

Olivier DUJARDIN
Lauraline MANIGLIER

DRONES

ET LUTTE ANTI-DRONES



Préface du Général Bruno BARATZ
Commandant du combat futur


CERBAIR
ANTI-DRONE SOLUTION


ellipses

AVANT-PROPOS

Depuis une décennie, les drones se sont imposés comme des technologies incontournables, bouleversant aussi bien les usages civils que militaires. Bien que les drones existent depuis presque aussi longtemps que l'aviation, leur montée en puissance récente a transformé en profondeur de nombreux secteurs, introduisant à la fois de nouvelles opportunités et des menaces. Avant d'évaluer les technologies permettant de les contrer ou de les exploiter, il est essentiel de comprendre leur place et leurs modes d'utilisation. Pourquoi ces aéronefs, longtemps relégués à des usages spécifiques, attirent-ils aujourd'hui tous les regards sur eux ?

Quatre facteurs majeurs expliquent cette évolution :

1. **La miniaturisation de l'électronique** a donné aux systèmes de petite taille des capacités (optique, radiocommunication, autonomie énergétique, navigation, etc.) auparavant inimaginables.
2. **La réduction des coûts** les a rendus accessibles au grand public.
3. **La production de masse** a démocratisé l'accès à ces technologies. Autrefois réservés à quelques services spécialisés, les drones sont désormais largement disponibles sur le marché civil.
4. **Les avancées logicielles** ont facilité le pilotage, rendant leur prise en main intuitive et éliminant la nécessité d'un long apprentissage.

À qui s'adresse ce livre ?

Tout le monde a pris conscience de l'impact tactique et de l'avantage indéniable que confèrent les drones aux utilisateurs. De nombreux rapports parlementaires et sénatoriaux adressent la dimension stratégique de cet atout de l'arsenal militaire. Cet ouvrage, en revanche, se concentre sur les aspects techniques, tactiques et pratiques de leur utilisation. Il explore les raisons de leur essor inéluctable, tout en soulignant les limites imposées par les lois de la physique. Son objectif est d'apporter au lecteur une compréhension approfondie et concrète de leur impact. Il met en lumière leur apport opérationnel, les risques qu'ils présentent et les stratégies de neutralisation exploitant leurs vulnérabilités pour mieux s'en protéger. Il ne prétend pas à l'exhaustivité – impossible à ce stade du développement des drones – mais adopte une approche didactique et pédagogique pour en favoriser une large compréhension.

Pourquoi ce livre et qui sont les auteurs ?

Forts de leurs expériences professionnelles dans le privé et de leurs compétences militaires (ex-militaire et réserviste opérationnel), **Olivier Dujardin** et **Lauraline Maniglier** accompagnent différentes organisations privées et publiques dans l'analyse critique, opérationnelle et technique de l'utilisation des drones et des contre-mesures associées, dans un contexte géostratégique incertain en profonde mutation.

■ Vingt-cinq ans d'expérience en guerre électronique, traitement des signaux radar et analyse des systèmes d'armes. Olivier a successivement assuré des fonctions opérationnelles dans la guerre électronique et l'étude des systèmes de radar, puis des fonctions d'expert technique en renseignement d'origine électromagnétique (ROEM). Olivier est également chercheur associé au Centre français de recherche sur le renseignement (CF2R). Il dirige la rubrique « Renseignement, technologies et armement », qui propose des analyses traitant des interactions existantes, de leur dépendance et de leur emploi. En parallèle, il conseille en tant qu'expert indépendant sur les questions de défense, que ce soit pour l'industrie ou les forces armées.



Olivier Dujardin

■ Passionnée par l'innovation de défense, Lauraline met à profit ses expériences civiles et militaires pour réduire l'écart entre besoins, usages et solutions. Engagée depuis quatre ans au sein de la réserve opérationnelle de l'armée de Terre, elle a rejoint le pôle d'innovation de défense GAI⁴A à la Section Technique de l'armée de Terre (STAT). Cette opportunité fait suite à un mémoire de recherche sur « *l'intégration d'une innovation garante de l'expérience utilisateur du fantassin¹* », qui l'a conduite à occuper un poste d'officier de communication.



Lauraline Maniglier

Dans le secteur civil, Lauraline travaille depuis cinq ans auprès de PME industrielles françaises spécialisées dans la défense et la sécurité. Elle a successivement occupé les fonctions de responsable marketing produit puis de responsable produit. Son parcours l'a mené à rejoindre un éditeur de logiciel spécialisé en production dématérialisée, associant blockchain privée et fabrication additive. Plus récemment, Lauraline a rejoint **CERBAIR**, référence dans la lutte anti-drone, spécialisée en traitement du signal radiofréquence. Cette double expérience, à la fois civile et militaire, lui a permis d'acquérir une solide expertise en innovations technologiques de défense, en concepts d'opérations et en enjeux de transformation.

Ce que ce livre n'est pas

Ce livre n'a en aucun cas vocation à servir de guide aux criminels cherchant à perfectionner l'usage des drones dans des activités illicites. Bien que de nombreux cas d'application soient analysés, il ne fournit ni conseils ni méthodes pouvant favoriser des actions criminelles ou terroristes. Seules des situations déjà médiatisées sont utilisées à des fins d'illustration. Les scénarios militaires, quant à eux, sont traités plus en détail, leur mise en œuvre étant encadrée par la légitimité de l'État.

Il ne s'agit pas non plus d'un guide pratique permettant de contourner les systèmes anti-drones. L'ouvrage présente les différentes solutions technologiques existantes pour détecter et neutraliser les drones, en soulignant leurs avantages et limites. Son objectif est d'aider les lecteurs à identifier les solutions les plus adaptées à leurs besoins spécifiques. Aucune solution

1. *Comment intégrer une innovation garante de l'expérience utilisateur du fantassin ?* Thèse professionnelle de Lauraline Maniglier, 2019.

parfaite n'existe ; au contraire, reconnaître chaque limitation est essentiel pour élaborer une stratégie de défense éclairée et efficace.

Cet ouvrage ne traite pas des réflexions philosