre 2021, p. 51-52.

38. P. Mirallès et J-L. Thiériot, « La préparation à la haute intensité », *Rapport d'information parlementaire par la commission de la défense nationale et des forces armées*, n°5054, février 2022, p. 92.

39. A. Beaufre, *op. cit.*, p. 185. La mécanique rationnelle s'apparente ici aux choix logiques faits en fonction des forces disponibles, soit le choix des moyens. Les combinaisons comprennent l'acquisition de l'initiative et de la surprise, lorsque la mécanique rationnelle ne suffit plus, du fait de l'infériorité des moyens ou pour d'autres raisons.

40. G. Bouthérou et C. Grand, *Envol vers 2025, réflexions prospectives sur la puissance aérospatiale*, Paris, La documentation française, 2011, pp. 35-47.

41. J.-J. Patry, *op. cit.*

Par ailleurs, « *recourir à la guerre de manœuvre suppose un renseignement et une compréhension supérieure de celle de l'adversaire* »<sup>42</sup>. William Lind identifie trois principes de la manœuvre qui découlent de ces deux conditions préalables. Il s'agit de l'importance de la décentralisation des initiatives, de la nécessité d'accepter, de générer et d'utiliser la confusion et le désordre, et d'être imprévisible en agissant sans suivre nécessairement les préceptes doctrinaux habituels. L'exemple du bataillon ukrainien des drones *Aerorozvidka*<sup>43</sup> illustre justement cet intérêt de combiner le recueil de renseignement (création d'un système de renseignement au sein de l'unité) et la décentralisation des initiatives tactiques (téléopérateurs sur quad, équipés de lunette de vision nocturne et de drones octocoptères modifiés et armés) pour créer le désordre et la surprise en jouant sur une très grande mobilité.

L'élargissement de l'emploi des drones de la phase de compétition jusqu'à la guerre ouverte, dans un mode défensif ou offensif, a pour autre conséquence de réduire proportionnellement la marge de manœuvre du compétiteur adverse, même s'il détient la suprématie aérienne. Le cas des Houthis est encore emblématique. Leur inventivité dans la fabrication des drones, leur capacité à générer la confusion par des attaques venant de différentes directions, combinant des moyens variés et parfois difficilement attribuables, a posé des problèmes redoutables aux militaires saoudiens. Ainsi, « *les attaques contre l'infrastructure saoudienne, en particulier avec des drones, représentent un moyen efficace d'imposer au gouvernement saoudien des coûts très importants au niveau de leur réputation ou de leur économie et ce à un coût relativement faible* »<sup>44</sup>. Une part conséquente des ressources sont retenues qui ne peuvent être mobilisées dans des opérations offensives, entraînant une tension entre la stratégie traditionnelle de moyens et les options opératives et tactiques limitées à la défensive.

Dans cette dialectique du bouclier et de l'épée, il n'est donc pas certain que la seule stratégie de moyens s'impose toujours, car l'adversaire n'a pas nécessairement comme but de guerre la recherche de la défaite complète de son opposant. Il tentera plutôt d'obtenir des gains rapides au travers de modes opératoires limités. L'objectif est alors d'user l'adversaire, en lui imposant notre tempo grâce à l'initiative, pour entraîner à terme une paralysie politique relative. En diversifiant l'emploi des drones, en recourant à la guerre à distance à un coût maîtrisé, les compétiteurs actuels provoquent ainsi des ruptures dont les nations occidentales, tournées vers une stratégie directe de moyens basée sur la supériorité matérielle, pourraient s'inspirer.

---

42. C. Brustlein, E. de Durand, E. Tenenbaum, *op. cit.*, p. 204.

43. J. R. Miquel, « [Ukraine : comment une unité d'élite de pilotes de drones met en échec l'armée russe à Kiev](#) », *l'express.fr*, 28/03/2022.

44. S. G. Jones, J. Thompson, D. Ngo, B. McSorley, J. S. Bermudez Jr, *op. cit.*, p.11.

### *Une préfiguration de l'intégration M2MC*

Les drones peuvent enfin être des vecteurs privilégiés pour accélérer l'intégration multi-milieux, multi-champs (M2MC) dans les forces armées. Leur usage combiné aux armes terrestres (ciblage au profit de l'artillerie ou en dynamique), avec les brouilleurs (brouillage offensif et recueil de renseignement de drones, ou déni d'accès par brouillage des liaisons, en Syrie notamment<sup>45</sup>), comme système antinavire (le 29 juillet 2021, une frappe multiple de drones a touché un pétrolier au Nord-Est du port de Duqm, à l'extérieur des eaux territoriales d'Oman)<sup>46</sup> ou soutenus par l'intelligence artificielle (*Tsahal* a employé pour la première fois des drones en essaim utilisant de l'intelligence artificielle contre le *Hamas*)<sup>47</sup> sont autant d'exemples qui préfigurent l'intégration des effets et les opérations M2MC de demain.

Un drone armé donne l'assurance « *d'une jonction entre le monde du renseignement et celui des opérations cinétiques* »<sup>48</sup>. Si les drones combinent déjà une boucle capteur-effecteur efficace, accélérant le complexe reconnaissance-frappe, leur usage offre à terme la possibilité de mettre en place un véritable laboratoire du combat collaboratif et de la connectivité, au travers des liaisons *LOS (Line of Sight)*, *BLOS (Beyond the Line of Sight)*, satellitaires et tactiques, qui retransmettent en temps réel de la vidéo ou du renseignement vers des C2.

La place substantielle des drones dans les fonctions traditionnelles de l'arme aérienne (ISR, coordination, appui-feu, frappes) doit donc nourrir les réflexions sur l'intégration interarmées, « *qui dépendra de la puissance aérienne* »<sup>49</sup>. Elle incite à les penser comme des précurseurs des opérations M2MC futures.

### **L'avenir des drones ou l'indispensable évolution des mentalités**

À l'heure de « *la nouvelle ère d'imagination techno-capacitaire* »<sup>50</sup>, les drones offrent donc des perspectives très prometteuses, à condition d'accepter certaines règles du jeu.

#### *Combiner stratégie des moyens et manœuvre intégrale*

Les modes d'action observés lors des derniers conflits reposent la question classique de la mise en œuvre de moyens spécialisés pour assurer les missions d'appui à la manœuvre d'une part et de frappes stratégiques d'autre part.

---

45. P. Grasser, *op. cit.*, p. 167.

46. S. G. Jones, J. Thompson, D. Ngo, B. McSorley, J. S. Bermudez Jr, *op. cit.*, p. 6.

47. « [Israël a utilisé le premier essaim de drones guidés par IA au monde lors des attaques contre Gaza](#) », 02/07/2021.

48. R. Desjars, « La guerre à distance, 20 ans d'engagement des équipages de drones MALE », *Revue Historique des Armées*, n°301, année 2020.

49. G. Bouterin et C. Grand, *Envol vers 2025, réflexions prospectives sur la puissance aérospatiale*, Paris, La documentation française, 2011, pp. 229-238.

50. J. Henrotin, « Aviation de combat 2021 », *DSI*, Hors-série, n°78, juin-juillet 2021.

Cette question se pose par exemple pour les Israéliens<sup>51</sup>. Dès 2013, ils envisageaient que leurs forces aériennes soient divisées en une composante pilotée pour les missions de frappe à longue distance et une composante pilotée à distance de volume équivalent à l'horizon 2030. À l'époque, l'analyse était toutefois complétée par une distinction entre environnement permissif et non permissif.

L'exemple israélien prouve que les drones permettent d'envisager de nouvelles options, en poussant « *le choix de la complémentarité chasseur-drone MALE armé, qui paraît être le meilleur compromis opérationnel à l'heure actuelle* »<sup>52</sup>. Dans ce cadre, il est indispensable de jouer sur la saturation de l'adversaire en produisant des équipements « consommables » et « jetables » tout en les intégrant, dans une logique M2MC, « *à un dispositif robuste et multicouche comprenant des systèmes de guerre électronique, des radars et des capacités de renseignement* »<sup>53</sup>. La défense sol-air pourrait même les appuyer en empêchant de potentiels aéronefs de s'approcher des drones pour les détruire.

#### *Le faux problème de la connectivité*

On pourra argumenter que, dans un conflit de haute intensité, la vulnérabilité des drones, du fait de leur dépendance au spectre électromagnétique (brouillage massif, faiblesse des liaisons), est accrue. Leurs performances pourraient en souffrir. La dépendance de plus en plus forte aux données (usage immodéré des flux ISR, donnant naissance à l'expression « *Predator Crack* » en référence à la drogue du même nom) peut parfois entraîner l'arrêt temporaire d'une mission du fait d'un besoin excessif de flux vidéo.

Mais cette dépendance concerne également les systèmes de combat collaboratif. La connectivité, l'approche réseaux-centrés présentent les mêmes fragilités dans le domaine des liaisons : « *Il semble judicieux de se livrer à une évaluation de la faisabilité et de la pertinence des concepts opérationnels contemporains dans un environnement électromagnétique non permissif ou dégradé, caractérisé par une couverture lacunaire ou intermittente* »<sup>54</sup>.

Des innovations verront sans aucun doute le jour pour faire face à ces limites et fragilités. La société *La Poste* est ainsi en mesure de livrer des colis en *Beyond Visual Line of Sight (BVLOS)* en exploitant la connexion au réseau mobile. Israël vient d'autoriser des drones commerciaux à voler sans *GPS*<sup>55</sup>. Si les drones tactiques ou de théâtre ne sont pas concernés par ces avancées, elles indiquent toutefois qu'il ne faut pas figer les concepts d'emploi des drones

---

51. P. Gros, « Les drones armés israéliens : capacités, bilan de leur emploi et perspectives », *Fondation pour la Recherche Stratégique, recherches&documents*, n°9/2013, décembre 2013.

52. R. Briant, J.-B. Florant et M. Pesqueur, *op. cit.*, p. 34.

53. A. Thomas, *op. cit.*, p. 12.

54. C. Brustlein, E. de Durand, E. Tenenbaum, *op. cit.*, p. 184.

55. Agence de l'innovation de défense, « Synthèse de l'étude sur le marché des drones civils », 05/07/2021.

avec le niveau technologique d'aujourd'hui. « *Le conflit du Haut-Karabagh est symptomatique d'une étape intermédiaire entre la 'dronisation des forces', qui s'est imposée depuis 30 ans et le 'combat collaboratif en essaim', qui pourrait devenir une réalité dans 30 ans* »<sup>56</sup>. Des adaptations conceptuelles ou capacitaires (rusticité et caractère jetable ou renforcement de la protection) sont parfaitement envisageables.

### *Stratégie capacitaire*

D'une manière générale, les drones, grâce à leur gamme d'emploi très variée, offrent des moyens complémentaires avec ceux du haut du spectre. Notre stratégie capacitaire pourrait donc évoluer en enrichissant notre gamme de drone, composée aujourd'hui du seul *Reaper*, sorte de « Rolls-Royce » des MALE.

Comme dans le cas des Turcs ou des Israéliens, le développement de nouvelles classes de drones nécessiterait probablement de faire évoluer la structuration de notre système de force. Les effets bénéfiques seraient importants dans le domaine économique ou diplomatique. L'exemple turc est parlant : « *L'industrie militaire est devenue, pour Erdoğan, la pièce maîtresse d'un projet de domination économique, sociale et culturelle qui va de l'Asie centrale jusqu'en Afrique, en passant par l'Europe du Nord et de l'Est* »<sup>57</sup>. On parle même de « *Bayraktar Diplomacy* »<sup>58</sup> !

Mais les principales conséquences de cette nouvelle stratégie seraient évidemment militaires et industrielles. Il faudrait alors « *investir dans un 'high-low mix', c'est-à-dire panacher des capacités de haute technologie avec des solutions plus rustiques et moins coûteuses* »<sup>59</sup>. Entre des modèles onéreux comme le MQ-9 *Reaper* qui coûte 12 millions de dollars et le TB2, surnommé « l'AK47 des airs », à 5 millions de dollars<sup>60</sup> ou encore le drone chinois *Wing Loongs* à 1M\$, de nombreuses pistes peuvent être explorées pour développer un modèle capacitaire favorisant la combinaison des moyens et la manœuvre. La meilleure option reviendrait à produire des drones consommables, satisfaisant à la fois la notion de masse mais aussi l'alimentation de véritables séries industrielles.

Ces drones consommables pourraient alimenter le retour d'expérience pour les développements des projets futurs, peut-être même le SCAF et les *Loyal Wingmen*. Ainsi, « *à plus long terme, on rejoint les préoccupations autour du SCAF, qui doit être à la fois la définition d'un système mais également de nouvelles pratiques. Il faudra réfléchir à ce que sera demain un avion de chasse, ce*

---

56. O. Cigolotti et M.-A. Carlotti, *op. cit.*, p. 60.

57. C. Mann, « Ukraine, Haut-Karabakh, Balkans, Asie centrale... La guerre des drones d'Erdoğan », *Revue des deux mondes*, 17/02/2022.

58. S. Mitzer, « [The Fight For Nagorno-Karabakh: Documenting Losses On The Sides Of Armenia And Azerbaijan](#) », *Oryx*, 27/09/2020.

59. P. Mirallès et J.-L. Thiériot, *op. cit.*, p. 137.

60. C. Deluzarche, « [Comment les drones low cost pourraient redessiner la guerre du futur](#) », *Wall Street Journal*, 21/06/2021.

*que sera demain l'utilisation de drones dans leur diversité – drones accompagnants, drones jetables, drones projetables, drones « guerriers ». Nous devons définir cela dans le cadre de l'utilisation du SCAF, qui n'est pas pour demain, mais également dans le cadre de « l'avant SCAF », ce qui nous permettrait de voir comment les drones et leurs différentes déclinaisons pourraient être utilisés, à l'instar des munitions télé-opérées »<sup>61</sup>. Il conviendra cependant de ne pas calquer les processus industriels et technologiques utilisés pour les grands programmes d'équipement. Les capacités indispensables pour la pénétration dans la profondeur n'auront par exemple pas besoin d'être mobilisées. En somme, « l'avance technique constitue un facteur essentiel de puissance. [...] Mais cette avance peut s'avérer inutile si elle s'emploie au profit d'une mauvaise stratégie. [...] Or le choix des tactiques, c'est la stratégie »<sup>62</sup>.*

### **Conclusion**

Des options existent aujourd'hui pour adapter notre système de force, allant du *Reaper* aujourd'hui à l'EuroMALE en fin de décennie et au *Loyal Wingman* dans les années 2040-2050. Elles permettraient d'élaborer un *High/Low mix* capacitaire apte à résoudre l'extension des domaines de la conflictualité. Les missions d'appui-feu et d'interdiction seraient accomplies grâce à une combinaison d'effecteurs rustiques saturant l'adversaire, principalement des drones, protégés par une défense sol-air multicouches. Sans déclencher de nouvelles querelles entre les membres des deux écoles de la puissance aérienne, celle de « *l'Air Intégral et celle de la coopération* »<sup>63</sup>, cette division du travail optimiserait au contraire l'emploi des vecteurs, offrant au *Rafale* puis au SCAF l'opportunité d'être pleinement employés pour agir dans la profondeur stratégique après avoir conquis la supériorité aérienne.

En somme, comme l'affirmait l'ancien chef d'état-major de l'armée de l'Air, le général Mercier, « *les missions tactiques d'appui, de reconnaissance, [...] d'attaque au sol, moins stratégiques selon le niveau de maîtrise des espaces, pourront s'accommoder de plateformes rustiques* »<sup>64</sup>.

---

61. S. Baudu et J. Lassalle, *op. cit.*, p. 112.

62. A. Beaufre, *op. cit.*, p. 69-70.

63. J. de Lespinois, « La stratégie aérienne cartographiée », *DSI, Hors-série*, n°78, juin-juillet 2021. L'auteur souligne les tendances natives de la puissance aérienne, entre les partisans de l'Air Intégral, disciples de Douhet, où le bombardement stratégique, à lui seul, obtient la victoire ; et les partisans de la coopération, où la puissance aérienne coopère et travaille en appui des forces terrestres et maritimes.

64. G. Bouterin et C. Grand, *op. cit.*, p. 234.

# L'intelligence artificielle a-t-elle triomphé des groupes armés ?

## Retour d'expérience de l'emploi de technologies avancées par les Forces de défense israéliennes dans l'opération *Gardien des murs*

Dr Liran Antebi

*La Dr Liran Antebi est la directrice du programme Advanced Technologies and National Security à l'Institute for National Security Studies (INSS), professeur à l'Israeli Air Force Academia, et commandant de réserve dans les forces aériennes israéliennes<sup>1</sup>.*

L'opération Gardien des murs (GM), qui s'est déroulée au mois de mai 2021, est la dernière manche en date du conflit armé dans la bande de Gaza entre les Forces de défense israéliennes (FDI) et l'organisation terroriste du Hamas<sup>2</sup>. L'opération a été caractérisée par les tirs nourris du Hamas sur le territoire et les civils israéliens. Néanmoins, le système de défense aérienne des FDI a pu protéger Israël pendant l'opération, interceptant 90 % des roquettes lancées contre les zones habitées. Les FDI ont aussi réussi à déjouer d'autres tentatives d'attaques du Hamas, que ce soit depuis le sol et la mer ou depuis des drones contenant des explosifs.

Pendant l'opération, Israël a agi pour infliger des dommages considérables au Hamas et restaurer la paix. Les FDI ont attaqué plus de 1 500 objectifs dans la bande de Gaza et sont parvenues à des résultats exceptionnels en frappant des objectifs complexes, incluant les tunnels offensifs du Hamas, tout en maintenant

---

1. L'auteur voudrait remercier Mme Yuval Knafo, étudiante au *Diplomacy and Security Studies M.A. Program* à l'université de Tel-Aviv et stagiaire à l'INSS, pour son aide essentielle à la rédaction de cet article.

2. Les autres organisations qui prirent part à l'opération sont le Djihad islamique palestinien, le Front populaire pour la libération de la Palestine et d'autres organisations terroristes en Cisjordanie, Gaza et le Liban. Cet article a été écrit au début de l'année 2022.

les dommages collatéraux envers les civils de Gaza à un taux bas. Cette opération – qui combina principalement l'usage de technologies avancées dans les domaines des systèmes de défense aérienne, des munitions *standoff* et de bien d'autres systèmes de renseignement – a été qualifiée de « première guerre de l'intelligence artificielle ». À la lumière du nombre et de l'intensité de l'utilisation des nouvelles technologies, la question se pose d'évaluer leur impact dans le succès des FDI.

Cet article décrira donc l'opération selon une perspective technologique. Il débutera avec une description générale du déroulement de l'opération GM et de ses résultats, en la comparant aux précédentes opérations des FDI dans la bande de Gaza. L'emploi des technologies avancées, à la fois par les différentes organisations armées islamistes palestiniennes et par les FDI, fera l'objet d'une analyse particulière. L'intelligence artificielle (IA), les systèmes de défense aériennes, les drones et plusieurs technologies numériques au service des troupes terrestres seront notamment évoqués. Enfin, les principaux succès ou échecs de l'opération seront examinés pour analyser l'impact des technologies de pointe sur les résultats obtenus.

### **Contexte général de l'opération**

L'opération GM a duré 12 jours (du 10 mai au 21 mai 2021) et fut extrêmement intense, si l'on considère le nombre de tirs de roquettes vers Israël et la réponse des FDI<sup>3</sup>. À l'inverse des opérations précédentes, celle-ci débuta sans qu'aucun processus d'escalade sécuritaire soit amorcé dans Gaza. L'opération fut initiée et planifiée par le Hamas. Des tensions croissantes entre les populations arabes et juives de Jérusalem advinrent dans les semaines précédant l'opération<sup>4</sup>. À la suite de ces affrontements, le Hamas déclara que la « *journée de Jérusalem* »<sup>5</sup> serait un jalon important dans l'histoire de la confrontation entre ce mouvement et Israël. Conformément à son annonce, le Hamas lança sa première attaque par roquettes sur Israël le soir du 10 mai 2021<sup>6</sup>.

Pendant toute la durée de l'opération, le Hamas lança plus de 4 360 roquettes et obus de mortier sur Israël. Le volume de frappes le plus important fut atteint le deuxième jour de l'opération, avec 480 roquettes envoyées vers le territoire israélien. La portée des missiles était améliorée et permettait d'atteindre Jérusalem<sup>7</sup>. Le système de défense aérienne *Iron Dome* intercepta avec succès 90% des tirs vers les zones habitées. Malgré ce succès relatif, onze personnes furent tuées par les tirs de roquettes sur Israël et des centaines d'habitants furent blessés, tan-

3. U. Rubin, « [Israel's Air Defense in Test During Operation Guardian of the Walls](#) », *The Jerusalem Institute for Strategy and Security*, 08/072021.

4. M. Milstein, « [The Guardian of the Walls: A Strategic Balance, A Look to the Future and Policy Recommendations](#) », *Reichman University Institute for Policy and Strategy*, 27/05/2021.

5. Cette journée est un jour de congés pour commémorer l'instauration du contrôle de la Vieille ville de Jérusalem par Israël à la suite de la guerre des six jours en juin 1967 (NdT).

6. M. Milstein, *art. cit.*

7. U. Rubin, *art. cit.*

dis qu'un soldat des FDI fut tué par un tir anti-char. De nombreuses habitations furent détruites dans plusieurs villes.

Outre les tirs nourris de roquettes, les Palestiniens lancèrent aussi des missiles anti-char. Par ailleurs, au moins une tentative fut faite de s'introduire sur le territoire israélien par des tunnels souterrains. Nombre de drones suicides et explosifs furent aussi lancés sur Israël, dont un drone sous-marin. D'autres attaques furent initiées depuis la mer, le sol ou sous la terre. Elles furent toutes mises en échec par les FDI. En outre, plusieurs roquettes furent tirées depuis le Liban et la Syrie vers Israël, dont une fut interceptée par l'*Iron Dome*. Un drone iranien venant de Syrie fut enfin intercepté à la frontière avec la Jordanie par les Forces aériennes israéliennes (FAI).

Afin de restaurer la paix, Israël intervint pour neutraliser le Hamas et ses capacités. À cet effet, les FDI frappèrent plus de 1 500 objectifs dans la bande de Gaza<sup>8</sup>. Tout en déjouant les attaques terrestres, aériennes et maritimes, les FDI détruisirent plus de 100 km de tunnels que le Hamas utilisait comme caches, bases d'attaque et centre de commandement et de contrôle. Plus de 200 personnes furent tuées à Gaza durant l'opération, parmi lesquels des douzaines d'activistes dont cinq étaient des hauts responsables du Hamas. Malheureusement, des civils furent aussi tués. Alors que les attaques des FDI endommagèrent sévèrement les capacités tactiques et stratégiques du Hamas, l'usage sans précédent par les Israéliens de technologies de pointe contribua grandement à leur succès opérationnel – notamment pour les FAI qui travaillèrent en coopération étroite avec la Direction du renseignement militaire des FDI (*Aman*).<sup>9</sup>

### Comparaison avec les précédentes opérations contre le Hamas

Bien que cette opération ressemble à celles qui l'ont précédé à Gaza, un changement significatif fut enregistré dans la manière dont le Hamas tira les roquettes contre Israël, mettant à l'épreuve de manière très exigeante le système de défense anti-aérienne d'Israël. Les groupes armés islamistes palestiniens – surtout le Hamas – parvinrent à faire évoluer leurs modes d'action pour rompre les défenses anti-aériennes. Ils s'appuyèrent sur trois facteurs principaux :

- Un taux de tir élevé, soutenu par un système de production de roquettes adapté, pouvant prolonger la durée des combats.
- Des roquettes plus puissantes.
- Des roquettes lancées de plus longue portée.<sup>10</sup>

---

8. The Meir Amit Intelligence and Terrorism Information Center, « [Escalation from the Gaza Strip – Operation Guardian of the Walls – Summary](#) », *The Israeli Palestinian Conflict*, 086-21 (23/05/2021).

9. A. Kalo, « [AI-Enhanced Military Intelligence Warfare Precedent: Lessons from IDF's Operation 'Guardian of the Walls](#) », *Frost & Sullivan*, 09/06/2021.

10. U. Rubin, *art. cit.*

## L'intelligence artificielle a-t-elle triomphé de groupes armés ?...

Ces modes d'action démontrent la nette accélération de la courbe d'apprentissage du Hamas.

Sur l'ensemble des roquettes tirées, 1 660 d'entre elles présentant une trajectoire menaçant de frapper des zones habitées et furent interceptées. 176 parvinrent à pénétrer la défense de l'*Iron Dome* et atteindre un objectif. Les organisations armées tirèrent une moyenne de 400 roquettes par jour, alors qu'on n'en comptait que 140 pendant les journées les plus éprouvantes de l'opération *Protective Edge* en 2014. Les barrages intenses de 100 à 150 roquettes lancées en quelques minutes vers la même zone ont posé un des défis majeurs. En prenant en compte l'ensemble de ces menaces, le maintien d'un taux d'interception réussi à 90% doit être considéré comme un résultat impressionnant<sup>11</sup>.

On trouvera dessous un résumé de l'opération GM comparée aux autres opérations dans Gaza<sup>12</sup> :

Opération	Durée	Roquettes et obus de mortiers tirés	Taux de tir moyen par jour	Tentative de lancement drone	Taux d'interception réussi par l' <i>Iron Dome</i>	Manœuvre terrestre des FDI dans Gaza	Civils tués en Israël	Soldats israéliens tués	Nombre de tués à Gaza (combattants et civils)
Cast Lead 2008-2009	22 jours	640	29		<i>Iron Dome</i> n'était pas opérationnel	Oui	3	10	1 166 (dont au moins 709 activistes)
Pillar of Defense 2012	8 jours	1 667	151		84%	Non	4	2	163 (dont au moins 80 activistes)
Protective Edge 2014	50 jours	4 300	81	1-3 drones Ababil (L'IAF en intercepta 1)	90%	Oui	6	68	1 768 ( 750 à 1 000 estimés être activistes)
Gardien des murs 2021	12 jours	4 360	400	Apparemment, 7 drones armés et plusieurs drones	90% *Obus de mortier depuis 2016	Non	11	1	256 (dont au moins 67 activistes)

11. A. Levin and Y. Bustan, « [The stick and the laser: the IDF's impressive technological capabilities will not suffice in the next round](#) », Forbes Israel, 21/06/2021.

12. Les données sont collectées à partir d'un certain nombre de sources, pour lesquelles il y a parfois des écarts du fait de la méthodologie de comptage ou des personnes en charge de la publication de ces données. Ces écarts ne sont cependant pas si importants de sorte que les valeurs préférées à d'autres ont été choisies pour donner au lecteur une impression générale de changement au cours des années. Voici les sources : U. Rubin, *art. cit.* ; The Meir Amit Intelligence and Terrorism Information Center, « [Examination of the number of Palestinians killed during Operation Cast Lead indicates that most were armed terror operatives and members of Hamas's security forces involved in fighting against the IDF](#) », *Terrorism Information – General Information*, (07/04/2009), « [An analysis of the names of Gazans killed during Operation Guardian of the Walls indicates that about half of them were terror operatives](#) », *The Israeli Palestinian Conflict*, 193-21 (22/06/2021); Y. Ziton, « [Protective Edge' in numbers](#) », *Ynet*, 08/08/2014.

## Le rôle des technologies innovantes dans l'opération

Israël est réputé pour être un *leader* mondial dans de nombreux domaines : systèmes défensifs, renseignement technologique, force aérienne, cybercapacités défensives ou offensives et IA militaire. Durant cette opération, les FDI se sont distinguées par une utilisation importante des technologies d'IA dans le cadre du renseignement militaire, d'attaques précises et rapides sur des objectifs et par leurs usages novateurs au sein de l'armée de l'Air. L'opération a aussi souligné le rôle essentiel des technologies de défense anti-aérienne, notamment des améliorations de l'*Iron Dome*, qui était en mesure d'intercepter des drones.

Les aspects technologiques de l'opération ont été largement couverts dans les médias internationaux. L'opération a parfois été surnommée « la première guerre de l'IA ». De fait, l'opération s'appuya sur la large utilisation des systèmes d'IA et des analyses de *Big Data*. Ceux-ci fournirent le support nécessaire dans de nombreux domaines pour améliorer et accélérer le processus opérationnel complet, depuis le partage de données élémentaires, la recherche et l'analyse jusqu'à la planification stratégique, l'identification d'objectifs potentiels et la conduite de frappes<sup>13</sup>. L'IA a aussi été employée pour déployer des essaims de drones et dans des systèmes plus traditionnels, tel que l'*Iron Dome*, qui a tenu un rôle central pour l'issue finale de l'opération.

Cependant, l'adoption de nouvelles technologies n'a pas été le seul apanage des FDI. L'ennemi a aussi prouvé sa capacité à employer ces technologies innovantes, qu'elles soient produites localement, en Iran, ou soient disponibles sur étagère et ou de fabrication artisanale.

## La menace aérienne sur Israël

La plupart des attaques du Hamas se concrétisaient par des nuées de roquettes et d'obus de mortiers dans le but de maintenir un taux élevé de tir sur plusieurs jours. Cependant, le Hamas a aussi eu recours à d'autres technologies, notamment des drones à ailes fixes, équipés d'explosifs, conçus pour s'écraser et exploser sur le territoire israélien. Au moins quatre de ces drones furent interceptés par le système de défense des FAI, dont l'un par un missile air-air *Python*, qui équipait originellement les F-16 pour remplir les missions d'interception. L'*Iron Dome* participa aussi pour la première fois à ces interceptions. Plusieurs autres drones ont été détruits par des moyens classifiés. Des tentatives de lancement de *Shahad*, des drones à ailes fixes iraniens équipés d'explosifs, furent neutralisées par une attaque préemptive contre leurs opérateurs<sup>14</sup>. Enfin, des drones hélicoptères emportant des explosifs furent neutralisés après l'action des FDI<sup>15</sup>.

---

13. A. Kalo, *art. cit.*

14. L. Antebi, « [The 'Other Side's' Unmanned Systems: After Operation Guardian of the Walls](#) », *INSS Insight No. 1477* (June 2021).

15. *Ibid.*

Le Hamas a également tenté de mener une attaque navale en employant un drone sous-marin le huitième jour de l'opération (18 mai). Les FDI sont parvenues à neutraliser à la fois la plateforme et ses opérateurs<sup>16</sup>.

Le neuvième jour de l'opération, un drone est entré dans l'espace aérien israélien et a été abattu au Sud du lac de Tibériade. Cette intrusion rappelait sensiblement un événement similaire datant de février 2018. Après l'opération, il fut révélé que ce drone faisait partie d'un programme iranien et représentait donc une menace aérienne significative contre Israël<sup>17</sup>. De manière plus générale, ce conflit reflète l'augmentation de la menace posée par les engins pilotés à distance détenus par l'adversaire de même que la capacité des organisations armées palestiniennes à employer ces technologies de pilotage à distance qui étaient seulement l'apanage des pays les plus avancés technologiquement il y a encore quelques années.

Par ailleurs, le Hamas avait une unité cyber qui devait infliger des dommages à Israël dans le cyberspace. La collecte préliminaire de renseignement a néanmoins permis aux FAI d'attaquer ses positions, ses salles de commandement, ses serveurs, ses ordinateurs et son encadrement au début de l'opération pour la neutraliser<sup>18</sup>.

L'opération GM, comme les récents changements survenus au Moyen-Orient, ont démontré que les menaces envers Israël, surtout dans le domaine aérien, sont en train de changer. De nombreuses technologies deviennent plus accessibles à des organisations non-étatiques, leur permettant d'opérer d'une manière plus évoluée qu'auparavant. Les années précédentes, les modes d'actions des organisations armées se caractérisaient par l'emploi d'armes primitives (cerfs-volants et ballons), avec des difficultés pour les Israéliens à fournir une réponse technologique. L'année 2021 a particulièrement illustré l'impact significatif des technologies de pointe, dont certaines sont facilement accessibles, simples à opérer et disponibles à un prix abordable (parfois sur étagères).

En prenant en compte les changements dans le théâtre Nord (Hezbollah) et l'influence de l'Iran au Moyen-Orient, on peut affirmer que le Hamas ne représente pas la menace la plus significative face à laquelle Israël doit se préparer. Mais la courbe d'apprentissage de cette organisation est croissante et lui permet d'exploiter les faiblesses de la défense d'un acteur étatique – un phénomène général qui menace de nombreux autres pays.

---

16. *Ibid.*

17. Y. Kubovich, « [Gantz: Iran Tried to Smuggle Explosives from Syria to West Bank With Drones](#) », *Haaretz*, 23/11/2021.

18. A. Bohbot, « [Plan Executed: Air Force Hit Infrastructure and Senior Members of Hamas Cyber Unit](#) », *Walla*, 19/05/2021.

## Les technologies innovantes employées par les FDI dans l'opération GM

Comme leurs adversaires, les FDI ont fait un usage extensif de technologies innovantes dans l'opération GM. En voici les principaux aspects.

### *Les aspects technologiques des frappes aériennes*

À la différence des opérations précédentes, les FAI lancèrent une puissante attaque dès le début de l'opération en réponse aux tirs soutenus et sans précédent de roquettes, lancées tout particulièrement sur Tel-Aviv et Jérusalem. Dans les trois premiers jours de l'opération, les FAI tirèrent presque 1 000 munitions sur environ 750 objectifs. Trente-trois d'entre eux étaient des tunnels creusés pour mener une offensive et 160 autres étaient des engins lanceurs de roquettes, qui étaient dissimulés. Soixante activistes, dont plusieurs cadres du Hamas, furent ciblés depuis les airs entraînant indirectement la destruction de quatre tours. De manière remarquable, lors d'une de ces attaques, 170 bombes furent lancées en tout juste 18 minutes sans faire aucune victime civile<sup>19</sup>. Ce résultat est impressionnant alors que ces attaques furent menées dans une zone étroite et très peuplée<sup>20</sup>. Cette action démontre des compétences très avancées s'appuyant à la fois sur des capacités de renseignement, de commandement et de contrôle, mais aussi sur des armes de précision guidées et sur l'expertise pour les employer.

Bien que la plupart des attaques furent menées par des avions de chasse, le rôle des drones ne doit pas être négligé. Ils ont été essentiels pour collecter des informations pour les FDI, surtout dans le cadre d'un conflit asymétrique. Des renseignements en temps réel étaient obtenus, améliorant sensiblement la prise de décision pour l'exécution ou l'annulation d'une attaque aérienne mettant en danger des civils. Ce sont les missions de « coups sur les toits » (*Roof Knocking*) qui mettent en garde les non-combattants qu'un bâtiment ou un lieu va être attaqué, de sorte qu'ils puissent quitter la zone prématurément et que les civils ne soient pas touchés<sup>21</sup>.

Selon les données des FAI, 70 à 75 % de leurs heures de vol opérationnelles furent accomplies par des drones. Pendant l'opération, une vingtaine de drones étaient en permanence dans les airs. Les drones effectuèrent 643 sorties pour remplir des missions différentes, effectuant un total de 6 132 heures<sup>22</sup>. En considérant la courte durée de l'opération, ce total représente un nombre important d'heures de vol. En comparaison, pendant la deuxième guerre du Liban, environ 16 000 heures de vol furent accomplies par les drones tandis que

---

19. Y. Ziton, « [170 Bombs in 18 Minutes and UAVs Interception: Documentation of Air Force Strikes](#) », *Ynet*, 13/05/2021.

20. La superficie de la bande de Gaza est de 360 km<sup>2</sup>. Deux millions d'habitants y vivent. La seule ville de Gaza (76 km<sup>2</sup>) compte 25 % de la population totale. Voir : *Central Intelligence Agency*, « [Gaza Strip - The World Factbook](#) », *Central Intelligence Agency*, 20/01/2022.

21. R. Yishai, « [The First Artificial Intelligence War?: The New Intelligence Methods in 'The Guardian of the Walls](#) », *Ynet*, 27/05/2021.

22. T. Lev-Ram, « [First of its kind in the world': An 'UAV exercise' with the participation of 5 countries was held in Israel](#) », *Maariv*, 22/07/2021.

21 drones étaient employés en permanence, mais sur une zone bien plus large que celle de la bande de Gaza<sup>23</sup>.

Depuis cette deuxième guerre du Liban, la flotte de drones des FAI a largement évolué et inclut les *Heron*, IAI *Heron TP (Eitan)*, Elbit *Hermes 900* et Elbit *Hermes 450* du constructeur *Israel Aerospace Industries (IAI)*. Ces systèmes avancés coopèrent entre eux ou avec les autres systèmes aériens et terrestres. Les drones ont par exemple joué un rôle important pour localiser les équipes de lanceurs de roquettes, permettant leur neutralisation complète<sup>24</sup>. Grâce à l'utilisation des drones, les FAI ont pu rapidement poser un « cercle de feu »<sup>25</sup> sur ces équipes<sup>26</sup>. Les FAI ont affirmé qu'elles sont parvenues à réduire le temps nécessaire pour fermer ce cercle de feu de 30 à 40 %, temps qui inclut la durée nécessaire pour recevoir l'information de la part de sources et de senseurs divers, pour prendre les décisions légalles et enfin, pour traiter et distribuer l'information<sup>27</sup>.

### *Les technologies de l'intelligence artificielle*

Israël est considéré comme un *leader* mondial dans le développement et la mise en œuvre des applications militaires d'IA, ce qui a des effets immenses sur l'accélération de la fermeture des cercles de feu. Un haut responsable des FDI a déclaré que « *pour la première fois, l'IA était un composant-clé et un multiplicateur de force pour combattre l'ennemi* »<sup>28</sup>. L'opération GM fut considérée comme une première pour les FDI, du fait de la mise en œuvre de nouvelles méthodes opérationnelles fondées à partir des développements technologiques<sup>29</sup>. L'IA a aussi été utilisée dans les systèmes de défense aérienne (évoqués dans la suite de cet article) comme dans les essaims de drones, décrits dans le paragraphe sur les forces terrestres. L'IA a amélioré et accéléré l'étendue, la capacité et la létalité des processus en temps réel de ciblage. Les pilotes des FAI tiraient sur des objectifs terrestres en utilisant les éléments donnés par l'IA. Cette méthode a assuré une meilleure efficacité des tirs, notamment par des attaques précises suscitant des dommages collatéraux minimes. Par ailleurs, ces technologies – en particulier celles d'apprentissage machine – ont été employées pour chercher, localiser et détecter différents objectifs, depuis

---

23. L. Antebi, « Unmanned Aerial Vehicles in Asymmetric Warfare: Maintaining the Advantage of the State Actor ». in U. Dekel et al. (eds.), *The Quiet Decade: In the Aftermath of the Second Lebanon War, 2006-2016* (Institute for National Security Studies, 2017).

24. Capacité qui est opérationnelle depuis la deuxième guerre du Liban en 2006.

25. Aussi connu comme « *Sensor to Shooter* », soit la durée entre l'identification, la localisation et l'attaque.

26. S. Levi, « [They got a lot of assignments and each time they prove themselves more](#) », *MAKO*, 21/01/2021.

27. T. Eshel, « [Information Technology Drives Massive Growth in Israel's Combat Capability](#) », *Defense Update*, 21/05/2021.

28. A. Bohbot, « [The destruction of the metro and the thwarting of launches: the technological means that the IDF first operated in Gaza](#) », *WALLA*, 27/05/2021.

29. A. Bohbot, *art. cit.*

les équipes de lancement de roquettes jusqu'aux chefs et aux responsables des organisations armées islamistes à Gaza<sup>30</sup>.

Un des défis principaux aujourd'hui pour les armées les plus avancées dans le monde est de traiter le vaste volume de données provenant de sources multiples, y compris d'une grande gamme de capteurs. Les FDI ont de telles capacités pour collecter de larges volume de données – depuis le renseignement dans le domaine des signaux (*SIGINT*), des observations visuelles (*VISINT*), des observations humaines (*HUMINT*) jusqu'au renseignement géographique (*GEOINT*) – que l'ensemble des informations recueillies a entraîné la formation de goulets d'étranglement, du fait des difficultés à traiter, synthétiser (notamment avec le référencement croisé de diverses sources) et à distribuer toutes ces informations vers les unités concernées comme éléments de renseignement en temps réel.

Les FDI ont révélé que, pendant l'opération, trois nouveaux programmes développés de manière autonome avaient été utilisés : « l'Alchimiste », « le Gospel » et « la Profondeur de la Sagesse ».

Le logiciel « Alchimiste » est un système qui fournit une image visuelle dynamique directement au commandant sur le terrain. Ce système permet la détection de cibles en temps réel et la protection des frontières. Il facilite les ripostes sur le front intérieur israélien.

« Le Gospel » est un système de renseignement qui génère des recommandations proposées par l'IA pour le personnel chargé de trouver les objectifs dans les unités idoines, le commandement des divisions ou les districts militaires. Un opérateur confirme les recommandations et travaille avec le système pour identifier des objectifs de haute valeur<sup>31</sup>. L'intérêt de ce logiciel peut être saisi en comparant le rythme de production d'objectifs avant et pendant l'opération. Lors des 12 jours de l'opération, les FDI ont dévoilé 200 objectifs de haute valeur. Selon les FDI, il y a encore quelques années, un tel effort aurait nécessité une année entière pour être accompli. Les FAI ont attaqué 50% de ces objectifs dès qu'ils étaient proposés, réduisant environ de moitié le nombre de lanceurs<sup>32</sup> *Kornet*<sup>33</sup> et détruisant de nombreux lanceurs multi-tubes. Ces programmes d'IA furent développés par l'unité 8200 appartenant aux services de renseignement.<sup>34</sup>

Par ailleurs, l'unité 9900 utilisa l'IA pour analyser le renseignement image grâce aux capteurs, aux sorties ISR et aux drones afin de créer des « cartes duales » qui modélisaient à la fois le sol et les sous-sols de la bande de Gaza<sup>35</sup>. Ces cartes montraient la localisation des infrastructures, la nature des itinéraires,

30. A. Kalo, *art. cit.*

31. S. Cohen, « This is what hundreds of kilometers of Hamas 'metro' tunnels revealed by the Military Intelligence Directorate », *Israel Defense Forces*, 27/05/2021.

32. A. Bohbot, *art. cit.*

33. Le *Kornet* est considéré comme l'un des missiles anti-char le plus avancé du monde.

34. Unit 8200 – *Central Collection Unit of the Intelligence Corps*. voir : *Israel Defense Forces*, « [Military Intelligence Directorate](#) », *Israel Defense Forces*, 29/12/2021.

35. Unit 9900 – Cette unité est chargée de compiler le renseignement d'origine image recueilli notamment depuis les capteurs spatiaux : *Ibid.*

leurs profondeurs et bien plus. Elles rendaient possible la création de plans de tirs précis pour les FAI et les troupes terrestres, de même que l'exécution du programme opérationnel « *Lightning Strike* » – la destruction du « métro » (tunnels offensifs) du Hamas<sup>36</sup>. L'unité 9 900 est aussi parvenue, en utilisant l'IA, à lancer de plus petits drones pour repérer des anomalies à la surface du sol indiquant des caches de roquettes, la construction de tunnels et de bunkers, offrant ainsi plus d'objectifs à attaquer<sup>37</sup>.

La « base multidisciplinaire », un nouveau dispositif, fut aussi mise en service pour la première fois. Cette base rassemblait toutes les capacités de la Direction du renseignement militaire et travaillait en collaboration avec le commandement du Sud et l'état-major général des FDI. Son but était d'identifier rapidement des objectifs de haute valeur en temps réel. Le dispositif démontra l'efficacité des capacités émergentes en IA de l'*Aman*. Des résultats significatifs dans le domaine du renseignement ont été produits en connectant l'homme et la machine<sup>38</sup>. Ces innovations ont aussi empêché le Hamas et le Djihad islamique de mener les attaques surprises qu'ils avaient planifiées<sup>39</sup>.

### *Défense aérienne*

L'IA est aussi employée dans les systèmes de défense aérienne israéliens, caractérisés par un haut degré d'autonomie<sup>40</sup>. Cette capacité est principalement fondée sur l'*Iron Dome*, système de défense aérienne actif mobile, développé et construit en Israël, pouvant intercepter des roquettes de courte portée, des obus de mortier et des drones. Le système opère par tout temps et peut faire face à un large nombre de menaces simultanément. Il est opérationnel depuis 2011. Le système a été mis à jour et amélioré ces dernières années, ce qui lui a permis de faire face aux tirs soutenus du Hamas pendant l'opération GM. Des perfectionnements autour des fonctions logistiques ont favorisé les interceptions dans des conditions de forte tension. Une autre évolution a été développée pour qu'une batterie puisse intercepter des objets volant dans la zone de responsabilité d'autres batteries en cas de besoin. Cette innovation a permis à l'*Iron Dome* de s'opposer avec succès à des barrages multiples de roquettes pendant une courte période<sup>41</sup>.

---

36. A. Bohbot, *art. cit.*

37. *Ibid.*

38. IDF Website System, « [There was no operation conducted with such a coverage of intelligence: the chief of staff visited a factory that produces quality targets in real time](#) », *Israel Defense Forces*, 22/05/2021.

39. R. Yishai, « [The planes are in the air: the buildings are in danger: the IDF warned - and Hamas did not fire the final barrage to the center](#) », *YNET*, 22/05/2021.

40. International Human Rights Clinic and Human Rights Watch, « [Losing Humanity: The Case against Killer Robots](#) », *Human Rights Watch*, consulté le 13/03/2022.

41. U. Rubin, *art. cit.*

En plus de l'*Iron Dome*, deux autres systèmes opérèrent en parallèle : le *Drone Dome* (un système de combat électronique qui met hors d'usage les drones) et le *David's Sling*<sup>42</sup>. Ce dernier est un système de défense aérienne déclaré opérationnel dans les FDI en 2017<sup>43</sup>. Il est développé conjointement par les entreprises israélienne *Rafael* et américaine *Raytheon*. Il dispose d'un missile d'interception actif utilisant un radar et un capteur électro-optique, qui manœuvre rapidement. Ce système est conçu pour être complémentaire de l'*Iron Dome*<sup>44</sup>.

### *Les technologies digitales avancées utilisées par les forces terrestres*

Aucune manœuvre terrestre d'ampleur ne fut exécutée pendant l'opération GM contrairement aux opérations *Cast Lead* ou *Protective Edge*. Néanmoins, les forces terrestres des FDI furent bien engagées en mai 2021. Et parmi les activités auxquelles elles prirent part, celles mobilisant des technologies avancées sont les plus marquantes.

Pour la première fois, « [l']unité Multi-Domaine »<sup>45</sup> (dont la finalité est d'augmenter les combinaisons entre tous les champs et domaines, avec un accent placé sur la connectivité entre les troupes terrestres et les avions de chasse) fut employée sur un théâtre d'opérations<sup>46</sup>. L'unité combinait des soldats d'élite, des drones, des petits avions, des systèmes de collecte d'ISR, des capteurs avec des activités dans le cyberspace. Des systèmes de commandement et de contrôle travaillaient avec des unités de renseignement aérien et terrestre, pour transmettre au bon moment les cibles et les détruire. Pendant l'opération, plus de 20 caches et bases de l'ennemi furent ainsi découvertes dans le quartier du Sajaiya à Gaza, où l'un des bataillons les plus puissants du Hamas opérait<sup>47</sup>.

Par ailleurs, les FDI déployèrent un essaim de drones pour identifier et détruire les objectifs. Les capacités d'IA furent mobilisées pour qu'un ensemble de drones puisse coopérer et former une plateforme unifiée, équipée d'une combinaison de capteurs et d'armes<sup>48</sup>. L'essaim fut activé par la section « découverte-assaut » de la brigade parachutiste<sup>49</sup>. Il a contribué à révéler les caches du Hamas tout en travaillant en coordination avec d'autres systèmes d'armes pour attaquer des dizaines d'objectifs à des kilomètres de la frontière<sup>50</sup>. L'essaim réus-

---

42. Autrefois appelé « Baguette magique ».

43. U. Rubin, *art. cit.*

44. A. Bohbot, « [An important milestone: the successful experiment of the «magic wand» system – documentation](#) », *Walla*, 19/03/2019.

45. Aussi connu sous le nom de « *Ghost Unit* » et représente le bataillon du futur à l'heure des opérations multi-domaines.

46. T. Eshel, *art. cit.*

47. A. Bohbot, « [Locate from remote sites and attack quickly: The 'ghost unit' that changes the rules of the game in the ID](#) », *Walla*, 21/08/2021.

48. Z. Kallenborn, « [Applying Arms-Control Frameworks to Autonomous Weapons](#) », *Brookings*, 05/10/2021.

49. A. Bohbot, « [Exclusive: IDF Drones Swarms took part in the fighting in Gaza, and the rules of the game are expected to change](#) », *Walla*, 05/06/2021.

50. Z. Kallenborn, « [Israel's Drone Swarm Over Gaza Should Worry Everyone](#) », *Defense One*, 07/07/2021.

sit à localiser l'ennemi même au sein de zones complexes, densément peuplées, rurales comme urbaines, à l'engager et à établir une évaluation des dommages de combat (*Battle Damage Assessment*) en quelques minutes<sup>51</sup>.

La mission des essais de drone durant le conflit était aussi de localiser et d'attaquer les activistes qui tiraient des roquettes sur Israël avant qu'ils aient le temps de disparaître et – dans certains cas – avant même qu'ils aient le temps de lancer leurs munitions. Les drones présentent des avantages car ils peuvent se déplacer sur de longues distances, traverser les frontières, rester sur place et maintenir une surveillance continue, sans faire courir de risques aux combattants. Bien que le type de drones utilisé n'ait pas été révélé, on sait que l'essaim était constitué de plusieurs types de drone avec des capacités différentes qui formaient ensemble un système complet. En outre, les FDI ont utilisé des technologies avancées pour transférer les renseignements de l'essaim vers le système de commandement, permettant l'activation de forces additionnelles au travers des données qu'elles fournissaient<sup>52</sup>.

Le système de commandement et de contrôle des FDI a aussi montré son importance. Le système a permis, entre autres, le transfert rapide d'informations, d'évaluation et de prise de décision qui a caractérisé une variété d'opérations. Les FDI ont ainsi employé le *Digital Army 750 System (DAP 750)* d'Elbit, qui est une plateforme C4I montrant aux décideurs, sur le terrain comme dans les salles de commandement, la position des troupes amies et ennemies<sup>53</sup>. Ce système est un multiplicateur de force à multi-dimensions. Le *DAP 750* était combiné avec le système *Torch 750*, qui permettait aux commandants au niveau des bataillons de diriger une attaque depuis les airs et de clore les cercles de feux rapidement. La manœuvre est rendue plus précise et le processus nécessaire pour attaquer l'ennemi est raccourci<sup>54</sup>. Le système d'IA fournit aussi un support dans la prise de décision pour aider les chefs à traiter l'information en présentant les forces disponibles avec leurs localisations, comme les aspects légaux et de sécurité liés à leur usage, tout en recommandant des alternatives possibles<sup>55</sup>.

Les forces terrestres ont aussi utilisé des drones, comme le multiroteur *Thor* relativement silencieux, capable de voler à des altitudes supérieures à 3 000 m, opérationnel à des températures dépassant les 40°C et pouvant emporter 3 kg de charge<sup>56</sup>. Les FDI ont aussi utilisé le drone *Spike Firefly*, une munition rodeuse pesant environ 3 kg, qui tient dans un cylindre et qui s'appuie sur une paire de rotors pliés. Le drone dispose de quelques capacités autonomes et peut attaquer

51. T. Eshel, « [IDF Debuts Drone Swarms to Seek and Attack Hidden Targets](#) », *Defense Update*, 13/06/2021.

52. D. Hambling, « [Israel's Combat-Proven Drone Swarm May Be Start Of A New Kind Of Warfare](#) », *Forbes*, 21/07/2021.

53. T. Eshel, « Information Technology Drives Massive Growth », *Defense Update*, 21/06/2021..

54. A. Dombe, « [Five-dimensional combat: Cyber and electromagnetic spectrum targets gain legitimacy in 'Guardian of the Walls'](#) », *Israel Defense*, 31/05/2021.

55. T. Eshel, « Information Technology Drives Massive Growth », *art. cit.*

56. T. Eshel, « IDF Debuts Drone Swarms to Seek and Attack Hidden Targets », *art. cit.*

des objectifs statiques ou mobiles, tels que des véhicules, des motos ou des personnes en mouvement.

### **Succès et échecs majeurs : ce qui peut être retenu de l'emploi de la technologie dans l'opération GM**

Durant l'opération GM, les FDI ont obtenu plusieurs succès, comme la protection substantielle du territoire israélien et des dommages occasionnés au Hamas. Cependant, des critiques se sont aussi élevées contre cette opération et il est certain que le succès obtenu n'est pas sans ambiguïté. Du fait du large nombre de technologies innovantes employées de manière intensive par les FDI, il est naturel de se demander quel impact ces dernières ont eu sur l'opération contre le Hamas et quelles leçons peuvent en être tirées.

Selon leur propre bilan, les FDI sont parvenues à détruire de larges pans du réseau de tunnels du Hamas. Elles ont neutralisé des dizaines de cadres du Hamas et du Djihad islamique palestinien et environ 200 autres combattants<sup>57</sup>. Les FDI ont aussi frappé plus de 500 engins appartenant aux batteries de lanceurs de munitions sol-sol ou de roquettes et environ 70 lanceurs de roquettes multiples. Elles ont endommagé quelques-unes des capacités devant servir après l'opération à renforcer à nouveau les moyens du Hamas et à produire des matériels<sup>58</sup>. Enfin, les FDI ont attaqué des bâtiments administratifs des organisations adverses, y compris les ministères, les établissements bancaires gérant les fonds terroristes, ainsi que des infrastructures tels que des camps, des postes avancés et des salles de commandement<sup>59</sup>.

Il est cependant impossible d'ignorer la performance des ennemis, qui tirèrent 4 360 roquettes et obus de mortier sur Israël pendant 12 jours consécutifs – total supérieur à ce qui fut tiré pendant l'opération *Protective Edge* en 51 jours. Les FDI ont aussi confirmé que, malgré les résultats obtenus, seul 10 % de l'arsenal des roquettes du Hamas avait été détruit au cours de leurs différentes attaques<sup>60</sup>. L'appareil militaire israélien n'est donc pas parvenu à obtenir de grands résultats dans cette opération. Du fait des principes de la stratégie de « tonte de la pelouse »<sup>61</sup> (qui cherche à dissuader les ennemis et repousser les prochains affrontements autant que possible<sup>62</sup>), une part significative des capacités du Hamas fut finalement préservée. Ainsi, les succès tactico-techniques, rendus possibles par les capacités innovantes développées et mises en œuvre par les FDI, ne menèrent pas à de succès opératifs. Ils ne sont pas né-

57. Ministry of Foreign Affairs of the State of Israel, « [Operation Guardian of the Walls](#) », *Ministry of Foreign Affairs of the State of Israel*, 20/05/2021.

58. *Ibid.*

59. *Ibid.*

60. Y. Yehoshua, « Half a year into Operation 'The Guardian of the Walls': How many terrorists were actually killed in the metro? », *Ynet*, 12/11/2021.

61. E. Inbar and E. Shamir, « Mowing the Grass : Israel's Strategy for Protracted Intractable Conflict », *Journal of Strategic Studies* 37, n° 1, 2014, pp. 65-90.

62. Par une action brutale et limitée dans le temps (ajout du traducteur).

cessairement liés à ces nouvelles technologies en elles-mêmes, mais plutôt à la conjonction d'autres facteurs.

De manière évidente, malgré de nombreux changements, la capacité d'action des FDI demeure restreinte lors de combat où les groupes armés s'intègrent délibérément au milieu des civils dans des zones densément peuplées. Ce n'est pas seulement une faiblesse des FDI. L'ennemi utilise le droit international et les valeurs libérales occidentales de manière cynique, comme cela a été constaté dans d'autres conflits où les forces occidentales ont été engagées contre des groupes armés ou de guérilla.

Durant l'opération GM, les FDI ont fait usage de technologies avancées, notamment des drones qui volaient sur de longs créneaux, équipés avec différents moyens d'identification et d'action, effectuant des missions de « coups sur les toits » pour limiter le nombre de pertes civiles. Selon la Commission des droits de l'homme de l'ONU, 256 personnes furent tuées dans la bande de Gaza, dont 66 enfants. Au moins 128 de ces morts étaient des civils, 62 d'entre eux appartenant au Hamas ou à des organisations armées – le reste n'est pas précisé par les Nations unies<sup>63</sup>. Malgré le fait qu'il y ait toujours des victimes civiles, ce niveau de pertes a été relativement faible comparé à d'autres cas similaires, que ce soit lors des opérations précédentes impliquant les FDI ou avec d'autres armées ailleurs dans le monde, quand des frappes aériennes massives sont menées dans des zones densément peuplées.

Bien que les forces terrestres israéliennes n'aient pas été largement employées sur le terrain, on ne sait si des manœuvres terrestres auraient apporté une contribution significative à la destruction des lanceurs de roquettes du Hamas. Le succès de l'opération est principalement dû aux tirs à distance, grâce à des moyens automatisés et digitaux. Par ailleurs, les capacités supérieures de recueil de renseignement des FDI obtenues par des technologies de pointe, amenant à mener une campagne aérienne avec relativement peu de pertes civiles, ont aussi contribué à réaliser une performance opérationnelle significative. C'est aussi une réussite stratégique pour l'État d'Israël, qui a besoin d'une légitimité internationale pour opérer militairement.

Bien que les FDI ne furent pas capables de détruire les stocks d'armes du Hamas, il est admis que les citoyens furent bien protégés. Alors que les batteries d'*Iron Dome* devaient intercepter 160 roquettes par jour et parfois faire face à des barrages intenses de plus de 100 roquettes en quelques minutes dans la même zone, l'armée de l'Air a maintenu un taux de réussite d'interception de 90% sur les roquettes et les obus de mortiers.<sup>64</sup> Cependant, malgré ce succès, les organisations armées islamistes palestiniennes ont continué à améliorer leurs capacités d'armement et leur manière de tirer en apprenant toujours plus sur

---

63. AP, « [Human Rights Watch accuses Hamas of war crimes in Operation Wall Guard](#) », *Haaretz*, 12/08/2021.

64. Levin and Bustan, *art. cit.*

les performances des défenses israéliennes. Ces éléments ont amené certains à déclarer qu'Israël avait besoin d'un système alternatif en plus de l'*Iron Dome*, car l'efficacité du système peut s'éroder si les barrages de tir augmentent et si les roquettes deviennent plus précises<sup>65</sup>.

Un événement qu'on peut classer dans les échecs technologiques est l'interception d'un drone tactique israélien *Skylark* par l'*Iron Dome*. La cause de ce tir est le manque de coordination entre les forces<sup>66</sup>. Néanmoins, l'interception en elle-même a été un succès puisque l'*Iron Dome* s'est montré capable de toucher un drone petit et lent, similaire à ceux qu'emploient les ennemis pour menacer Israël.

Un dernier cas de réussite technologique avec un échec opérationnel est le plan « frappe éclair ». Selon ce dernier, les FDI souhaitaient neutraliser des centaines de soldats du Hamas dans leurs tunnels souterrains. Le plan, s'appuyant sur la ruse, se fondait sur le déclenchement d'une opération terrestre limitée près de la frontière pour faire croire au Hamas que les FDI avaient commencé des manœuvres au sol. Durant la mise en place de cet assaut, 160 aéronefs attaquèrent 150 cibles parmi les infrastructures souterraines, selon un rapport des FDI<sup>67</sup>. Les estimations initiales des FDI étaient qu'il y aurait des dizaines de pertes, mais après avoir vérifié l'évaluation de l'attaque, il semble que seulement 10 activistes aient été tués<sup>68</sup>. Malgré le succès technologique, l'opération était un échec militaire. Les technologies avancées permirent néanmoins aux FDI de trouver et détruire rapidement les tunnels. Mais elles furent incapables d'infliger des dommages significatifs aux combattants du Hamas, malgré la destruction de plus de 100 km de tunnels.

## Résumé et conclusions

Les FDI ont connu de nombreux succès pendant l'opération GM, tout comme des échecs. Elle a mis en valeur l'utilisation opérationnelle d'un large spectre de technologies innovantes et leur emploi combiné. Israël a montré les capacités impressionnantes de l'IA et des drones dans un contexte de guerre asymétrique. Le plus grand succès fut celui de la protection des citoyens israéliens grâce aux systèmes de défense aérienne avancés et la localisation suivie de l'attaque de cibles dans Gaza en maintenant un taux relativement faible de pertes civiles.

La large couverture médiatique sur l'utilisation de l'IA dans cette opération est logique. L'intégration de ces technologies a eu un impact important pendant les combats sur l'amélioration des capacités des FDI. L'IA a montré sa grande précision et a écourté le temps nécessaire entre la localisation et l'engagement

---

65. *Ibid.*

66. Y. Kubowitz, « [An Iron Dome accidentally intercepted an IDF unmanned aerial vehicle during the fighting in Gaza](#) », *Haaretz*, 25/05/2021.

67. Y. Ziton, « [The scam worked in part: only a few dozen activists entered the 'Hamas metro'](#) », *Ynet*, 15/05/2021.

68. *Ibid.*

des cibles. Par ailleurs, la technologie n'a pas seulement aidé ses utilisateurs, elle a aussi eu des effets bénéfiques sur la protection des civils palestiniens. Qu'elle soit employée dans les systèmes de renseignement, dans les systèmes de défense aérienne, comme l'*Iron Dome*, ou dans les systèmes de commandement et de contrôle, elle possède un potentiel évident, qui n'est pas encore totalement exploité. Par ailleurs, les préoccupations sur l'usage immoral et incontrôlé de l'IA dans les systèmes militaires subsistent encore. Plus d'attention dans le futur sera nécessaire dans ce domaine surtout pour des utilisateurs moins précautionneux que les démocraties libérales.

Bien que des améliorations technologiques aient permis de protéger les citoyens israéliens et de neutraliser les objectifs dans Gaza, elles ne purent cependant arrêter les tirs du Hamas durant l'opération ou détruire l'ensemble de ses capacités. Par ailleurs, pendant que les FDI localisaient et détruisaient les tunnels souterrains du Hamas, des dommages limités étaient causés aux opérateurs du Hamas, contrairement à ce qui était prévu. Malgré ces technologies avancées, le souhait d'Israël de ne pas entamer sa légitimité à mener cette opération et de ne pas causer de pertes civiles a parfois limité son engagement. Israël a dû faire face en retour à la courbe d'apprentissage du Hamas, au recours de l'adversaire à des formes de combat basiques mais aussi technologiques et à la prise en compte du droit international. L'ensemble a réduit l'avantage technologique d'Israël.

Les leçons apprises de l'opération GM semblent pouvoir aussi s'appliquer aux forces militaires d'autres pays, notamment les démocraties libérales, dans leurs combats contre les terroristes ou dans les situations de guérilla. Alors qu'elles utilisent des technologies avancées dans leur combat asymétrique, leurs capacités demeurent limitées par leur désir de respecter la loi internationale et les droits de l'homme, ce qui est exploité cyniquement par l'adversaire. Malgré des progrès technologiques continus, comme ceux effectués par Israël, « le paradoxe de la puissance » a de grandes chances de rester en vigueur tant que l'asymétrie dans les visions du monde des groupes armés et des démocraties libérales affectent leur manière de faire la guerre. Même avec ces résultats limités, les démocraties doivent se souvenir des bénéfices que la technologie peut leur apporter et continuer à développer leurs avantages pour empêcher leur adversaire de faire de même.

***VARIA***



# Premiers enseignements sur l'utilisation de la puissance aérienne russe en Ukraine après un mois de conflit (24 février – 24 mars 2022)

Gwenvaël Coulombel, lieutenant Malcolm Pinel, colonel Xavier Rival

*Gwenvaël Coulombel est diplômé en Économie de l'IEMN-IAE et en Management d'Audencia Grande École. Il est actuellement professeur d'Économie au sein des Écoles Nantaises de Commerce (ENC Group). Il travaille sur les enjeux stratégiques et économiques de l'industrie aérospatiale militaire. Ses recherches portent notamment sur les questions liées aux postures A2/AD.*

*Malcolm Pinel est doctorant au sein du laboratoire LIMEEP à Paris-Saclay et associé à l'IRSEM. Sa thèse porte sur la stratégie aérienne russe au Moyen-Orient depuis les années 2000. Il est diplômé de l'École de l'air et est titulaire d'un Master en science politique (Université Jean Moulin – Lyon 3).*

*Xavier Rival a participé à de nombreuses opérations militaires en Asie centrale, au Moyen-Orient et en Afrique, comme pilote de combat et commandant d'escadron de chasse. Il est diplômé de l'École de l'air, de l'Advanced Command and Staff Course (Royaume Uni) et est titulaire d'un Master of Arts in Defence Studies (King's College London). Il suit actuellement une scolarité au Royal College of Defence Studies à Londres.*

*Remerciements à Blanche Lambert (réalisation des cartes). Cet article a été rédigé à partir de sources ouvertes.*

Dans la nuit du 23 au 24 février 2022, des salves de missiles de croisière et de missiles balistiques marquent le déclenchement de l'« opération militaire spéciale »<sup>1</sup> décidée par Moscou. L'offensive terrestre russe en Ukraine est lancée simultanément, avec une ampleur inédite en Europe depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale. Les forces russes engagent environ 180 000 hommes sur trois fronts situés au nord, à l'est et au sud de l'Ukraine. Kiev, qui s'appuie sur une armée régulière de 200 000 militaires environ<sup>2</sup>, déclare la mobilisation générale. Après un mois de conflit, le peuple ukrainien et son armée résistent et ne plient

1. специальная военная операция : *spetsialnaiya voïennaiya operatsiya*.

2. V. Akimenko, « La bataille la plus difficile de l'Ukraine : Le défi de la réforme militaire », *Project Reforming Ukraine, Carnegie Endowment for International Peace*, 22/02/2018.

pas. Moscou est contraint de revoir largement ses ambitions et ses plans. Les forces armées russes renoncent à s'emparer de Kiev et se redéplacent à l'est de l'Ukraine.

Les causes qui ont provoqué cet échec initial sont nombreuses. Parmi elles, l'emploi plutôt médiocre des forces aérospatiales russes (*VKS*<sup>3</sup>) est souvent évoqué. La Russie n'a de fait pas réussi à acquérir la supériorité aérienne en Ukraine<sup>4</sup> malgré des pertes aériennes importantes<sup>5</sup>. Elle a certes mené régulièrement des bombardements aériens sur une large partie de l'Ukraine, mais n'a pas tiré profit du 'point haut' que constitue la troisième dimension, dont la maîtrise confère un atout indispensable à la réussite des opérations terrestres.

Les *VKS* disposaient pourtant d'un avantage substantiel au début du conflit. L'Ukraine ne pouvait compter que sur une centaine d'aéronefs de combat<sup>6</sup>, une cinquantaine d'hélicoptères<sup>7</sup> et des systèmes de défense aérienne assez réduits et vieillissants face aux moyens russes plus modernes, acquis après les profondes réformes militaires engagées en 2008. Tandis que les forces aériennes russes avaient obtenu des résultats très mitigés en Tchétchénie et en Géorgie et n'avaient pas été employées en 2014 pour annexer la Crimée, elles avaient démontré des capacités opérationnelles certaines lors des opérations en Syrie depuis 2015<sup>8</sup>.

Bien qu'il soit toujours périlleux, après un mois de conflit<sup>9</sup>, d'établir et d'analyser précisément des faits dans un contexte de désinformation générale, il est légitime de s'interroger sur le rôle qu'ont joué les *VKS* en Ukraine en février et mars 2022. Prenant en compte les données disponibles en source ouvertes et appliquant toutes les réserves nécessaires, cet article questionne, dans la continuité de l'article publié dans *Vortex n°2*<sup>10</sup>, la manière dont la puissance aérienne a été employée par la Russie. Il défend la thèse que le commandement russe a déclenché les opérations militaires en Ukraine sans s'appuyer réellement sur les *VKS* qu'il savait très limitées. L'état-major général russe aurait alors pêché par excès de confiance, pensant gagner la guerre sans recourir significativement à la puissance aérienne.

---

3. Les *VKS* (*Vozdouchno-kosmicheskiye sily*) regroupent les forces aériennes (*VVS*), les forces spatiales (*Kosmicheskiye voyska – KV*) et les forces de défense aérienne et anti-missile (*Voyska protivovozdushnoy i protivoraketnoy oborony – V PVO PRO*)

4. K. Osoborn, « [The Overlooked Reason Why Russia Can't Control Ukraine's Skies](#) », *The National Interest*, 06/05/2022.

5. « [List Of Aircraft Losses During The 2022 Russian Invasion Of Ukraine](#) », *ORYX* blog.

6. Y. Mahé, « Guerre en Ukraine, combats aériens dans le ciel d'Europe », *Aéro journal*, n°87, avril-mai 2022, p. 5.

7. Dont 34 *Mi-24PU1 Hind* modernisés.

8. A. Lavrov, « *Russia in Syria, a military analysis* », *Russia's return to the Middle East, building sandcastles*, *European Union Institute for Security Studies*, juillet 2018, p. 47.

9. Cet article a été rédigé en avril 2022.

10. X. Rival, M. Pinel, « Aspects qualitatifs de l'intervention russe en Syrie », *Vortex n° 2*, décembre 2021, pp 135-151.

Cet article fait le pari de décomposer la manœuvre russe du premier mois du conflit en deux phases distinctes. Lors des deux premiers jours, la prise rapide de Kiev semble avoir été l'objectif prioritaire. L'option d'une campagne de bombardement massive, similaire à celle de janvier 1991 en Irak, n'est pas retenue (1). Moscou subit sans l'avouer un échec cuisant et utilise alors ses forces armées d'une manière brutale en n'hésitant pas à bombarder les populations civiles. Les VKS ne parviennent pas à conquérir la supériorité aérienne par incapacité à opérer en environnement contesté (i.e. emploi de moyens aériens à faible observabilité, e.g. *Su-57*), par manque d'armement adéquat, du fait des sanctions économiques décidées en 2014 (2) et d'une vision datée de la puissance aérienne qui n'a pas su se renouveler<sup>11</sup> (3). L'acquisition de la supériorité aérienne dépend alors de la neutralisation des systèmes sol-air. Au sol, les Ukrainiens remportent ponctuellement des affrontements face à des soldats russes qui manœuvrent sans appui ni capacité à se protéger dans et par la 3D (4). Le conflit pourrait avoir des conséquences durables sur l'industrie aérospatiale russe et les capacités de régénération des VKS (5).

### Les VKS, grandes absentes du plan initial russe ?

Le plan initial russe semble privilégier une stratégie de « fait accompli » reposant sur une décapitation du régime en place en Ukraine. Cette intention, rappelant l'essence de la manœuvre entreprise en Crimée en 2014, impliquait d'agir de manière fulgurante. Une campagne aérienne classique, nécessairement longue, aurait précédé de plusieurs semaines l'invasion terrestre russe. Elle aurait annihilé tout effet de surprise, élément essentiel à la réussite de cette stratégie. Or, la chute de Kiev restait une possibilité parmi d'autres aux yeux des Ukrainiens avant le déclenchement des hostilités. Le déploiement des forces russes aux abords de l'Ukraine interdisait aux forces ukrainiennes de se concentrer autour de leur capitale. La géographie a rendu possible l'élaboration d'un tel plan. La région au nord de Kiev est relativement peu peuplée et seulement 150 kilomètres séparent Kiev de la frontière bélarusse. La base de Gomel en Bélarus, premier point logistique majeur alimenté par la Russie pour soutenir l'engagement en Ukraine, ne se trouve qu'à 260 kilomètres de Kiev<sup>12</sup>. Transposé à l'échelle de la France et sans tenir compte de la nature du terrain, Paris aurait été menacé par des forces étrangères massées à Reims et à Sedan. Pour Moscou, chercher à imposer un fait accompli très rapidement ne paraît pas absurde.

Bien que ces questions restent débattues, nous postulons que Moscou a négligé sciemment l'acquisition de la supériorité aérienne durant cette première phase de l'engagement éclair vers Kiev. En effet, une campagne aérienne systématique de bombardement, sur les infrastructures C2 et les capacités de défense aérienne ukrainienne, aurait pu déclencher, au-delà de la simple condamnation,

11. La vision de l'art opératif ; « оперативное искусство » – *operativnoye iskusstvo*.

12. Une matinée de route pour un convoi militaire composé de véhicules de reconnaissance, de blindés légers, de transport de troupes et de camions.

une très forte réaction internationale pour empêcher les forces armées russes de pénétrer en Ukraine.

Une série de frappes menées en quelques heures est alors préférée à la campagne de bombardement longue et intense pour détruire les sites radar, aérodromes et autres systèmes de défense sol-air. Ces frappes sont effectuées avec des missiles balistiques<sup>13</sup> tactiques *SS-21 Scarab – Totchka-U* – et *SS-26 Stone – Iskander*, plus de 300 missiles de croisière<sup>14</sup> tirés depuis des navires en mer Noire et à partir de bombardiers stratégiques de l'aviation à long rayon d'action (ALRA) de type *Tu-95MS* et *Tu-160M* évoluant dans l'espace aérien russe et biélorusse<sup>15</sup>. La rigidité du processus de ciblage de ces munitions rend leur emploi peu efficace contre des systèmes mobiles comme les *S-300*. Ces frappes se concentrent plutôt sur les centres de commandement et de contrôle, les dépôts d'essence et de munitions, les sites radars et les sites de défense sol-air fixes. Les pistes d'aérodromes ne sont pas touchées, peut-être pour être réutilisées rapidement en cas de victoire.

Ces attaques, bien que se concentrant sur des cibles militaires, pouvaient chercher à infléchir la détermination des Ukrainiens, civils comme militaires. L'arbitrage entre la décapitation des structures gouvernementales et le souhait de ne pas stimuler le patriotisme de la population représentait certainement un dilemme opérationnel. La campagne aérienne s'est avérée en tout cas trop courte, de faible intensité et vraisemblablement sans objectifs stratégiques propres. Elle n'a ainsi pas suffisamment préparé la conquête de la supériorité aérienne. D'autant que les forces armées ukrainiennes, prévenues certainement de l'imminence des frappes, ont dispersé une grande partie de leurs équipements<sup>16</sup>. Agissant ainsi comme les forces armées finlandaises pendant l'agression soviétique en 1939-40, elles ont pu limiter considérablement l'impact des frappes subies<sup>17</sup>.

Le lancement d'un assaut hélicoptéré audacieux sur l'aéroport proche de Kiev a sûrement été le point de bascule de cette phase extrêmement courte. Pour s'emparer de l'aéroport d'Hostomel le 24 février 2022, plusieurs dizaines de *Mi-8MTV-5/AMTsh Hip* ont transporté 300 parachutistes<sup>18</sup> des *VDV*<sup>19</sup>, escortés par quelques *Su-25 Frogfoot* et *Ka-52 Hokum-B* pour l'appui rapproché. Plusieurs hélicoptères russes ont été abattus en phase d'approche finale par des soldats

---

13. Après un mois de conflit, plus d'un millier de missiles balistiques auraient frappé le territoire ukrainien, voir A. Mahsie, « Air War Ramps Up in Russia-Ukraine Conflict as Russian PGMs Run Out », *Airforcemag*, 21/03/2022.

14. T. Robinson, « [Air War over Ukraine – the first days](#) », *Aerosocity*, 2 mars 2022.

15. E. Tenenbaum, « Guerre en Ukraine : leçon de grammaire stratégique », Briefings de l'Ifrri, *Ifri*, 24/02/2022.

16. T. Cooper, « [The MiG-29s and Su-25s that EU could donate to Ukraine and Why the Russians have not achieved 'Total Aerial Superiority' in the Ukrainian skies](#) », *The Aviation Geek Club*, 28/02/2022.

17. I. Rehman, « [Lessons From The Winter War : Frozen Grit And Finland's Fabian Defense](#) », *War on the rocks*, 20/07/20216.

18. Y. Mahe, « Guerre en Ukraine : combats aériens dans le ciel d'Europe », *art. cit.*, p. 11.

19. *Vozdushno-desantnyye voysk*. Ici la 11<sup>e</sup> Brigade aéroportée de la Garde renforcée par la 31<sup>e</sup> Brigade d'assaut aéroportée de la Garde et des *spetsnaz* du GRU.

ukrainiens équipés de *MANPADS*<sup>20</sup>. La contre-offensive ukrainienne menée par la 4<sup>e</sup> brigade de réaction rapide de la Garde ukrainienne, appuyée par les *Mig-29 Fulcrum*, *Su-24M Fencer* et *Mi-24 Hind* des forces aériennes ukrainiennes, a contraint les parachutistes à se replier. Malgré ce premier revers, qui a peut-être constitué le tournant de cette première partie du conflit, les forces russes déclenchent le 25 au matin un second assaut. Il aurait été assuré par une colonne terrestre et par le déploiement de 200 hélicoptères transportant environ 1 500 parachutistes dont des *Spetsnaz*<sup>21</sup>. La plateforme est prise mais l'objectif politique initial n'est pas atteint. Le régime ukrainien ne s'est pas effondré et les forces armées ukrainiennes sont mobilisées. La population ukrainienne se rassemble autour du président Zelensky dont la légitimité comme chef de guerre est rapidement assurée. Alors que les combats font rage, le Kremlin doit adopter une nouvelle stratégie.

On peut convenir que l'acquisition de la supériorité aérienne n'a vraisemblablement pas été jugée nécessaire dans le cadre de la planification initiale par les responsables russes. Ils estimaient probablement qu'une telle mission était aussi impossible à confier aux *VKS*. L'ampleur de la tâche était trop grande pour des ressources trop comptées. D'une part, l'espace aérien ukrainien est immense et cette quête de supériorité aurait nécessité un long délai pour être satisfaite. Le lancement de plusieurs milliers de missiles, que Moscou ne possédait peut-être pas, aurait été indispensable pour détruire des systèmes répartis sur l'ensemble de l'Ukraine. D'autre part, les moyens dédiés à la destruction des systèmes de défense sol-air mobiles sont quasiment inexistants au sein des *VKS*. Celles-ci ne possèdent qu'un nombre limité de missiles antiradar et de chasseurs-bombardiers équipés pour de telles missions. Par ailleurs, l'expertise opérationnelle engrangée par les centres de commandement et les équipages russes déployés en Syrie<sup>22</sup> diffère grandement des qualités attendues pour réaliser ce type de missions<sup>23</sup>. Les *VKS* restent ainsi incapables de conduire des raids aériens massifs et complexes regroupant plusieurs dizaines d'avions de combat. Le faible nombre de ravitailleurs en vol disponibles, attribués en priorité à l'Aviation à long rayon d'action<sup>24</sup>, empêchent les équipages d'avions de combat russes d'attendre de longues minutes avant de pouvoir se rassembler et constituer une formation lourde apportant la masse et la concentration nécessaires pour réaliser des effets stratégiques. Les dispositifs sont par conséquent limités à des patrouilles simples voire légères (4 voire 2 avions) incapables de s'imposer contre des systèmes sol-air mobiles multi-cibles.

20. *Man Portable Air Defense System*

21. Y. Mahe, « Guerre en Ukraine : combats aériens dans le ciel d'Europe », *art. cit.*, p. 13.

22. T. Cooper, « [Here's why Moscow declared 'Total Aerial Superiority' in the Skies over Ukraine and why Russia does not use its Jets as Multi-Role Aircraft](#) », *The Aviation Geek Club*, 01/03/2022.

23. D. Leone, « [Former US Navy Operations Specialist explains why Russian Air Force pilots have the capability to defeat Ukrainian air defenses but they're not good at it](#) », *The Aviation Geek Club*, 07/05/2022.

24. J. Bronk, « [Is the Russian Air Force Actually Incapable of Complex Air Operations?](#) », *RUSI*, 04/03/2022.

Les VKS n'étaient pas prêtes à acquérir la supériorité aérienne. Pourtant, des réformes profondes avaient été conduites depuis 2008 permettant notamment l'acquisition de plusieurs centaines d'aéronefs neufs. Les raisons de ces lacunes capacitaires méritent d'être interrogées.

### **La remontée en puissance des VKS limitée par l'aventurisme russe de 2014**

Afin de comprendre ces insuffisances capacitaires, il est nécessaire de remonter à 2014. Les interdépendances entre les industries de défense russes et ukrainiennes sont alors très fortes et issues de l'héritage soviétique. Lors de la dissolution de l'URSS en 1991, 30 % environ de l'industrie de défense soviétique était localisée sur le territoire ukrainien.

Jusqu'à l'annexion de la Crimée en 2014, la Russie était le troisième client le plus important de l'industrie de défense ukrainienne. Elle en dépendait pour les moteurs d'hélicoptères qui étaient produits par l'entreprise *Motor Sich*, située dans la ville de Zaporizhia au sud-est de l'Ukraine. Une grande partie de sa flotte d'avions de transport était aussi liée à l'avionneur *Antonov* basé à Kiev<sup>25</sup>.

L'Ukraine tenait également un rôle essentiel dans l'approvisionnement des VKS<sup>26</sup> en missiles air-air. La conception et la production des missiles *Vympel R-27 (AA-10 Alamo)*, *R-73 (AA-11 Archer)* et *R-77 (AA-12 Ader)* se faisaient au sein de l'usine *Artem* de Kiev. Ironie du sort, le système hydraulique des *Su-34*, qui a participé à l'appui aérien des troupes russes lors de l'invasion, est aussi d'origine ukrainienne.

Après l'annexion de la Crimée par la Russie, *Ukroboronprom* (holding d'État créée en 2010 et regroupant plus de 100 entreprises publiques ukrainiennes du secteur de la défense) prit la décision de cesser toute exportation de matériels militaires vers la Russie. Cette décision fut confirmée le 17 juin 2015 par le président ukrainien Porochenko, qui interdit toute coopération industrielle militaire ou technologique avec la Russie.

Cette rupture des échanges avec le voisin russe fut un coup dur pour la pérennité économique de nombre d'entreprises aérospatiales ukrainiennes, bien que certaines aient réussi à développer d'autres produits, comme le moteur *AI 222-25* (conçu par *Ivtchenko-Progress* et produit par *Motor Sich*) dédié à l'avion d'entraînement avancé chinois *Hongdu L-15*. Mais cette rupture fut également lourde de conséquences pour le complexe militaro-industriel russe et la remontée en puissance des VKS. La production d'équipements russes, reposant sur des sous-traitants ukrainiens, a d'abord été largement freinée. La production de modèles de radars, d'autodirecteurs de missiles et de bombes guidées, comme celle des modules de guerre électroniques, ont également souffert de l'arrêt des livrai-

25. « [Russia & Ukraine Military Industry](#) », *Global Security*.

26. T. Cooper, « [Know Your Enemy: why the Russian Air-Space Force is not meant to fight the way Western Air Forces do and Why it rules the Ukrainian skies – above the frontline](#) », *The Aviation Geek Club*, 11/03/2022.

sons de composants et de sous-systèmes électroniques fabriqués par les entreprises ukrainiennes. L'État-major général des forces armées a tenté de substituer les importations de ces composants ukrainiens par des produits russes mais n'y est parvenu que partiellement à ce jour<sup>27</sup>.

Les ressources financières se sont révélées insuffisantes pour constituer des stocks capables d'approvisionner en munitions une campagne de bombardement intensive. Le processus industriel de production des munitions guidées<sup>28</sup> russes est particulièrement coûteux en raison de son absence de rationalisation. Il n'existe pas de kits de guidage modulaires pour convertir les bombes lisses en munitions guidées. Les *VKS* ont donc dû puiser dans leurs stocks très limités de munitions guidées, qui avait été déjà largement entamé par les opérations en Syrie. La production et l'achat de nacelles de désignation souffrent des mêmes difficultés d'approvisionnement et d'un sous-investissement chronique. Enfin, dans le domaine du brouillage, les *VKS* ont retenu des solutions moins onéreuses, intégrables sur plusieurs modèles d'aéronefs à l'image des *pod*s *Khybini*<sup>29</sup>, mais qui diminuent la capacité maximale d'emport d'armement.

Dans ce contexte, l'objectif de « démilitarisation » de l'Ukraine concernait également l'industrie de défense. Deux stratégies d'accaparement ou de destruction peuvent être mises en œuvre. L'accaparement de certaines industries ukrainiennes peut constituer un objectif pour combler les carences de l'industrie militaire russe venant d'être évoquées<sup>30</sup>. Cette stratégie fut appliquée après l'annexion de la Crimée en 2014. La Russie prit le contrôle des chantiers navals *Zaliv* à Kerch et put combler un trou capacitaire important en entamant par la suite la construction des futurs porte-hélicoptères d'assaut de la classe *Ivan Rogov*.

En même temps, Moscou semble poursuivre une stratégie complémentaire de destruction des infrastructures qui contribuent à l'effort de guerre ukrainien en produisant des munitions, en permettant la réparation ou l'entretien du matériel. La frappe survenue sur le centre de maintenance aéronautique de Lviv doit être interprétée en ce sens<sup>31</sup>. La suite du conflit donnera une indication sur la stratégie qui prévaut en suivant la nature des actions éventuelles qui seront menées contre les industriels *Yuzhmash/Yuzhnove* à Dnipropetrovsk (lanceurs *Zenit* et missiles balistiques intercontinentaux *SS-18 Satan*) et les motoristes *Ivchenko-Progress* et *Motor-Sich* à Zaporizhia.

Moscou a donc éprouvé de larges difficultés pour équiper l'ensemble de ses avions de combat de dernière génération avec des équipements avancés. L'ac-

---

27. J. Johanneson, « Russia's war with Ukraine is to acquire military industrial capability and human resources », *Journal of International Studies*, 2017, pp. 63-71.

28. *Vysokotchnoye oruzhiye – VTO*.

29. *Su-27, Su-34 et Su-35S*.

30. Sur l'industrie spatiale mondiale également du fait de la destruction d'*An-124* Condor. J. Rainbow, « *Antonov shortage threatens delivery delays for the biggest satellites* », *RUSI*, 7/04/2022.

31. « [Ukraine war : Russia destroys aircraft repair plant near western city of Lviv](#) », *BBC*, 18/03/2022.

quisition d'une flotte d'avions de combat importante en volume semble avoir été jugée prioritaire par rapport à la constitution d'une force plus réduite mais dotée d'équipements de pointe. Le Kremlin semble avoir voulu conserver un nombre important d'avions relativement modernes en ligne, dont le développement a néanmoins souffert de logiques budgétaires. Ce choix s'appuie sur une vision doctrinale propre aux forces armées et stratégestes russes.

### **La faible place de la puissance aérienne dans l'art opératif russe**

L'analyse des opérations aériennes russes selon le référentiel occidental suscite de nombreuses interrogations. Or, les planificateurs russes ne conçoivent pas l'utilisation de l'arme aérienne en termes d'effets produits mais comme un moyen d'appliquer une puissance de feu sur le « champ de bataille » ou « dans la profondeur » du dispositif militaire ennemi. La planification des opérations russes résulte *in fine* d'un corpus doctrinal résolument différent du corpus occidental : l'art opératif russe. Cet art apparaît avec la théorisation du concept de bataille profonde<sup>32</sup> par Triandafilov dès 1928 dans *The Nature of the Operations of Modern Armies*<sup>33</sup>. L'importance de l'aviation, encore balbutiante<sup>34</sup>, est peu reconnue. Publié en 1936, *The Evolution of Operational Art* d'Isserson<sup>35</sup> marque un tournant avec l'intégration des composantes armées dans la manœuvre. L'*opérative* y est définie comme l'art d'obtenir une succession d'effets au niveau d'un théâtre par la combinaison des différentes armes terrestres (infanterie, cavalerie, artillerie, etc). Le but est de percer le front en différents endroits grâce à une forte puissance de feu, d'exploiter les brèches en lançant des troupes mobiles dans la profondeur du dispositif ennemi pour détruire ses points névralgiques et provoquer son effondrement. L'essence de l'art opératif est la recherche de la victoire au niveau stratégique par la combinaison des moyens et l'analyse du système adverse dans sa profondeur.

L'aviation est encore une fois peu évoquée. Isserson constate la faiblesse quantitative et qualitative des avions de combat à la fin du premier conflit mondial<sup>36</sup>. Prenant pour un fait accompli ce manque de performance, il envisage que l'apport des trop rares forces aériennes se fasse d'abord au profit des troupes terrestres<sup>37</sup>. L'aviation doit contribuer à la rupture du front adverse grâce à ses feux<sup>38</sup> et soutenir l'offensive dans la durée en frappant les réserves ennemies<sup>39</sup>. C'est cet usage de la puissance aérienne qui sera retenu par les Soviétiques pendant

---

32. *Dalnaya voeyna* : guerre profonde, *dalnaya glubovskaiy* : bataille profonde.

33. V. K. Triandafilov, *The Nature Of The Operations Of Modern Armies*, Routledge, Oxon, 1994.

34. Triandafilov réduit l'aviation de combat à sa portion congrue comme : « [des forces] réalisant un accomplissement direct de missions de combats usuellement concentré sur les niveaux opérationnel-tactique et tactique ».

35. G. S. Isserson, *The Evolution of Operational Art*, Combat Studies Institute Press, Fort Leavenworth.

36. V. K. Triandafilov, *op. cit.*, p. 72.

37. *Ibid.*, p. 62.

38. *Ibid.*, p. 66.

39. *Ibid.*, p. 67.

la Seconde Guerre mondiale, à une échelle industrielle cette fois. Il consacra l'emploi du couple char-avion pendant la série d'offensives victorieuses qui repoussent les armées allemandes jusqu'à Berlin.

Cet art opératif va dominer la pensée soviétique pendant toute la Guerre froide. Et si la vision de la puissance aérienne russe a évolué aujourd'hui<sup>40</sup>, les officiers russes qui en discutent dans la revue *Voenna Mysl' – Military Thought* peinent toujours à allier nouvelles théories et anciennes pratiques. Dans la lutte contre des « *forces armées irrégulières* »<sup>41</sup> en Syrie, les Russes ont continué à axer leurs réflexions sur le volet terrestre<sup>42</sup>. Ils évoquent volontiers la notion de supériorité des feux plutôt que celle de supériorité aérienne<sup>43</sup>. Fort des leçons retenues du conflit syrien, les chefs militaires ont insisté sur le développement des capacités de l'infanterie et de l'artillerie avec le système C2 associé, tirant de cette expérience des conclusions simplistes<sup>44</sup>. Le succès relatif des forces aériennes russes en Syrie aura peut-être freiné les réflexions sur une utilisation différente de la puissance aérienne et ainsi contraint la préparation du conflit ukrainien.

Dans ce contexte, la supériorité aérienne au-dessus du champ de bataille n'est pas un objectif devant être recherché impérativement, mais un état contribuant à l'obtention de la supériorité des feux sur le théâtre. L'impulsion nécessaire pour réorganiser les forces de défense aérienne devant protéger les unités terrestres russes contre les drones de type *TB2* n'est pas donnée, malgré le fait qu'ils aient été perçus comme une menace après le conflit au Haut-Karabagh<sup>45</sup>. Les lacunes dans le domaine de la *SEAD*<sup>46</sup> sont également sévères. Les Russes n'effectuent qu'une succession de frappes sans réelle coordination apparente pendant une campagne « *mass missile-aircraft strikes* » (*MMASs*)<sup>47</sup> devant supprimer les défenses aériennes adverse. Des missiles balistiques (*Iskander-M*) ou de croisière (*Kalibr*, *Kh-55* et *Kh-101*) sont lancés pour frapper les batteries sol-air ukrainiennes, avec un succès relatif, certains de ces missiles étant même interceptés par la défense sol-air ukrainienne.

40. V. Tourret, « Les approches multidomaines russe et chinoise : un même combat aérospatiale ? » *Vortex 1*, 2021, pp. 39-51.

41. Col. K. A. Trotsenko, « Hostilities in Syria : Just an Incident, or an Advance in Methods of Conducting Combined-Arms Combat », *Military Thought*, vol 30, n°1, 2021, p. 75.

42. « *Then verify the conclusions made during field experiment, arm current domestics tactics with the guiding idea of combined-arms combat, and start developing the modern basics of the army and strategic operation* » *Ibid.*, p 79.

43. « *Superiority in the possibilities of target reconnaissance and target designation as a type of fire preponderance and a consistuent of fire superiority is precisely what ensures high speed advance. In the absence of similar preponderance, an attack will invariably encounter a variety of ambushes, firing lines, wandering tanks, armor groups, and other small-tactic inventions that necessitate depositing many tons of ammunition ahead of advancing troops* », *Ibid.*, p. 95.

44. Col. A. P Korabelnikov, Col. Yu. V. Krinitsky, « Evolution of Operational Doctrine and Tactics of Fighting in *Aerospac*e », *Military Thought*, vol 30, n° 4, 2021, pp. 80-90.

45. Col. A. V. Shubin, Col. I. V. Kot, Col. A. A. Kuzenkin, « Changing Conceptual Approaches to Aviation Usa in Wars of the Future, Based on the Nagorno-Karabaghk Conflit », *Military Thought* vol 30, n°4, 2021.

46. *Suppression of Enemy Air Defense*.

47. Col. V. N. Tikshayev, Lt. Gen. V. V. Barvinenko, « The Problem of Fighting Unmanned Aerial Vehicles and Possible Solutions », *Military Thought*, vol. 30, n°2, 2021.

Facteur aggravant, les *VKS* semblent peu influentes dans les arcanes du pouvoir russe, dont les membres n'ont pas de culture aéronautique militaire. Les forces aériennes russes sont désormais dirigées par un général de l'armée de Terre<sup>48</sup>. Les *OSK* qui contrôlent respectivement les forces russes à un niveau interarmées en Ukraine sont commandés par des généraux issus majoritairement de la cavalerie, de l'infanterie ou de l'artillerie. Le ministre de la Défense est un ancien civil, apprécié pour ses qualités de réformateur plutôt que de stratège<sup>49</sup>.

La modernisation capacitaire des *VKS* initiée à partir de 2008 n'a pas été accompagnée des réformes doctrinales nécessaires pour intégrer la puissance aérospatiale russe dans les planifications stratégiques, voire opérationnelles. Les *VKS* ont dès lors retrouvé leurs vieux réflexes opérationnels, en privilégiant leur rôle d'artillerie aérienne et en négligeant la conquête de la supériorité aérienne sur l'ensemble de l'Ukraine.

### **Continuer la guerre dans les airs par d'autres moyens**

Alors que le plan initial a échoué, les *VKS* concentrent leurs efforts en basse et très basse altitude. Elles appuient les troupes au sol et tentent de la sorte d'éviter les tirs des systèmes sol-air de moyenne et longue portée. Conformément aux préceptes de l'art opératif, elles n'attaquent pratiquement pas les infrastructures sensibles sur le territoire ukrainien et ne produisent pas d'effets stratégiques. Une partie importante des *VKS* serait également placée en réserve pour dissuader ou contrer une potentielle attaque de l'OTAN. La perception de la menace extérieure reste très exacerbée chez les Russes du fait de leur traditionnel complexe obsidional. Cette paranoïa sécuritaire fait partie intégrante de la grammaire stratégique du Kremlin. La guerre pour les airs se poursuit alors sous des formes inattendues, avec des conséquences qui pèsent sur l'issue des combats au sol.

L'emploi des *VKS* rappelle les modes d'actions observés en Syrie. Elles alternent entre périodes d'engagement et de pause opérationnelle, comme lors de l'appui des troupes de la République arabe syrienne autour de la poche d'Idlib où la question de l'ouverture de corridors humanitaires se posait déjà. Les *VKS* lancent principalement des bombes non guidées. Elles sont confrontées à la menace sol-air très courte portée ukrainienne, doivent parfois agir en zone urbaine et évoluent dans des conditions météorologiques très mauvaises. Le nombre d'aéronefs russes abattu augmente considérablement au début de cette deuxième phase qui débute le 26 février. Les forces armées russes perdent en 6 jours au moins 3 hélicoptères (*Ka-52*, *Mi-35*) et 4 avions de combat (*Su-25*, *Su-30*, *Su-34* et *Su-35*)<sup>50</sup>. Les missions d'attaque semblent avoir lieu par la suite à l'aurore et au crépuscule. Les aéronefs sont moins vulnérables face aux *MANPADS* tandis que

---

48. *Sukhoputnyje voyska*.

49. M. Zygare, « All the Kremlin's Men, inside the court of Vladimir Putin », *Public Affairs*, 2016, p. 271.

50. S. Mitzer, « Attack on Europe : Documenting Equipment Losses During The 2022 Russian Invasion Of Ukraine », *Oryx*, 24/02/2022.

les équipages bénéficient d'un peu de luminosité qui compense les performances moyennes des jumelles de vision nocturne et des systèmes *FLIR*<sup>51</sup>.

L'aviation ukrainienne ne demeure pas inactive et attaque ponctuellement les forces russes. Plutôt statiques, ravitaillées avec difficulté, les forces russes constituent des cibles potentielles pour les avions de combat (*Su-24*, *Su-25UB*, *Su-27*) et drones ukrainiens encore opérationnels<sup>52</sup>. Des combats aériens continuent d'être observés. Des missions de chasse libre sont aussi effectuées<sup>53</sup> par l'aviation ukrainienne<sup>54</sup> sans désignation précise d'objectif par information radar, privilégiant l'emploi de missiles infra-rouges<sup>55</sup>. Les chasseurs de défense aérienne ukrainiens semblent opérer sous les ordres de contrôleurs au sol – *GCF*<sup>56</sup>. Ils s'appuient aussi sur un réseau de guet à vue et n'hésitent pas à utiliser les autoroutes comme piste de décollage ou d'atterrissage<sup>57</sup>.

Paradoxalement, la lutte pour la 3<sup>e</sup> dimension s'incarne dans la bataille menée contre les systèmes de défense sol-air mobiles. Ces derniers constituent une menace constante pour les équipages, parfois plus occupés à réaliser leur protection qu'à assurer leurs missions. En l'absence de moyens *SEAD* dédiés, la capacité d'interdire l'utilisation de la 3<sup>e</sup> dimension a pu être localement mise en œuvre par un des belligérants grâce au déploiement de systèmes sol-air adaptés.

Les forces armées russes semblent néanmoins avoir éprouvé des difficultés pour empêcher les aéronefs ukrainiens, surtout les drones, de survoler leurs unités. Les systèmes de défense sol-air (*SA-15*, *SA-17*, *SA-22*) pourtant intégrés au niveau régimentaire n'ont pu parfois assurer convenablement la veille aérienne et fournir une bulle de protection. Le manque de communication, de coordination inter-brigade, de soutien et de ravitaillement (carburant, dépannage, cartographie, manque d'entraînement des opérateurs) en sont probablement la cause. L'abandon par les forces russes de certains engins composant les batteries sol-air ou leur tractage par les populations civiles ukrainiennes ont aussi prouvé le manque de détermination initial des forces russes. Cette abdication des opérateurs face aux épreuves de la guerre peut s'expliquer par la présence de nombreux conscrits qui, manipulés par leur commandement, pensaient participer à des exercices avant de devoir basculer brutalement dans une lutte meurtrière face à leurs frères slaves.

51. J. Bronk, « Is the Russian Air Force Actually Incapable of Complex Air Operations? », *RUSI*, art. cit.

52. S. Mitzer, « [Defending Ukraine - Listing Russian Army Equipment Destroyed By Bayraktar TB2s](#) », *Oryx*, 27/02/2022.

53. T. Cooper, « [Here's why Ghost of Kyiv, the Ukrainian Mig-29 pilot credited for having shot down 6 Russian jets is just an Urban Legend](#) », *The Aviation Geek Club*, 25/02/2022.

54. Selon Justin Bronk : 200-250 sorties aériennes sont observées par jour pour les *VKS* mais très peu sont réalisées au-dessus de l'Ukraine ; 5 à 10 sorties aériennes sont observées par jour pour les forces aériennes ukrainiennes qui conserveraient environ 55 avions de combat opérationnels.

55. T. Newdick, « Ukrainian Mig-29 Pilot's Front-Line Account of The Air War Against Russia », *The War Zone*, 01/04/ 2022.

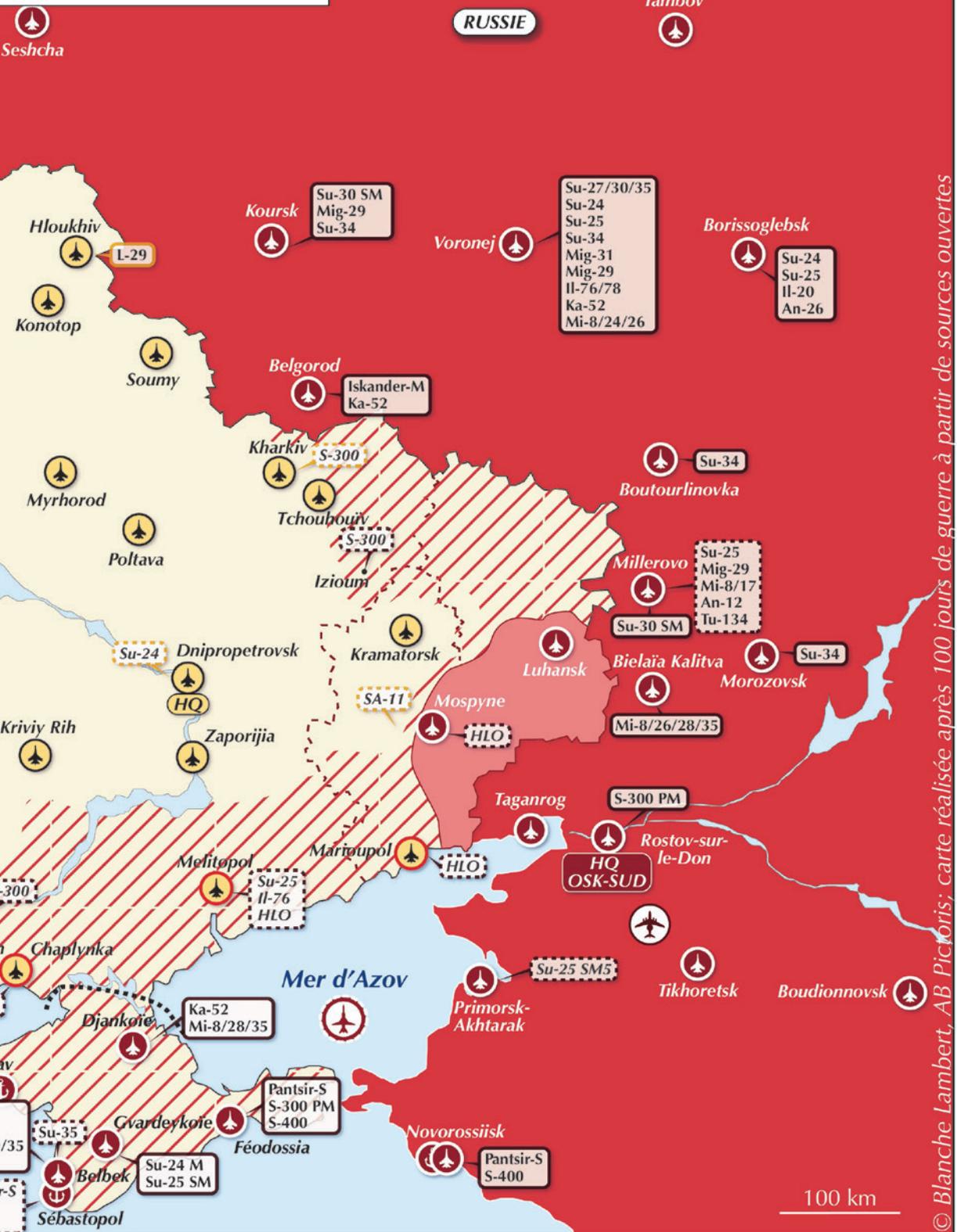
56. *Ground Control Interception*.

57. T. Newdick, « Ukrainian Mig-29 Pilot's... », art. cit.

## La bataille aérienne



# Ukraine



© Blanche Lambert, AB Pictoris; carte réalisée après 100 jours de guerre à partir de sources ouvertes

D'un point de vue moral, la population ukrainienne semble avoir été plutôt galvanisée par les victoires aériennes du « *Ghost of Kyiv* ». Qu'elles soient réelles ou fictives importe peu finalement. Elles auront probablement contribué au sursaut national ukrainien et au renforcement de l'esprit combattif collectif. La chanson ukrainienne à la gloire du *TB-2 Bayraktar*<sup>58</sup> participe du même effet. Ces récits, ces chants prouvent que le milieu aérien continue de fasciner les opinions publiques et stimule l'imaginaire. Le détournement de vidéos de jeux de consoles pour accrédi-ter des victoires aériennes sur des avions de chasse russes (*MiG-29* contre *Su-27*) participent de la même démarche.

Compte tenu de son importance opérationnelle et morale, il est normal que le président Zelensky ait érigé la 3<sup>e</sup> dimension comme un enjeu vital pour l'Ukraine. Il n'a cessé de demander à ses partenaires occidentaux de « *fermer le ciel* ». Il a souhaité qu'une *no fly zone* soit instaurée au-dessus de son pays, en évoquant devant le Congrès américain les dommages causés par l'attaque de Pearl Harbor et l'attentat du 11 septembre 2001. Des pays d'Europe de l'Est, comme la Pologne, ont proposé de fournir des *MiG-29* encore présents dans leurs arsenaux. La Russie a par ailleurs annoncé que l'utilisation d'aérodromes étrangers par l'aviation ukrainienne constituerait une ligne rouge, qui entraînerait une escalade du conflit. Des moyens alternatif sont donc utilisés pour tenter de maîtriser la 3<sup>e</sup> dimension et en exploiter tous les avantages.

## **Les sanctions et l'industrie aérospatiale russe**

Les sanctions vont probablement pénaliser l'industrie aérospatiale et les capacités opérationnelles des *VKS*. Les exportations d'armement aérien russe pourraient ainsi décroître prochainement du fait des piètres performances initiales observées par les forces armées russes. Il reste néanmoins difficile de prédire exactement l'ampleur du déclin de l'industrie russe tant ses ingénieurs ont fait preuve de facultés d'adaptation dans un passé récent.

Alors que la campagne de Syrie offrait une vitrine d'exposition aux matériels russes et a probablement suscité une augmentation des exportations, les sanctions occidentales font déjà sentir leurs effets. L'usine d'Ulyanovsk a stoppé sa production de systèmes anti-aériens tels que le *SA-19 Grison (2K22 Tunguska)* et le *SA-17 Gadfly (Buk M3)*<sup>59</sup>. Une partie de ses salariés a été mis au chômage technique après l'arrêt des livraisons de systèmes électroniques fabriqués par l'Allemagne.

L'arrivée du nouvel *AWACS* russe *Beriev A-100* est aussi retardée<sup>60</sup>. La production de l'avion qui doit remplacer le *Beriev A-50 Mainstay* est arrêtée en raison des sanctions touchant la fourniture de composants électroniques critiques. L'avion ne pourra pas entrer en service au mieux avant 2024. Des problématiques

58. « [Bayraktar Ukrainian War song](#) », Youtube, 04/03/2022.

59. E. Le Meitour, « [La Russie asphyxiée : elle met fin à certaines de ses productions militaires modernes](#) », *Air&Cosmos*, 20/04/2022.

60. T. Newdick, « [Western Sanctions are driving delays in fielding Russia's New A-100 Radar Plane: Report](#) », *The WarZone*, 03/02/2022.

similaires sont rencontrées pour la production de chars *T-90* et *T-14 Armata* et dans les chantiers navals de Vladivostok.

Les sanctions semblent donc donner de premiers résultats probants à court-terme. À plus long terme, la capacité de l'industrie russe à proposer des solutions nationales sera déterminante, notamment si le niveau de pertes matérielles était élevé.

Certaines stratégies de contournement sont probablement envisageables. Bien que cela reste hypothétique aujourd'hui, une partie des sanctions occidentales pourrait être compensée par d'autres États qui pourraient se positionner comme des intermédiaires concernant les paiements et les flux de marchandises entre la Russie et l'Occident.

Les sanctions ont également touché le secteur aéronautique civil au travers de l'interdiction faite aux compagnies russes de desservir un grand nombre de pays occidentaux. *Airbus* et *Boeing* ont par ailleurs cessé la fourniture de pièces détachées<sup>61</sup> et leurs activités de formation auprès de leurs clients russes. Une pénurie de ces pièces détachées pourrait apparaître dès 2023. Or, le bon fonctionnement du transport aérien intérieur est un enjeu critique pour l'économie russe, compte tenu de l'étendue du pays. Pour répondre à ces sanctions, le président Poutine a promulgué dès le début du conflit une loi permettant aux compagnies aériennes locales de s'approprier les avions présents sur le sol russe, qui appartiennent à des sociétés occidentales ayant cessé leurs activités en Russie<sup>62</sup>, pour les utiliser sur les vols intérieurs. Environ 500 appareils occidentaux de type *Boeing* ou *Airbus* seraient concernés, qui appartiennent majoritairement à des sociétés de *leasing*, principalement situées en Irlande. *Sukhoi* pourrait en outre tirer parti de cette situation en dopant ses ventes de *Superjet-100* ou *Irkut MC-21*. Les revenus générés par cette activité offrirait à l'entreprise une opportunité bienvenue de financer ses dépenses de R&D autour des projets militaires.

L'industrie spatiale russe est également touchée par les conséquences du conflit, comme l'a affirmé le président Biden. En retour, la Russie a cessé de fournir les moteurs *RD-180* et *RD-181* qui propulsent les fusées commercialisées par *United Launch Alliance* et *Northrop Grumman*. Elle a par ailleurs conditionné le lancement des satellites de la constellation *OneWeb* depuis Baïkonour à la garantie que ces satellites ne seraient pas utilisés à des fins militaires. Le conflit pourrait donc entraîner des délais allongés dans la production et le lancement de futurs satellites militaires, alors que les Ukrainiens ont recours à des opérateurs privés de satellites, comme *Starlink* pour la communication ou *Maxar*, *Capella Space* ou *Planet Labs* pour l'imagerie. La question de leur éventuelle qualification de cibles militaires potentielles par l'un des belligérants est d'ailleurs soulevée<sup>63</sup>.

61. L. Barnier, « [L'état se resserre encore autour de l'aviation civile russe, lâchée par Boeing et Airbus](#) », *La Tribune*, 03/03/2022.

62. L. Barnier, « [Ukraine : les loueurs d'avions et les compagnies aériennes russes pris sous le feu croisé des sanctions et contre-sanctions](#) », *La Tribune*, 17/03/2022.

63. Lt. Col. T. Goines, J. Biller, Maj. J. Grunert, « [The Russia-Ukraine war and the space domain](#) », *Lieber Institute – West Point*, 14/03/2022.

Finalement, les industries aérospatiales russes et ukrainiennes pourraient être les grandes perdantes de ce conflit. La première essuierait de larges pertes financières liées à l'arrêt des lancements de satellites occidentaux. La seconde pourrait assister à la destruction partielle de son outil industriel. Pour faire face à cette nouvelle donne, la coopération spatiale avec la Chine paraît être l'orientation préférentielle retenue par la Russie. Bien que cette option soit potentiellement intéressante d'un point de vue technique, elle ne résout pas le problème du financement de l'industrie spatiale russe, largement dépendante des contrats de lancement avec l'étranger.

Les multiples conséquences des sanctions économiques sur l'industrie aérospatiale russe civile ou militaire pénaliseront sérieusement sa capacité à produire rapidement. Elles pourraient provoquer également un renforcement des coopérations bilatérales régionales en la matière, notamment avec la Chine, voire l'Inde.

## **Conclusion**

Deux assauts aéroportés sur l'aérodrome d'Hostomel le 24 et le 25 février n'ont pas suffi à provoquer un changement de régime. Les Russes auraient-ils fait preuve d'un excès de confiance dans le premier temps de l'offensive? Il est probable qu'ils aient volontairement bridé l'emploi de leur puissance aérienne par surestimation de leurs capacités terrestres et par une mauvaise appréciation de la résistance ukrainienne. Le coup de l'annexion de la Crimée ne s'est pas reproduit. Les *VKS* n'ont finalement pas produit les effets recherchés habituellement par les forces aériennes occidentales. Ne bénéficiant pas d'une base industrielle et technologique de défense (BITD) très performante, freinées par un appareil doctrinal ne la mettant pas en valeur, elles n'ont pas su conquérir la supériorité aérienne, ce qui a eu des conséquences sur la forme des combats terrestres. Dans le même temps, Kiev n'a pas hésité à mettre en avant chaque victoire acquise dans les airs pour galvaniser le sursaut national face à l'invasion.

Baucoup d'experts s'interrogent sur les capacités des *VKS* à soutenir un engagement contre des puissances aériennes plus aguerries. Hanté par les craintes « *d'une campagne de frappes aériennes massive intégrée* »<sup>64</sup> contre son propre territoire, Moscou a probablement voulu préserver ses forces aériennes les plus modernes pour défendre la Russie.

Les forces que la Russie mobilise désormais en Ukraine et surtout les pertes occasionnées, affaibliront considérablement les capacités conventionnelles sur lesquelles Moscou comptait. Des années seront probablement nécessaires pour les régénérer si son outil industriel parvient à se relever des lourdes sanctions occidentales qu'elle se voit infliger. Moscou pourrait ainsi voir son positionnement stratégique fortement contesté dans son « étranger proche » comme au Moyen-Orient.

---

64. P. Gros, S. Delory, V. Tourret, « Stratégies russes et guerre en Ukraine : état des lieux », *Note* n°03/22, Fondation pour la Recherche Stratégique, 01/03/2022.

# La cosmostratégie offensive de la Russie

Lieutenant Anne Maurin

*Officier de l'armée de l'Air et de l'Espace en poste au CESA, Anne Maurin est doctorante en géographie à Sorbonne Université. Ses recherches portent sur l'utilisation stratégique de l'espace extra-atmosphérique par la Russie.*

Le 2 mars 2022, le directeur de *Roscosmos*, l'agence spatiale fédérale russe, proteste contre l'exécution de cyberattaques menées contre des infrastructures satellitaires russes durant la guerre en Ukraine, les comparant même à un *casus belli*<sup>1</sup>. Un mois plus tard, les États-Unis accusent la Russie du brouillage de leurs satellites de navigation<sup>2</sup>. Ces déclarations montrent que la paralysie, même partielle, des moyens spatiaux pourrait devenir un événement incontournable dans des conflits de grande ampleur.

L'étude de la « cosmostratégie » peut nous aider à mieux appréhender ce tournant stratégique. La géostratégie est l'étude des manœuvres d'un stratège dans un environnement géographique donné pour maîtriser ce milieu et l'exploiter à des fins de puissance<sup>3</sup>. La « cosmostratégie » revient à décliner cette définition à l'espace extra-atmosphérique et au cosmos. La légitimité de la cosmostratégie se justifie tant l'espace extra-atmosphérique est désormais indispensable pour la mise en place d'une stratégie militaire, économique ou même plus prosaïquement pour les usages de notre vie quotidienne. Depuis les années 1990, les opérations militaires s'appuient sur des satellites militaires, mais aussi civils, commerciaux, voire duaux, qui améliorent sans cesse la connaissance du terrain, de la situation opérationnelle et facilitent la conduite des actions de manière coordonnée, plus rapide et plus précise. Du fait des informations qu'ils fournissent, ces satellites doivent être protégés contre de nombreuses menaces, qu'elles soient naturelles ou humaines. Ces menaces sont accrues par l'encombrement grandissant des orbites et les risques de

1. « [Rogozine, les cyberattaques contre des satellites russes sont des casus belli](#) », *Interfax – Agentsvo voennykh novostei*, 02/03/2022 (trad. du russe).

2. « *Ukraine may not be able to use GPS because there are jammers around that prevent them from receiving any usable signal* », Gen. D. Thompson (*US Space Force Vice-Chief of Space operations*), « *Russia is jamming US.-provided GPS signals in Ukraine* », *NBC nightly News*, 04/04/2022.

3. F. Debié, R. Ulrich, H. Verdier, « À quoi sert la géostratégie ? », *Stratégique*, 1, n° 50, 1991.

collision. Pour reprendre l'expression de Julien Gracq dans ses *Carnets de grand chemin*, reprise plus tard par Yves Lacoste dans son *Dictionnaire de géopolitique*, l'espace extra-atmosphérique est devenu un « paysage dangereux ».

La cosmostratégie appliquée au cas russe est particulièrement intéressante. De nombreux experts internationaux pointent depuis une décennie ou plus, le retard irrattrapable de la Russie dans le domaine industriel, notamment spatial. Dans le même temps, la presse et les réseaux d'informations ouverts du monde entier révèlent régulièrement des actions inquiétantes de la Russie sur ce théâtre. La gamme satellitaire russe est incomplète, mais on observe ces derniers mois un revirement sans doute dû au contexte conflictuel, avec cinq lancements militaires (quatre satellites et un essai) depuis le 5 février 2022. En trois mois, la Russie a lancé plus de satellites militaires que pendant toute l'année 2021. La question se pose de savoir comment la Russie parvient-elle avec des moyens qui semblent réduits, à entretenir dans l'espace extra-atmosphérique une stratégie militaire offensive ?

La Russie tente de maintenir une stratégie spatiale de défense grâce à un parc spatial relativement complet, quoique précaire. Ses actions offensives non cinétiques en orbite s'inscrivent dans une stratégie de guérilla destinée à montrer son pouvoir de nuisance. Elle peut ainsi gagner du temps afin de réinstaller progressivement sa capacité offensive dans l'espace et demeurer, coûte que coûte, une puissance spatiale militaire.

### **Une Russie présente dans l'espace sur (presque) tous les fronts**

Le 12 avril 2021, à l'occasion du 60<sup>e</sup> anniversaire du premier vol de Youri Gagarine, Vladimir Poutine déclare : « *Au XXI<sup>e</sup> siècle, la Russie doit soutenir de manière adéquate son statut d'une des principales puissances nucléaires et spatiales, car l'industrie spatiale est directement liée à la défense* », soulignant l'importance stratégique de l'espace extra-atmosphérique pour la Russie.

Pour mener une cosmostratégie autonome, l'accès à l'espace est tout d'abord primordial. La Russie dispose aujourd'hui de plusieurs rampes de lancements, appelées « cosmodromes ». Le plus ancien est situé à Baïkonour au Kazakhstan, soit en dehors de la Russie, ce qui contrarie le pouvoir russe de plus en plus autarcique. Vostochny a été ouvert récemment, dans l'Extrême-Orient sibérien, à quelques centaines de kilomètres de la frontière chinoise. Plesetsk, qui était à l'origine une base de missiles stratégiques, est un autre cosmodrome situé à 800km au nord de Moscou, dans la région d'Archangelsk. La zone est entièrement close et défendue par les *Vozdushno-kosmicheskoye sily (VKS)*, les Forces aérospatiales russes. Des missiles et des fusées emportant des charges militaires y sont régulièrement lancés. Kapustin Yar, et Iasny dans une moindre mesure, sont également des lieux de lancement militaires. La Russie était enfin présente, jusqu'au mois de mars 2022<sup>4</sup>, sur le continent américain grâce au pas de tir

---

4. À la suite des sanctions généralisées contre la Russie en réponse au conflit en Ukraine, *Roscosmos* a fermé son pas de tir *Soyouz* en Guyane et rappelé tous ses salariés en Russie.

*Soyouz* situé sur le Centre spatial guyanais. Toutes ces infrastructures permettent de placer des satellites, vaisseaux, sondes, etc. sur une grande gamme d'orbites.

*Un parc spatial militaire russe apparemment complet mais précaire*

### Aspects quantitatifs

D'une manière générale, il est difficile de recenser exactement l'ordre de bataille russe dans l'espace. L'utilisation militaire, civile, commerciale ou duale (c'est-à-dire combinant usage civil ou commercial et usage militaire) des objets spatiaux en Fédération de Russie est souvent ambiguë. La Russie pourrait néanmoins compter approximativement sur 120 satellites (toutes catégories, civiles, commerciales, duales, militaires) opérationnels en orbite<sup>5</sup>. Ce faible nombre contraste avec le rythme élevé de lancements spatiaux à l'échelle mondiale. Des dizaines, voire des centaines de nanosatellites sont lancées régulièrement pour *Starlink*, ou dans une moindre mesure, pour *OneWeb* ou encore par la Chine. Le nombre de satellites militaires (militaires ou duaux) russes en service peut être estimé à environ 80<sup>6</sup>, en excluant cependant tous les programmes civils ou commerciaux qui, selon la loi<sup>7</sup>, doivent pouvoir être mis à disposition de l'État en fonction de ses besoins (notamment opérationnels).

### Aspects qualitatifs

Si l'accès à l'espace est garanti, la composante spatiale russe est réduite d'un point de vue quantitatif. Beaucoup de satellites se retrouvent progressivement hors d'usage et le nombre de lancements militaires ne permet pas de rattraper ce retard, créant ainsi des lacunes dans certaines constellations. L'analyse actuelle du parc spatial russe, que ce soit dans le domaine militaire ou civil, montre que la Russie est loin des standards qu'elle maintenait du temps de la Guerre froide et qu'elle éprouve certaines difficultés à tenir son rang de puissance spatiale. La trop rare hausse des budgets alloués au renouvellement des programmes satellitaires, le manque de composants essentiels du fait des sanctions économiques, la corruption, les détournements de fonds, les difficultés de suivi de gestion des programmes entraînent une déficience ou des retards à répétition dans de nombreux programmes. Le seul domaine où la Russie disposait d'un monopole (jusqu'au printemps 2020), le vol spatial habité, est désormais partagé avec un acteur privé américain, *SpaceX*. Mais le spatial militaire n'en demeure pas moins pour la Russie une priorité, particulièrement dans un contexte géopolitique tendu.

5. « Opérationnel » signifie dans cet article que le satellite semble être en état de marche le 07/04/2022 selon des bases de données en sources ouvertes. Ce chiffre peut sembler en deçà des déclarations russes, portant ce nombre à 160 au mois de juin 2022.

6. Cette estimation est relative, car dépendante de différentes bases de données : celle de l'*Union of Concerned Scientists (UCS) Database*, mise à jour régulièrement, et pour un compte-rendu plus précis de l'opérationnalité de certains satellites, la base de données de l'astrophysicien Jonathan McDowell, qui répertorie pour chaque objet lancé dans l'espace depuis 1957, une date de lancement (*LDate*) et une date à laquelle le satellite est connu pour ne plus être fonctionnel (*TDate*). Il faut alors partir du principe, difficilement vérifiable, qu'en l'absence de *TDate*, le satellite est potentiellement toujours opérationnel.

7. Loi fédérale, « *Zakon RF ot 20.08.1993 N 5663-1 (red. ot 11.06.2021) O kosmicheskoi deyatel'nosti* », Article 2. « Le concept d'activités spatiales », en russe dans le texte.

La composante spatiale d'observation militaire de la Terre (optique et radar) est sans doute le parent pauvre des capacités spatiales russes. L'observation optique de la Terre est assurée grâce à deux programmes post-soviétiques, appelés *Persona* et *Bars*. Bien qu'assez anciens, avec une résolution plutôt faible (sans doute 50 cm pour *Persona*), cinq satellites sont opérationnels sur des orbites héliosynchrones (permettant un large point de vue). La capacité d'observation radar, offrant l'opportunité de disposer d'images à travers les couches de nuages et de s'affranchir des conditions météorologiques, est quasi-inexistante. Aucune certitude n'existe sur le fait que le satellite *Kondor*, dédié à cette tâche, soit encore opérationnel. Cette capacité a pu être retrouvée car le satellite *Neutron.1*, lancé le 5 février 2022, pourrait détenir des capacités d'imagerie optique et radar. Les forces militaires russes peuvent néanmoins compter sur les constellations civiles et commerciales russes, qui leur fournissent probablement des images (*Kanopus* ou *Resurs* ou encore *GEO IK2* pour la cartographie).

Dans la continuité des missions de surveillance et d'observation, les forces aérospatiales russes gèrent aussi les capacités spatiales d'alerte avancée (constellation *EKS*, composée de 4 satellites lancés entre 2017 et 2021) ou de renseignement électromagnétique et d'écoute. Les satellites *Lotos*<sup>8</sup> interceptent les signaux radio, permettant de localiser et d'identifier des éventuelles cibles militaires (mobiles ou non). Les satellites *Pion* sont d'autres engins d'écoute électronique de nouvelle génération, dont un seul exemplaire est pour l'instant en orbite (lancé le 25 juin 2021). Il dispose d'un radar dont la mise en œuvre est essentiel en soutien des opérations terrestres ou navales et pour la détection des cibles n'émettant pas de signal radio<sup>9</sup>. La composante *ELINT* (*Electronic Intelligence*, *KREN* en russe) monte en gamme, après avoir été dans un état préoccupant. Trois lancements de satellites de ce type ont été effectués depuis 2021, ce qui pourrait signifier que les Russes en font une priorité et cherchent à sécuriser leurs capacités spatiales dans ce domaine. Il semble que des programmes comme *Akvarel* ou *Repei*<sup>10</sup> soient déjà en développement pour assurer leur remplacement.

Une autre des priorités essentielles du spatial militaire est le maintien à niveau d'une constellation autonome de navigation satellitaire russe. Le programme *Glonass* a débuté à cette fin dans les années 1980 et la composante russe de navigation est aujourd'hui composée de 24 satellites opérationnels environ. C'est le nombre minimal de satellites nécessaires pour obtenir une position relativement précise sans avoir recours à d'autres systèmes GNSS. De nouveaux satellites *Glonass* sont lancés à peu près tous les ans, même si la dernière mise en orbite remonte déjà à octobre 2020, ce qui pourrait susciter une dégradation des performances à terme.

Enfin, la composante russe de communication est la plus importante en

---

8. A. Zak, « Liana », [www.russianspaceweb.com](http://www.russianspaceweb.com), mise à jour le 7 avril 2022.

9. B. Hendrickx, « [The Space Review: The status of Russia's signals intelligence satellites](#) », *The Space Review*, 05/04/2021.

10. B. Hendrickx, *op. cit.*

nombre (61 satellites opérationnels tous domaines confondus). Les constellations commerciales sont développées par des entreprises dont l'actionnaire majoritaire est *Roscosmos* (*Gonets*, *Yamal*, *Ekspress*, etc.). La constellation *Loutch* est censée servir de relais entre les moyens de communications terrestres et spatiaux, notamment la station spatiale internationale. Cette constellation pourrait sembler réduite, car elle ne comprend que quatre satellites. Mais elle accueillait au départ le satellite espion *Loutch-Olymp*, qui entreprend régulièrement des missions d'écoute électromagnétique auprès de satellites étrangers, notamment français<sup>11</sup>.

La composante militaire de communication dispose pour sa part de 29 satellites. Les télécommunications militaires sont assurées par la constellation *Blagovest* (quatre satellites opérationnels, lancés entre 2017 et 2019). La constellation de 16 satellites *Rodnik*, lancés en orbite basse (1 500 km d'apogée) entre 2009 et 2018, offre aux services militaires, gouvernementaux et de renseignement russes la possibilité de disposer d'un relais de communication protégé. Elle est toutefois assez ancienne et la plupart de ses satellites pourraient être obsolètes. Les forces armées russes pourraient alors se tourner vers les *Gonets* dont les communications sont protégées. En plus des anciens satellites *Raduga*, des plus petites constellations modernes, comme les *Meridian* (six satellites lancés entre 2010 et 2022), évoluent sur l'orbite de *Molniya*. Elles permettent d'établir des communications militaires dans des zones non habitées ou difficiles d'accès (Arctique, Sibérie, Extrême-Orient russe) entre les navires, les avions et les stations sol ou mobiles.

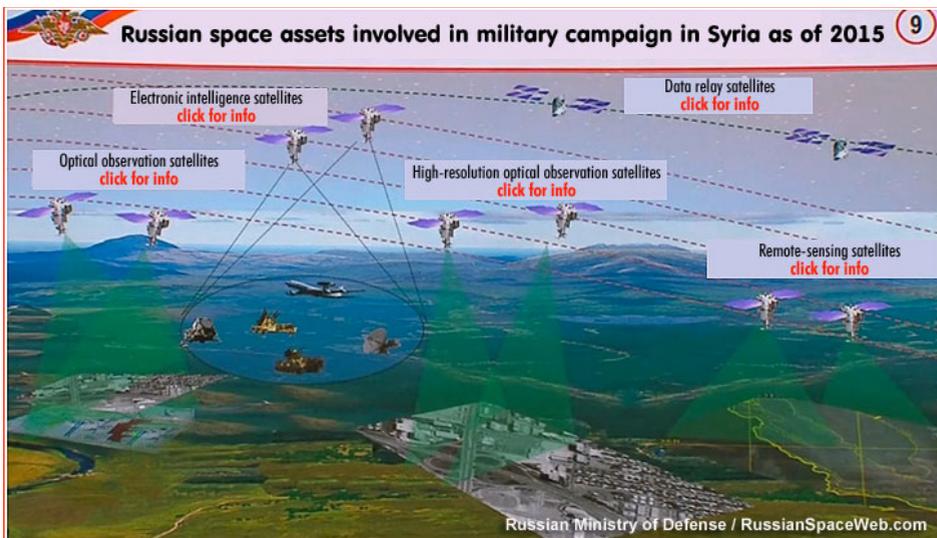


Figure 1 : Représentation des moyens militaires spatiaux russes dans un conflit comme celui de Syrie en 2015 (Source : Anatoly Zak, d'après une illustration du ministère de la Défense russe, publiée en 2015)

Tous ces moyens spatiaux ont pour vocation de s'intégrer dans un système de combat performant. Le ministère de la Défense russe<sup>12</sup> publie parfois, comme à l'occasion de l'intervention en Syrie, des schémas expliquant l'usage des com-

11. Déclaration de Mme Florence Parly, ministre des Armées, sur la défense spatiale, à Toulouse, le 07/09/2018.

12. Sur un site dédié au suivi de la situation opérationnelle en Syrie (syria.mil.ru).

posants spatiaux sur le champ de bataille. Mais l'état réel des constellations russes, la difficulté vraisemblable des armées russes à optimiser la coordination de leurs moyens et de la chaîne de commandement peuvent faire douter du bon fonctionnement de ce système. Le nombre de satellites est trop restreint pour que chacune des fonctions soit assurée parfaitement de manière continue. Les engins ne sont pas toujours opérationnels et leur nombre est insuffisant pour couvrir plusieurs théâtres. De récents articles de presse ou analyses<sup>13</sup>, mettant en évidence des problèmes de communication et de collecte de renseignement image pendant le conflit en Ukraine, vont dans ce sens.

Mais les difficultés rencontrées face à la résistance ukrainienne pourraient débloquer de nombreux programmes qui avaient des mois, voire même des années, de retard. Le président de *Roscosmos*, D. Rogozine, évoque de plus en plus ces problèmes, afin d'obtenir une priorisation des programmes spatiaux de défense. Le 11 avril 2022, la veille de la journée de la cosmonautique, commémoration traditionnelle du vol de Youri Gagarine (60 ans en 2021), il fait la déclaration suivante lors d'une interview pour la chaîne *Rossiyskaya Gazeta* : « *Dans une situation où il est nécessaire d'aider nos forces armées, nous avons à notre disposition des ressources plutôt modestes. Et cela m'inquiète personnellement. Par conséquent, une décision a été prise : consacrer tout le travail que nous ne considérons pas primordial dans cette situation particulière, de manière à ce que les fonds alloués soient entièrement orientés vers la création de nouveaux engins spatiaux. Nous devons doubler la constellation orbitale. Mettons-y toutes nos ressources – conception, organisation, production, technologie, financement. Il faut tout voir, tout entendre et pouvoir transmettre les informations nécessaires* »<sup>14</sup>.

Il semble ainsi que le conflit en Ukraine accélère le lancement de satellites militaires pour compléter certaines constellations. Le 5 février 2022, les forces armées russes placent en orbite un satellite *Neutron*, qui semble destiné *a priori* à produire de l'imagerie radar. Le 22 mars 2022, la Russie annonce le lancement d'un satellite militaire de télécommunications *Meridian-M* (en orbite de *Molniya*, une orbite lointaine et ultra-elliptique, à plus de 40 000 kilomètres d'apogée). Le 7 avril 2022, le ministère de la Défense russe déclare avoir placé en orbite basse un satellite militaire d'écoute électronique de la gamme *Lotos-SI*. Encore plus récemment, le premier tir du lanceur lourd *Angara*, le 29 avril 2022, donne l'opportunité de mettre en orbite un objet spatial *Kosmos 2555*<sup>15</sup> du ministère de la Défense et le 19 mai, toujours depuis Plesetsk, un *Soyouz 2.1a* a mis en orbite un nouveau satel-

---

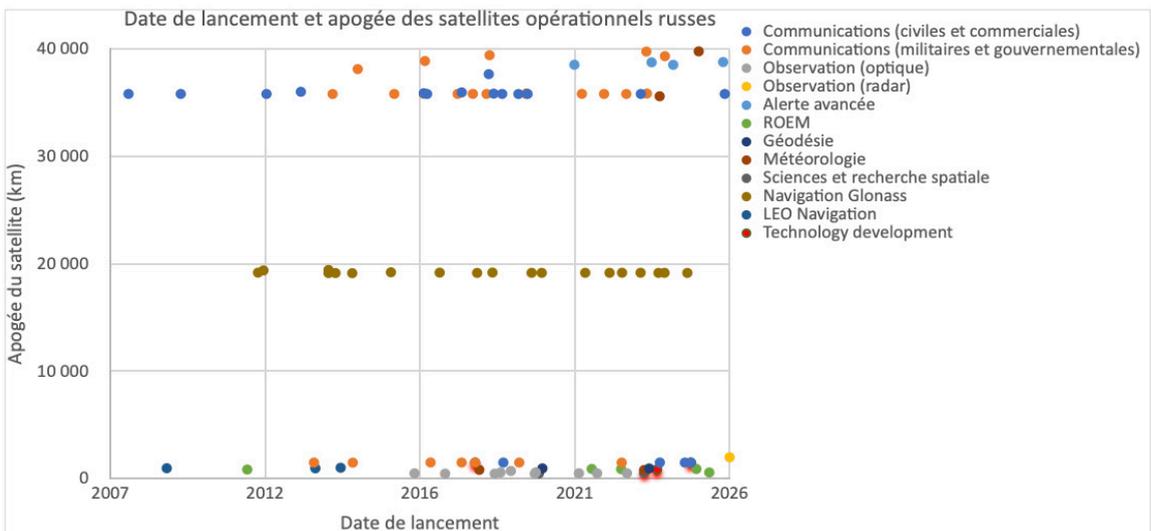
13. M. Krutov, S. Dobrynin, « La Russie aveugle. L'armée de Poutine est en train de perdre la guerre des satellites » (*Slepaya Rossiya. Armiya Putina proigryvaet sputnikovuyu voïnu*), *Radio Svoboda*, 08/04/2022.

14. « Rogozine : Notre priorité aujourd'hui c'est une constellation orbitale d'observation et de communication » (russe), *Rossiyskaya Gazeta*, interview par Natalia Yatchmennikova, 11/04/2022.

15. Certaines sources estimaient d'abord qu'il s'agissait d'un satellite d'observation de la gamme *EMKA* (environ 0,5m de précision), qui n'a aujourd'hui plus d'objet en orbite, mais il semble progressivement plonger en direction de la Terre afin de se désintégrer dans l'atmosphère, ce qui donne à penser qu'il s'agissait plutôt d'un test pour un lancement de satellite en orbite très lointaine.

lite d'observation optique pour la constellation *Bars*. En 2021, seuls trois satellites militaires russes ont été mis en orbite. Depuis le début de l'année 2022, 5 objets militaires ont été lancés et la cadence devrait se poursuivre dans les prochaines semaines et les prochains mois. Les programmes militaires, qui étaient souvent mis en pause pour diverses raisons (politiques, administratives, industrielles), semblent rapidement se débloquer. Un double constat naît de ce changement de rythme, facilité de plus par l'abandon de nombreux programmes spatiaux scientifiques. Les Russes prennent en compte le niveau insuffisant de leurs constellations et recentrent leurs priorités autour du spatial militaire.

### Cosmostratégie – Étude des manœuvres russes dans l'espace



Graphique réalisé pour les satellites lancés avant le 5 février 2022.

Source : Jonathan McDowell, UCS Database, Anatoly Zak-Russianspaceweb.com

Dans l'inventaire russe, une poignée de satellites en orbite, dont les caractéristiques restent méconnues, se distingue par leurs usages insolites : manœuvres dans l'espace, rendez-vous orbitaux, missions dites de « *développement technologique* ». De même, des actions non revendiquées adviennent régulièrement, surtout pendant les périodes de tensions géopolitiques ou de conflit (brouillage de satellites de navigation, par exemple *GPS* américain, de relais internet ou de communications utilisés dans la crise en Ukraine). Des opérations menées depuis le sol ou dans l'espace tentent, presque toujours de manière indirecte, d'harcéler ou de paralyser momentanément des entités étatiques ou privées. Une nouvelle ligne de front apparaît, peu visible dans la mesure où les actions sont souvent exécutées sous le seuil offensif et sont difficilement imputables ni revendiquées.

*Des satellites inspecteurs – agents de renseignement en orbite*

Le 23 mai 2014, une fusée *Rokot* place en orbite basse depuis Plesetsk plusieurs satellites militaires, dont trois *Rodnik*. Quelques observateurs remarquent la présence d'un autre objet, proche de ces trois satellites de communication. Une situation semblable avait déjà été rencontrée quelques mois auparavant<sup>16</sup>. D'abord identifié comme un débris, cet objet semble effectuer un certain nombre de manœuvres de manière progressive, qui modifient de quelques kilomètres son apogée et son périégée. Il est finalement répertorié et numéroté comme « *Cosmos-2499* »<sup>17</sup>. Ces manœuvres posent des questions non résolues quant à son rôle. Ni *Roscosmos*, ni le ministère de la Défense (*Minorobony*) ne répondent précisément aux interrogations des chercheurs et officiels anglo-saxons, qui perçoivent dans cette activité potentielle une menace contre le bon fonctionnement de leurs propres engins.

Les mouvements de *Cosmos-2499* sont intéressants à plusieurs titres. Les Russes déploient une capacité qui n'est pas directement dirigée contre des moyens étrangers. Une telle action serait considérée comme une agression. Ces manœuvres peuvent par ailleurs servir de tests et d'entraînement au cas où une éventuelle offensive spatiale devait être menée. Savoir déplacer un mobile dans l'espace et le projeter d'une orbite à une autre restent des techniques complexes mais essentielles à maîtriser. Or *Cosmos-2499* peut modifier sa trajectoire pour se rapprocher d'une cible. Il devrait parvenir à intercepter des images ou des communications auprès de celle-ci, à éventuellement la photographier et à transmettre ces informations vers les stations sol. Ce type de satellite inspecteur peut avoir également la capacité de lancer depuis l'espace un projectile à grande vitesse, voire un satellite. Cette capacité de lancement d'un projectile depuis un engin en orbite nécessite une grande technicité, mais fait naître la crainte d'une arsenalisation soudaine de l'espace.

*Cosmos-2499* a ainsi réalisé plusieurs manœuvres en 2014, 2015 et 2016 autour d'un étage (*Briz*) du lanceur russe *Rokot*, en s'approchant de lui, en se plaçant sur une orbite parallèle et en le doublant finalement avec une vitesse relative peu élevée. Ce genre de rendez-vous spatial nécessite un pilotage précis du satellite « chasseur », pour qu'il adapte précisément sa trajectoire à celle de l'objet chassé. *Cosmos-2499* n'est pas le seul satellite de ce type. D'autres engins ont été identifiés et sont regroupés sous l'appellation *Nivelir* par des experts occidentaux. J. McDowell, observateur et astrophysicien, écrit à ce sujet : « *En 2017, la Russie a commencé à lancer une nouvelle série de satellites qui ont effectué des opérations de proximité et lancé des satellites en orbite. Les satellites ont été lancés par le lanceur Soyouz-2-1v depuis le cosmodrome de Plesetsk. Ces satellites, apparemment, sont une continuation des satellites lancés avec les satellites de communication dans les missions Rokot en 2013-2015 (Cosmos-2491, -2499,*

---

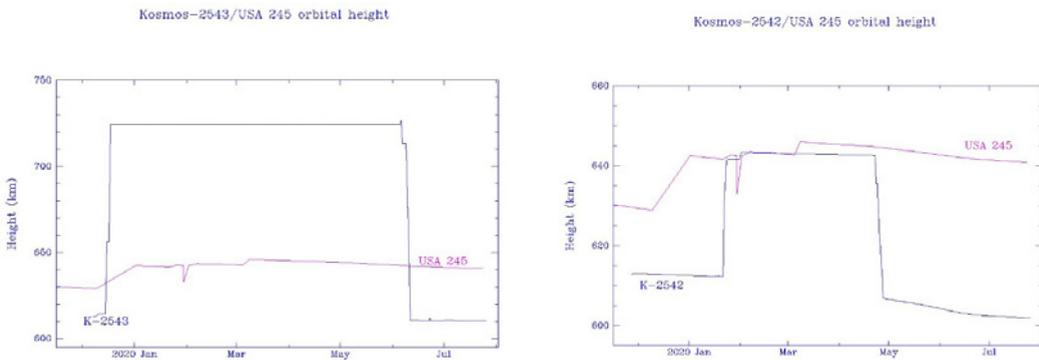
16. A. Zak. « [Kosmos-2499: Is it a spy or an assassin... or both?](#) », *russianspaceweb.com*, 30/04/2017.

17. A. Zak. *op. cit.*

-2504). Le gouvernement américain a évoqué le fait que ces satellites représentent des tests d'armes spatiales. Bart Hendrickx<sup>18</sup> a suggéré que les satellites faisaient partie du programme Nivelir<sup>19</sup>. Après les trois satellites mentionnés, les *Cosmos-2519*, *-2521*, *-2523*, *-2535*, *-2536*, *-2542* et *-2543*, dont certains sont surnommés « poupées russes », se sont distingués en suivant les mêmes modes d'action. Ils ont été placés en orbite entre le 23 juin 2017 et le 25 novembre 2019, le plus souvent depuis la Terre. Un certain nombre de manœuvres orbitales ont été réalisées depuis, que ce soit autour de débris, comme des étages de lanceurs, ou autour de satellites nationaux ou étrangers.

Environ quatre satellites *Nivelir* seraient actuellement opérationnels dans l'espace sur les onze envoyés depuis 2013. Les autres semblent avoir été désactivés ou sont rentrés dans l'atmosphère. Il est cependant possible que certains se « réveillent » dans les prochaines années, parmi ceux qui semblent désactivés.

D'autres manœuvres ont semblé coordonnées, comme dans le cas des rapprochements de *Cosmos-2542* (en janvier 2020 et en août 2021) et de *Cosmos-2543* (en décembre 2019 et juin 2020) vers l'*USA 245*, un satellite d'imagerie américain.



Le même « chasseur » *Cosmos-2543*, après son « rendez-vous » avec le satellite *USA 245*, a éjecté en juin 2021 un objet aussitôt immatriculé « *S45915* ». Sévèrement mis en cause, notamment par les États-Unis qui interprètent ces actes comme des actions offensives, le ministère de la Défense russe précise régulièrement que ces missions s'effectuent dans le cadre de la maintenance des satellites, ou d'expérimentations, comme lorsque le satellite *Cosmos-2542* avait lui-même lancé le satellite *-2543*, le 6 décembre 2020<sup>20</sup>. Cette capacité de lance-

18. B. Hendrickx, expert américain du programme spatial russe.

19. J. McDowell, *Index of Space Plots*, « Nivelir »

20. « Aujourd'hui, dans le cadre des essais continus de nouvelles technologies spatiales, le mi-

ment depuis l'espace, dans un milieu difficilement observable, rend nécessaire une surveillance permanente des objets spatiaux russes. Il ne s'agit plus seulement d'évaluer le danger que représentent les débris naturels, mais de contrôler l'augmentation éventuelle du nombre de satellites russes dans l'espace et de surveiller leurs actions parfois inquiétantes.

Beaucoup de spéculations sont nées des capacités potentielles d'une poignée de satellites russes inspecteurs, qui ne forment pourtant qu'un pourcentage restreint du parc spatial russe. Ces événements récents montrent la volonté russe de privilégier une réponse militaire asymétrique et discrète. Ne disposant pas des ressources quantitatives nécessaires et ne désirant pas mener dans l'espace une guerre ostentatoire, les forces aérospatiales russes s'en remettent à une forme de guérilla<sup>21</sup>, pour déstabiliser les puissances spatiales adverses, par des exercices ou des interventions réelles. Cette stratégie pourrait être illustrée par la célèbre maxime du Maréchal Souvorov : « *Ne combattez pas par le nombre mais par la compétence* ».

La Russie n'est pas le seul État disposant de satellites « chasseurs ». Les États-Unis (navette *X-37B*) et la Chine disposent sans doute d'engins similaires. Mais ces opérations, comparées à un « *caillou dans la chaussure* » par Isabelle Sourbès-Verger, géographe spécialiste du spatial, permettent à Moscou de gagner du temps et de continuer à manifester sa présence dans ce milieu de plus en plus contesté. Ce ballet des « inspecteurs » offre l'opportunité de rappeler que la Russie dispose toujours de capacités de nuisance dans l'espace, alors que ses moyens offensifs semblaient délaissés depuis des décennies. Moscou se montre menaçant et continue d'inquiéter, malgré toutes les difficultés auxquelles les Russes doivent faire face pour maintenir leur statut de puissance spatiale.

### **Guerre ou paix ? De la mission secrète à la confrontation en orbite**

Les capacités développées avec les inspecteurs ne sauraient toutefois suffire si un conflit de haute intensité éclatait. Les adversaires chercheraient à affaiblir toutes les composantes orbitales de leur ennemi. Aux actions d'inspection, aux manœuvres de rapprochement s'ajouteraient des opérations de guerre électronique mais aussi des tirs d'armes antisatellites (*ASAT*) ou d'armes lasers, commandés et menés généralement depuis la Terre, même si une capacité offensive directement en orbite est progressivement développée. La Russie, malgré des moyens limités, s'engage aussi dans ces domaines.

---

*ministère de la Défense de la Fédération de Russie a mené une expérience visant à séparer un petit vaisseau spatial d'une plateforme spatiale multifonctionnelle unifiée. Le but de l'expérience est de poursuivre les travaux d'évaluation de l'état technique des satellites domestiques. Les informations de visualisation sont transmises aux installations de traitement au sol pour déterminer l'état technique du satellite à l'étude* », *Minoborony Rossii prodolzhaet ispytaniya novoi kosmicheskoi tekhniki*, déclaration du ministère de la Défense russe du 06/12/2019 à 17:23.

21. Le parallèle peut être établi avec la « guérilla cybernétique » mentionnée par Jean-Sylvestre Mongrenier dans l'article éponyme de son dictionnaire *Le Monde vu de Moscou*, publié en octobre 2020 aux éditions PUF (p.183).

### *La guerre électronique jusque dans l'espace*

La destruction d'un objet en orbite serait considérée par l'adversaire comme un *casus belli*. Plus discret, l'usage de la guerre électronique permet d'obtenir des résultats significatifs sans conduire nécessairement à une déclaration de guerre. B. Hendrickx écrit ainsi à ce sujet en octobre 2020 que « *la guerre électronique est probablement perçue par la Russie comme une réponse asymétrique relativement peu coûteuse face au développement technologique militaire occidental* »<sup>22</sup>. Une double mission a ainsi émergé progressivement dans les discours des autorités russes (gouvernementales, militaires et industrielles). Il s'agit d'une part de protéger ses propres intérêts nationaux et d'autre part de paralyser, voire même de supprimer les systèmes radio-électroniques ennemis. Le programme de guerre électronique russe publié en 2013, qui planifiait les développements jusqu'en 2020, indiquait déjà le besoin de déployer des programmes multifonctionnels de guerre électronique dans l'espace, bien qu'ils soient essentiellement déployés au sol actuellement. Ils devaient permettre à l'époque « *la reconnaissance et la suppression des systèmes radio-électroniques utilisés par les systèmes de radar, de navigation et de communication* »<sup>23</sup>.

J. Venable, chercheur en politiques de défense à l'*Heritage Foundation*, est plus précis et écrit en février 2022 que les Russes « *disposent d'une capacité offensive sophistiquée dans leur portefeuille spatial pour brouiller les capteurs dans l'espace et les rendre aveugles* »<sup>24</sup>. Moscou met en œuvre actuellement des systèmes de brouillage déployables depuis le sol<sup>25</sup> menaçant des capacités GNSS, mais également les relais internet ou de communication employés sur une zone particulière. En avril 2022, les États-Unis ont accusé la Russie de bloquer un signal de navigation satellitaire (*a priori Navstar*) au-dessus de l'Ukraine<sup>26</sup>. Peu avant le début du conflit, des accusations similaires avaient déjà été portées à l'encontre des Russes, suite à des problèmes rencontrés avec les signaux *GPS* en Baltique ou au Nord de l'Europe. Les responsables de *SpaceX* ont enfin blâmé Moscou pour des actions similaires contre le système

22. B. Hendrickx, « Russia gears up for electronic warfare in space (part 1) », *The Space Review*, 26/10/2020 (Trad. de l'anglais).

23. M. V. Doskalov, « Perspektivy razvitiya sistemy radioelektronnoi borby rossiskoi federatsii na period do 2020 goda », relayé par B. Hendrickx, in « Russia gears up for electronic warfare (Part 2) », *The Space Review*, 11/2020.

24. T. Novelty, « The first shots in a Ukraine Conflict may be in Space », *Military.com*, 15/02/2022.

25. Ces systèmes de guerre électronique peuvent être extrêmement mobiles car apparemment montés sur des camions, notamment le *Krasukha 4*, capable de brouiller les ondes satellitaires, notamment *GPS*. Un autre système ultra performant, dont le projet a été abandonné dans les années 1990, a été repris et déployé en 2018 : le système de guerre électronique *Murmansk-BN*. Certains articles de presse spécialisés ([www.avia-pro.fr](http://www.avia-pro.fr)), mais sans doute orientés par les médias russes) rapportent qu'ils auraient perturbé le fonctionnement de *F-35* lors d'un exercice de l'OTAN en mer Baltique à la fin de l'année 2021. Les communications, notamment par relais satellites de ces avions de combat auraient été bloquées. Ces systèmes de guerre électronique peuvent également être sollicités dans le conflit ukrainien.

26. Interview, Général David Thompson, *art. cit.*

*Starlink*, destinées à empêcher le fonctionnement de la couverture internet mise à disposition de l'Ukraine. Une mise à jour du système a restauré ses capacités.

Ces propos et actions démontrent une anticipation et une planification de ces opérations spatiales. Cette volonté d'agir sous le seuil peut répondre à un choix stratégique d'évitement de l'escalade. Elle peut aussi signifier que la Russie est consciente de sa faiblesse si des frappes de riposte contre ses propres moyens étaient déclenchées après une action trop agressive. Disposant de moyens limités, elle doit actuellement se contenter de paralyser son adversaire momentanément, sur des fonctions précises, comme dans le cas ukrainien. La Russie ne peut cependant se contenter de ces modes d'action si elle désire demeurer une puissance spatiale de premier plan.

#### *Les capacités offensives russes dans l'espace*

Pour améliorer sensiblement ses capacités offensives dans l'espace, d'autres projets russes sont actuellement en cours de conception, voire de développement. Ils sont parfois découverts par des experts grâce aux discours ou à des fiches industrielles présentées dans les médias russes. Les initiatives prises dans le domaine des armes à énergie dirigée (laser), notamment contre les satellites, ou de la propulsion de missile antisatellites depuis la Terre, l'air ou l'espace<sup>27</sup> peuvent à ce titre être soulignées. Le laser est un moyen offensif intermédiaire, dont l'usage pourrait susciter des perceptions moins traumatisantes que l'emploi d'un missile *ASAT*. À ce titre, le *Peresvet* est une arme laser mobile, montée sur camion, mise en service depuis 2018 dans les forces armées russes et depuis 2019 dans quatre divisions de missiles stratégiques. Il aveugle, même ponctuellement, les systèmes de suivi optique de l'ennemi, qu'ils soient spatiaux ou non. Selon la version 2021 du rapport annuel *Global Counterspace Capabilities*, la Russie tente de retrouver des capacités antisatellites depuis les années 2010, que ce soit depuis la Terre ou de manière co-orbitale pour posséder une gamme anti satellitaire opérationnelle<sup>28</sup>. Cette évolution ne sera cependant possible que si le spatial militaire est réellement valorisé au niveau budgétaire.

---

27. B. Weeden, V. Samson, « An open source assessment », *Global Counterspace Capabilities*, 04/2021.

28. En réaction au tir missile antisatellite russe de novembre 2021, le chef d'état-major de l'armée de l'Air et de l'Espace, le général S. Mille, déclare dans une interview accordée au journal *Le Monde* le 1<sup>er</sup> décembre 2021, que les Russes « ont démontré qu'ils étaient désormais capables d'agir dans l'espace sur tout le spectre de la conflictualité ».

02

**RUSSIE**

LÉGENDE: AUCUNE CAPACITÉ (R) CAPACITÉ FAIBLE (Y) CAPACITÉ IMPORTANTE (G)  
CAPACITÉ INCERTAINE "?\*" PAS DE DONNÉES "-"

	R&D	ESSAIS	OPÉRATIONNELLE	UTILISATION EN CONFLIT
Ascension Directe (Orbite Basse)	G	G	G	R
Ascension Directe (Orbite Moyenne et Géosynchrone)	Y	Y	-	R
Co-orbitale (Orbite Basse)	G	?	-	R
Co-orbitale (Orbite Moyenne et Géosynchrone)	Y	-	-	R
Énergie Dirigée	G	Y	-	R
Guerre Électronique	G	G	G	?
Connaissance de la Situation Spatiale	G	G	G	?

Figure 3 : état des capacités antisatellites de la Russie en avril 2021  
(Source : *Global Counterspace Capabilities 2021*)

	China	Russia	U.S.	France	India	Iran	Japan	North Korea
LEO Co-Orbital	Y	G	Y	R	R	R	R	R
MEO/GEO Co-Orbital	Y	Y	Y	R	R	R	R	R
LEO Direct Ascent	G	Y	Y	R	Y	R	R	R
MEO/GEO Direct Ascent	Y	Y	Y	R	R	R	R	R
Directed Energy	Y	Y	Y	Y	R	R	R	R
Electronic Warfare	G	G	G	Y	Y	Y	R	Y
Space Situational Awareness	G	G	G	Y	Y	Y	Y	R

Legend: none (R) some (Y) significant (G)

Figure 4 : comparaison des capacités antisatellites des diverses puissances spatiales mondiales  
(Source : *Global Counterspace Capabilities 2021*)

La destruction en ascension directe par la Russie (avec un missile *Nudol* tiré depuis la Terre) d'un de ses anciens satellites d'écoute électronique en orbite basse, déjà inopérant, le 15 novembre 2021, est emblématique à ce titre. Le tir du *Nudol* prouve la volonté de la Russie de ne plus seulement agir de manière discrète et irrégulière. Il viole néanmoins deux interdits : la création de nombreux débris et la capacité de mise en orbite d'armes de destruction massive.

## **Conclusion : Quelle « cosmostratégie » offensive pour la Russie ?**

Les discours politiques et militaires rappellent régulièrement que le spatial est entièrement subordonné aux intérêts de sécurité et de défense de la Fédération de Russie. D. Rogozine l'énonçait à la télévision (*Perviy Kanal*) le 12 avril 2021, pour le 60<sup>e</sup> anniversaire du vol de Y. Gagarine. L'objectif est d'être une des trois premières puissances spatiales. La Russie souhaite « *assurer pleinement le bouclier stratégique et la défense de notre pays en utilisant l'espace, car c'est Roscosmos qui crée la base matérielle des forces nucléaires stratégiques. Et c'est extrêmement important, pour que le pays se développe selon son propre esprit, de manière indépendante et souveraine* ».

Mais la prise en considération de l'espace extra-atmosphérique en tant que théâtre militaire, ne date pas d'hier. En effet, certains stratèges soviétiques<sup>29</sup> mentionnent ce théâtre au même titre que la terre, la mer et l'air, dès les années 1960. L'utilisation de l'espace extra-atmosphérique est fortement liée à la mise en œuvre des composantes nucléaires, à travers la technologie balistique. La technique de propulsion d'une fusée provient de celle d'un missile et ces deux lanceurs possèdent le même nom en russe : « *raketa* ». Depuis la chute de l'Union soviétique, plusieurs travaux russes cherchent à adapter le spatial militaire aux nouvelles formes de conflictualité, ou à l'insérer dans une guerre de haute intensité. En 2000, en conclusion d'un ouvrage d'histoire stratégique dirigé par le général Zolotarev, l'espace est décrit comme le principal domaine de lutte. « *Les opérations militaires pourraient y commencer bien avant le déploiement d'opérations stratégiques de grande envergure sur terre, dans les airs ou sur mer. Leur objectif principal sera la destruction mutuelle des moyens militaires et de soutien dans l'espace, y compris la destruction secrète de ces moyens* »<sup>30</sup>.

Plus récemment encore, dans un article critique publié en mars 2022 au sein d'une revue de stratégie militaire russe, le colonel Y. Krinitsky, professeur à l'Académie militaire de défense aérospatiale de Tver, estime indispensable de reconnaître l'espace extra-atmosphérique comme une « *niche qu'il faut occuper* » en développant les armes et les forces nécessaires. Selon lui, la « *conquête prioritaire de la supériorité dans le domaine aérospatial sera atteinte non seulement en éblouissant, en supprimant, en mettant en échec les défenses aériennes, les installations d'infrastructure au sol et dans les airs, mais aussi par des effets similaires sur les engins spatiaux et les systèmes orbitaux de l'ennemi* »<sup>31</sup>.

---

29. Maréchal V. D., Sokolovsky, *Stratégie militaire*, 2<sup>e</sup> édition, révisée et augmentée, Moscou, Éditions militaires, 1963, p. 21.

30. V. A. Zolotarev, A. A. Danilevich et Institut voennoï istorii, (éd.), *Istoriia voennoï strategii Rossii*, Rossiiskaïa voenno-istoricheskaïa biblioteka, Moskva, Kuchkovo pole : Poligrafresursy, 2000, pp. 534-535.

31. Col. Y. Krinitsky, « Orientations de développement des formes et des méthodes d'action des troupes (forces) de défense aérospatiales », *Voennaya Myls (Pensée militaire) – Revue de théorie militaire*, n° 3, 03/2022.

Pourtant le secteur spatial russe est en crise et les moyens opérationnels spatiaux des forces aérospatiales russes sont réduits. Un décalage existe entre la pensée stratégique russe et la réalité. Si la Russie parvient, malgré les sanctions, à mobiliser et à recréer un ordre de bataille spatial performant et offensif, elle pourrait alors avoir les moyens de poursuivre cette stratégie. Elle ne dispose pas actuellement de l'arsenal le plus moderne, le plus avancé techniquement ou le plus précis. Elle met en œuvre des outils rustiques, qui fonctionnent, mais avec des performances techniques parfois inférieures à celles des autres grandes puissances spatiales, notamment à celles des États-Unis. C'est sa capacité d'agir sur tout le spectre spatial et d'attaquer éventuellement qui lui garantit une place dans le club des puissances spatiales.

Les conséquences du conflit en Ukraine dans l'espace révèlent que Moscou s'en tient actuellement à une forme de pragmatisme face au risque d'escalade induit si des engins américains ou européens servant indirectement les forces ukrainiennes étaient détruits. « L'opération spéciale » en Ukraine n'a entraîné aucune action cinétique de la part des Russes. Moscou reste cohérent avec le discours employé pour qualifier le conflit en Ukraine. Ce n'est pas une guerre, mais une simple opération, qui n'appelle pas théoriquement à des mesures de destruction contre un concurrent. L'adversaire désigné, l'État ukrainien, n'a pas de programme spatial et les membres de l'OTAN, ne sont pas considérés comme co-belligérants. La destruction de leurs moyens et infrastructures spatiales n'est ainsi pour l'instant pas en accord avec le discours porté par les autorités russes. Le risque d'escalade serait par ailleurs trop important. La Russie, très dépendante du secteur spatial, que ce soit au niveau militaire, privé ou sociétal, aurait beaucoup à perdre à se lancer dans une guerre de haute intensité dans l'espace. Elle ne pourrait se protéger ou riposter significativement. Cet élément explique sans doute plus généralement sa stratégie de communication fortement engagée dans les institutions internationales contre l'arsenalisation de l'espace. Les manœuvres asymétriques ou secrètes demeurent actuellement la meilleure option pour nuire aux adversaires. Mais il existe un risque d'action offensive, même ponctuelle, dans la mesure où la Russie a déjà souhaité montrer au monde entier ses capacités pour ce type d'opération (propulsion en orbite, rendez-vous spatial, laser, missile ASAT, etc).

À terme, des outils offensifs de plus en plus évolués et nombreux pourraient être placés en orbite, servant d'assurance pour demeurer une grande puissance spatiale. Les leçons tirées du conflit en Ukraine pourraient stimuler l'orientation des programmes spatiaux russes vers un « tout-militaire ». Le 3 mars 2022, D. Rogozine déclarait sur la chaîne *Rossiya 24* que « *le programme spatial russe sur fond de sanctions sera ajusté, la priorité étant à la création de satellites dans l'intérêt de la défense* ». Les récents lancements de satellites militaires, à une cadence accélérée, semblent aller dans ce sens. Deux aspects devront alors être soigneusement observés : le renouvellement des capacités spatiales offensives et bien entendu, la compétence des Russes à savoir les utiliser.



---

# Des vides et des pièges : défendre l'espace aérien russe

Docteur Pierre Grasser

*Pierre Grasser est docteur en histoire des relations internationales*

Lors de la conférence de Munich sur la sécurité tenue le 10 février 2007, Vladimir Poutine prononce un discours dans lequel il souligne que :

*« Personne ne se sent en sécurité ! Personne ne voit le droit international tel un mur de pierres le protégeant. Bien sûr, ce type d'atmosphère stimule la course aux armements. L'importance de la force pousse de nombreux pays vers les armes de destruction massive »<sup>1</sup>.*

Réarmement mondial, complexe obsidional, prolifération : les motifs du réarmement russe sont énoncés. Le pays a beaucoup de retard, après le marasme des années 1990. Deux décennies plus tard, l'essentiel de l'arsenal soviétique a été abandonné et Moscou peut s'appuyer sur une armée moderne dans le domaine sol-air. Les nouveaux systèmes antiaériens sont en effet efficaces contre les menaces identifiées dans les années 1990, comme les drones tactiques et les missiles de croisière. Les moyens mis à disposition pour les entraînements sont également abondants et renouvelés.

À la différence de la Guerre froide, les effectifs sont insuffisants pour sanctuariser le vaste territoire russe. Le parc d'avions de chasse, détenus par les forces aérospatiales (*VKS*) et la marine (*VMF*), se limite à 560 aéronefs opérationnels. Colonne vertébrale de la défense, les systèmes sol-air sont mieux lotis, mais ne peuvent garantir l'étanchéité des frontières. Moderne, multi-milieux, mais limité dans ses prétentions, le concept russe du déni d'accès présente des contours à analyser.

---

1. « [Speech and Discussion at the Munich Conference](#) », *Kremlin.ru*, 10/02/2007.

## **I – Premier arsenal défensif au monde : avec quelles armes ?**

### *Construire une citadelle : face à quoi ?*

L'organisation théorique des forces russes est adaptée pour faire face à un éventail de situations, déterminé en amont. Cette armée est en général davantage conçue pour les situations défensives. Son commandement considère qu'il risque de perdre la supériorité aérienne contre un adversaire symétrique, occidental comme oriental. Il s'attend à subir des attaques, près de la ligne de front et contre les centres décisionnels, depuis plusieurs directions simultanées. Ces attaques consisteraient principalement selon Moscou en des vagues de missiles de croisière, subsoniques ou supersoniques. Ces munitions à très longue portée (au-delà de 3 000 kilomètres pour certaines), volant le plus souvent au ras du sol, sont difficiles à repérer. Elles ne laissent aux défenses qu'un délai court pour les intercepter. Ces missiles de croisière ont été employés pour la première fois par les États-Unis en 1991, face aux systèmes sol-air de Saddam Hussein. Ces attaques ont frappé les esprits russes et ont joué un rôle déterminant pour réorienter la défense russe, jusqu'alors focalisée sur la menace d'avions. Sur un autre théâtre, la protection contre les missiles sol-sol de portée intermédiaire (moins de 500 km) connaît un regain d'intérêt en Extrême-Orient.

### *Pour la défense aérienne : reconnaître et réduire le danger*

Face aux menaces aériennes, les capacités russes sont performantes et modernes. La défense aérienne a pour mission d'éloigner au plus loin les avions lanceurs de missiles de croisière. Si ces derniers sont malgré tout lancés, les chasseurs russes doivent en intercepter un maximum en vol. Afin d'offrir le délai nécessaire aux interceptions, les 20 bases aériennes accueillant des unités de chasse sont éloignées de quelques centaines de kilomètres des sites à défendre (voir carte 2).

S'agissant de la défense aérienne<sup>2</sup>, les moyens sont principalement possédés par les *VKS* :

- Le parc aérien des *VKS*, la cheville ouvrière : ce dispositif réunissait 459 avions de chasse en février 2022. Sur ce total, 272 ont été produits depuis 2008<sup>3</sup>, et 168 avaient été modernisés. Deux catégories d'intercepteurs se dessinent : la première rassemble les avions destinés à combattre en dessous de la vitesse du son, face à des cibles du type missiles de croisière conventionnels et drones. Les *Sukhoï Su-35S*<sup>4</sup> et *Su-30SM*<sup>5</sup>, livrés à 101 et 92 exemplaires depuis 2012, en constituent l'ossature. La seconde catégorie regroupe les intercepteurs à haute

---

2. La défense aérienne recouvre les moyens aériens d'interception : chasseurs, avions d'alerte avancée, ravitailleurs.

3. « [Postavki Minoboroni Rossii samliotv](#) », *Aviation21*, 08/02/2021.

4. « [VKS Rossii polutchili pervie v 2021 godu Su-35S](#) », *Bmpd.livejournal*, 14/12/2021.

5. « [Postavki boevikh samaliotov v Voorujennie Sili Rossii v 2018 godu](#), *Bmpd.livejournal*, 13/01/2018.

vitesse, de type MiG-31BM, dont les *VKS* comptent 148 exemplaires. Tous modernisés entre 2008 et décembre 2021, ils sont capables d'effleurer la vitesse de Mach 3. Ils peuvent intercepter des cibles rapides, comme les missiles de croisière supersoniques<sup>6</sup>. L'aviation de chasse peut être soutenue par 7 avions d'alerte avancée A-50, dont 6 modernisés en A-50U, chargés de détecter le lancement des missiles et si possible d'en suivre la trajectoire<sup>7</sup>.

- L'arsenal aérien de la *VMF*, en retrait : la marine aligne, en avril 2022, 100 avions de chasse<sup>8</sup>. Sur ce total, 21 MiG-29K et 26 Su-30SM/SM2 ont été produits depuis 2013, pendant que des modernisations ont été apportées à 5 MiG-31BM. Le reste du dispositif est ancien, légèrement modernisé vers 2002 (une quinzaine de chasseurs embarqués Su-33), ou date de la période soviétique (19 MiG-31 à moderniser, 14 chasseurs Su-27 à remplacer). Bien que ses intercepteurs aient la même fonction que ceux des *VKS*, la *VMF* ne possède pas d'avions d'alerte avancée et tend à sélectionner des pilotes expérimentés<sup>9</sup><sup>10</sup>.



(DR) MiG-31D3 de la marine, dans le Kamchatka le 6 novembre 2018. Il est alors l'un des 19 derniers MiG-31 non-modernisé en service en Russie.

### *La défense antiaérienne pour briser l'assaut*

La défense sol-air est probablement la branche de l'armée russe la mieux remise de la chute de l'URSS. Le nombre de 150 batteries de S-300PS/PT en 1991

6. La vidéo du lien youtube ci-dessous, tournée en 2019 depuis la base de Monchegorsk, près de la Finlande, permet de comprendre qu'une attaque est attendue dans ce secteur, par des missiles de croisière supersoniques à charge nucléaire : « [Poliot v stratosféru na samaliote MIG-31](#) », *Youtube*, 15/10/2017.

7. A. Kulikov, « Bolchie problemi maloï dalnost », *VKO*, 2009-06, p. 38

8. Ce total ne prend pas en compte les 22 MiG-31BM basés à Monchegorsk, près de Mourmansk, rattachés *de jure* à la marine en février 2019 et toujours armés et coordonnés par les forces aérospatiales. Les 22 Su-30SM et les quatre Su-30SM2 livrés à la marine sont eux comptabilisés. À l'origine employés pour remplacer les bombardiers tactiques Su-24M, ces avions sont désormais occasionnellement utilisés pour des patrouilles de défense aérienne.

9. « [Mirotvorets](#). Ustanovbil vsiekh rossiskikh letchikov Admirala Kuznetsova », *Spilno*, 01/10/2016.

10. « [Aviapolk palubnikh letchikov Severnovo flota vosglavit Pavel Podguzov](#) », *Severpost*, 10/02/2015.

a certes diminué avec le temps<sup>11</sup>, mais les nouveaux moyens en service ont une portée plus allongée et peuvent affronter plusieurs menaces<sup>12</sup>. Elles sont placées à proximité des points jugés prioritaires (voir carte 1) et appartiennent à la fois aux *VKS* et aux forces terrestres.

- Les défenses sol-air des *VKS*, bouclier des basses couches : elles sont principalement chargées de lutter contre les avions, les drones ou les missiles de croisière. Elles disposent à cet effet de 58 batteries de S-400/SA-21 (250 km de portée) au 1<sup>er</sup> janvier 2021, 5 de S-300PM/SA-20 (200 km de portée)<sup>13</sup>, en plus d'une vingtaine d'anciennes batteries de S-300PS/SA-10 (75 km) en cours de retrait<sup>14</sup>. Ces dernières doivent être remplacées à terme par le S-350<sup>15</sup>, de 80 km d'allonge en pratique, bien plus performant face aux missiles de croisière. Deux batteries de S-350 sont en service, dont une sert pour l'instruction. Les *VKS* protègent aussi ces batteries contre les frappes à courte distance, grâce aux systèmes sol-air *Pantsir*. Entre 2006 et 2021, 236 systèmes *Pantsir*, équipés de deux radars à balayage électronique chacun, ont été remis aux *VKS*<sup>16</sup><sup>17</sup>.

- Les défenses antiaériennes des forces terrestres ou la volonté de tout couvrir : les forces terrestres disposent de leurs propres moyens antiaériens. Échangeant peu avec les *VKS* dans la région militaire Ouest de la Russie, elles interagissent davantage avec leur homologue aérienne en Extrême-Orient. Son arsenal doit surtout s'opposer aux menaces dans les basses couches de l'atmosphère, comme les drones, les hélicoptères ou les missiles de croisière. Ses systèmes *Tor*/SA-15 et *Buk*<sup>18</sup> de 12 et 40 km d'allonge sont efficaces dans ce rôle. Le tableau est toutefois nuancé par la présence de matériels anciens, comme des *Osa*/SA-8 qui n'ont pas tous été remplacés par les *Tor* et certaines batteries de *Buk* qui n'ont pas été modernisées depuis la période soviétique<sup>19</sup>. Les carrières d'opérateurs sol-air au sein des forces terrestres sont en outre plus limitées qu'au sein des *VKS*. Une capacité anti-missile est assurée contre les munitions balistiques de théâtre (300 km), avec des S-300V et V4, dont cinq batteries sont opérationnelles<sup>20</sup>.

---

11. « Osnova nazemnovo segmenta PVO RV », *Topwar*, 09/03/2020.

12. Les S-400 emploient des missiles 48N6 à longue portée, efficaces contre des avions, mais aussi les tous nouveaux 9M96 à guidage actif, manœuvrants et optimisés pour lutter contre les missiles de croisière.

13. « [Modernisation des S-300PM-2 dans l'Oblast de Voronej](#) », *Telegram*, 26/11/2021.

14. « Osnova nazemnovo segmenta PVO RV », *Topwar*, 09/03/2020.

15. « [Natchati postavki zenitnoi raketnoi sistemi S-350 Vitiaz v PVO](#) », *Bmpd.livejournal*, 13/05/2021.

16. « [VKS Rossii poluchat neskolko divisionov noveichikh ZRPK « Pantsir »](#) », *Rg.ru*, 10/06/2017.

17. « [Tri divisionnikh komplekta Pantsir-S postupiat v VKS RF](#) », *Tvzvezda.ru*, 10/12/2021.

18. Les forces terrestres utilisent quatre versions du *Buk* : M1 et M1-2 (SA-11), du *Buk* M2 (SA-17) et du *Buk* M3 (SA-27)

19. La Russie dispose, en mars 2022, de 8 brigades de *Buk*, de type : M1 (date de 1985), M1-2 (1998), M2 (2008) et M3 (2015).

20. « [Voisk protivovozduchnoi oboroni](#) », *Mil.ru*, 04/06/2022.



(PG) Ce système Pantsir des VKS (à gauche) et ce Tor M2 des forces terrestres (à droite), à Moscou en mai 2016, sont le *nec plus ultra* de la défense sol-air russe à courte portée. Leur armement porte à respectivement 12 et 9 km contre des cibles de type drones MALE.



## II – Vivre et laisser frapper : le choix d’une défense en six bastions

*Des bulles protectrices, plutôt qu’une muraille frontalière*

Compte tenu de l’immensité du territoire russe, Moscou ne peut interdire complètement le passage de raids le long de toutes ses frontières. Sa stratégie est plutôt de concentrer ses matériels dans des bastions, autour de six points jugés capitaux (voir carte 1) pour des raisons politiques ou militaires. Ce choix offre l’opportunité de rationaliser l’emploi des équipements et de regrouper ses opérateurs autour de zones relativement peuplées et attractives.

- Les bastions de Moscou et Saint-Pétersbourg : les deux plus grands centres démographiques du pays bénéficient chacun d’une ceinture de protection. La capitale russe est couverte par 10 batteries de S-400 et Saint-Pétersbourg par 8 batteries du même type. Le bastion moscovite, qui a reçu les toutes premières batteries de S-400, en 2006<sup>21</sup>, les remplace progressivement par des versions

21. « [Novi raketniï polk PVO Moskvi na S-400 razvernuli v Elektrostali](#) », *Lenta.ru*, 29/01/2016.

plus modernes. Les nouveaux lanceurs 51P6, introduits fin décembre 2021 au 210<sup>e</sup> régiment antiaérien<sup>22</sup>, peuvent employer le missile 9M96, optimisé pour intercepter des missiles de croisière.

- Trois bastions portuaires : certaines zones côtières disposent de défenses renforcées. Pour la Crimée et Kaliningrad – quatre batteries de S-400 chacune – cela se justifie par une situation géographique exposée à des rivaux. La zone de Mourmansk-Severodvinsk, dans le Grand Nord russe, accueille les plus grands bâtiments de surface russes et la moitié de la composante navale de dissuasion. Cet arsenal justifie la présence de six batteries, protégeant des vaisseaux russes vulnérables au port. Ceux-ci n'arment leurs défenses qu'au cours des missions en mer.

- Sanctuariser l'Extrême-Orient russe : l'étendue ovoïde qui va de Vladivostok à Petropavlovsk, sur la façade pacifique, est exposée à des compétiteurs déclarés de la Russie, comme le Japon et les États-Unis, et à la Chine, que Moscou craint de manière inavouée. Un total de 8 batteries de S-400 se trouve réparti sur cette zone. Un particularisme s'observe avec l'île d'Itouroup, dans les Kouriles : l'espace aérien est défendu en interarmées, avec une batterie de S-300VM des forces terrestres pour la défense sol-air et par trois avions de combat des *VKS*. Ces derniers sont en place depuis août 2018, avec des relèves régulières. D'abord assurée par des Su-35S<sup>23</sup>, la permanence opérationnelle repose depuis l'été 2021 sur des Su-30SM, davantage polyvalents.

Massées en six bastions, les défenses russes sont présentes, dans une moindre mesure, sur d'autres points. La Russie centrale accueille des batteries de S-400, près de sites militaires comme Engels ou Domna, ou industriels tels Togliatti ou Samara. Ces défenses sont susceptibles d'être transférées en fonction des besoins<sup>24</sup> et servent de réserve transférable. L'aviation de combat s'entraîne à se déployer dans des secteurs peu couverts. Des desserrements de MiG-31BM ont été observés sur la façade arctique orientale, comme à Anadyr en avril 2019<sup>25</sup>, ou Rogachevo – arctique occidental – en février 2021<sup>26</sup>. Ces activités doivent compliquer la planification des compétiteurs.

---

22. « [210-i zenitniï raketniï polk polutčil novii kompleks S-400](#) », *Bmpd.livejournal*, 26/12/2021.

23. « [Na ostrove Iturup zastupuili na opitno-boevoye dejurstvo Su-35S](#) », *Aviation21*, 06/08/2018.

24. La batterie de Samara a été l'une des premières redéployées pour rejoindre la zone ukrainienne, le 23/01/2022.

25. « [MiG-31 Tikhookeanoskovo flota v Arktikee](#) », *Military news*, 04/04/2019.

26. « [Liotchiki Severnovo flota na Novoï Zemlie](#) », *Function.mil.ru*, 08/02/2021.

*Une défense apprenante, avec des moyens pour se préparer*

À les juger sur leur rythme d'entraînement, les forces russes paraissent performantes. Des exercices majeurs ont d'abord lieu en septembre de chaque année. Les différentes régions militaires sont concernées à tour de rôle. Elles sont l'occasion de réunir 300 000 soldats, de toute arme, jouant un rôle d'attaquant ou de défenseur. Ces manœuvres permettent de connecter ensemble des zones défensives face aux périls aériens. Des innovations sont apportées aux *scenarii* de chaque édition. L'exercice Zapad-2017, qui se tient quelques mois après les frappes américaines sur la base syrienne de Shayrat, met en exergue la menace des missiles de croisière. Pour Vostok-2018, en région militaire Est, il s'agit de représenter l'intervention de drones adverses<sup>27</sup>. Quant à Tsentri-2019 et Kavkaz-2020, le premier vise à évaluer les défenses dans un contexte de brouillage<sup>28</sup>, pendant que le second fait interopérer des systèmes antiaériens des forces terrestres, des VKS et de la marine de manière coordonnée autour de la mer Noire<sup>29</sup>.

Plus régulièrement, les unités s'entraînent à repousser des attaques fictives, représentées digitalement au sein des postes de contrôle des batteries sol-air. Les polygones d'Ashuluk et Kapustin Yar, près du Kazakhstan, sont employés toute l'année pour les entraînements au tir réel. Ceux-ci sont menés contre un éventail de munitions cibles. Les récents drones-cibles E-95, propulsés par moteur-fusée, représentent des missiles de croisière. Leur premier engagement significatif a eu lieu en septembre 2017, lorsque 25 d'entre eux sont lancés simultanément pour l'exercice Zapad-2017, afin de simuler une vague de missiles<sup>30</sup>. D'autres modèles, plus agiles, comme le E-08M sont en cours de certification étatique<sup>31</sup>. Pour former les opérateurs des S-300V et S-400 face aux missiles balistiques de théâtre, la Russie a longtemps tiré d'anciens missiles de S-25/SA-2 et 2K11/SA-4<sup>32</sup>. Les stocks de ces munitions recyclées s'épuisent et doivent être reconstitués par 200 missiles-cibles *Gvozдика*, plus rapides et manœuvrants, commandés en novembre 2018 pour mieux représenter la menace<sup>33</sup>.

L'IADS russe a pu subir un test opérationnel lors des opérations en Syrie débutées en septembre 2015. Le dispositif projeté a d'abord été réduit avec quatre avions de chasse Su-30SM et quatre systèmes sol-air *Pantsir* à courte portée déployés à Lattaquié<sup>34</sup>. Les heurts avec la Turquie ont ensuite imposé le

27. « [Kak prokhodili I tchem zaverchilis manevri Vostok 2018](#) », *Tass*, 18/09/2018.

28. « [Podrazdeleniya REB vitchislili terroristov na utchenia Tsentri 2019](#) », *Tvzvezda.ru*, 20/09/2019.

29. « [Znitnoye polojenie: voennie obedili sistemi PVO v edini kontur](#) », *Iz.ru*, 06/10/2020.

30. « [Na boevom sodrujestve.Vpervie ispolzovali imitiruiuchchuyu BLA michen](#) », *Vpk.name*, 25/09/2017.

31. « [Vozduchnaya michen E08M Berta](#) », *Bastion-karpenko.ru*, 08/02/2021.

32. N. Klein, « Export potential of the Kalinin Engineering plant », *Military Parade*, 1998, p. 35

33. « [Programmii kompleks konsortsiuma RazvITie](#) », *Youtube*, 13/08/2019.

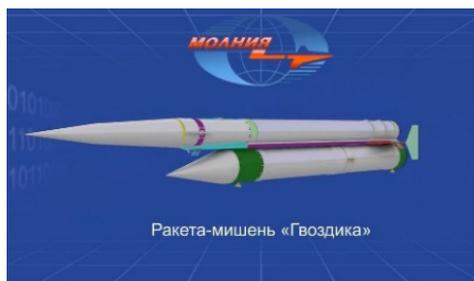
34. D. William, « Russia sending advanced air defenses to Syria », *Reuters*, 11/09/2015.

déploiement d'une batterie de S-400 en octobre 2015, suivie d'une autre en juin 2017. Ces systèmes, associés à un nombre croissant d'avions de chasse des *VKS* présents en Syrie, doivent réduire le risque de frappes sur le régime syrien. Les militaires russes ont pu s'entraîner à évoluer dans un espace aérien contesté par des aviations de premier rang, telles la coalition ou l'aviation israélienne. S'il n'est pas possible de confirmer que 90% des pilotes de chasse ont été déployés, comme l'affirme le ministre russe de la Défense en novembre 2021<sup>35</sup>, il est en revanche attesté que toutes les unités d'avions de combat tactiques des *VKS* ont bien participé à l'opération.

### III – Moderniser l'arsenal jusqu'à l'horizon 2030

#### *L'ambition des plans d'équipements*

Les capitaux pour le rééquipement des forces russes de demain sont sécurisés. En effet, la modernisation de la défense aérienne s'amorce en 2007 et rompt avec le déclin amorcé lors de la chute de l'URSS. Il faut cependant attendre 2010 pour voir les budgets se redresser. Un plan de financement exceptionnel, le GPV 2020, est d'abord alloué pour la période de 2011 à 2020. Son montant de 20,7 trillions de roubles<sup>36</sup>, soit 504 milliards d'euros à l'époque, est réservé aux commandes de matériels. Il se distingue des fonds du ministère de la Défense, qui servent au fonctionnement des forces : entraînements, soldes des militaires, opérations. Par comparaison, le budget de défense américain s'élève à 700 milliards de dollars annuels, mais inclut les dépenses liées aux nombreux déploiements. Un nouveau plan russe de financement, le GPV 2027, est adopté en 2018 et couvre l'exercice 2021-2027. D'une durée de deux ans inférieurs au GPV 2020, il sanctuarise une enveloppe d'équipement égale, de 20 trillions de roubles (290 milliards d'euros au cours de juin 2022)<sup>37</sup>.



(DR) Le nouveau missile-cible *Gvozdika*, produit par le centre d'étude Molnia.

35. « [Choigu zavit, chto 90% rossiskikh letchikov imeiout boevoi opit](#) », *Tvzvezda.ru*, 07/11/2021.

36. « [Russia's New State Armement Programme](#) », *Chathamhouse.org*, 10/05/2018.

37. « [Russia's GPV-2020 State Arms Programme](#) », *Ridl*, 18/04/2018.

Profondément modernisé par le GPV-2020, le parc aérien russe comprend 319 avions de chasse modernes, assemblés dans la période 2014-2016. Le nouveau GPV-2027 prévoit la livraison de 121 autres avions. Ceux-ci se répartissent entre 21 Su-30SM2 pour l'aéronavale<sup>38</sup>, dotés de capacités accrues pour le combat aérien ou 30 chasseurs Su-35, dont 5 ont déjà été remis en 2021<sup>39</sup>. Il est prévu d'ajouter quelques Su-35SM<sup>40</sup>, capables d'emporter le missile air-air RVV BD longue portée<sup>41</sup>. Enfin, 70 chasseurs furtifs Su-57 sont attendus d'ici 2027<sup>42</sup>. Les modernisations d'avions plus anciens se poursuivent en même temps. Les derniers MiG-31 non-modernisés de la marine, parqués à Elizovo dans le Kamchatka, doivent passer au standard BM<sup>43</sup>. Une vingtaine de MiG-31BM, de la base arctique de Monchegorsk, vont être modifiés pour mieux résister aux interférences magnétiques polaires<sup>44</sup>. Le GPV-2027 comprend enfin une large acquisition de munitions air-air modernes<sup>45</sup>, délaissées dans le plan précédent.



(CS) Le premier des Su-30SM, délivré à Moscou en août 2015. Cet appareil-ci est employé pour familiariser les pilotes aux nouveaux armements.

L'évolution est analogue pour l'équipement sol-air. Le dernier budget prévoit d'attribuer 14 batteries de S-400 aux VKS d'ici 2027<sup>46</sup>, devant amener le total de batteries déployées à 72. À ceci s'ajoutent 12 batteries de S-350, acquises pour

38. « [Dlia Morskoï aviatcii postroeni pervie tchetire istrebiteliya Su-30SM2](#) », *Bmpd.livejournal*, 21 janvier 2022.

39. « [Kontrakt Ministerstva oboroni na novuyu aviatcionnyu tekhniku](#) », *Bmpd.livejournal*, 27/04/2020.

40. « [Modernizirovannii istrebitel Su-35SM na ispitanih GLITs](#) », *diana-mihailova.livejournal*, 18/10/2020.

41. Le RVV BD (ou AA-13 en appellation OTAN), constitue une évolution du R-37 développé à la fin des années 1980. Ce missile volumineux (masse 510 kg, diamètre 380 mm) possède une portée cinématique maximale de 120 km. À l'origine observé sur des MiG-31BM, il a depuis 2020 été aperçu en évaluation sur le prototype de Su-35SM, spécialement allégé.

42. « [Over 70 Su-57 fighters to enter operational service by 2027](#) », *Ruaviation*, 15/10/2021.

43. « [Na Kamchatke razvernut novii aviapolk](#) », *Topwar.ru*, 21/02/2019.

44. « [MiG-31BM polutchili noveichuyu navigacionnuu sistemuu](#) », *Ru.arctic.ru*, 08/04/2021.

45. Outre les missiles RVV SD/AA-12B à moyenne portée et dotés de nouveaux autodirecteurs radar, ainsi que sur des K-74/AA-11B pourvus d'autodirecteurs infrarouge à matrice. À terme, le missile Izdelie 180 en évaluation en 2020-2022 devrait effacer les missiles de la famille RVV SD et s'imposer comme le missile russe à guidage radar actif standard.

46. « [Rossiskaya armia poluchit pervie novechie zenitnie raketnie sistemi S-500](#) », *Telegram*, 01/11/2021.

remplacer d'anciens S-300PS<sup>47</sup>. L'effort est conséquent, puisque chaque batterie de S-350 aligne 72 missiles 9M96, à guidage radar actif et pilotage en force<sup>48</sup>. Les défenses antiaériennes des forces terrestres devraient évoluer aussi. Après un long développement<sup>49</sup>, les nouveaux *Pantsir* SM-SV – dérivés du *Pantsir* S1 des *VKS* – doivent y entrer en service<sup>50</sup>. Ce système offre une protection de 10 à 20 km et augmente l'allonge des systèmes à courte portée *Tor* et *Osa*, jusqu'ici limitée à 9-10 km. À très courte portée, le canon automoteur antiaérien *Derivatsia* doit remplacer les ZSU-23-4 et 2S6 *Tunguska* encore en service. Il est armé d'un canon automatique de 57 mm, à obus programmables<sup>51</sup> et doit fournir une bulle de protection de 3 500 m contre les munitions vagabondes<sup>52</sup>. Un nouveau missile épaulable, le *Metka*, est enfin amené à remplacer les *Igla* et *Verba* en service<sup>53</sup>.

Le système S-500 doit enfin entrer en service d'ici à 2025. Ce matériel, valorisé par la communication russe, est essentiellement conçu pour détruire des missiles balistiques en approche terminale. Le missile 77N6 du S-500 doit, selon son cahier des charges, pouvoir mener une interception jusqu'à une altitude de 200 km, face à une cible capable d'une vitesse de 2 700 m/s<sup>54</sup>. La première batterie de S-500 est attribuée, depuis le 13 octobre 2021, à la couverture de Moscou, au sein de la 15<sup>e</sup> armée des *VKS*<sup>55</sup>. Elle est complémentaire du système antibalistique *Gazel* déjà présent. De nouvelles batteries devraient être produites pour les autres bastions, encore dépourvus de défense contre ces menaces. La batterie moscovite de S-500 a été évaluée en ce sens dans le secteur de Mourmansk, en décembre 2021<sup>56</sup>. Système modulable, le S-500 devrait évoluer et gagner à terme une capacité antiaérienne à longue portée<sup>57</sup>, dans des couches plus basses de l'atmosphère.

---

47. « [Zastava 'Vitiazei' : kompleksi S-350 ukrepiat oboronu iouga strani](#) », *Iz.ru*, 15/07/2020.

48. Piloter en force : employer des jets latéraux pour diriger le missile. Le missile est braqué rapidement, y compris en milieu anaérobie.

49. « [V 2022 godu zaverchatsia raboti nad « Pantsir-SM-SV »](#) », *Tvzvezda*, 24/12/2021.

50. « [V soedineniya voïskovoï PVO Sukhoputnikh voïsk prodoljaetsia planomernaya postavka obratstov voorujeniya i voennoï tekhniki](#) », *Telegram*, 23/10/2021.

51. Les « obus programmables » reçoivent des informations avant d'entrer en chambre, afin de détonner au plus près de la cible. Cette transmission des données, réinventée d'abord par Oerlikon pour ses munitions antiaériennes de 35 x 228 mm, peut se faire numériquement, ou par des systèmes de codes-barres.

52. A. Luzan, « [PVO v tchetvertom pokolenii](#) », *VPK*, 2017-07.

53. « [V soedineniya voïskovoï PVO Sukhoputnikh voïsk prodoljaetsia planomernaya postavka obratstov voorujeniya i voennoï tekhniki](#) », *Telegram*, 23/10/2021.

54. A. Tsimbalov, « *Zadatcha – Obespechit stretegitcheskouyou mobilnost* », *VKO*, 2012-03, P. 39

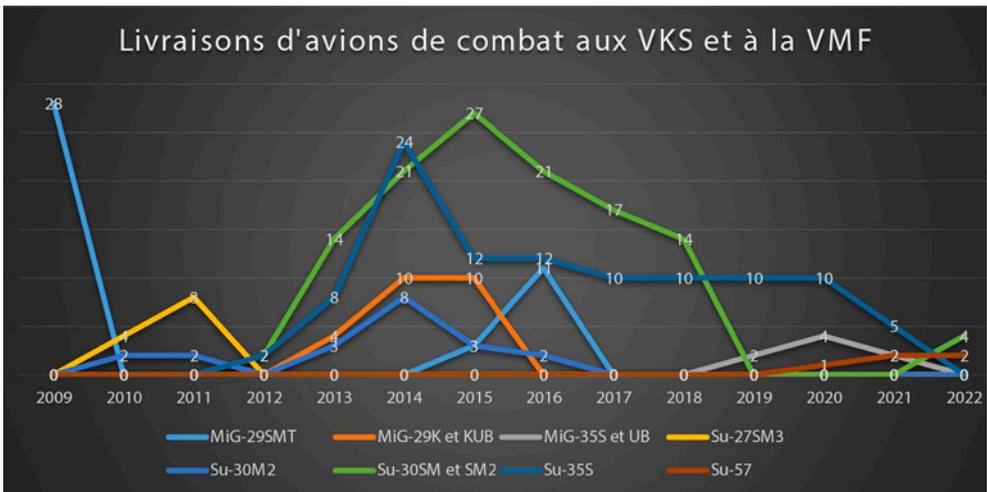
55. « [Pervi brigadi komplekt noveïcheï zenitnoï raketnoï sistemi S-500 v voïska 15ï armii](#) », *Telegram*, 13/10/2021.

56. « [S-500 prikroyet Rossiyu v Severa](#) », *Telegram*, 30/12/2021.

57. « [S-500 Prometeï natchala postavliatsia v rossiskie voïska posle gosпитаниï](#) », *Telegram*, 16/09/2021.



(DR) Lanceur 77P6 du système S-500, photographié à Kapustin Yar en 2021.



*De nouvelles menaces technologiques, difficiles à parer*

Par ce rééquipement, les branches de l’armée russe impliquées dans la défense de l’espace aérien sont en mesure de faire face aux menaces identifiées au début des années 2000. Ces dernières se renouvellent et menacent des objectifs sur le champ de bataille ou les infrastructures stratégiques.

- Missiles antichars à longue portée et drones suicides : de nouveaux missiles, capables de voler plusieurs dizaines de secondes, peuvent être guidés contre des cibles lointaines, cachées par des collines, hors de vue du tireur. L’Azerbaïdjan a engagé le *Spike* NLOS<sup>58</sup>, d’une portée d’une trentaine de kilomètres, face à l’Arménie fin 2020. D’autres munitions antichars comme le SANT indien (20 km d’allonge) connaissent une accélération de mises au point qui confirment

<sup>58</sup>. Le *Spike* NLOS est commandé par l’US Army pour équiper les futurs hélicoptères de combat Apache, FLRAA et FARA.

la généralisation du phénomène. Le champ de bataille est aussi menacé par les drones « suicides ». Les modèles existants, qui évoluent isolément et sont propulsés par moteur thermique, constituent un défi pour les défenses sol-air. Une nouvelle génération, capable de naviguer en essaim, est testée par l'*US Army*<sup>59</sup>. Fer de lance de cette étude, le drone *Altius 600* de *Raytheon* bénéficie d'une motorisation électrique qui complique la détection infrarouge et vole à très basse altitude, compliquant la détection par les radars.



(PG) Les hélicoptères américains (Apache, FARA) pourront emporter huit de ces drones suicides *Altius-600*.

- Les missiles balistiques aéroportés : ces armes à longue portée sont lancées depuis les avions et atteignent leur cible après un vol parabolique. Leur trajectoire plongeante à haute vitesse, au-delà de Mach 5, les place hors de portée de la plupart des défenses. Les tirs aériens offrent davantage d'opportunité que les tirs des missiles terrestres, comme les *Iskander* russes ou *Lora* israéliens. Les trajectoires suivies peuvent passer par des secteurs non protégés par les défenses sol-air. La Russie a été la première à présenter une telle arme, le 1<sup>er</sup> mars 2018, avec le missile *Kinjal* emporté par chasseur MiG-31K. Les États-Unis développent leur propre missile AGM-183 selon la même finalité, qui a effectué son premier lancement réussi le 14 mai 2022<sup>60</sup>. Emportée à raison de 31 exemplaires par le bombardier B-1B, cette arme pourrait servir dans le cadre des futures frappes saturantes américaines, en particulier contre les défenses sol-air adverses.
- Les satellites d'alerte avancée : en orbite, le dispositif américain de détection d'anomalies infrarouge doit repérer le départ d'un missile balistique et activer une chaîne d'alerte adéquate. Les capteurs du satellite filtrent les spectres de lumière caractéristiques de la combustion de certains propergols. Le protocole américain de partage SEW – *Shared Early Warning* – permet de diffuser ces alertes à certains alliés. Parmi les alertes retransmises figurent celles des tirs de missiles balistiques stratégiques, mais aussi des lancements de missiles tactiques<sup>61</sup>, catégorie à laquelle appartiennent les systèmes sol-air. Ce dispositif donne la possibilité de caractériser et localiser une batterie sol-air qui tirerait, sans utiliser son radar et malgré les camouflages optiques possibles. Un matériel ainsi révélé s'expose à des frappes de neutralisation. Ce procédé

59. « [US Army to test interactive drone swarm over Utah](#) », *Uasvision*, 25/04/2022.

60. « [AGM-183 ARRW Test Launch Finally Succeeds](#) », *Theaviationist*, 17/05/2022.

61. « [SEWS, Mission description and Budget justification](#) », *Globalsecurity*, 02/2015.

de détection réactif devrait prendre plus d'importance, grâce au potentiel offert par le dispositif européen d'alerte avancée ODINs EYE, dont le financement a été acté en 2020<sup>62</sup>.

Face à ces menaces, les défenses russes se retrouvent plutôt démunies. Le savoir-faire en capteur infrarouge reste insuffisant contre les objets à faible signature thermique. Face aux missiles balistiques de théâtre manœuvrants, l'Occident réplique surtout avec des systèmes antibalistiques en mer. Les capacités navales de la Russie sont faibles en comparaison et les bâtiments capables d'embarquer la version navalisée du S-500 – croiseur *Lider* et frégates *Super-Gorchkov* – ne sont pas attendus au mieux avant la fin de la décennie. La Russie s'investit dans des entraînements, mais les menaces reproduites gagneraient à être actualisées. Les avions de combat font peu de tirs réels, n'engagent jamais de cibles de type drones tactiques et *a fortiori* drones suicides. L'entraînement antiaérien n'est guère plus adapté et les raids simulés de missiles de croisière passent au milieu des défenses. Ces trajectoires restent bien improbables en opération.

#### *Un nouvel environnement qui restreint la défense*

Pour la Russie, le changement de l'environnement géopolitique constitue un autre défi considérable, y compris pour la défense aérienne. L'évolution du climat diplomatique d'abord, bouleverse bien des plans. Avec le conflit en Ukraine, le risque de frappes aériennes contre le territoire russe redevient réalité. Les frontières non surveillées sont autant de portes d'entrée jusqu'au cœur de la Russie. Ces risques doivent être atténués par les accords de l'OTSC<sup>63</sup>, selon lesquels une communauté d'alliés adjacents de la Russie s'engage à collaborer en cas d'attaque. Moscou doit soutenir leur réarmement afin de constituer une zone tampon crédible.



(DR) Su-30SM biélorusse, en décembre 2021.  
Quatre ont été livrés, sur 12 commandés par Minsk.

62. « ODINs EYE », *Ec.europa.eu*, 30/06/2021.

63. OTSC : Organisation du Traité de Sécurité Collective. Fondée en 2002, elle connaît un regain d'intérêt et mobilise davantage de moyens depuis 2015. Elle comprend l'Arménie, le Bélarus, le Kazakhstan, le Kirghizstan, la Russie et le Tadjikistan.

Parmi les pays bénéficiaires de l'aide russe figure le Bélarus. Elle doit recevoir des batteries de S-400 cédées par les *VKS*, selon une convention dévoilée le 11 mai 2022<sup>64</sup>. Ces livraisons accélèrent le renforcement de ce pays, que jouxtent les plus grandes villes russes. Les seules acquisitions de Minsk ont été l'achat de 12 chasseurs Su-30SM en 2017<sup>65</sup> et une batterie de S-400 en septembre 2021<sup>66</sup>. Pour sa part, le Kazakhstan ne parvient pas à mieux défendre son territoire étendu. La Russie, qui possède des usines de chars et d'avions à la frontière, dans l'Oural, lui a donné cinq anciennes batteries de S-300PS en juin 2016. Toutefois, le soulèvement populaire du 2 janvier 2022 devrait dissuader Moscou de livrer du matériel plus moderne. De tels doutes de fiabilité concernent les autres membres des accords OTSC. Les incertitudes politiques affectent bien la défense antiaérienne de la Russie.

Cette défense est aussi troublée par les évolutions climatiques. Le dégel de l'océan Arctique est une question de temps et devrait ouvrir des voies de communication entre l'Asie et l'Amérique. Afin de garantir la souveraineté de ses approches dans ce secteur, Moscou aspire à y renforcer son empreinte militaire. Ces objectifs ont été présentés en juin 2012 par le général-major Alexandre Tsimbalov dans la revue de la défense aérospatiale *VKO*. L'objectif était de créer des centres aériens de commandement régionaux à Tiksi et Anadyr sur les façades arctiques centrale et orientale<sup>67</sup>. Leur mise en place améliorerait la sûreté de futurs ports pétroliers – le dégel doit permettre d'extraire et transporter des richesses hydrocarbures inexploitées<sup>68</sup> – et protégerait cette zone d'évolution de sous-marins russes<sup>69</sup>. Il faut pourtant attendre avril 2020 pour qu'une première batterie de S-300PS arrive à Tiksi<sup>70</sup>. Les plans pour y baser des avions de chasse ont été reportés *sine die*. Ces nouvelles bases et centres réclament en effet une ressource humaine devenue rare, surtout quand il s'agit de rejoindre des secteurs aussi difficiles et isolés.



(DR) L'un des trois premiers *Pantsir* en version hivernale, en cours de test en 2014. Ces engins ont ensuite été envoyés sur l'île arctique de Kotelni, à proximité de Tiksi.



(DR) Les lanceurs 5P85D de la batterie de S-300PS – 414<sup>e</sup> régiment antiaérien – mis en place à Tiksi en avril 2020.

64. « [Belarus ostavit S-400](#) », *Eurasia.expert*, 11/05/2022.

65. [Belarus polutchila rossiskikh Su-30SM](#), *Rg.ru*, 20/11/2019.

66. [Postavok v Belorussiou rossiskikh zenitnikh raketnikh sistem S-400](#), *Telegram*, 03/09/2021.

67. A. Tsimbalov, « Zadatcha – Obespetchit strategitcheskuyou mobilnost », *VKO*, 2012-03, p. 37

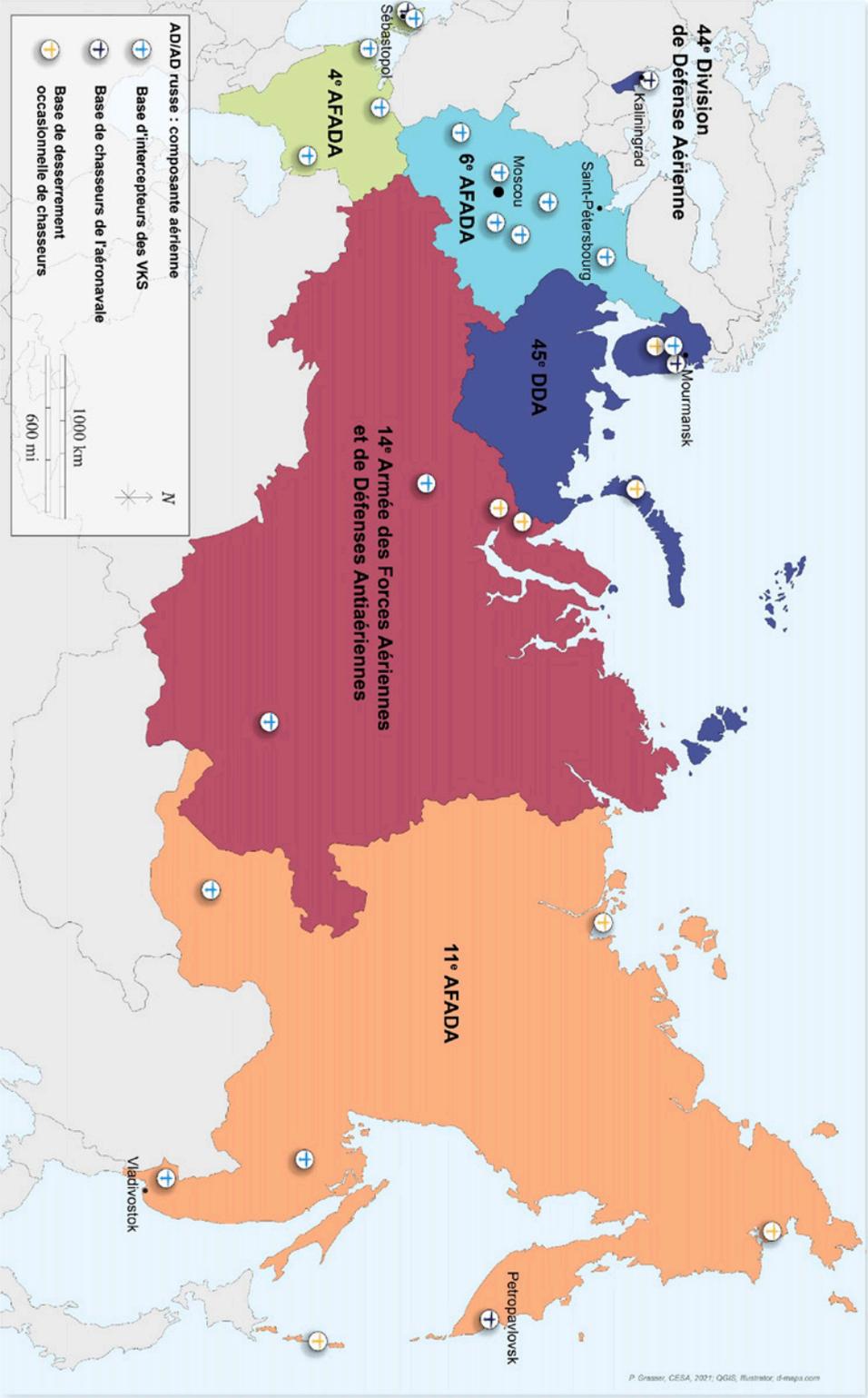
68. Y. Loukin, *Mnogolikaya Arktika v potoke vremeni i smislov*, Arkhangelsk, autoédition, 2019, p. 67

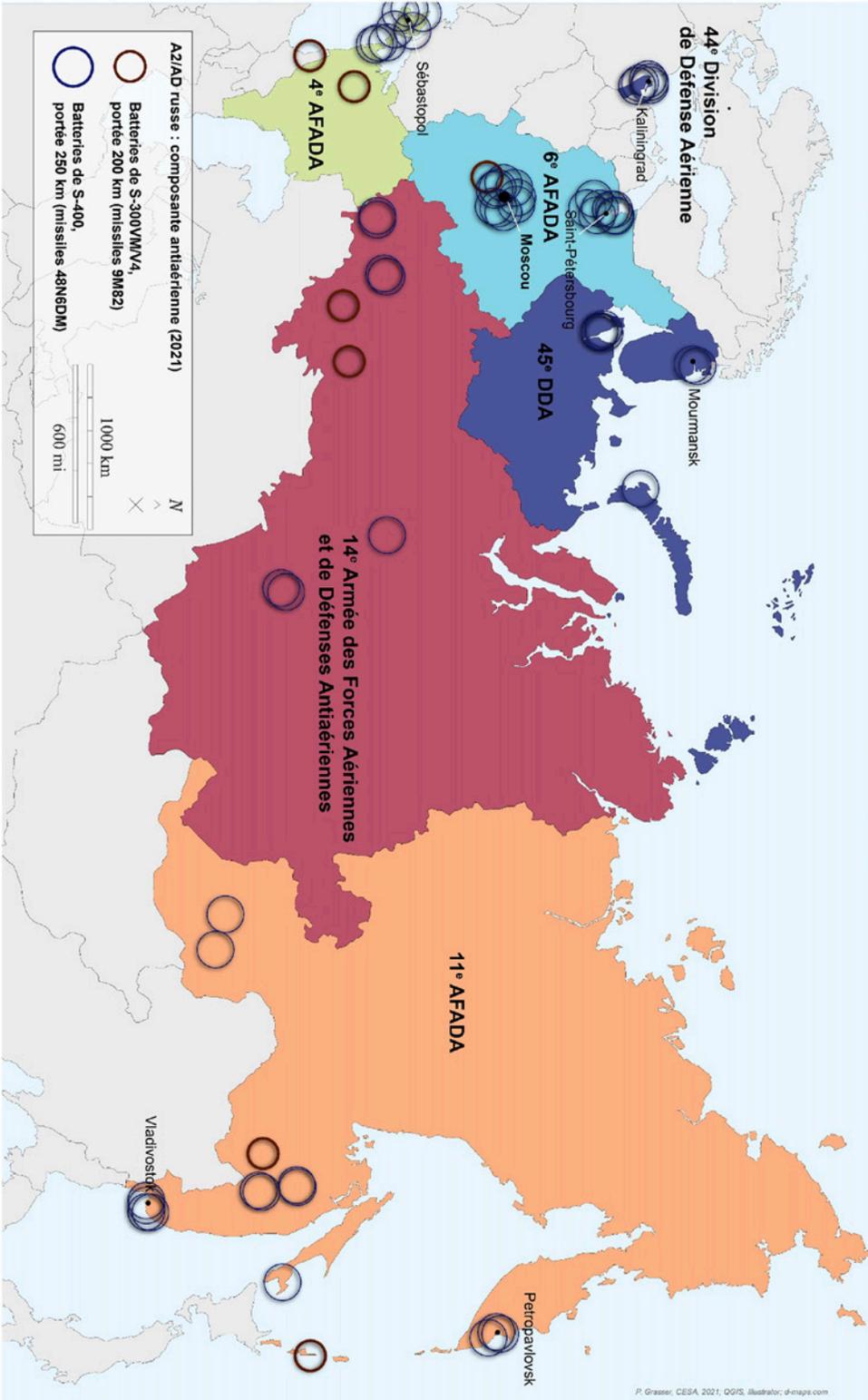
69. « [APL Aleksandr Nevskii popolnila Tikhookeanskiï flot](#) », *Rg.ru*, 30/09/2015.

70. « [Noviï zenitniï raketniï polk v Tiksi na zenitnikh raketnikh sistemakh S-300PS](#) », *Bmpd.live.journal*, 04/04/2020.

### **Conclusion : un bouclier solide face à un glaive qui s'affermit**

Priorité essentielle, la défense de l'espace aérien russe demeure crédible face aux attaques contre les sites les plus stratégiques. Les routes potentiellement empruntées par des raids sur le territoire sont connues et jonchées de pièges. Ce dispositif pourrait tenir dans la durée, puisque ses fondations sont solides et peuvent s'adapter à l'imprévu. En revanche, les nouvelles munitions d'attaque sonnent comme des menaces. Le principal atout des Russes reste le financement, sanctuarisé jusqu'à 2027, qui pourra assurer la fourniture de systèmes, munitions et matériels d'entraînement. La Russie conserve par ailleurs la volonté de disposer de matériels diversifiés, selon la menace à affronter. C'est un choix coûteux, qui part du principe que les systèmes polyvalents et efficaces n'existent pas. Enfin, la tenue d'exercices majeurs demeure, même en temps de tension économique. Le budget alloué est significatif. Les campagnes de tirs réels permettent de mieux contrôler le fonctionnement et l'efficacité des munitions.







# ***HISTOIRE***



# Reconstruire la défense aérienne française d'après 1945, dix années d'équilibre entre souveraineté et intégration (1945-1955)

*Loris Paoletti, doctorant en histoire, École pratique des hautes études.*

La défaite française de 1940 est un épisode de l'histoire militaire amplement étudié, qu'il s'agisse de ses causes, de son déroulement et des heures sombres qui en découlent. Le régime de Vichy, qui reprend le commandement d'une partie des forces armées nationales, veut identifier et punir les responsables de cette débâcle. Il trouve en la jeune armée de l'Air un coupable tout désigné. La campagne de France constitue dès lors à la fois un traumatisme et une étape fondatrice pour les aviateurs. C'est en effet ce traumatisme et l'expérience glanée auprès des aviations anglo-saxonnes qui convaincront les futurs décideurs de l'armée de l'Air de la nécessité d'élaborer une défense aérienne française robuste à la Libération, en accord avec le Gouvernement provisoire de la République française (GPRF) qui entend restaurer rapidement la souveraineté nationale sur le territoire métropolitain. Les généraux Bouscat et Valin préparent à cet effet un décret portant création du commandement de la défense aérienne du territoire (DAT) dès novembre 1944. Ce décret est ratifié par le général de Gaulle, chef du GPRF, le 20 janvier 1945, alors que la France est toujours engagée dans la Seconde Guerre mondiale. Il confie l'intégralité des moyens de défense aérienne nationaux au général commandant la DAT.

Commencent alors dix années durant lesquelles ce commandement va tenter de se développer aussi bien sur le plan conceptuel que matériel, dans un contexte stratégique et financier particulièrement instable. Dans les premières années d'après-guerre (1945-1947), la France cherche sa place dans le nouvel ordre mondial. Le commandement de la défense aérienne se dote alors d'un commandement dédié et d'une organisation adéquate, mais souffre d'un manque de moyens. La France fait alors le choix de se tourner vers Londres (Traité de Dunkerque signé en 1947), puis vers la Belgique et les Pays-Bas (Pacte de Bruxelles et Union occidentale en 1948) pour faire face aux menaces aériennes en ce début de Guerre froide (1947-1949). Cette démarche collective de défense européenne convainc Washington d'entrer dans la construction d'une alliance atlantique à compter de 1949. Commence alors pour la France une période d'équilibre complexe (1950-1955) puisqu'elle bénéficie de l'aide des Américains, mais souhaite préserver son

indépendance. L'armée de l'Air et la défense aérienne en particulier n'échappent pas à ce dilemme : si les apports matériels, doctrinaux, ou encore organisationnels des Anglo-Saxons sont remarquables, Paris refuse l'intégration de ses moyens de défense aérienne en 1955. La France commence alors à prendre ses distances avec l'OTAN, tendance qui sera confirmée par le retour au pouvoir du général de Gaulle. Cet article propose donc d'étudier la défense aérienne française après la fin de la Seconde Guerre mondiale, pour montrer son oscillation entre expression de la souveraineté nationale et instrument militaire et diplomatique dans une période où la France peine à restaurer son statut de puissance.

### **La tentative de reconstruction d'une défense aérienne nationale et autonome (1945-1947)**

Pendant la période 1942-1945, l'armée de l'Air envisage plusieurs projets de reconstruction influencés par les modèles alliés comme ennemis. Cette quête amène les officiers généraux qui reconstruiront l'armée de l'Air après 1945 (Valin à Londres mais aussi Bouscat, Gérardot) à préférer définitivement la stratégie anglo-saxonne qui recherche systématiquement la supériorité aérienne avant le déclenchement de toute autre action militaire. La maîtrise du ciel n'est plus négociable. Pour autant, sa place doit être inscrite dans la doctrine d'emploi des forces aériennes françaises, qui sont encore intégrées dans les forces aériennes américaines et britanniques. La chasse française effectue des missions de couverture au-dessus du territoire ennemi mais la question de la protection du territoire national est également soulevée puisque ce dernier recèle des objectifs stratégiques et fait pleinement partie du théâtre d'opérations. La protection de ces cibles potentielles doit donc faire partie des missions de l'armée de l'Air, pour faire face aux raids massifs et aux tirs d'engins spéciaux.

#### *Penser une défense aérienne française moderne*

Si la France se dote d'un commandement de la Défense aérienne du territoire (DAT), ses frontières restent floues à une époque où l'armée de l'Air est sous commandement allié et mène la guerre contre l'Axe au sein d'unités intégrées dont les missions sont surtout le bombardement et l'appui tactique. Les unités de chasse françaises effectuent quant à elles principalement des missions de couverture, de mitraillage et d'assaut pour celles qui possèdent des chasseurs-bombardiers. La défense aérienne française dépend alors surtout des unités alliées stationnées en France, considérée comme une zone de l'intérieur. Le décret de 1945 sépare cette zone arrière de la zone de défense aérienne avancée où se trouvent les unités françaises de défense aérienne, soit la chasse, les forces terrestres antiaériennes (FTA) ou encore les moyens de détection<sup>1</sup>. Il revient au commandant de la DAT de « *constituer avec des moyens disponibles ou récupérables* »<sup>2</sup> une défense aérienne dont les actions seront coordonnées entre la zone des armées

1. Lettre n°519/DAT/S du général Bouscat au Ministre de l'Air, en date du 02/12/1944, SHD/EMDN, GR 4 Q6.

2. *Ibid.*

et celle de l'arrière et de préparer l'organisation future du temps de paix. Le découpage géographique entre zones de l'avant et de l'arrière est le résultat de négociations entre le général Bouscat (alors commandant des forces aériennes engagées) et le ministre de l'Air Charles Tillon. Bouscat entend rattacher le commandement de la DAT à celui des forces engagées sur le front pour assurer une continuité d'action entre les zones, tandis que Tillon souhaite le conserver au sein du ministère de l'Air<sup>3</sup> pour mieux contrôler ce commandement de nature interministérielle. Le général Valin, chef d'état-major général Air, estime que seul un « *officier général jouissant de par son grade et son ancienneté de grade, d'une autorité incontestée* » serait capable d'assurer cette fonction interarmées et interministérielle<sup>4</sup>. Cette querelle organisationnelle rappelle les hésitations doctrinales qui conduisent à la défaite brutale de 1940.

La DAT est finalement placée sous la responsabilité du ministre de l'Air (en vertu de l'article 6 de la loi du 11 juillet 1938 relative à l'organisation de la Nation en temps de guerre) et l'intégralité des moyens de défense aérienne nationaux sont mis à la disposition du commandant de la DAT. Ces attributions résultent d'une délégation permanente du gouvernement qui implique que la DAT peut exploiter l'ensemble des moyens interministériels de défense aérienne. Le décret définit un plan de défense aérienne qui couvre la métropole et l'Afrique du Nord dès le mois de mars 1945, plan qui est approuvé par l'EMGA en mai 1945 avec pour ambition de l'étendre aux territoires de l'Empire. La DAT dispose désormais d'un commandement unique (par opposition à 1940), avec des représentants dans les zones de défense aérienne qui assurent un commandement local des moyens actifs et passifs. En revanche, l'état-major de la Défense nationale (commandé par le général Juin qui est peu sensible au potentiel de la puissance aérienne) conserve un droit de regard sur les activités de ce nouveau commandement.

### *Rebâtir la défense aérienne du territoire*

Le cadre théorique permet la concentration de moyens au sein d'un commandement unifié sur l'ensemble du territoire, selon un principe qui rompt avec les découpages opérés par les forces terrestres et maritimes pour fixer la forme des zones aériennes. Cependant, la DAT peine plus prosaïquement en cette fin de guerre à rassembler les moyens nécessaires à l'exécution de ses missions. Certes, les groupes de chasse III/6, II/6 et II/9 sont placés sous son commandement en janvier 1945. Le I/9 les rejoint en mars 1945<sup>5</sup>. La dissolution du Commandement de l'aviation côtière permet de récupérer ses moyens (personnel et matériels) et de les transférer aux commandants des zones de défense 502 et 503, à disposition du commandant de la DAT<sup>6</sup>. Mais le personnel et le matériel font défaut pour la

3. P. Facon, *L'armée de l'air de la victoire, 1942-1945*, Paris, Économica, 2006, p. 208.

4. Lettre n°448/Cab.EMGAA du général Valin au Ministre de l'Air, en date du 06/12/1944, SHD/EMDN, GR4Q6.

5. Instruction n°136/3.S/EMGA, du 19/03/1945, SHD/EMDN, 4Q68.

6. Instruction n°EMGA/4399-1/O-S portant dissolution du Commandement de l'aviation côtière, en date du 12/03/1945.

chasse de nuit comme les réseaux de radar et de transmissions. De plus, l'armée de Terre dispose d'un droit de regard en matière de DAT car la Défense contre avions (DCA) relève des FTA.

Le réarmement de la défense aérienne dépend, comme pour l'armée de l'Air, des livraisons de matériel allié. Ce matériel provient d'abord des États-Unis qui réarment les unités basées en Afrique du Nord à partir de 1943. Ces livraisons sont rythmées par l'application de plusieurs plans d'armement élaborés par les autorités françaises en fonction des besoins opérationnels. Mais la France doit diversifier ses fournisseurs. Le général américain Eaker (alors commandant des forces aériennes alliées en Méditerranée et donc d'une partie importante de l'armée de l'Air de l'époque) informe d'abord Bouscat du désintérêt de Washington pour le réarmement français d'après-guerre en refusant le plan VIII<sup>7</sup>. En outre, les désaccords franco-américains sur l'occupation d'Aoste et de Stuttgart suspendent les livraisons américaines jusqu'à la fin de la guerre, mettant un terme anticipé à la loi *prêt-bail*.

L'armée de l'Air aligne aussi des unités réarmées grâce au concours de la *Royal Air Force (RAF)* et de l'*Air Ministry* qui proposent cette aide importante dès novembre 1944<sup>8</sup>. Le maréchal Portal, chef d'état-major de la *RAF*, propose également au général Bouscat, comme à ses homologues belge et néerlandais, de réorganiser l'armée de l'Air sur le modèle britannique.

Enfin, l'armée de l'Air dispose d'avions soviétiques qui sont employés par le *Normandie-Niemen* mais ces avions ne seront rapatriés qu'après la capitulation allemande et ne remplissent pas de missions au profit de la DAT à cette période. La DAT emploie aussi du matériel allemand (pièces de DCA, matériel de défense aérienne et de sécurité aérienne).

Pour se réarmer à court terme, trois hypothèses sont envisagées : celle d'un achat de matériel produit à l'étranger, de matériel étranger produit sous licence, ou de matériel français bien que cette dernière hypothèse nécessite la reconstruction de l'industrie. Le Comité de la Défense Nationale insiste sur le besoin d'acheter du matériel répondant à des spécificités techniques et pas seulement politiques. Le lieutenant-colonel Hartemann<sup>9</sup> de la section Plan de l'État major général (EMG) Air est chargé de cette mission et va privilégier la piste britannique. Ses échanges avec la *RAF* vont servir de socle au modèle de défense aérienne qui est choisi en France après 1945. Pour des questions de compati-

---

7. M. Vigneras, *Rearming the French: United States Army in World War II*, Honolulu University Press of the Pacific, 1957 [ré-imprimé en 2003], pp. 373-377.

8. Fiche du lieutenant-colonel Lassalle en date du 20/11/44 au sujet du réarmement air, SHD/EMDN 4Q6.

9. Le futur général A. Hartemann apparaît comme un candidat naturel pour cette mission de liaison. Avant la Seconde Guerre mondiale, il occupe divers commandements en Afrique du Nord où il établit des liens de coopération avec la *RAF* présente à Malte et en Égypte. Il prolonge ses missions de liaison en devenant membre de la *Joint Air Commission* en Algérie après l'opération *Torch*, ce qui en fait un acteur clef des négociations avec les Alliés.

lité, l'infrastructure au sol (radars, systèmes de radionavigation – chaînes *Gee*) est acquise au Royaume-Uni. Puis le général de Gaulle envoie une mission à Londres en avril 1945 pour négocier l'achat de chasseurs.

D'un point de vue politique, la France se situe dans une situation de « *grandeur sans moyens, de sécurité illusoire sans industrie autonome d'armement* »<sup>10</sup>. Cette impuissance matérielle décourage la discussion en matière de politique extérieure et de stratégie : faute de moyens, le pays peine à définir une stratégie de défense nationale claire. Il s'agit probablement d'une des raisons qui poussent l'état-major de la défense nationale à accepter que l'aviation française reste intégrée aux grands commandements aériens alliés pendant qu'elle poursuit sa reconstruction<sup>11</sup>. Dans ce cadre interallié, l'armée de l'Air se spécialise dans les missions d'appui au sol, comme le souhaite l'État major de la Défense nationale (EMDN) qui entend privilégier le développement d'une forte aviation tactique de coopération alors que l'armée de l'Air privilégie le déploiement de forces de supériorité aérienne pour protéger ses bombardiers et pour assurer la défense aérienne du territoire national.

Dans le même temps, le général de Gaulle, président du GPRF, charge Charles Tillon (communiste et fortement opposé au général Juin qui dirige l'EMDN) de relancer l'industrie aéronautique<sup>12</sup>. L'enjeu est de produire du matériel national pour concilier les besoins de l'économie et ceux des militaires, afin de ne pas dépendre de l'armement allié. En effet, cette dépendance obère la liberté d'action française, d'autant plus qu'il est clair, à partir de janvier 1945<sup>13</sup>, que les Alliés se désintéressent du réarmement français une fois la guerre terminée. Le niveau de l'industrie a régressé pendant l'Occupation. L'outillage reste acceptable mais les chaînes de production doivent être modernisées, alors que la France connaît d'importantes pénuries et une démobilisation du personnel<sup>14</sup>. Pour la défense aérienne, dès décembre 1944, le ministère de l'Air ambitionne de produire rapidement des avions à réaction. Le service technique aéronautique<sup>15</sup> fait état de ses projets expérimentaux (*Leduc, SO. 6 000 Triton, SO. 6 020, SE. 2 400*) dès la fin de l'année 1945. Ce dynamisme industriel traduit néanmoins une dispersion des ressources.

Reste que l'état du pays appelle davantage à la relance économique qu'à la reconstitution de forces militaires, alors que la perspective d'un conflit semble

10. J.-P. Rioux, in « De Gaulle et la nation face aux problèmes de défense, 1945-1946 », *Compte-rendu de conférence*, Paris, Plon, 1983, p. 65.

11. C. Christienne (général) in « De Gaulle et la nation face aux problèmes de défense, 1945-1946 », *compte-rendu de conférence*, Plon, Paris, 1983, p. 45.

12. M.-C. Dubreil, « Fernand Grenier et Charles Tillon, deux communistes au ministère de l'Air », *Revue Historique des Armées*, n°2, 1995, p. 69.

13. « Compte-rendu de la conférence tenue au bureau des Plans », ministère de l'Air, 1<sup>er</sup> complément au Plan VII, Paris, le 5 janvier 1945, SHAA, 4 D 2, cité in M.-C. Dubreil, « Fernand Grenier et Charles Tillon, deux communistes au ministère de l'Air », *Revue Historique des Armées*, n°2, 1995, p. 72.

14. Témoignage oral de M. Charles Tillon, réalisé par le Service historique de l'armée de l'air.

15. Note n°53 du service technique aéronautique, citée dans M.-C. Dubreil, *op. cit.*, pp. 72-73.

improbable juste après 1945. La DAT demeure donc embryonnaire jusqu'au début de la Guerre froide, quand la France prend la mesure de la menace aérienne soviétique et raffermi sa coopération avec ses alliés.

### **Le temps des alliances : l'idée d'intégration en toile de fond ? (1947-1949)**

Constatant la faiblesse de ses moyens, le gouvernement se tourne donc d'abord vers la *RAF* pour reconstruire sa défense aérienne. La création de l'Union occidentale (1948) puis du commandement militaire intégré de l'Alliance atlantique (mise sur pied progressivement à partir de 1950) permet ensuite de bâtir une défense aérienne moderne. C'est là tout le paradoxe de la DAT naissante. Expression de la souveraineté nationale, elle ne peut être assurée pleinement face aux mutations des menaces (augmentation de la vitesse et de la portée des bombardiers, bombe nucléaire soviétique) qu'au prix de concessions en matière d'indépendance.

#### *Une première étape : le Traité de Dunkerque*

La France et le Royaume-Uni, partenaires militaires de longue date, signent en 1947 le Traité de Dunkerque afin de se protéger contre toute résurgence du militarisme allemand. La *RAF* continue donc d'apparaître comme le partenaire privilégié pour accompagner la montée en puissance de la défense aérienne française. Le *Fighter Command*, fort de son expérience opérationnelle et organisationnelle, offre une expertise précieuse. Londres envoie régulièrement des officiers outre-Manche pour conseiller l'armée de l'Air sur l'architecture de sa défense aérienne<sup>16</sup>. L'essentiel de l'effort est réalisé dans le nord-est du territoire métropolitain, d'où la frontière allemande peut être couverte, et qui constitue un premier rideau défensif avancé sur le continent pour protéger les îles britanniques. Par ailleurs, le Royaume-Uni s'engage à fournir à la France du matériel de défense aérienne comprenant avions de chasse et moyens de détection et de contrôle. En attendant la sortie d'usine de modèles français, l'armée de l'Air met en ligne ses premiers avions à réaction, les *Vampire* construits par *De Havilland*, qui sont d'origine britannique. La France obtient également l'acquisition de licences de fabrication, aidant les constructeurs français à produire plus rapidement des appareils et des moteurs modernes.

Néanmoins, le plan est trop ambitieux pour une armée de l'Air qui connaît une déflation d'effectifs importante et peine à se reconstruire. L'industrie française est encore incapable de fournir du matériel de détection électromagnétique tandis que l'état des finances nationales ne permet pas de compenser ce déficit par des achats à l'étranger. L'industrie aéronautique britannique, quant à elle, doit honorer les commandes de la *RAF*, entraînant une perception seulement progressive des *Vampire* par l'armée de l'Air. Conscients néanmoins du danger

---

16. Aux ordres de l'*Air Commodore* Fressanges, directeur des opérations à l'état-major général de la *RAF*.

aérien que représente l'URSS, les généraux Léchères et Tedder (respectivement chefs d'état-major de l'armée de l'Air et de la *RAF*) se rencontrent le 9 mars 1948 pour arrêter une organisation de la défense aérienne en Europe. La France dépend certes à ce moment de l'aide de son partenaire mais les Britanniques comptent clairement sur une participation française massive à la défense aérienne européenne, les deux États ayant fait de la défense aérienne leur priorité.

Le Traité de Dunkerque est ainsi la naissance de la défense aérienne partagée en Europe occidentale car il a l'ambition d'intégrer à terme la Belgique et les Pays-Bas dans le cadre d'un traité multilatéral plus ambitieux. Au sein de ce dispositif, la France doit occuper une place centrale du fait de sa situation géographique et par l'ampleur des futurs moyens qu'elle pourra mobiliser. Conscient de l'opportunité de bénéficier d'une défense avancée sur le continent, le Royaume-Uni s'engage à fournir plus d'aéronefs et matériels de détection et de contrôle modernes<sup>17</sup>. La *RAF* se voit confier la mission de former les aviateurs alliés à la mission de la défense aérienne. Ces accords signent les débuts de l'organisation d'une défense aérienne européenne harmonisée, animée par une doctrine d'emploi commune et assurée par des moyens similaires. Cette vision partagée est confirmée par le Traité de Bruxelles.

#### *Traité de Bruxelles et Union occidentale*

Face à la montée des périls du début de la Guerre froide, le Traité de Bruxelles est adopté le 17 mars 1948. Ratifié par le Royaume-Uni, la France, la Belgique et les Pays-Bas, il fixe les premières étapes de la construction européenne en prévoyant notamment une clause de légitime défense collective face à toute agression armée en Europe<sup>18</sup>. Le 28 septembre 1948, les membres du Traité de Bruxelles établissent l'organisation de défense de l'Union occidentale (UO) comprenant un haut commandement militaire unifié qui sert d'état-major commun (les questions aériennes sont confiées à un aviateur britannique, l'*Air Chief Marshal* Robb) et un comité en charge de l'armement. D'une certaine manière, l'UO consacre l'intégration du Benelux dans le Traité de Dunkerque (les négociations franco-britanniques prévoyaient déjà une intégration de ces pays). Le fardeau de la sécurité européenne est mieux réparti et le nombre d'unités à opposer aux forces soviétiques augmente. Pour la France, l'objectif est aussi de repousser un front potentiel vers le nord-est en arrêtant l'avancée ennemie le plus à l'est possible, et d'assurer ensuite la défense aérienne de l'UO. Des forces d'intervention composées de groupes tactiques et des groupes de chasse doivent donc être constituées. La Belgique et les Pays-Bas, qui risquent d'être envahis en premier, doivent porter leurs efforts sur l'aviation tactique pour stopper l'avancée terrestre et, si besoin, assurer la défense aérienne. La France doit fournir la

17. M.-S. Decup, *France-Angleterre, Les relations militaires de 1945 à 1962*, Paris, Economica et Institut de Stratégie Comparée, 1998, pp. 209-210.

18. Il est à noter que cet accord ne vise plus uniquement l'Allemagne et n'exclut donc pas l'éventualité d'une invasion soviétique.

majorité des troupes terrestres, mais aussi participer à la maîtrise de l'air grâce à sa défense aérienne.

S'il veut assurer les termes de cet accord, le Royaume-Uni va devoir fournir l'essentiel du matériel (radar, avions, soutien et maintenance) à la France, mais aussi à la Belgique et aux Pays-Bas qui ont de graves lacunes dans le domaine des transmissions. Sur le plan des moyens, ce traité n'a donc qu'une faible valeur militaire car il se révèle d'une part, beaucoup trop ambitieux par rapport aux ressources de ses membres, et d'autre part, parce que l'industrie britannique ne pourra pas répondre simultanément aux besoins de la *RAF* et des armées de l'Air de l'UO. Il relève plus de la déclaration d'intention, mais participe à convaincre les États-Unis de se réengager en Europe. Ce retour américain va accélérer le développement de la défense aérienne française, qui dispose alors d'un cadre mais manque de moyens. Pour la DAT, délaissée depuis des années<sup>19</sup>, la remontée en puissance va nécessiter un effort politique, financier et industriel que l'Alliance atlantique pourra lui fournir.

#### *De l'Union occidentale à l'OTAN*

Les États-Unis sortent de leur posture isolationniste avec l'adoption de la résolution Vandenberg du 11 juin 1948. Le processus menant à la création de l'OTAN est lancé et aboutit en avril 1949. Le *Mutual Defense Act* ou Pacte d'assistance mutuelle (PAM) est voté le 6 octobre 1949 et est complété par un accord bilatéral franco-américain.

En entrant dans l'OTAN, la France reconnaît son incapacité à se défendre sans ses alliés et particulièrement les États-Unis et renonce dans les faits à une partie de sa souveraineté. C'est un aveu d'échec par rapport à l'ambition gaulienne de 1945. La France reste donc attachée à l'UO qu'elle considère comme un contrepoids aux fortes relations américano-britanniques dans l'OTAN. Pour la diplomatie française, l'Alliance atlantique est cependant un instrument privilégié pour contrôler l'Allemagne avec le concours des Alliés. Par ailleurs, la charte n'interdit pas aux États signataires de continuer à développer leurs capacités autonomes, ce qui profitera à la DAT en France. Surtout, l'OTAN accélère l'intégration des armées alliées et la standardisation de leurs matériels au titre du plan d'aide militaire de septembre 1949. Au final, le Traité de Washington n'est pas une surprise stratégique. L'implication des États-Unis était certaine en cas d'invasion de l'Europe. Mais elle devient officielle dans un contexte sécuritaire de plus en plus précaire.

Dans un article publié dans la revue *Forces aériennes françaises* en juin 1949, le général Montrelay, commandant de la DAT, propose un état des lieux de son commandement à quelques mois de la signature du Traité de Washington. Il reconnaît la dépendance réciproque de la DAT en France et en Europe occidentale.

---

19. Témoignage oral du général Montrelay, réalisé par le Service historique de l'armée de l'Air et consultable au SHD.

Il écrit être en faveur d'une organisation commune, de la mise en commun des moyens et d'un effort de recherche collectif. Surtout, cet article introduit un fait majeur : le commandant la DAT affirme sa volonté d'intégrer les moyens de défense aérienne. Il entend réaliser cette intégration avec l'aide du Royaume-Uni qui continue de réorganiser la DAT<sup>20</sup> française et celle des alliés du pacte de Bruxelles.

L'entrée dans l'Alliance soulève néanmoins des interrogations comme le « *problème des relations entre les Autorités Nationales et le Commandement Opérationnel interallié du temps de guerre. Ce problème affecte la Souveraineté Nationale. Sa solution doit la sauvegarder tout en facilitant une conduite efficace des opérations* »<sup>21</sup>. La répartition des missions entre la zone opérationnelle et la zone de l'intérieur demeure aussi inconnue dans les premiers temps de l'Alliance atlantique<sup>22</sup>. Enfin, l'armée de l'Air s'interroge sur la nature de son emploi dans le cadre d'un conflit entre l'OTAN et un ennemi « *de type URSS* »<sup>23</sup>, sur le type de moyens qu'elle devrait mettre en œuvre et leur lieu de stationnement.

Ainsi, en 1949, les débuts de l'OTAN sont surtout concrétisés par la nouvelle donne diplomatique. Les bénéfices militaires vont se faire progressivement sentir avec le réarmement consécutif à la guerre de Corée. Mais cet engagement atlantique entrave finalement le développement de la DAT française qui est aussi ralenti par la guerre d'Indochine.

### **Le difficile renouveau de la défense aérienne française (1950-1955)**

En ce début des années 1950, la menace aérienne soviétique est avérée. En plus de ses armes nucléaires, l'URSS aligne 8 200 chasseurs, 3 700 bombardiers moyens et légers et 1 200 bombardiers lourds<sup>24</sup>. L'état-major de la défense nationale français estime que des forces soviétiques atteindraient le sud-ouest de la France en une vingtaine de jours en cas d'invasion. Face à cette menace grandissante, la France n'a que peu de moyens à opposer dans le ciel car ses moyens de défense aérienne se font rares et sont périmés. L'adhésion à l'OTAN a le mérite d'apporter une réponse financière des matériels pour la DAT.

#### *La défense aérienne face à ses limites ou le besoin de l'atlantisme*

En matière de défense aérienne, l'OTAN couvre l'Europe occidentale en instituant des zones opérationnelles qui ne tiennent pas compte des frontières nationales. La France est coupée en deux : d'un côté le nord-est du pays qui correspond au 1<sup>er</sup> Commandement aérien tactique (*CATAC*) et qui est intégré à la 4<sup>e</sup> *Allied Tactical Air Force (ATAF)* et de l'autre le reste du territoire qui relève du

20. Étude comparée des organisations de DAT française et britannique, 21 octobre 1949, SHD/Air, AI 02 E 2819.

21. SHD/Air, AI 02 E 2819.

22. *Ibid.*

23. SHD/Air, AI 02 E 2811.

24. J. Bertin (capitaine), « Aviations étrangères », *Forces aériennes françaises*, n°71, août 1952, pp. 700-708.

commandement de la DAT. Ce découpage a pour avantage que l'OTAN absorbe le premier choc en cas d'offensive soviétique. Quand la première vague ennemie est absorbée par le dispositif interallié, la défense aérienne française, placée en second rideau, doit pouvoir repousser une attaque dont l'élan est émoussé. De même, le dispositif sur le Rhin sert de moyen de détection avancée qui compense le manque de profondeur du territoire national français. Le revers de la médaille est qu'un différentiel qualitatif émerge entre les deux zones. La défense sur le Rhin concentre les moyens les plus modernes alors que la défense aérienne française placée en couverture repose sur des avions obsolètes et dont la modernisation dépend des plans d'aide militaire et de la relance de l'industrie nationale.

Les livraisons de matériel effectuées au titre du plan d'aide militaire (PaM) en mai 1951 comprennent les premiers chasseurs-bombardiers *F-84 Thunderjet*, qui sont aussitôt mis en ligne. Ces avions servent uniquement au sein des unités intégrées mais offrent l'opportunité de fixer les standards dans la fabrication des intercepteurs par l'industrie française. L'*Ouragan*, premier chasseur de construction nationale, est par exemple testé par des pilotes américains qui le jugent suffisamment performant pour s'intégrer au dispositif allié et pour assurer la mission de DAT au niveau national. La validation des performances de l'avion par les Américains ouvre par ailleurs la voie aux contrats *off-shore*. Grâce à eux, l'industrie aéronautique française peut produire plus d'avions de chasse, payés par Washington, qui sont placés à titre gracieux à la disposition de l'armée de l'Air. Les escadres de chasse mettent en œuvre du matériel national tandis que l'industrie française est stimulée grâce à ces mesures<sup>25</sup>. Ce procédé finance ainsi la livraison de 185 *Ouragan* sur les 350 que reçoit l'armée de l'Air à compter de 1952<sup>26</sup>.

Cet effort significatif est complété par la mise en place de bases américaines et canadiennes en France. Si les Américains considèrent ce pays comme une base arrière au service de la logistique, les Canadiens déploient une division aérienne dans la région de Metz qui comprend deux bases aériennes (Marville et Grostenquin) et un quartier général. Entre 1952 et 1954, la *Royal Canadian Air Force (RCAF)* aligne sur place environ 75 *Canadair Sabre* pouvant remplir la mission de défense aérienne (le nombre d'avions augmentera d'ailleurs à la fin des années 1950<sup>27</sup>). À titre de comparaison, le nombre d'intercepteurs mis en œuvre alors par l'armée de l'Air oscille entre 225 pour l'année 1950 et 275 en 1953<sup>28</sup>.

L'apport de l'OTAN à la défense aérienne en France est mitigé. D'abord, peu d'unités intégrées assurent ce type de missions en dehors du nord-est car l'Alliance laisse à la France la souveraineté de l'essentiel de son espace aérien.

---

25. J. Doise et M. Vaïsse, *Diplomatie et outil militaire, Politique étrangère de la France 1871-2015*, Paris, Éditions du Seuil, 2015, p. 517.

26. A. Houizot, *Le problème de la défense aérienne à l'heure de l'OTAN, 1949-1966*, Service historique de la défense, 2007, p. 27.

27. A. Houizot, *op. cit.*, Annexe III : ordre de bataille et origine du dispositif de défense aérienne en France, graphique 2 : origine et importance quantitative du dispositif de défense aérienne en France.

28. *Ibid.*

En outre, les opérateurs de radars et de centres de contrôle des alliés supportent essentiellement leurs propres forces aériennes, même si le radar canadien situé près de Metz (participant aux missions d'interception de la *RCAF*) coopère occasionnellement avec des unités françaises<sup>29</sup>. Néanmoins, l'OTAN offre des bases doctrinales et techniques précieuses à partir de 1949, qui stimulent la modernisation des intercepteurs utilisés par l'armée de l'Air.

*Concilier exigences otaniennes et souveraineté française*

Dans le domaine aérien, l'intégration des forces aériennes tactiques françaises devient effective dès la fin des années 1940 comme le note l'historien A. Poilbout<sup>30</sup>. Pour la défense aérienne, la problématique est plus complexe. D'un point de vue strictement militaire, le besoin de coopération est évident. La DAT et l'armée de l'Air se prononcent en faveur<sup>31</sup> de l'harmonisation des moyens, des procédures et du partage des renseignements. Néanmoins, d'un point de vue diplomatique, le gouvernement français pousse dans le sens opposé puisqu'il entend conserver la décision d'ouverture du feu et refuse l'intégration au nom de l'indépendance et de la souveraineté nationale. Le projet d'intégration des différentes défenses aériennes connaît plusieurs tentatives dès la signature du Traité de l'Atlantique mais est réellement lancé par *SHAPE* à compter de 1954. Cette coopération comprend un volet technique, un volet capacitaire (moyens d'interception et d'infrastructure au sol) et un volet organisationnel (découpage de l'Europe en régions de défense aérienne sous un commandement intégré)<sup>32</sup>. *L'Air Marshall Embry* (commandant « Air » des forces alliées en Centre-Europe) lance les premières démarches en 1954 et propose une intégration des ciels français, belge, néerlandais et ouest-allemand en Centre-Europe sous un commandement opérationnel interallié unique. Le gouvernement français tempère cette initiative car il défend jalousement son indépendance en matière de défense aérienne.

Les négociations entre la France et l'OTAN au sujet de la défense aérienne aboutissent à une première impasse quand en 1955 le général Bailly, chef d'état-major de l'armée de l'Air, rejette le principe d'intégration pure et simple. Ce refus sur fond de tensions diplomatiques est motivé par le fait que la France n'accepte pas que la DAT et les autres commandements nationaux de défense aérienne soient traités comme des commandements OTAN et perdent leurs unités déjà peu nombreuses au profit d'un commandement intégré<sup>33</sup> alors même

29. A. Houizot, *op. cit.*, p. 43.

30. A. Poilbout, *Les forces aériennes tactiques intégrées à l'OTAN et ses incidences sur la politique et la stratégie françaises de 1946 à 1966*, Mémoire de Master d'Histoire réalisé sous la direction de J-P Bled, Université Paris Sorbonne Paris IV, années universitaires 2005-2007, p. 6.

31. Voir à ce sujet les nombreux articles publiés par des aviateurs dans la revue *Forces aériennes françaises* en 1948.

32. J. de Lespinois, « Déjouer la menace verticale : l'unification de la défense aérienne de l'Europe occidentale, 1947-1961 », in *Revue historique des armées*, n°236, 3<sup>e</sup> trimestre 2004, p. 80.

33. Lettre n°1362/EMAA/BPE/S du 13 septembre 1955 adressée au Ministre de la Défense Natio-

que l'armée de l'Air est engagée en Indochine puis en Algérie. Les négociations qui suivent sont toujours marquées par les mêmes différends diplomatiques et stratégiques. Si les aviateurs sont plutôt favorables à une intégration de la DAT, le retour au pouvoir du général de Gaulle en 1958 accélère le rejet définitif par la France de cette solution. Soucieux de réaffirmer l'indépendance nationale, le nouveau Président de la République rejette toute forme d'intégration de la DAT à l'OTAN mais ouvre la porte à une « coopération technique » poussée qui prévoit notamment la mise en place d'un système de détection et de renseignement unifié, ou encore l'application des procédures communes<sup>34</sup>.

## Conclusion

Ce refus du général de Gaulle marque une affirmation diplomatique forte pour une France qui cherche à restaurer sa grandeur et qui finira par quitter le commandement intégré de l'Alliance en 1966. Pour la DAT, l'impact est finalement faible. En vertu des accords Puget-Norstadt du 28 août 1961, la France et l'OTAN coordonnent leurs plans et opérations et pratiquent l'échange de renseignements relatifs à la situation aérienne<sup>35</sup>. La DAT (puis le Commandement Air des Forces de Défense Aérienne à compter de 1961) bénéficie d'une veille à l'Est, au-delà de ses frontières métropolitaines, tout en gardant le contrôle de ses intercepteurs. La France obtient une victoire diplomatique en se voyant attribuer un régime particulier au sein de l'Alliance. Elle conserve son indépendance en matière de défense aérienne alors même que le Royaume-Uni devient une des régions aériennes de l'OTAN et que le *Fighter Command* est placé sous les ordres du *Supreme Allied Commander in Europe (SACEUR)* le 1<sup>er</sup> mai 1961<sup>36</sup>. Forte de cette autonomie préservée, la défense aérienne aura la liberté de manœuvre nécessaire pour accompagner la montée en puissance du nucléaire militaire français.

---

nale et des Forces Armées, SHAA, E 2 922.

34. Lettre du Gouvernement français du 10 août 1960, citée in A. Houizot, *op. cit.*, Annexe VI.

35. J. de Lespinois, « Déjouer la menace verticale : l'unification de la défense aérienne de l'Europe occidentale, 1947-1961 », in *Revue historique des armées*, n°236, 3e trimestre 2004, p. 84.

36. C. Carlier, *Chronologie aérospatiale, 1940-1990, 50 ans d'aéronautique et d'espace français*, Paris, Économica, 1992, p. 76.

# **INTERVIEW**



# Entretien avec le général d'armée aérienne Stéphane Mille, chef d'état-major de l'armée de l'Air et de l'Espace

Jean-Christophe Noël



**Pour commencer, pouvez-vous nous en dire plus sur vos origines et si vous avez grandi dans un environnement aéronautique ?**

Le berceau de ma famille se situe dans le Sud-Est, dans la région d'Orange. Mais j'ai grandi dans différentes régions de France, notamment dans le Nord-Est, mon père étant militaire. Il était officier-mécanicien dans l'armée de l'Air et a notamment été affecté dans des unités dotées de Mirage III (Orange, Nancy, Colmar). Je l'ai bien sûr suivi dans toutes ses mutations. J'étais plutôt attiré par le sport étant petit, mais j'avais l'opportunité de traîner parfois dans le hangar ou de me saisir d'un casque de pilote et de m'en coiffer fièrement. Donc oui, très jeune, j'étais déjà au contact de mon futur environnement professionnel.

**Ces contacts précoces avec le monde militaire ont-ils été décisifs pour le choix de votre carrière professionnelle ?**

Ils jouent évidemment un rôle, même si je me souviens que je ressentais déjà les fortes contraintes du métier militaire et m'interrogeais à leurs propos. En fait, c'est la manière dont la communauté des aviateurs s'est mobilisée après la mort accidentelle de mon père, dans un accident de circulation à vélo, qui a décidé de mon avenir. Dès les premières heures suivant le drame, ses différents membres se sont réunis autour de ma famille. Ils nous ont soutenus dans notre deuil et

accompagnés quotidiennement pour surmonter les obstacles de tous ordres qui surgissent quand un mari ou un père disparaît brutalement. Pour moi, dès lors, c'est une évidence. Je décide de rejoindre l'armée de l'Air.

**Votre carrière de pilote de chasse se déroule principalement dans les unités de défense aérienne (DA). C'est votre choix ou le fait du hasard ?**

J'ai l'opportunité, avec mes camarades de promotion, de faire des vols pour nourrir notre motivation sur des avions de chasse pendant notre formation à l'École de l'Air. Mon premier vol se déroule à Istres sur Jaguar, mais l'essentiel de mon activité aéronautique dans les unités de combat de l'armée de l'Air se passe à Orange sur Mirage F-1 B biplace. Je vole notamment beaucoup pendant les exercices DATEX. Je peux suivre de la place arrière de nombreuses interceptions, profiter de sensations uniques lors de combats aériens. Je suis enthousiasmé par cette expérience et par l'ambiance qui règne dans l'unité. L'encadrement, malgré la forte pression quotidienne, se montre particulièrement bienveillant envers moi. Je retrouve les mêmes sensations de solidarité, d'humanité que j'avais connues après le décès de mon père. L'environnement, la mission, tout me plaît et c'est ça que je veux faire.

**Parmi les écueils à passer pour intégrer un escadron de DA, il y a l'amphithéâtre à Cazaux. Les jeunes pilotes reçoivent leurs affectations en fonction de leur classement. Vous sortez en quelle position ?**

Je suis classé troisième de ma promotion et dès la fin de la formation, nous envisageons toutes les combinaisons possibles pour imaginer dans quelle unité nous serons mutés. Nous recevons d'ailleurs les places disponibles la veille et après une longue discussion avec mes camarades, j'en arrive à la conclusion qu'une mutation sur Mirage F-1C à Reims me tend les bras. Cela me va très



bien car c'est une escadre de défense aérienne et, qui plus est, qui contribue à l'essentiel des déploiements de DA en OPEX. Mais le système de répartition des places ne suit pas simplement le classement. Le conseiller RH du personnel navigant (PN) nous répartit en plusieurs groupes de trois. Trois places sont proposées par groupe. Compte tenu de ma position, je n'aurai pas le choix et devrai prendre la dernière qui est proposée. Le premier de mon groupe est affecté à Orange, le second à Cambrai, et moi finalement à Strasbourg sur Mirage F-1 CR. À ce moment, je demande, avec une audace qui m'étonne encore, s'il reste une place à Orange. Le conseiller PN me répond que oui et me surprend en m'annonçant qu'il me mute...à Orange ! Je lui fais remarquer, avec ce qui frise cette fois de l'inconscience, que le deuxième de mon groupe aurait bien aimé cette place et que je lui laisse volontiers. Dans un mouvement mêlant lassitude et énervement, il décide alors de nous laisser choisir

nous-mêmes nos mutations en fonction de notre classement général ! Et je me retrouve muté à Reims, comme je l'avais pressenti la veille.

**Nous sommes alors en 1990. Votre nouvel escadron de chasse vous accueille-t-il avec entrain ?**

L'arrivée est glaciale. Un écriteau sur lequel est marqué « Escadron disciplinaire 1/30 Valois » est posé en évidence au-dessus de la porte d'entrée de l'unité. Mais je ne me dépars pas de mon sourire et au bout de quelques jours, le commandant d'escadrille me fait comprendre que l'escadron m'accepte. Car un escadron de chasse, notamment à cette époque, est réellement une unité particulière. Le nombre de pilotes est bien plus réduit qu'aujourd'hui, les installations sont bien plus rustiques que celles de nos unités actuelles. Les relations entre les hommes sont primordiales. Il faut se faire une place dans le groupe, sans se renier. Être reconnu et estimé d'un point de vue professionnel est indispensable. Savoir être décisif, comme je le suis parfois, lors des matchs de football hebdomadaires contre les deux autres unités de chasse présentes sur la base constitue un autre atout de taille !

**Quelle est l'ambiance dans les escadrons de défense aérienne sur Mirage F-1 C à l'époque ?**

L'activité est intense, comme aujourd'hui. Deux grandes missions rythment la vie de l'unité. Tenir la permanence opérationnelle (PO) occupe d'abord largement l'emploi du temps des uns et des autres, dans un contexte où les réflexes de la Guerre froide ne se perdent que lentement. Ensuite, les détachements en Afrique se succèdent. Je me souviens des sacs d'affaires qui traînaient régulièrement dans l'unité, prêts à être embarqués vers le Tchad. Le Mirage F-1C est à l'époque l'unique avion de défense aérienne projeté en Afrique. C'est une des raisons qui explique mon souhait de rejoindre Reims. Je veux partir le plus vite possible en détachement.

**C'est ce qui se passe ?**

Oui, je passe rapidement mes qualifications professionnelles et ai l'opportunité de partir à Djibouti avant même d'être qualifié pilote opérationnel, puis à N'Djamena une fois la qualification passée.

**Que reprenez-vous de vos premiers séjours africains ?**

C'est sur le théâtre africain que je vais connaître pour la première fois l'adrénaline d'une vraie mission opérationnelle. Je suis donc envoyé en 1991 à Djibouti pour m'aguerrir en tant que pilote à l'instruction (PIM). Je suis en mission d'entraînement quand le COMOPS local intervient soudainement sur notre fréquence. On le sent essoufflé. Il nous demande de confirmer l'armement que nous emportons et nous informe que deux avions se rapprochent rapidement de l'espace djiboutien. Nous devons les intercepter et juger de leurs velléités s'ils y pénètrent. Le sort veut que je sois le seul à disposer d'armement – des obus bons de guerre – dans mon avion. En une seconde, tout bascule et je comprends

que la réussite de la mission va reposer sur moi, si les intentions des pilotes de *MiG* sont hostiles. Pilote à l'instruction, je n'ai même pas encore effectué une seule campagne de tir ! Les sensations sont alors très fortes. L'excitation monte, mais je dois garder mon calme pour continuer à bien piloter mon avion, suivre mon *leader* et gérer mon système d'arme. Les deux *MiG* vont finalement faire demi-tour, la pression retombe mais je comprends ce jour-là que j'ai décidément fait un bon choix professionnel.

Sinon, du point de vue des sensations, je retiens de mes premiers séjours africains les odeurs si caractéristiques, la chaleur parfois oppressante et cette impression d'immensité quand vous volez, avec le sable qui semble s'étendre à l'infini. C'est aussi un formidable espace d'engagement opérationnel, quasiment sans limite. Vous ne disposez dans le Mirage F-1 C que de vos yeux, d'une carte, d'une montre et d'une boussole pour vous repérer ou pour naviguer. Trouver un ravitailleur dans cette immensité ne va pas de soi, malgré nos radars. Les erreurs ne pardonnent pas, car il n'y a pas de terrains de déroutement pour les rattraper, comme en France. On grandit, et on grandit vite.

### **Les moyens modernes d'évaluation des missions n'existent pas alors. Comment fait-on pour restituer les missions dans la défense aérienne ?**

Le débriefing est alors oral. On disait souvent, sous forme de boutade, que la mission se gagnait pendant le débriefing. Certains ont pu parfois sauver des situations très compromises en vol grâce à des arguments péremptoirs au sol ! Mais là n'est pas l'essentiel. Outre les qualités incontournables de pilotage, le fait de savoir s'exprimer posément, de pouvoir exposer une situation avec assurance, de décrire des engagements parfois complexes avec justesse étaient indispensables dans l'exercice de ce métier. Ces vertus étaient aussi très utiles pour la suite de la carrière, notamment dans les situations où il fallait convaincre un auditoire peu expérimenté ou des chefs dubitatifs de l'intérêt de nos idées. C'était une vraie école du commandement.

### **Comment l'arrivée du Mirage 2000 modifie-t-elle la donne ?**

Le Mirage 2000 C a une génération d'avance sur le Mirage F-1C et la question qui se pose dans tous les escadrons de F-1 est de savoir comment tenir la dragée haute à ce nouveau venu, même si nous savons que la lutte est inégale. Ce qui est vrai aujourd'hui l'était déjà, bien sûr, hier. Pour assurer la supériorité aérienne face à des avions modernes et technologiquement évolués, nous employons un nombre d'appareils plus important. Nous tentons de contrer la qualité par la quantité, avec le risque de subir quand même des pertes significatives et d'être finalement chassé du ciel. Il faut aussi être capable de faire évoluer tous ces avions ensemble. C'est le thème de ma thèse pour obtenir la qualification de chef de patrouille (CP) : comment conduire un dispositif de Mirage F-1 pour tenir en échec les avions de nouvelle génération ? J'imaginai placer le chef de ce dispositif à l'arrière d'un Mirage F-1B pour qu'il puisse se concentrer uniquement sur la conduite de l'engagement.

### **Vous allez avoir rapidement l'opportunité de tester par vous-même les qualités du Mirage 2000 RDI ?**

Oui, en effet. Je passe CP en moins de trois ans et, ayant un peu de temps devant moi, je suis volontaire pour devenir *Joint Terminal Attack Controller (JTAC)* en Bosnie. Je devais guider les avions d'assaut lors de leurs passes d'appui-feu au profit de nos troupes au sol. Pourtant, un peu avant de partir, je suis brusquement muté à Orange pour harmoniser les populations de CP et futurs commandants d'escadrilles dans les unités.

### **Le passage d'un avion à l'autre est-il difficile ?**

Les avions *Dassault* ont beaucoup de points en commun et il est assez facile de passer du Mirage F-1 C au Mirage 2000C. Pour autant, il est très rare qu'un jeune pilote en surprenne un autre plus expérimenté sur Mirage F-1 C. L'expérience, la connaissance intime de l'avion, de son domaine de vol, l'utilisation des volets dans les phases à basse vitesse permettent toujours de se tirer d'un mauvais pas. En Mirage 2000, c'est beaucoup plus difficile et je m'aperçois rapidement que les qualités de l'avion nivellent parfois la qualité du pilotage.

Par ailleurs, le débriefing d'une mission est souvent plus dense grâce aux moyens de restitution plus modernes. On y apprend beaucoup et les tactiques propres au radar *Doppler* du RDI peuvent être testées et affinées. Bref, il faut être humble et travailler pour retrouver son rang quand on arrive dans une nouvelle unité.

### **Le théâtre d'opérations change aussi ?**

Oui, je ne vais pas connaître la Bosnie au sol, mais je vais survoler régulièrement la région dans le cadre de la mise en place des *No-Fly Zones*. La mission évolue sensiblement par rapport à l'Afrique, car elle est effectuée dans un cadre interallié, et plus seulement français. Les patrouilles de défense aérienne doivent survoler – 7 jours sur 7 et 24 heures sur 24 – les zones qui leur sont confiées pour empêcher toute pénétration d'avions hostiles. Les hommes et le matériel doivent durer.

### **Comment maintient-on sa concentration et même sa motivation, alors que les cibles potentielles sont rares, du fait même de la présence des avions de chasse occidentaux ?**

C'est vrai que ces missions peuvent durer quatre ou cinq heures, avec plusieurs ravitaillements à effectuer pour rester en vol. Pour prendre mon cas personnel, je n'ai jamais eu de problème de concentration. Une fois que la mission débute, je suis totalement absorbé par elle. On peut ressentir un peu de fatigue quand on assure par exemple le créneau de 3 h du matin, mais elle demeure très passagère. Et je peux témoigner que chacun reste très motivé. Il peut toujours se passer quelque chose sur le théâtre, il faut être prêt à réagir, c'est d'ailleurs la raison de notre présence.

**La 5<sup>e</sup> escadre d'Orange est la seule unité de défense aérienne à avoir participé à la guerre du Golfe, quatre ans auparavant. Que reste-il de l'expérience acquise à cette époque ?**

Je dirais que d'un point de vue opérationnel, l'expérience a largement été partagée et diffusée dans les unités. Ce qui affecte cependant le personnel est alors moins sa capacité à s'adapter aux nouvelles règles de la guerre aérienne que les problèmes d'ordre privé qui émergent avec la répétition des longues absences. La guerre du Golfe (1990-1991) marque le début d'une séquence dont nous ne sommes pas encore sortis, avec des unités extrêmement sollicitées. Les situations familiales vont devenir parfois plus tendues et certains couples ne vont pas résister aux absences nombreuses du mari et père, ou de l'épouse et mère. C'est dans ces moments qu'on peut mesurer toute l'importance de la solidarité entre les membres d'une même unité, avec leurs conjoints bien sûr, pour aider les uns et les autres à surmonter, ou au moins atténuer, les difficultés qu'ils rencontrent et pour lesquelles ils ne sont pas toujours préparés.

**Pour revenir aux aspects opérationnels, la guerre du Golfe annonce également une période d'une trentaine d'années où la supériorité aérienne occidentale est manifeste. Comment se traduit ce sentiment de supériorité une fois installé dans un cockpit de Mirage 2000 DA ?**

Nous avons conscience d'être dans le bon camp et de pouvoir bénéficier de rapports de force dissymétriques. La tension dans un engagement de type symétrique serait incontestablement différente. Nous savons aussi que nous pouvons bénéficier de cette supériorité grâce à l'amélioration constante de nos équipements et le travail en coalition. Notre manière de travailler évolue au fil des améliorations capacitaires, même si les tactiques demeurent fondamentalement les mêmes. Mais encore une fois, chaque interception détient sa part d'incertitude. Il faut être humble et concentré. La mission peut même s'interrompre prématurément en cas de problème lors du ravitaillement en vol qui, comme tous les pilotes peuvent témoigner, n'est pas un sport de masse.

**Après un passage par l'École de l'air où vous transmettez votre enthousiasme et votre énergie aux jeunes générations, vous êtes muté à Cambrai. Vous avez ainsi évolué dans trois des quatre escadres de défense aérienne de l'époque. Les ambiances sont-elles différentes ?**

Oui, bien sûr, outre l'identité de chaque unité, construite autour de son lieu de stationnement, de sa position sur la base, de l'histoire, du type d'avions sur lesquels les pilotes ont volé et les mécaniciens ont travaillé, le type d'opérations auxquelles vous participez détermine largement l'ambiance. Les opérations structurent par exemple l'entraînement au quotidien et l'activité sur le long terme. À mon époque, Reims respirait l'Afrique. L'ex-Yougoslavie cadençaient la vie des unités de la 5<sup>e</sup> escadre. Et à Cambrai, c'étaient les détachements dans le Levant, déjà – en Arabie Saoudite plus précisément – qui laissaient leurs empreintes sur chacun. Notre mission était d'interdire aux avions irakiens de survoler le Sud



du 42<sup>e</sup> parallèle. Nous en profitons aussi pour nous entraîner avec les unités américaines. Celles-ci, quand elles arrivaient sur le théâtre, ne voyaient pas nécessairement l'utilité de frotter leurs majestueux F-15 à de minuscules Mirage 2000. Deux ou trois engagements et disons quelques fortes déceptions plus tard, ils étaient très demandeurs de ce type de rencontre pour se perfectionner.

**Votre carrière de pilote de chasse s'interrompt après votre affectation à Cambrai, mais vous n'en avez pas fini avec les opérations. Vous allez être le numéro 2 de l'opération Barkhane pendant une année à partir de juillet 2016. Vous basculez dans un environnement interarmées. Comment se fait la transition de la défense aérienne à la guerre aéroterrestre ?**

Très bien, car nous sommes bien préparés. J'ai la chance de connaître le COMANFOR de l'opération avec qui je m'entends très bien. Nous suivons ensemble de nombreux briefings, notamment au Centre de planification et de conduite des opérations (CPCO). Cette période de préparation est très dense, mais indispensable. Par ailleurs, s'intéresser à son métier et faire les efforts nécessaires pour bien en maîtriser les différents aspects demeurent la meilleure recette qui soit, quelle que soit son activité.



DR

**Comment concilier son appartenance à une armée et le travail en interarmées ?**

En ayant la volonté de rapprocher les trois cultures d'armées. Attention, je dis rapprocher, pas dissoudre. Chaque militaire doit conserver son identité professionnelle et il doit aussi apprendre à travailler utilement avec les autres. Et cela ne va pas toujours de soi. Ce n'est en tout cas pas spontané, chacun possédant ses réflexes, ses habitudes, mettant en œuvre une vision particulière de la guerre. Le travail en commun permet de mieux comprendre les besoins

de l'autre mais aussi ce qu'il peut apporter à l'œuvre commune. J'ai trouvé que cet esprit interarmées régnait justement au Poste de commandement interarmées de théâtre (PCIAT) de Barkhane et c'est l'état d'esprit que j'ai essayé d'inspirer dans mes affectations suivantes.

**Quelles opérations allez-vous diriger avec le COMANFOR ? Comment l'arme aérienne se distingue-t-elle ?**

C'est le moment où les grands engagements dans le Nord Mali se terminent et où l'effort principal de l'opération bascule vers la boucle du Niger élargie. D'un point de vue aérien, on passe des grands espaces désertiques à des contrées où la végétation est plus luxuriante et où la détection est évidemment moins aisée. Néanmoins, les atouts de la puissance aérienne demeurent. Nos avions peuvent se déplacer rapidement sur l'ensemble du théâtre. Ils peuvent intervenir loin, vite et fort quand la situation se détériore lors d'un engagement tactique.

**Et il y a les drones bien sûr.**

Ils effectuent en effet un travail remarquable, mais leurs capacités sont encore limitées. Ils ne sont pas armés et ne sont pas équipés de capteurs ROEM. Selon l'expression consacrée, ils observent le terrain au travers d'une paille. Ils excellent dans l'identification, mais pas dans la recherche. Il est important d'avoir su faire évoluer les *Reaper* ces dernières années pour en faire des systèmes d'arme plus complets.

**D'une manière plus générale, quelles missions peuvent être confiées à la puissance aérienne dans ces conflits irréguliers ?**

La puissance aérienne est présente sur toute la gamme des opérations. En plus de l'appui-feu, elle participe par exemple au recueil de renseignement, améliore sensiblement la mobilité des troupes, permet leur ravitaillement, assure les liens avec la métropole. Et bien sûr, elle peut détruire des structures dans la profondeur du dispositif ennemi. C'est ce qui a été fait au Levant avec les postes de commandement de *Daech* dès qu'ils étaient détectés.

**Vous avez dû donner des autorisations de tir dans le cadre des missions en Afrique ou au Levant. On se doute que les informations en votre possession sont limitées au moment où vous devez donner le feu vert pour une frappe ou, au contraire, l'interdire. Vous n'êtes par exemple pas sur le terrain. Outre le cadre que fixent les règles d'engagement, quels critères vous conduisent à choisir dans un sens ou dans un autre ?**

Vous faites allusion à la fameuse friction que définissait déjà Clausewitz il y a deux siècles. Même ce qui paraît simple est difficile à réaliser à la guerre. Une situation n'est en fait jamais blanche ou noire, elle est toujours grise. Je pense justement que c'est le rôle du chef de décider en son for intérieur, en s'appuyant sur une certitude raisonnable. La certitude absolue est très rare.

Le chef n'est pas seul toutefois. Des experts accompagnent son processus de décision. Je pense au *Legal Advisor (LEGAD)* par exemple, qui offre des conseils avisés en fonction des règles qui nous sont fixées par le niveau supérieur. Et aux nombreux autres acteurs. Il y a aussi toutes les sources d'information disponibles, que ce soit des images, des écoutes d'un message radio récent, des comptes-rendus immédiats. Vous pouvez même déléguer l'autorisation de tir en cas de légitime défense ou si quelqu'un est mieux placé que vous pour en décider. Mais à la fin, la responsabilité du tir est la vôtre et vous devrez l'assumer.

**L'action de l'arme aérienne dans ces conflits irréguliers est rarement autonome, elle est liée à une manœuvre interarmées. Comment faire pour profiter au mieux des avantages des uns et des autres ?**

D'un point de vue technologique, il est essentiel que l'ensemble des acteurs soit reliés entre eux et puisse communiquer sur des réseaux qui soient compatibles. Ce n'est malheureusement pas toujours le cas.

Du point de vue de la conception et de la conduite de l'opération, il est indispensable que le chef sache présenter simplement ses intentions pour les échelons subordonnés, écouter et discuter avec ses adjoints représentant les différentes composantes pour apprécier parfaitement ce que chacun peut apporter dans le contexte précis d'une manœuvre. Ces échanges sont très précieux car nul ne peut se vanter de tout connaître ou de maîtriser parfaitement l'ensemble des capacités qui sont à notre disposition. C'est seulement après avoir écouté qu'on peut décider. Et définir, si besoin, le niveau de délégation des décisions pendant l'opération, en fonction des cas rencontrés. Il m'est bien entendu arrivé de privilégier des moyens terrestres ou marins dans certaines occasions, car les solutions suggérées par mes collaborateurs des autres armées étaient, à ce moment, plus adaptées à la situation.

**Vous avez dirigé le CPCO. Quelle distinction faites-vous entre le niveau stratégique et le niveau opératif ?**

Le niveau stratégique est le niveau où l'on définit notamment l'état final recherché militaire. Il est incarné par le CEMA, avec le CPCO qui est son bras armé. Le niveau opératif est celui de l'intégration des effets : la destination finale est connue, il faut maintenant tracer la voie. Un état-major opératif peut être placé sur le théâtre. Quand je participais à Barkhane, le PCIAT était à N'Djamena, ce qui ne posait pas de problème particulier. Pour être complet, j'ajoute que le niveau tactique est celui qui assure la conduite des opérations et produit les effets. L'armée de l'Air et de l'Espace a, depuis plusieurs années, choisi d'installer son état-major tactique à Lyon-Mont-Verdun.

**Ne perd-on pas en influence, en s'éloignant du théâtre ?**

On gagne d'abord des effectifs car des économies d'échelle sensibles peuvent être réalisées. Plusieurs opérations peuvent être conduites du même endroit, qu'elles se déroulent en Europe, en Afrique, au Levant ou dans le Pacifique.

Cette centralisation permet en outre de réaliser des bascules de moyens entre les différentes opérations. Mais nous parlons bien du niveau tactique. Il est important de conserver une présence d'aviateurs significative dans les états-majors opératifs pour être en mesure de valoriser les modes d'actions de la 3D.

**Vous terminez votre parcours opérationnel en tant que sous-chef des opérations (SCOPS) à l'EMA. La dimension politico-militaire doit cette fois prendre l'ascendant sur les autres ?**

En effet, le spectre de réflexion est un peu plus large qu'au CPCO. L'aspect préparation des opérations est également plus prégnant, grâce notamment au Commandement pour les opérations interarmées (CPOIA). Le portefeuille compte également la gestion de notre présence outre-mer et une relation avec le niveau politique plus étroite en appui direct du chef d'état-major des Armées.

**Cette expérience opérationnelle est-elle au fondement de votre vision pour l'armée de l'Air et de l'Espace ?**

Elle en fait partie bien sûr, même si elle ne s'arrête pas à ces aspects opérationnels. En fait, ma vision part de trois constats. D'abord, j'ai pu vérifier à tous ces postes de responsabilité interarmées que l'armée de l'Air et de l'Espace a toujours été au rendez-vous des opérations et a acquis une crédibilité inégalée dans les dernières décennies. Les exemples sont innombrables. Si l'on s'en tient aux plus récents, au cours d'opérations très différentes, les aviateurs se sont illustrés au Sahel depuis 2013 et au Levant contre *Daech* depuis 2014 ; au-dessus de la Méditerranée pendant *Hamilton* en 2018. Ils ont participé à l'évacuation de Kaboul l'année dernière avec un très faible préavis dans des conditions de sécurité très précaires. Je tiens bien sûr à ce que nous continuons à faire valoir cette excellence opérationnelle.

**Vos autres constats sont plutôt en rapport avec l'environnement opérationnel ?**

Tout à fait. Mon deuxième constat porte sur le développement des équipements sophistiqués. De nombreux compétiteurs investissent depuis une dizaine d'années pour produire ou acheter des avions de 4<sup>e</sup>, voire de 5<sup>e</sup> génération. Ils améliorent leurs capacités de déni d'accès. Dans le même temps, le format de notre aviation de chasse a été réduit. Des puissances régionales disposent d'armées de l'Air dont le niveau, au moins technologique, est très proche du nôtre. Le temps où les armées de l'Air occidentales dominaient les cieux est bien derrière nous.

J'ajouterai que la même tendance s'observe dans l'espace, avec un développement exponentiel de l'activité commerciale et militaire, l'usage parfois ambiguë de capacités duales et l'arrivée dans plusieurs arsenaux de capacités de neutralisation de satellites.

**Ce renversement de tendance est-il déjà perceptible en opérations ?**

On peut au moins mesurer les effets d'un retour à la compétition pour la maîtrise du ciel. Depuis dix ans, rien que dans les conflits se déroulant à la périphérie

de l'Europe avant le déclenchement de l'invasion russe de l'Ukraine en février, nous avons compté 98 avions de chasse, 24 avions de transport et 335 drones de tous types abattus au cours de combat, ou détruits au sol pour affaiblir la capacité adverse de maîtrise du ciel. C'est pratiquement le nombre de Rafale que nous mettons en ligne actuellement.

**Puisque vous évoquez les drones, comment interprétez-vous leur usage décomplexé au Haut-Karabagh ou les ripostes du Hamas contre Israël avec ce type d'engins en mai 2021 ?**

C'est mon troisième et dernier constat. Des systèmes aériens offensifs à bas coûts peuvent désormais être acquis par des acteurs étatiques ou non-étatiques. Il y a une démocratisation de la puissance aérienne. Même ceux dont les ressources économiques sont réduites peuvent envisager de conduire une guerre aérienne permettant de niveler au moins temporairement les capacités aériennes.

**Comment répondre à ces changements structurels si on ne veut pas risquer la paralysie militaire ?**

Voire même le déclassement stratégique... Eh bien, nous devons d'abord nous appuyer sur notre plus grande richesse, c'est-à-dire les femmes et les hommes de l'armée de l'Air et de l'Espace. Nous devons tirer le plus de profit de nos capacités d'innovation, qui font partie, à mon sens, de nos gènes du fait



de la nature et de l'histoire de l'aéronautique militaire. Je veux aussi que nous tenions compte des mouvements actuels dans le monde civil. Nous devons évoluer et vibrer au même rythme que la société. Comme elle, l'armée de l'Air et de l'Espace doit poursuivre sa mue pour devenir encore plus ouverte, plus agile et plus connectée. C'est grâce à cet état d'esprit que nous pourrions garantir efficacement, aujourd'hui et demain, les postures de dissuasion, de défense aérienne – et bientôt spatiale – que nous tenons. Nous pourrions également proposer au CEMA des modes d'action originaux pour obtenir des effets décisifs depuis la troisième dimension.

### **Quels types d'effets cherchez-vous à obtenir?**

Ce sont les 3D de ma vision stratégique, clin d'œil pour lier la vision du chef d'état-major des Armées et à celle des milieux Air et Espace : décourager dans le cadre de la compétition, défendre dans celui de la contestation et défaire en cas d'affrontement.

### **Pouvez-vous entrer un peu plus dans les détails de cette 3D, disons plus conceptuelle que celle dans laquelle nous évoluons habituellement ?**

Bien sûr. Afin de prévenir les crises, il s'agit de décourager toute volonté étrangère qui cherche à affaiblir les positions stratégiques de la France, à menacer nos intérêts ou à entraver notre liberté d'action. Dans ce cadre, l'armée de l'Air et de l'Espace pourra notamment assurer des missions de renseignement permettant d'anticiper, voire de mener des actions visibles et réversibles pour montrer notre détermination, adresser un message fort vers nos compétiteurs et prouver notre crédibilité.

Nous, aviateurs, avons aussi le devoir de défendre et protéger nos concitoyens, où qu'ils se trouvent dans le monde. Nous devons intervenir s'ils sont menacés, en cas de crise politique grave et être prêts à les évacuer le cas échéant. Nous pouvons aussi leur apporter de l'aide s'ils sont victimes de catastrophes naturelles.

Nous devons enfin défaire tout adversaire qui voudrait imposer sa volonté par la force, au besoin dans le cadre d'un conflit de haute intensité. Nous devons savoir le faire dans un cadre interarmées, en national, avec des alliés ou au sein d'une coalition *ad hoc*.

### **N'est-ce pas ce que nous faisons déjà précédemment ?**

Oui, mais cette fois, nous nous engageons bien à intervenir sur l'ensemble du spectre. Notre image est très liée à la haute intensité et nous continuerons à valoriser cette excellence. Simplement, nous prenons acte que nous devons aussi agir avant le déclenchement d'un conflit pour « *gagner la guerre avant la guerre* », comme le répète notre CEMA. L'armée de l'Air et de l'Espace dispose des moyens pour agir en amont des conflits. Prenons en conscience et faisons-le savoir, à nos partenaires, à nos compétiteurs et adversaires potentiels.

### **Quelles sont les conséquences de cette nouvelle vision en termes d'équipements ?**

Pour faire face à la montée en gamme technologique ou aux nouvelles menaces suscitées par nos compétiteurs, nous allons devoir rejoindre rapidement les seuils des formats définis selon notre ambition opérationnelle et moderniser nos équipements. Notre grand défi est de trouver dans cet environnement un équilibre durable entre qualité et quantité.

Je pense aussi nécessaire de promouvoir l'agilité dans les processus d'acquisition. Si je considère la défense contre les drones, par exemple, il serait pertinent d'acquérir ce qui est disponible et fonctionne déjà, plutôt que d'attendre trop longtemps des équipements qui seront certes excellents, mais qui n'ont pas dépassé le stade de la planche à dessin aujourd'hui. Mieux vaut être capable de se prémunir maintenant contre certaines menaces nouvelles que d'attendre, impuissant pendant des années, le système infaillible qui pourra s'opposer à tous les types de drone, qu'ils soient de petite ou de grande taille, qu'ils volent seuls ou en essaim. Même chose dans le domaine spatial. Beaucoup de choses existent déjà sur étagère, sachons tirer parti des opportunités qu'offre le *New Space*. Soyons plus souple en étant guidé par une finalité opérationnelle, au service de nos citoyens.

### **Envisagez-vous d'accorder une plus grande place aux drones dans l'armée de l'Air et de l'Espace ?**

Le drone fait partie des systèmes d'arme de l'armée de l'Air et de l'Espace, au même titre que les avions ou les batteries sol-air. Chacun de ces systèmes est complémentaire. Nous réfléchissons d'ailleurs avec le programme SCAF à la répartition idéale entre avions de chasse et drones selon les missions. Nous explorons toutes les combinaisons possibles d'un point de vue théorique en faisant varier les types des drones (petit, grand, armé, etc) et leur nombre pour évaluer quels arrangements avec les avions de chasse sont les plus performants selon les tâches à accomplir. Il est aussi important de bien observer ce qui se passe sur les champs de bataille actuels, de retenir les leçons d'attaques récentes pour pouvoir anticiper les futurs usages, nous en inspirer mais aussi nous en prémunir.

### **D'autres institutions françaises vont aussi souhaiter les employer de plus en plus ?**

Tout à fait, et l'enjeu de l'intégration des drones à la circulation aérienne, militaire ou civile, est essentiel. Si nous voulons nous défendre, nous devons connaître l'origine et les intentions des drones qui survolent notre territoire ou nos troupes. Comme vous le faites remarquer, de plus en plus d'acteurs souhaitent disposer de ces engins pour des raisons très légitimes. En France, ce sont souvent des acteurs ministériels. Je pense qu'il faut recenser les ambitions de l'ensemble des acteurs ainsi que stimuler la réflexion interministérielle pour garantir l'action de l'État dans les airs et mieux gérer les besoins des uns sans nuire aux autres. L'armée de l'Air et de l'Espace doit être au cœur de cette réflexion, en valorisant le Commandement de la défense aérienne et des opérations aériennes (CDAOA), qui possède

déjà l'expertise de la gestion de la troisième dimension pour les vecteurs pilotés.

**Avec la multiplication des drones dans les airs, pensez-vous que la guerre aérienne va mobiliser de plus en plus d'engins automatisés, voire autonomes ?**

La position française fixe une limite. Nous n'envisageons pas de systèmes d'arme autonomes. Comme la Ministre l'a proclamé à diverses reprises, « pas de Terminator le 14 juillet sur les Champs-Élysées ». Je note néanmoins qu'un nombre croissant de mes homologues s'interrogent sur les avancées technologiques dans ce domaine et sur la place à leur accorder.

**Toujours sur la guerre du futur, pensez-vous que l'arme aérienne a un rôle à jouer dans la guerre urbaine ? Ne peut-on pas craindre trop de dommages collatéraux ?**

Je pense que l'arme aérienne a montré toute l'étendue de ses capacités encore récemment, dans les opérations au-dessus de Mossoul, face à un ennemi fanatisé. Sans sa présence, les pertes au sol auraient été bien plus importantes et la reprise de la ville bien plus longue.

D'un point de vue éthique et opérationnel, nos directives de ciblage sont aujourd'hui très performantes et offrent des critères suffisamment précis pour garantir la meilleure efficacité opérationnelle, prendre en compte la sécurité de tous les acteurs et fixer la responsabilité des uns et des autres pour l'ouverture du feu. Le personnel est en outre très bien entraîné. Après, je le répète, l'ouverture du feu est le fruit d'une certitude raisonnable justifiée par les circonstances : c'est vrai dans le désert comme en ville.

**Ne peut-on craindre malgré tout que l'ennemi invente de faux dommages collatéraux ? La communication sur les effets de l'arme aérienne ne devrait-elle pas être mieux considérée ?**

Oui, comme vous, je pense qu'il y a un risque de manipulation médiatique et un de mes axes d'effort est d'ailleurs d'agir pour s'en prémunir.

La réussite d'une campagne aérienne dépend aussi des messages publics qui y sont associés. Vers nos concitoyens d'abord, pour bien expliquer ce que nous pouvons faire, ce que nous ne pouvons pas faire et les effets que nous obtenons réellement. Pour les convaincre que nous agissons de la bonne manière, en prenant toutes les garanties possibles.

Mais la communication doit aussi servir à s'opposer à la propagande de l'ennemi, qui sait s'engouffrer dans nos moindres failles pour tenter de nous affaiblir, notamment dans les phases de compétition ou de contestation. Nous devons donc laisser le moins de prise possible au narratif de l'ennemi. Et un premier pas pour contraindre la communication stratégique de l'ennemi est de la prendre en compte dès la préparation opérative ou tactique de nos missions. Nous devons systématiquement y réfléchir, privilégier des modes d'action qui minimisent toute exploitation potentielle de nos actions par l'adversaire. Nous devons maî-

triser l'environnement culturel, social, humanitaire et même local pour optimiser nos frappes et ne jamais devoir nous précipiter au moment décisif. Encore une fois, il faut limiter la marge de manœuvre ennemie dans ce domaine, comme nous tentons d'échapper naturellement à ses moyens de défense sol-air ou air-air. De cette façon, nous démultiplierons nos effets.

**L'espace extra-atmosphérique est un autre domaine de compétition. Quelles mesures souhaitez-vous prendre pour consolider sa nouvelle place au sein de votre institution ?**

Mon ambition opérationnelle est celle de donner au CEMA les moyens de surveiller et d'agir dans l'espace. La compétition dans ce milieu est particulièrement âpre. Certains États élargissent la gamme de leurs capacités et peuvent contester l'utilisation de ce domaine désormais stratégique. Il faut donc savoir ce qui s'y passe pour mieux nous protéger et nous défendre contre des actes hostiles. Disposer d'un système C2 Air interconnecté avec les autres C2 interarmées me semble indispensable.

**Et pour le personnel ?**

Les aviateurs doivent devenir de plus en plus sensibles aux affaires spatiales. Leur acculturation doit être progressive, mais régulière. Par ailleurs, nous aurons besoin d'experts et nous réfléchissons actuellement à la construction de parcours professionnels motivants.

**D'une manière générale, quelles technologies vont devenir essentielles dans la guerre du futur ?**

Je ne surprendrai personne si j'évoque la connectivité, qui est essentielle pour mener le combat de manière collaborative. Le fait d'intégrer par exemple dans nos missions des vecteurs pilotés et des drones va transformer tactiquement la guerre aérienne. Mais il faut assurer des liaisons entre eux. Encore une fois, notre réflexion dans ce domaine est stimulée par le programme SCAF.

**Qui dit connectivité sous-entend protection de nos réseaux et l'assurance qu'ils fonctionneront. Or le cyber dépend d'autres commandements que le vôtre. Est-ce pour vous une vulnérabilité ?**

La guerre moderne est ainsi faite que chacun dépend de l'autre pour mener à bien ses actions. Si je n'assure pas la supériorité aérienne au-dessus du champ de bataille, nos camarades de l'armée de Terre vont perdre très rapidement leur liberté de manœuvre. Aujourd'hui, chacun doit accomplir ce pour quoi il s'entraîne et se prépare afin d'apporter aux autres ce qu'ils attendent. Donc, pour répondre à votre question, je n'ai pas besoin de posséder la totalité des moyens cyber en propre. La logique propriétaire n'est pas la mienne dès lors que nous construisons les bons mécanismes pour profiter des effets produits collectivement, y compris dans le domaine cyber.

**La connectivité va notamment dépendre du développement de l'intelligence artificielle (IA). Quels efforts l'armée de l'Air et de l'Espace est-elle prête à consentir dans ce domaine ?**

Après le développement de la connectivité, mon deuxième axe d'effort pour poursuivre notre modernisation technologique porte sur la maîtrise de l'IA. Nous venons d'acheter deux supercalculateurs avec des capacités massives de stockage de données pour nos opérations dans l'espace extra-atmosphérique. Nous pourrions mieux appréhender les trajectoires des mobiles dans l'espace et anticiper des actions contre nos intérêts. C'est un premier pas, que nous devons accompagner par une meilleure acculturation de notre personnel à cette technologie.

**Vous pensez aller chercher la ressource humaine dans le monde civil pour accélérer la mise en place de l'IA au sein de l'armée de l'Air et de l'Espace ?**

Là encore, nous explorons toutes les possibilités pour satisfaire nos besoins en matière d'IA. Il y a peu de chance que je puisse attirer les jeunes ingénieurs qui sortent des plus grandes écoles d'IA grâce à un argument financier. En revanche je dois les attirer grâce à la qualité de notre projet. En outre, je suis plutôt séduit par une solution interne, formule qui a fonctionné chez certains de nos plus grands industriels. L'idée serait de sélectionner des experts par métiers et de réfléchir avec eux à ce que l'IA pourrait leur apporter pour accomplir leurs tâches le mieux possible. On leur fournirait alors les capacités dont ils ont besoin et on leur apprendrait à s'en servir. Ce qui n'empêcherait pas de disposer de spécialistes IA dans l'institution qui peuvent éclairer certains problèmes et veiller à ce que l'armée de l'Air et de l'Espace suive les évolutions technologiques dans ce domaine.

**Les données qui alimentent l'IA semblent offrir tout leur potentiel quand elles peuvent être combinées avec le plus grand nombre d'autres données possibles, pour déceler des opportunités, proposer des voies originales d'action. Faut-il promouvoir dans ce cadre un C2 interarmées unique qui recueillerait et digérerait toutes ces données plutôt que des C2 de composante, disposant de données plus spécialisées, limitées en volume et rajoutant un niveau de commandement intermédiaire ?**

C'est oublier que chaque manœuvre dans un milieu donné a besoin de cohérence, cohérence qui est gage de succès. Une campagne aérienne possède sa propre logique et les données recueillies sont également précieuses pour les officiers des *Combined Air Operations Centre (CAOC)* s'ils veulent suivre efficacement les événements et adapter les opérations qu'ils mènent. Les priver de données, ou les limiter au profit d'un niveau d'intégration supérieur nuirait finalement à tous. Je pense plutôt que l'IA servira dans les états-majors à libérer les officiers de tâches ingrates et leur laissera plus de temps encore pour réfléchir.

Je suis en tout cas convaincu qu'il faut accélérer la numérisation de l'ensemble des services qui touchent aux opérations, comme nous le faisons dans l'espace. Je mentionnerai aussi les domaines de la maintenance ou de l'administration où des gains sensibles peuvent être obtenus grâce à l'intelligence artificielle. Elle doit par exemple nous permettre d'améliorer sensiblement la disponibilité de nos avions tout en réduisant les coûts. Les compagnies aériennes civiles ont montré tout l'intérêt de ces pratiques. Dans le cas de l'administration, des ressources humaines, la formation pourrait par exemple être accélérée avec le déploiement d'IA pour accompagner l'enseignement lors des cursus initiaux ou de spécialisation de nos aviateurs. L'apprentissage serait plus personnalisé. Assistés par leurs applications numériques, les élèves ou stagiaires pourraient passer individuellement plus de temps sur les points où ils rencontrent des difficultés ou, au contraire, aborder rapidement les parties qu'ils comprennent sans problème. Les applications numériques pourraient en retour s'adapter au niveau de leurs usagers et leur suggérer les meilleurs itinéraires d'enseignement.

**Voyez-vous d'autres avancées technologiques qui auront un impact sur l'armée de l'Air et de l'Espace ?**

Oui, l'hypervélocité. Les conséquences stratégiques de l'introduction d'engins volant à plus de Mach 5 avec des capacités de très forte manœuvrabilité vont être profondes et il importe que l'armée de l'Air et de l'Espace puisse mettre en œuvre au plus vite ce type de matériels. Nous devons donc préparer l'arrivée du missile nucléaire ASN 4G pour maintenir la crédibilité et la pérennité de la composante nucléaire aéroportée. J'y veillerai et m'y investirai tout particulièrement.

**Pensez-vous que la technologie seule permettra de faire face à la complexité du monde ?**

Si elle est essentielle, elle est loin de suffire. Comme toute armée, nous sommes composés de femmes et d'hommes qui travaillent et échangent avec d'autres femmes et hommes appartenant à d'autres institutions, civiles ou militaires. Je tiens tout particulièrement à valoriser ces liens. Plus ils seront forts et plus nous serons efficaces.

**Quels seraient vos partenaires privilégiés ?**

D'un point de vue militaire, mon parcours et mes convictions m'encouragent à sans cesse renforcer nos capacités de travail en interarmées, interministériel et interalliés. Si le principe est simple, c'est à dire proposer nos services et notre expertise pour amplifier les effets que nous produisons aux niveaux opératif, stratégique et politique, la réalisation est plus difficile. Il faut continuer de travailler sur l'interopérabilité à tous les niveaux. Nous nous y employons.

**Vous pensez aussi à des partenaires civils ?**

Comme je vous l'ai dit, je suis très attaché à conserver un lien fort avec la société, à suivre son évolution, tout en conservant notre identité bien sûr. D'abord, parce qu'au combat, nous portons les valeurs de nos citoyens, de notre pays, aux

noms desquels nous combattons. Ensuite, parce que nous recrutons les futurs aviateurs dans la société. Il est important qu'ils trouvent un espace professionnel pouvant répondre à leurs aspirations. Notre institution ne doit pas nourrir l'entre-soi, mais absorber ce qui se fait de mieux à l'extérieur et l'adapter selon nos principes.

### **Quels projets concrets traduisent cette volonté ?**

L'armée de l'Air et de l'Espace recrute dans tous les bassins de population, dans toutes les catégories sociales. La diversité est un atout, car elle fait varier les points de vue et suggère des solutions variées pour résoudre les problèmes. Je suis très attaché à l'égalité des chances. Des accidents de vie ou des parcours peu favorisés ne doivent pas vous empêcher de pouvoir saisir des opportunités pour exprimer tout votre potentiel. Il y a une place dans l'armée de l'Air et l'Espace pour toute personne motivée, souhaitant réellement s'investir et désireuse de vivre une aventure exaltante.

Je suis aussi sensible aux problématiques de développement durable. Pour des raisons évidentes de sauvegarde de notre planète, mais aussi pour les avantages opérationnels qu'elles peuvent procurer. Si nous parvenons à assurer par exemple l'autonomie énergétique d'une base aérienne, ou encore mieux d'une base aérienne projetée, nous limiterons par exemple notre dépendance et ferons des gains financiers. Nous gagnerons sur tous les tableaux.

### **Pour terminer cet entretien, comment imaginez-vous l'aviateur de demain ?**

Je voudrais qu'il reste fidèle aux valeurs de nos Anciens, en conservant leur audace, leur passion, leur capacité d'adaptation et leur agilité intellectuelle. Notre histoire est riche. Elle est parfois heureuse, parfois tragique, mais des leçons utiles peuvent toujours en être tirées. Connaissions-la mieux et sachons nous en inspirer.

En même temps, les aviateurs doivent être des hommes du XXI<sup>e</sup> siècle, connaissant les opportunités qu'offrent notre société et la technologie et sachant en exploiter les possibilités.

C'est pourquoi je veux que la compétence soit reconnue, la responsabilité encouragée et l'initiative valorisée. Et, comme dans l'économie numérique, que l'échec soit accepté comme étant un processus inévitable sur la voie qui mène au succès.

Les aviateurs qui rentrent aujourd'hui dans l'armée de l'Air et de l'Espace dans une spécialité donnée seront sûrement amenés au fil de leurs carrières à exercer des métiers que nous n'imaginons même pas aujourd'hui, du fait des progrès rapides et incessants de l'informatique. Formons-les en conséquence, en leur apprenant à rester ouvert et à domestiquer le changement. Les connaissances ne suffisent pas. Il faut savoir les mettre à jour et être capable de changer soi-même pour exploiter au mieux le progrès.



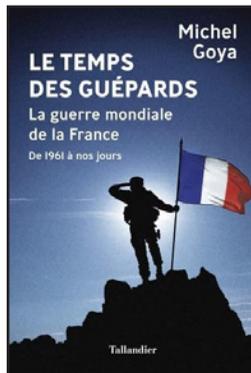
# RECENSIONS



# Le temps des guépards

## La guerre mondiale de la France : de 1961 à nos jours

Michel Goya



Lu par Ivan Sand

Ancien colonel des troupes de marine, Michel Goya est un historien militaire qui s'est notamment spécialisé dans l'analyse des conflits du XX<sup>e</sup> siècle sous l'angle de l'adaptation et de la modernisation des armées. Auteur prolifique et analyste très reconnu parmi l'ensemble de la communauté française des études de défense, il tient un blog intitulé « *La voie de l'épée* », intervient régulièrement au sein de podcasts, d'émissions de radio et de télévision. Il a notamment publié deux ouvrages remarquables sur la Première Guerre mondiale<sup>1</sup> et plus récemment un livre sur la problématique de l'évolution des armées<sup>2</sup>.

Son dernier ouvrage consacré aux opérations extérieures (OPEX), a pour ambition principale de placer au cœur de notre histoire militaire nationale les nombreuses interventions menées par les armées françaises depuis les années 1960. Généralement méconnues du grand public, ces opérations forment un objet historique à part, parfois difficile à définir – le débat sur l'emploi des termes OPEX, intervention ou guerre ressurgit régulièrement – alors qu'elles constituent

1. M. Goya, *La chair et l'acier : l'armée française et l'invention de la guerre moderne*, Paris, Tallandier, 2004, 479 p. et M. Goya, *Les Vainqueurs : Comment la France a gagné la Grande Guerre*, Paris, Tallandier, 2018, 348 p.

2. M. Goya, *S'adapter pour vaincre : Comment les armées évoluent*, Paris, Perrin, 2019, 432 p.

aujourd'hui un des marqueurs les plus forts de l'identité des militaires français. Quelles sont les principales ruptures historiques et enseignements qui peuvent être dégagés de l'analyse de ces 32 opérations majeures et de la centaine d'autres de plus petite envergure ? C'est la question à laquelle répond l'auteur au travers d'un livre synthétique et percutant, qui ouvre de nombreuses pistes de réflexion, notamment à propos de l'efficacité des opérations militaires.

### **Une place à part au sein d'une historiographie restreinte mais en plein essor**

Si peu d'ouvrages sont intégralement consacrés aux opérations extérieures des armées françaises, quelques parutions récentes témoignent de l'intérêt croissant que suscite ce champ de recherche au sein des études de défense. Paru en 2020 sous la direction de Jean-Marc Marill et de Philippe Chapleau, le *Dictionnaire des opérations extérieures de l'armée française*<sup>3</sup> consacre une notice à chacune de ces opérations et offre également des approches thématiques, qu'elles soient capacitaires, organisationnelles ou encore médiatiques. Cette somme permet de rendre compte de la diversité des nombreuses opérations conduites depuis les années 1960 et de souligner certaines problématiques transversales, allant de la projection des forces à la logistique en passant par les évolutions matérielles.

La même année, paraît également *Les opérations extérieures de la France*<sup>4</sup>, ouvrage collectif dirigé par Julian Fernandez et Jean-Baptiste Jeangène Vilmer qui aborde la question sous des angles très variés, notamment ceux de la culture stratégique française avec Olivier Schmitt et de la médiatisation des opérations avec Bénédicte Chéron. Peu de temps auparavant, deux ouvrages portés par l'Association nationale des participants aux opérations extérieures (ANOPEX) analysaient les OPEX sous des angles plus précis, par exemple celui de l'héritage de la politique gaullienne dans les interventions menées par la France ou celui des pertes humaines<sup>5</sup>. Si ces différents ouvrages abordent le thème des opérations avec des prismes divers, ils tendent à étudier chacune d'entre elles séparément en les juxtaposant.

Avec *Le temps des guépards* – le titre fait référence aux livres sur l'histoire de la guerre d'Algérie d'Yves Courrière, dont le tome 2 est intitulé *Le temps des léopards*<sup>6</sup> – Michel Goya fait preuve d'originalité par rapport aux publications décrites précédemment : les OPEX sont étudiées comme un bloc formant un ensemble historique et non comme une série d'événements. L'auteur s'attache en effet à regrouper ces opérations – en fonction de la période mais aussi du type

---

3. P. Chapleau et J-M. Marill (dir.), *Dictionnaire des opérations extérieures de l'armée française. De 1963 à nos jours*, Paris, Nouveau Monde éditions, 2018, 451 p.

4. J. Fernandez et J-B. Jeangène Vilmer (dir.), *Les opérations extérieures de la France*, Paris, CNRS éditions, 2020, 300 p.

5. H. de Champchesnel, *Opex. Des vies pour la France. Une histoire des opérations extérieures depuis 1963*, Paris, Historien-Conseil, 2019, 456 p. et J-P. Pakula, *L'invention des opérations extérieures. Une intuition gaullienne*, Paris, Historien-Conseil, 2020, 254 p.

6. Y. Courrière, *La guerre d'Algérie. Tome 2. Le temps des Léopards*, Paris, Fayard, 1969, 614 p.

d'ennemi combattu, du format des forces engagées ou encore des objectifs de guerre – et à les comparer pour faire ressortir certaines ruptures au cours de la période qui s'étend de 1961 à nos jours. M. Goya rejoint la posture de certains chercheurs qui considèrent ce cycle des OPEX comme une période de l'histoire militaire française à part entière. Les historiens Hervé Dréville et Olivier Wieviorka avaient adopté le même découpage dans leurs récents ouvrages<sup>7</sup> collectifs, qui couvrent, en deux tomes, l'histoire militaire de la France, des Mérovingiens à nos jours.

La date de début de cette période semble faire débat : 1963 et 1964 sont les années les plus communément reprises par l'historiographie actuelle tandis que Michel Goya préfère retenir 1961, année de l'assaut lancé pour briser le blocus de la base navale de Bizerte par les forces tunisiennes. L'originalité de cette approche consiste donc à faire débiter cette « guerre mondiale de la France », selon le sous-titre du livre, avant la fin de la guerre d'Algérie. Notons à ce propos que d'autres opérations antérieures pourraient répondre aux critères retenus par l'auteur pour caractériser une OPEX, soit un engagement mené hors du territoire national. L'intervention de la France lors de la crise de Suez en 1956 en est un exemple. Néanmoins, en ouvrant son livre par l'évocation d'un discours du général de Gaulle à Strasbourg en novembre 1961, qui fait référence à la fin de la décolonisation, Michel Goya souscrit à l'idée que la période des OPEX s'ouvre plutôt avec la fin de la guerre d'Algérie. Dès lors, le modèle de défense français « *correspond à deux hypothèses d'emploi parfaitement opposées : d'un côté le scénario d'une guerre apocalyptique [...] et, de l'autre, des petits engagements probables mais lointains* »<sup>8</sup>. Si un conflit potentiel contre le pacte de Varsovie concentre l'attention des stratèges français à l'époque, ce sont bien les opérations extérieures qui sont aujourd'hui considérées comme les événements les plus marquants de l'histoire des armées françaises.

### **À l'échelle politique, un outil entre les mains du président : bénéfices et écueils de la forte implication de l'exécutif dans les OPEX**

Une des principales thèses que défend l'auteur est la spécificité française sur le plan de la prise de décision politique. La concentration du pouvoir au niveau du président de la République, ainsi que le rôle modeste joué par le contrôle parlementaire sur ces questions, expliqueraient tout d'abord le nombre élevé d'opérations menées par la France, en comparaison d'autres pays européens comme l'Allemagne. Michel Goya adopte ainsi le temps du mandat présidentiel – septennat puis quinquennat – comme un des prismes d'analyse temporel de son objet d'étude, venant à comparer le bilan des présidents de la V<sup>e</sup> République en la matière. Peu d'opérations se déroulent sous le mandat de Georges Pompidou tandis que la deuxième moitié du septennat de Valéry Giscard d'Estaing est mar-

7. H. Dréville et O. Wieviorka (dir.), *Histoire militaire de la France. II. De 1870 à nos jours*. Paris, Perrin, 2020, 958 p.

8. M. Goya, *Le temps des guépards*, Paris, Éditions Tallandier, 2022, p. 12.

quée par une accélération du rythme des interventions, que l'auteur désigne par « *le temps de la foudroyance (1977-1980)* »<sup>9</sup>. Contrairement à une idée reçue, les présidents de gauche ne sont pas plus réticents à engager les armées françaises que ceux de droite. Pour l'auteur, François Hollande est même le président qui « *va empiler les opérations interminables* »<sup>10</sup>.

L'analyse de cette implication forte de l'exécutif porte une critique majeure : les messages associés aux OPEX s'adressent souvent plus à l'opinion publique française qu'à l'ennemi combattu. L'exemple sur lequel la plume de Michel Goya se fait la plus virulente est Vigipirate (bien qu'il s'agisse rigoureusement d'une opération intérieure et non d'une OPEX). Mais c'est aussi un travers que l'auteur relève à propos de la guerre en Afghanistan, au cours de laquelle « *l'échelon politique s'est immiscé comme rarement dans la conduite des opérations* » tandis que « *l'ennemi a été la dernière préoccupation de cette guerre* »<sup>11</sup>. Cette tendance induirait par ailleurs une vulnérabilité : il suffit « *de tuer nos soldats, si possible plusieurs à la fois, ou de capturer des journalistes, pour obtenir une rétractation de l'action engagée à son encounter, jusqu'à la paralysie, puis un retrait plus rapide que prévu* ». En reprenant une idée exprimée par Barack Obama dans une célèbre formule<sup>12</sup>, Michel Goya entend établir une distinction claire entre les objectifs d'une opération et les causes de son déclenchement : « *S'il est facile d'engager les forces armées – il suffit de le décider – il est souvent plus difficile de les dégager, car il est rare que le problème de fond pour lequel on les a envoyées soit rapidement et définitivement résolu* »<sup>13</sup>.

### **À l'échelle politico-militaire, quels sont les critères de succès d'une OPEX ?**

La difficulté à terminer les guerres semble encore plus prégnante dans les conflits asymétriques, c'est-à-dire lorsque la France combat un groupe insurgé. Michel Goya appelle à considérer l'ennemi comme un interlocuteur qu'il ne faut pas forcément chercher à annihiler et affirme par exemple que « *vouloir détruire les Talibans était une erreur* »<sup>14</sup>. Il note que les guerres qui ont été couronnées de succès correspondaient généralement à un affrontement contre un État avec des objectifs limités dans le temps et dans l'espace. L'auteur illustre l'importance de l'échelle spatio-temporelle en comparant les opérations Serval et Barkhane : si la première a été un succès, c'est que les moyens étaient proportionnés à des objectifs restreints et clairement définis.

Par ailleurs, affronter des organisations armées signifie généralement s'immiscer au sein d'une guerre civile, souvent complexe. Les guerres asymétriques

---

9. *Ibid.*, p. 47. Il reprend une expression formulée par l'amiral Labouërie.

10. *Ibid.*, p. 55.

11. *Ibid.*, p. 221.

12. Selon une formule attribuée à Barack Obama : « *Il est aujourd'hui bien plus facile de commencer une guerre que de la terminer* ».

13. *Ibid.*, p. 255.

14. *Ibid.*, p. 302.

ne peuvent pas être gagnées en misant sur les recettes appliquées pendant les conflits étatiques. De même, les opérations de « *gestion de paix* »<sup>15</sup> sont jugées assez négativement. L'idée que développe l'auteur est qu'une armée intervenant sur un territoire étranger ne peut pas avoir comme souci principal sa neutralité. Dans le cas contraire, la position d'entre-deux aboutit généralement à une prolongation du conflit, comme au Rwanda ou en Bosnie.

### À l'échelle militaire, comment mesurer les effets des opérations ?

Le livre ouvre par ailleurs d'autres perspectives sur l'appréciation des OPEX en convoquant des critères plus précis que la simple atteinte des objectifs. L'auteur utilise quelques données quantitatives comme le nombre de soldats déployés par habitant (1 soldat pour 25 habitants pendant la guerre d'Algérie contre 1 pour 1 250 au Tchad en 1970)<sup>16</sup> et insiste sur la question du coût par ennemi tué (1 million d'euros lors de la guerre en Libye et entre 500 000 et 1 million pour l'opération Barkhane selon l'auteur). Ces chiffres semblent appuyer une vision critique de ce qu'il appelle « *la guerre prudente* »<sup>17</sup>. Ce mode d'action, où la France ne perd pas de soldats mais qui coûte très cher comme lors de la guerre en Libye, serait selon M. Goya hors de portée des moyens de la France et de la plupart des autres nations.

Dans ce sillage, il tend à critiquer une supposée volonté française de se cantonner au rang de « *brillant second* », qui serait devenue « *sa principale ambition dans les opérations en coalition* »<sup>18</sup>. Il regrette que l'armée française ne cherche pas plutôt à inventer des systèmes opérationnels différents. Depuis trois décennies, les opérations en coalition mettent souvent en œuvre une campagne aérienne pour acquérir la supériorité dans la troisième dimension, voire faire plier l'adversaire. Ce concept ne serait pas toujours fécond selon l'auteur, qui semble par exemple douter des effets réels de l'aviation alliée lors de la guerre au Kosovo : « *On ne sait pas trop quelle part attribuer à la campagne aérienne dans la soumission du gouvernement serbe, par rapport à la crainte d'une offensive terrestre ou peut-être plus important encore l'abandon du soutien russe sous la pression américaine* »<sup>19</sup>. Les lecteurs regretteront peut-être que cette idée ne soit pas plus largement étayée ou solidement argumentée. Plus généralement, si les effets de la puissance aérienne sont rarement évoqués de façon spécifique dans le livre, l'auteur semble distinguer son emploi, fulgurant et efficace dans les opérations menées en Afrique dans les années 1970, des campagnes aériennes plus longues et jugées trop prudentes, mises en place à partir des années 1990. Cette appréciation semble néanmoins faire fi de la différence de nature entre les ennemis combattus et la nécessité d'acquérir la supériorité aérienne lorsque l'adversaire dispose d'une aviation et de moyens de défense sol-air substantiels.

15. *Ibid.*, p. 199.

16. *Ibid.*, p. 38.

17. *Ibid.*, p. 299.

18. *Ibid.*, p. 151.

19. *Ibid.*, p. 151.

Par ailleurs, on peut relever une forme de paradoxe lorsque l'auteur regrette l'usage d'un mode d'action fondé sur la puissance aérienne, qui économise les pertes humaines, tandis qu'il identifie la mort de soldats français comme un des points de vulnérabilité de la France. L'argumentaire sur les effets et les coûts des opérations impliquant de larges forces aériennes et navales, réunies au sein d'une coalition emmenée par les armées américaines, aboutit à une forme de plaidoyer pour un investissement accru dans les forces terrestres alors que « *les militaires qui subissent les trois quarts des pertes, ceux qui vont au contact de l'ennemi, sont traditionnellement les derniers servis dans les investissements matériels* »<sup>20</sup>. Sur le manque de moyens de l'armée de Terre, Michel Goya propose certaines innovations pour les conflits asymétriques : « *Faire appel à des mercenaires [...] mélanger les forces françaises avec les forces locales, avoir des sections d'infanterie active ou de réserve plus nombreuses et indestructibles au contact, doubleraient nos capacités de contre-insurrection pour le prix d'un porte-avions. Ce serait peut-être moins prestigieux et les industriels ne manqueraient pas d'user d'arguments pour peser sur les choix politiques, mais ce serait sans aucun doute plus utile pour lutter contre des organisation armés* »<sup>21</sup>. Ces idées reprennent certains modes opératoires des OPEX des années 1960 et 1970, comme lorsque la France mettait en place des groupements tactiques interarmes franco-tchadiens, ce qui fait écho au concept actuel de partenariat militaire opérationnel (PMO).

### **Stimuler la réflexion à propos des opérations extérieures**

Ces dernières remarques ne doivent cependant pas détourner les lecteurs potentiels de cet ouvrage très utile et passionnant. Le recul historique et une méthode rigoureuse d'analyse critique permettent à l'auteur une rare mise en perspective d'un ensemble d'opérations très différentes dont il parvient à tirer des réflexions d'ordre général sur le modèle de défense français. Soulignons aussi que cet ouvrage a le mérite de revenir sur certaines opérations rarement évoquées, Michel Goya insistant par exemple sur l'engagement français en Somalie en 1993. Espérons que ce livre suscite d'autres travaux de recherche sur le thème si riche des OPEX françaises, notamment à la lumière de l'ouverture progressive des archives à propos de ces opérations.

---

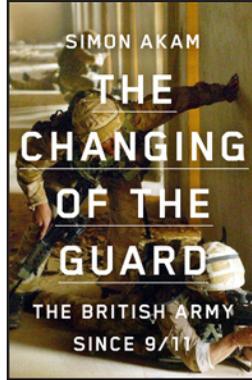
20. *Ibid.*, p. 312.

21. *Ibid.*, p. 313.

# The Changing of the Guard.

The British Army since 9/11

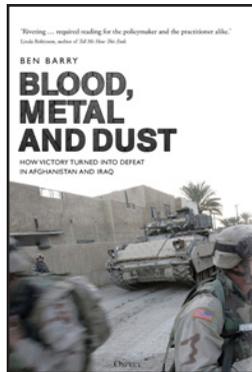
Simon Akam



# Blood, Metal and Dust.

How Victory Turned into Defeat in Afghanistan and Iraq

Ben Barry



Revue croisée par Olivier Schmitt

## Une impasse stratégique ? L'armée britannique en Irak et en Afghanistan

Les guerres et les occupations de l'Irak et de l'Afghanistan ont été un échec pour la « *meilleure petite armée du monde* »<sup>1</sup>. Si les soldats britanniques ont prouvé leur combativité et démontré leur capacité d'adaptation, les deux campagnes restent des défaites opératives et stratégiques. Les deux livres présentés ici donnent des explications différentes, mais complémentaires, de ces échecs. S. Akam avance que l'armée britannique (et particulièrement l'armée de Terre)

---

1. S. Akam, *The Changing of the Guard. The British Army since 9/11*, Londres, Scribe, 2021, p. 19.

a fait preuve d'arrogance et de paresse, quand B. Barry insiste sur les problèmes structurels de conduite stratégique des opérations<sup>2</sup>. Les deux ouvrages complètent utilement les rapports officiels (notamment l'analyse de la campagne afghane conduite par l'armée de Terre et le rapport « Chilcot » sur le processus de décision lors de la guerre d'Irak) ainsi que les ouvrages déjà parus sur le sujet (comme *Unwinnable*, le livre de référence de Theo Farrell sur la campagne afghane<sup>3</sup>) et constituent un point d'entrée important pour comprendre la société et les forces armées britanniques contemporaines.

Comme d'autres forces armées occidentales, les forces armées britanniques sont entrées dans le 21<sup>e</sup> siècle en se focalisant sur la « Révolution dans les affaires militaires ». Elles ont cependant dû modifier leur agenda et s'adapter à la contre-insurrection en Irak et en Afghanistan. Aujourd'hui, elles envisagent leur emploi dans le cadre de la compétition entre grandes puissances. Surtout, elles doivent désormais être en mesure de justifier « l'utilité de la force »<sup>4</sup> à une population britannique (et des responsables politiques) doutant de leur efficacité à la suite des défaites irakiennes et afghanes.

Ces défaites sont survenues dans un contexte politique plus général lié à la crise financière de 2008 et à ses conséquences sociales, qui ont principalement été supportées par la population britannique afin de protéger les intérêts de la *City*, contribuant certainement à l'émergence d'un profond sentiment de défiance envers les élites et l'irruption d'un vote populiste structurant la vie politique. Ce contexte socio-politique, dans lequel 52 % de la population britannique est désormais opposée à toute forme d'intervention militaire<sup>5</sup>, conditionne le futur des forces armées britanniques mais résulte aussi de décisions politico-stratégiques prises au début des années 2000 et en particulier les décisions d'intervenir en Afghanistan et en Irak. Ces deux livres sont donc importants pour mieux saisir les trajectoires d'évolutions des forces armées et du contexte politique britannique depuis vingt ans.

Si les deux ouvrages traitent des interventions en Irak et en Afghanistan, ils diffèrent néanmoins profondément dans l'organisation et le style. Akam est un journaliste ayant brièvement servi comme lieutenant dans l'armée de Terre et son livre est essentiellement un assemblage d'anecdotes et d'observations tirées de sa propre expérience et d'entretiens menés dans le cadre de son enquête. Le résultat est parfois très intéressant (même si le style peut dérouter), mais l'on se prend à regretter l'absence, au-delà des anecdotes, de véritable analyse sociologique des cultures et sous-cultures de l'armée de Terre britannique (comme

---

2. B. Barry, *Blood, Metal and Dust. How Victory Turned into Defeat in Afghanistan and Iraq*, Oxford, Osprey, 2021.

3. T. Farrell, *Unwinnable. Britain's War in Afghanistan, 2001-2014*. London, Bodley Head, 2017.

4. Référence à l'ouvrage du général Rupert Smith, R. Smith, *The Utility of Force: The Art of War in the Modern World*. New York, Knopf, 2007.

5. F. Holmes, « [Attitudes to Military Intervention](#) », *British Foreign Policy Group*, janvier 2020.

le fait John Hockey dans son classique *Squaddies: Portrait of a Subculture*<sup>6</sup>). De même, ses passages sur les opérations sont finalement superficiels pour les lecteurs intéressés par l'analyse militaire : ni ouvrage sociologique, ni histoire des campagnes récentes, le livre d'Akam est un hybride qui est aussi enrichissant que frustrant pour celui qui voudrait souvent en savoir plus.

En contraste, le livre de Ben Barry, ancien général de brigade, désormais analyste à l'*International Institute for Strategic Studies*, est une analyse des campagnes dont le but est de tirer des enseignements pertinents au niveau stratégique : son livre peut être vu comme une forme de retour d'expérience (RETEX) politico-stratégique semi-officiel, les contacts de Barry avec les forces armées lui donnant un accès privilégié à de nombreux individus ou sources. Akam explore la déconnection entre les forces armées britanniques et la société qu'elles servent, Barry analyse la déconnection entre les objectifs politiques et militaires. Barry est critique d'une institution qu'il admire, Akam est critique d'une institution qu'il juge défailante.

L'argument fondamental de Barry est classique : tout espoir de succès en Afghanistan s'est dissipé lorsque les États-Unis et le Royaume-Uni ont envisagé d'envahir l'Irak. La catastrophe stratégique que fut cette invasion a détourné les efforts consentis loin du conflit afghan, qui était légitime et important. Du point de vue britannique, l'écart entre les ambitions et les moyens s'est révélé lors de la tentative d'occupation de Bassora, qui était hors de portée compte tenu des capacités réellement disponibles. Pour Barry, les échecs sont fondamentalement liés à l'incapacité des dirigeants politiques, en particulier Tony Blair, à hiérarchiser les objectifs stratégiques et à y consacrer les ressources nécessaires. Cette interprétation correspond évidemment à ce que les armées britanniques veulent entendre, puisqu'elle joue sur une tentation classique des militaires de s'exonérer de leurs responsabilités en blâmant l'incompétence des politiques (attitude que l'on retrouve par exemple dans la légende du « coup de poignard dans le dos » à la suite de la Première Guerre mondiale).

Toutefois, les entretiens et citations précises que présente Akam donnent une tout autre interprétation. Selon lui, l'inadéquation entre les moyens et les ambitions est principalement le fait d'une armée de Terre préoccupée par la préservation de son statut institutionnel et poussant les responsables politiques à l'utiliser au maximum en Irak et en Afghanistan. Akam cite par exemple l'ancien CEMA britannique Richard Dannatt justifiant ses recommandations aux responsables politiques par un argument relevant de la protection institutionnelle plus que de la logique militaire : « *It's use them or lose them* »<sup>7</sup>. Apparaît ainsi l'image de forces armées ayant finalement forcé la main des responsables politiques afin de justifier leur existence.

6. J. Hockey, *Squaddies: Portrait of a Subculture*, Exeter, University of Exeter Press, 2006.

7. Akam, *op. cit.*, p. 245.

Certains des passages les plus intéressants du livre d'Akam traitent des incitations perverses créées par ce que l'on pourrait appeler le « mythe des OPEXs<sup>8</sup> » au sein de l'armée britannique. Il montre qu'en Irak comme en Afghanistan, de nombreuses compagnies ont cherché le contact délibérément afin de pouvoir se vanter d'avoir été sous le feu. La politique généreuse d'attributions de médailles a de même créé une incitation perverse pour des officiers et des soldats cherchant à obtenir leur « *Victoria Cross* »<sup>9</sup> presque à n'importe quel prix et souvent au détriment de la logique militaire (en particulier en contexte de contre-insurrection). Cette agressivité encouragée institutionnellement a conduit au développement d'une sous-culture glorifiant l'extrême violence parmi les soldats britanniques, propagée par des vidéos largement diffusées entre les régiments. La tolérance envers le look « *ally* »<sup>10</sup>, consistant à « adapter » les uniformes standards et à ne pas respecter les règlements afin de se donner une apparence de « guerrier », a également contribué à une dégradation de la discipline et à une tolérance à la brutalité, qu'Akam relie très directement à la torture et au meurtre de Baha Mousa<sup>11</sup> par des soldats britanniques en Irak ou à l'assassinat d'un prisonnier de guerre afghan par un sous-officier britannique.

Barry comme Akam insistent sur le fait que le principal objectif stratégique britannique était le maintien du lien transatlantique, mais que le retrait de Musa Qala (Afghanistan) en 2006 et de Bassora en 2007 ont durablement affaibli la crédibilité des militaires britanniques auprès de leurs partenaires américains. Toutefois, au-delà de ce constat partagé, peu de détails sont donnés sur les raisons profondes de cette dissension entre frères d'armes transatlantiques. Barry mentionne l'arrogance d'officiers britanniques, certains vantant leurs compétences tactiques et opératives dans le contexte d'opérations de contre-insurrection, et prenant de haut des Américains forcément balourds et sans finesse (une attitude également largement partagée en France dans les années 2000). Au contraire, Akam avance que les officiers américains n'auraient pas été impressionnés par le travail d'état-major britannique. Mais au-delà de ces observations un peu courtes, il manque dans les deux ouvrages une vraie démonstration, empirique et fouillée, des raisons profondes d'une désaffection américaine.

---

8. Opérations extérieures.

9. La *Victoria Cross* est la distinction suprême de l'armée britannique. Elle est décernée pour « acte de bravoure remarquable, ou acte éminent d'audace, de vaillance ou d'abnégation, ou de dévouement ultime au devoir, en présence de l'ennemi ».

10. « *Ally* », prononcé comme le nom anglais « *Sally* », est un terme d'argot militaire qui fait référence non seulement à une certaine mode mais aussi à la façon dont un soldat se comporte. Il est souvent associé à une apparence « *tacticool* » (autre argot militaire), terme qui ne renvoie pas à une signification uniquement tactique (« *tactical* »). Cf. Max, « ['Ally' Helmet Scrim Competition](#) », *Max Velocity Tactical*, accédé le 05/04/2022.

11. Baha Mousa est un Irakien mort en septembre 2003 alors qu'il était détenu par le 1<sup>er</sup> bataillon du *Queen's Lancashire Regiment*. L'enquête déclenchée après sa disparition révéla qu'il aurait souffert de 93 blessures avant de mourir.

Les deux ouvrages diffèrent dans leurs analyses de la capacité d'adaptation des forces armées britanniques. Ils s'accordent sur le fait que les États-Unis s'adaptent, apprennent et innovent rapidement en comparaison. En ce qui concerne les Britanniques, Barry avance que si l'armée de Terre prend rapidement la mesure des adaptations tactiques nécessaires (notamment face à la menace des engins explosifs improvisés – EEIs), la bureaucratie du *Ministry of Defence* (*MoD*) se révèle lente et rigide. Akam souligne aussi la lenteur de la mise en place, mais insiste sur l'efficacité du programme d'achats sur étagères autorisé par le dispositif des *Urgent Operational Requirements*, dont le financement (assuré par le ministère britannique des Finances, donc hors budget défense) finit par représenter environ 10% du budget annuel du *MoD*. Finalement, les deux auteurs peuvent avoir raison simultanément : il aurait été souhaitable de faire plus vite, mais l'adaptation institutionnelle (et financière) aux besoins du terrain a eu lieu et a permis l'acquisition de nouveaux matériels.

L'institutionnalisation des RETEXs tactiques et opératifs conduit à des différences de focales entre les deux ouvrages. Akam donne une longue liste d'exemples d'adaptations tactiques ou de mesures de coordination interarmées qui sont oubliées et doivent être régulièrement réappries faute d'institutionnalisation, une analyse qui rejoint celle de Sergio Catignani<sup>12</sup>. Pour sa part, Barry insiste sur l'évolution du cursus du *Staff College* (École de Guerre) qui suspend dans les années 1990 l'enseignement de la contre-insurrection, produisant des générations d'officiers peu préparées à leurs expériences en Irak et en Afghanistan, un phénomène également observé aux États-Unis<sup>13</sup>. On pourrait pourtant objecter que même si le *Staff College* avait continué à enseigner la contre-insurrection et les expériences britanniques en Malaisie et en Irlande du Nord, les officiers britanniques n'y auraient pas forcément trouvé de meilleures ressources professionnelles. Au début des années 2000, les travaux sur ces expériences étaient encore très fortement teintés de triomphalisme sur les soi-disant « succès » de la contre-insurrection à la britannique. Ce n'est que depuis les années 2010 qu'une image plus juste des expériences contre-insurrectionnelles (et de leurs impasses stratégiques) a émergé grâce aux travaux académiques<sup>14</sup>. Il est fort douteux qu'une histoire mythifiée produise des enseignements opérationnels utiles dans des contextes très différents, mais la question plus large des formes de connaissances pertinentes pour des officiers supérieurs, qui dépasse le cadre de cette recension, est posée.

Au final, les deux ouvrages soulèvent des questions importantes sur l'évolution des forces armées britanniques mais éludent tous les deux un enjeu finalement plus structurant : le Royaume-Uni n'a été dans ces deux campagnes

12. S. Catignani, « 'Getting COIN' at the Tactical Level in Afghanistan: Reassessing Counter-Insurgency Adaptation in the British Army », *Journal of Strategic Studies*, n° 4, vol. 35, 2012, pp. 513-539.

13. D. Fitzgerald, *Learning to Forget. US Army Counterinsurgency Doctrine and Practice from Vietnam to Iraq*, Palo Alto, Stanford University Press, 2012.

14. A. Mumford, *The Counter-Insurgency Myth. The British Experience of Irregular Warfare*, London, Routledge, 2012.

qu'un « *junior partner* » dans une guerre dont les paramètres stratégiques étaient déterminés par les États-Unis<sup>15</sup>. En ce sens, si les campagnes avaient été couronnées de succès, la performance britannique apparaîtrait aujourd'hui sous un jour bien différent. Se pose néanmoins la question majeure des alternatives possibles : de manière crédible, qu'auraient pu faire de différent les dirigeants britanniques ? En Afghanistan, une réponse est donnée par Theo Farrell : partir après 2003<sup>16</sup>. En Irak, la commission Chilcot a illustré l'obsession de Tony Blair d'afficher sa proximité avec les États-Unis et à participer à l'invasion, contre l'avis de la majorité de sa population. Une autre grande stratégie était donc envisageable, ce qui n'exonère pas les armées britanniques de leurs responsabilités dans les échecs opérationnels et stratégiques que constituent ces deux campagnes, dans un contexte où la contre-insurrection est probablement devenue une impossibilité politique, et donc une impasse, pour les armées occidentales<sup>17</sup>.

Pour un lecteur français, la lecture de ces ouvrages est enrichissante du fait de la comparaison inévitable avec nos armées. On est d'abord frappé par la capacité britannique à l'autocritique illustrée par ces deux ouvrages, là où le débat stratégique français brille par l'absence complète de tout RETEX politico-stratégique sur notre intervention en Afghanistan et où il est quasi-certain qu'il n'y en aura pas pour l'opération Barkhane : nul ne saurait évaluer l'exécutif impunément. Surtout, trois parallèles intéressants peuvent être observés : des campagnes militaires intenses sont conduites dans un contexte plus général de transformation et de réduction du format des armées ; l'existence d'une forte assurance en ses propres capacités et approches de la contre-insurrection, qui confine à une forme d'arrogance ; et enfin, une importation sélective des pratiques militaires américaines<sup>18</sup>. On y retrouve aussi, en décalé, les interrogations sur les futures missions des armées après trois décennies d'OPEXs. Les décideurs britanniques ont brutalement tranché dans la revue stratégique de 2021, dans un sens qui semble témoigner d'une méfiance vis-à-vis des chefs militaires. De ce point de vue, les décennies d'OPEXs françaises n'ont pas conduit à l'effondrement d'un modèle militaire tel que ces deux ouvrages le décrivent. La capacité des armées britanniques à réinventer leurs missions et leurs équilibres dans le nouveau contexte stratégique sera un facteur déterminant du futur de la sécurité européenne, et constitue donc un enjeu qui concerne directement la France.

---

15. O. Schmitt, *Allies that Count. Junior Partners in Coalition Warfare*. Washington, DC, Georgetown University Press, 2018.

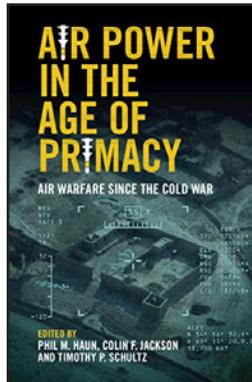
16. T. Farrell, *op. cit.*

17. M. Smith, D. Jones, *The Political Impossibility of Modern Counterinsurgency. Strategic Problems, Puzzles, and Paradoxes*. New York, Columbia University Press, 2015.

18. O. Schmitt, « French Military Adaptation in the Afghan War: Looking Inward or Outward? », *Journal of Strategic Studies*, n° 4, vol. 40, 2017, pp. 577-599.

# Air Power in the Age of Primacy

(sous la dir.) Phil M. Haun, Colin F. Jackson, Timothy P. Schultz



Lu par David Pappalardo

La mystique de la puissance aérienne, qui a triomphé pendant les trente années de domination incontestée, va-t-elle survivre au retour de la compétition stratégique ? Cette question surgit naturellement après la lecture de l'ouvrage collectif *Air Power in the Age of Primacy*, qui a été publié au début de l'année 2022 et rédigé sous la direction de Phil M. Haun<sup>1</sup>, Colin F. Jackson<sup>2</sup> et Timothy P. Schultz<sup>3</sup>, tous les trois membres du *Naval War College* américain.

Ce livre remarquable examine successivement dix conflits menés depuis la fin de la Guerre froide, où l'arme aérienne a joué un rôle prépondérant dans un contexte de suprématie militaire<sup>4</sup>. Des enseignements précieux sont tirés sur l'évolution de la puissance aérienne, tout en mesurant *post hoc* son efficacité pour atteindre les objectifs militaires et politiques.

1. Colonel en retraite de l'*United States Air Force*. Ancien pilote de *A-10* et doyen de l'*US Naval War College*.

2. Ancien sous-secrétaire de la défense responsable de l'Afghanistan, du Pakistan et de l'Asie centrale (de 2017 à 2019) et actuellement titulaire de la Chaire Recherches stratégique et opérationnelle à l'*US Naval War College*.

3. Colonel en retraite de l'*United States Air Force*. Ancien doyen de l'*USAF's School of Advanced Air and Space Studies (SAAS)*. Actuellement vice-doyen de l'*US Naval War College*.

4. Successivement, la guerre des drones, les opérations en Bosnie, au Kosovo, en Afghanistan, en Irak (2003), au Liban (en 2006 par Israël), en Libye (en 2011 via l'OTAN), au Yémen (par la coalition menée par l'Arabie saoudite), en Syrie (par la Russie) et lors de la bataille de Mossoul contre Daech (2016).

Les auteurs démontrent que la supériorité technologique dont les armées de l'air ont pu bénéficier leur a permis de conduire des guerres à distance, de limiter les risques pour leurs propres forces et de maîtriser les menaces d'escalade grâce à la réversibilité de l'arme aérienne. Les objectifs stratégiques initiaux ont été atteints, mais les résultats obtenus sur le terrain n'ont pu toutefois être convertis en succès politiques ou apporter « *un meilleur état de paix que le précédent* »<sup>5</sup> (comme l'illustrent le cas libyen en 2011 ou la guerre menée actuellement au Yémen).

Ces guerres ont aussi progressivement fait oublier que l'adversaire pouvait agir dans la 3<sup>e</sup> dimension. Les armées de l'air ont évolué en toute impunité au-dessus des positions ennemies, mettant parfois en place un véritable complexe persistant de Reconnaissance-Frappe grâce aux drones armés. Cette anomalie historique prend fin avec le retour de la compétition stratégique. Désormais, les forces aériennes doivent d'abord se recentrer sur leur mission première, c'est-à-dire conquérir et maintenir la supériorité aérienne, fut-ce localement et temporairement.

*« Les missions qui étaient possibles dans un contexte de suprématie aérienne – comme l'appui feu et le quadrillage de l'espace aérien par des drones de surveillance – risquent de ne plus être réalisables dans un environnement opérationnel dominé par les systèmes de défense surface-air intégrés et les moyens de frappe dans la profondeur »*<sup>6</sup>.

## **La guerre aérienne à l'ère de la suprématie**

### *Une triple asymétrie en matière de puissance, d'intérêts et de technologies*

Les guerres aériennes menées depuis la fin de la Guerre froide peuvent être décrites à l'aune de trois rapports asymétriques dans les domaines de la puissance, des intérêts et des technologies. Dans le domaine de la puissance, la supériorité aérienne étant facilement acquise, les armées de l'air ont pu concentrer leurs efforts sur les autres missions, en tirant abondamment profit de leurs vertus intrinsèques : allonge pour favoriser l'action dans la profondeur, réactivité et relative ubiquité conférée par la vitesse, précision ou encore persistance avec l'apparition des drones MALE. L'arme aérienne a ainsi systématiquement bénéficié d'un avantage asymétrique contre l'adversaire.

En ce qui concerne les intérêts, la puissance aérienne a été employée dans un contexte où les belligérants s'engageaient selon des logiques différentes. Des acteurs locaux luttaient pour leur existence, avec toute l'énergie du désespoir qu'un tel enjeu peut entraîner. Les intérêts des puissances interventionnistes n'étaient

---

5. Selon l'expression de Basil Liddell Hart.

6. “*Missions that were feasible in an era of unchallenged air supremacy – CAS and persistent ISR – may be impossible in an operational environment dominated by enemies possessing resilient IADS and long-range strike capabilities of their own*” (P. M. Haun, p. 25).

généralement qu'importants ou simplement périphériques. Ces limites dans l'engagement des forces occidentales ont eu trois conséquences principales. Premièrement, le choix de l'arme aérienne a largement été privilégié pour réduire les risques pesant sur les troupes au sol (à l'exception notable de la guerre en Irak en 2003). Le schéma préférentiel, connu sous le nom de « modèle afghan », a consisté à combiner acteurs locaux (*proxies*), forces spéciales et puissance aérienne. Deuxièmement, l'emploi de l'arme aérienne a été largement encadré par des règles d'engagement restrictives afin de limiter les dommages collatéraux, préjudiciables au soutien de l'opinion publique et à l'adhésion des forces locales alliées. Troisièmement, la puissance aérienne a contribué à contenir les conflits sous un seuil de violence critique, semblant offrir, comme le flirt, « *des satisfactions sans risque d'engagement* »<sup>7</sup>.

La dernière asymétrie relevée est d'ordre technologique. Elle a contribué à améliorer l'efficacité de la puissance aérienne selon trois axes : la précision du ciblage, y compris à moyenne altitude ; le maillage quasi-complet du théâtre d'opérations par des moyens de surveillance et de reconnaissance ; enfin, le développement d'une guerre centrée sur les réseaux grâce à l'apport des technologies numériques. En d'autres termes, la supériorité technologique a entraîné le développement aux États-Unis d'une véritable architecture C4ISTAR<sup>8</sup> où la clé de la puissance aérienne était la précision du ciblage, le ciblage reposant lui-même sur la qualité du renseignement.

#### *Une efficacité militaire réelle mais à coût élevé*

Presque tous les conflits examinés démontrent que la puissance aérienne a été décisive pour atteindre rapidement les objectifs initiaux. Pour autant, son efficacité militaire ne peut être mesurée aisément. Quatre enseignements peuvent être relevés, dont certains semblent contre-intuitifs pour les aviateurs. Tout d'abord, son efficacité dépasse le nombre de cibles détruites ou d'opposants éliminés<sup>9</sup>. La valeur coercitive de la puissance aérienne contre un État affaibli ou un proto-État est ainsi démontrée dans presque tous les conflits examinés<sup>10</sup>. Son efficacité s'exprime bien plus dans l'interdiction (*denial*) faite à l'ennemi d'atteindre ses objectifs stratégiques (en l'empêchant de se regrouper et en l'obligeant à privilégier sa survie au détriment de l'offensive) que dans une stratégie punitive (*punishment*) aux effets limités eu égard à l'asymétrie des intérêts et des volontés. De la même manière, les frappes aériennes permettent rarement de modifier toutes

7. Selon le mot d'Eliot A. Cohen, non cité par ailleurs dans l'ouvrage. Cf E. A. Cohen, « *The Mystique of U.S. Air Power* », *Foreign Affairs* n°1, vol. 73, janvier/février 1994.

8. *Command, Control, Communications, Computers, Information/Intelligence, Surveillance, Targeting Acquisition and Reconnaissance*.

9. « *Success is measured not by tank kills or body counts but by the degree to which one's military objectives are achieved, and the enemy's objectives are denied* » (P. M. Haun, p. 18).

10. Dans *Arms and influence* et *Strategy of conflict*, Thomas Schelling distingue deux types de coercition : la dissuasion (pour empêcher un acteur d'initier une action défavorable) et la *compellence* (pour forcer un acteur à stopper une action en cours).

seules le comportement de l'adversaire (*compellence*)<sup>11</sup>. En 1999, la décision de Milošević de céder aux exigences américaines relève au moins autant du retrait du soutien de Moscou à Belgrade que des effets de la campagne de coercition aérienne conduite pendant 78 jours<sup>12</sup>.

Autre enseignement, les attaques stratégiques systémiques prônées par le colonel J. Warden dans son ouvrage « *La Campagne aérienne* » ont rarement produit des effets significatifs alors même qu'elles avaient la préférence institutionnelle. Les auteurs démontrent que les frappes de décapitation en Afghanistan ou en Irak ont surtout promu l'ascenseur social dans le camp djihadiste. De la même manière, la première phase de l'opération *Allied Force* au Kosovo n'a pas modifié le comportement de Milošević, illustrant les limites du ciblage systémique pour contraindre l'action d'un adversaire<sup>13</sup>. Paradoxalement, les attaques contre les forces militaires adverses ont été celles qui ont produit le plus d'effets sur l'issue de la campagne, alors qu'elles n'étaient planifiées qu'en dernier ressort.

En outre, les auteurs montrent que l'efficacité de la puissance aérienne est plus grande lorsque ces effets sont intégrés en synergie avec ceux produits dans d'autres milieux. L'emploi combiné des forces terrestres et aériennes place par exemple l'adversaire devant un dilemme. S'il se regroupe pour concentrer son effort contre les forces terrestres ennemies, il devient vulnérable à une frappe venue du ciel. *A contrario*, s'il se disperse pour échapper à la puissance aérienne, il devient plus vulnérable face à une action terrestre. Cette analyse est également essentielle pour les forces terrestres. Alors qu'une partie des analystes militaires tend à négliger plus ou moins sciemment les apports de la puissance aérienne à la manœuvre interarmées, une approche factuelle dresse un tout autre bilan : sans la puissance aérienne, les forces terrestres verraient leur liberté d'action significativement dégradée.

Enfin, tous les conflits examinés révèlent que si la puissance aérienne contribue à contraindre l'ennemi, c'est toujours à un coût extrêmement élevé, du fait de l'emploi de plateformes à très haute valeur technologique ajoutée. La nécessité de maîtriser le plus possible les dommages collatéraux est l'un des facteurs qui contribue à l'explosion du coût des opérations. Concevoir l'architecture de ciblage nécessaire pour y parvenir (liaisons de données, analyse des effets en temps réel, munitions « intelligentes », etc.) est particulièrement exigeant.

#### *Les séquelles politiques des victoires depuis les airs*

La plupart des conflits examinés dans le livre se soldent pratiquement tous par un échec politique (à l'exception du Kosovo en 1999 et de l'intervention militaire de *Tsahal* lors de la deuxième guerre du Liban en 2006 où la puissance aérienne aura notamment contribué à restaurer la dissuasion de l'État

---

11. La coercition est ici utilisée au sens de « *compellence* », telle que définie par Schelling.

12. A. L. Stigler, p. 76.

13. *Ibid.*

hébreu<sup>14</sup>). Pour autant, il est injuste de faire reposer cette responsabilité sur la seule puissance aérienne sous prétexte qu'elle aura été le vecteur privilégié d'emploi de la force. Selon les auteurs, c'est au contraire le choix de la politique étrangère dans sa totalité qui doit être questionné.

Néanmoins, les décideurs politiques et les aviateurs doivent se garder de suivre deux utopies destructrices. La puissance aérienne n'atteindra d'abord jamais à elle seule des objectifs politiques durables de paix dans un État failli:

*« L'attrait de la puissance aérienne à l'ère de la suprématie - avec sa promesse de gains faciles à faible coût et où les risques sont réduits pour les soldats et les aviateurs - peut inciter des dirigeants peu avisés à négliger les conséquences à long terme d'une intervention, qui impliquerait in fine une occupation ou la réparation d'un État failli. Dans ces conditions, la puissance aérienne peut générer un risque d'aléa moral pour les dirigeants politiques qui voudraient s'engager tout en ignorant le coût total de la guerre ».*<sup>15</sup>

Par ailleurs, la puissance aérienne ne se substituera jamais aux forces terrestres pour contrôler un territoire, nonobstant l'apparition des drones de théâtre et leur capacité à survoler de manière permanente le théâtre des opérations.

Les défenseurs de la puissance aérienne, qui tendent à céder à ces deux utopies, perdent de vue l'objectif final de tout engagement militaire en remplaçant une théorie de la victoire par une simple logique d'attrition, prolongeant inlassablement ce type de conflits.

## **La puissance aérienne à l'heure de la compétition entre grandes puissances**

### *La persistance des guerres asymétriques et le retour de la haute intensité*

Dans le dernier chapitre du livre, Colin F. Jackson s'interroge sur les évolutions possibles de la guerre aérienne à l'aune du retour de la compétition stratégique. Il met en exergue deux grandes tendances : la persistance probable des guerres asymétriques et la perspective du retour de la guerre aérienne de haute intensité. Pour Jackson, le défi consistera à concilier les deux défis par un coût humain et financier acceptables<sup>16</sup>.

Face à ce dilemme, Jackson propose trois pistes d'évolution pour rendre l'application de la puissance aérienne plus soutenable sur le long terme. La première concerne la différenciation des parcs d'avion. Il pose la question de

14. N. Hagilad, p. 148.

15. « *The allure of air power in the age of primacy with its promise of easy gains at low costs and little risk to soldiers and airmen may influence short-sighted leaders to discount the long-term costs of occupation or the externalities associated with failed states. Under such conditions, air power may generate a moral hazard for myopic political leaders to ignore the full costs of war* » (P. M. Haun, p. 19).

16. « *How can great powers squarely focused on the prospect of high-end warfighting manage peripheral challenges at acceptable human and financial cost? The Holy Grail remains the development of a management strategy that saves blood and treasure* » (C. F. Jackson, p. 298).

l'intérêt de l'avion de combat léger, qui peut diminuer la pression exercée par l'emploi trop systématique des dernières générations d'avion de chasse et réduire le coût des opérations. Des marges de manœuvre pourraient être dégagées pour la préparation opérationnelle vers les missions du haut du spectre<sup>17</sup>. La deuxième proposition est plus polémique : selon l'auteur, les États-Unis « *paient un prix très élevé pour avoir bonne conscience dans les guerres asymétriques* »<sup>18</sup>. Ce choix sera selon lui nécessairement revu dans la perspective du retour de la guerre de haute intensité. Enfin, la complexité et le coût des munitions employées doivent être réduits pour répondre à l'impératif de la masse, propre au combat de haute intensité.

### *L'augmentation du coût d'entrée des opérations*

Au-delà de ces trois recommandations, le retour de la compétition stratégique ramènera naturellement les armées de l'air vers leur mission première : acquérir et conserver la supériorité aérienne. Assurer cette mission sera coûteux et difficile dans le double contexte de la dissémination des *Integrated Air Defense Systems (IADS)*<sup>19</sup> – plus ou moins permissifs et plus ou moins complexes – et de la prolifération verticale et horizontale des missiles (croisière, balistiques, drone-munitions, etc), menaçant nos infrastructures en opérations.

Le retour de la compétition stratégique sur le haut du spectre pourrait bouleverser le rôle de la puissance aérienne à l'avenir. Tout d'abord, les bases aériennes ne seront plus des sanctuaires à partir desquelles il sera aisé de projeter de la puissance. Il est indispensable de mieux les protéger.

Par ailleurs, le brouillard de la guerre risque d'obscurcir un peu plus le processus de ciblage, réduisant l'efficacité de la chaîne C4ISTAR, sur laquelle repose aujourd'hui l'efficacité de la puissance aérienne

« *La suprématie aérienne dont ont bénéficié les grandes puissances dans les conflits asymétriques, leur ont permis d'évoluer en toute impunité en moyenne altitude avec un risque limité. Cela a simplifié la collecte de renseignements et a habitué les grandes puissances au luxe de pouvoir disposer d'un regard persistant et d'oreilles attentives pour suivre et analyser tout ce qui se passait sur le champ de bataille* »<sup>20</sup>.

Or ce luxe traduit une exception historique d'ores et déjà mise à mal par la compétition stratégique. Le déficit de renseignement et la difficulté de mesurer

---

17. Cf. D. Pappalardo, *La tentation de l'avion de combat léger*, Vortex n°1, juin 2021.

18. « *The US pays a very high price for a clean conscience in small wars* » (C. F. Jackson, p. 299).

19. Systèmes intégrés de défense aérienne.

20. « *Unchallenged air superiority at medium altitude gave great powers the ability to loiter over the battle space with limited risk. This simplified intelligence gathering and made great powers accustomed to the unblinking eye and unsleeping ear of imagery and signals collection* » (C. F. Jackson, p. 301).

les effets *ex post* contraindront l'emploi de la puissance aérienne telle que nous le connaissons aujourd'hui. Le suivi et la destruction de cibles mobiles relèveront en particulier de la gageüre.

Enfin, Jackson considère que le rôle de l'aviation de combat s'érode progressivement en faveur des missiles en matière de supériorité aérienne, dans un contexte de compétition de salves :

*« La létalité croissante des moyens de frappe dans la profondeur permet aux puissances révisionnistes de contrer l'avantage américain conféré en théorie par les avions de cinquième génération. La guerre des missiles peut, en ce sens, contourner le schéma de défense aérienne sur lequel repose la doctrine américaine depuis la Seconde Guerre mondiale »<sup>21</sup>.*

Pour Jackson, les États-Unis doivent se préparer à cette inflexion majeure pour relever le défi de la défense antimissile, y compris dans sa dimension offensive. Dans une compétition de salves, la première d'entre elles compte tout autant que la dernière, ce qui illustre la nécessité de disposer de stocks conséquents et de flux logistiques adaptables. Pour autant, l'aviation de combat aura toujours un rôle à jouer par sa singularité politique dans le domaine du signalement stratégique et par sa capacité à limiter la violence d'un conflit en dessous d'un seuil critique.

En conclusion, cet ouvrage collectif vient combler un déficit d'analyse globale sur les conflits menés depuis la fin de la Guerre froide, notamment du point de vue aérien. Son apport est d'autant plus remarquable qu'il vient bousculer certaines idées bien ancrées chez les aviateurs. Ce livre offre enfin un regard original sur le futur des guerres aériennes.

Le retour de la compétition stratégique nous rappelle que la supériorité aérienne est de plus en plus contestée par l'adversaire, par l'emploi conjoint d'avions de combat, de systèmes de défense surface-air mais aussi de missiles offensifs. Quatre priorités pourraient ainsi être esquissées pour l'armée de l'Air et de l'Espace à la lumière de cette analyse : 1/ obtenir et conserver la supériorité aérienne ; 2/ protéger ses bases, notamment avec de la défense antiaérienne et antimissile ; 3/ frapper dans la grande profondeur en combinant portée, pénétrabilité des défenses et précision ; 4/ gérer enfin les stocks de munitions, qui ne doivent pas s'effondrer après les premiers échanges de salves avec l'adversaire.

<sup>21</sup>. « *The growing lethality of long-range precision strike also means the revisionist powers need not overcome the US advantages in fifth-generation air-to-air capability. Missile warfare may in this sense bypass the air-to-air construct on which US defensive doctrine has been built since World War II* » (C. F. Jackson, p. 303).











**MINISTÈRE  
DES ARMÉES**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

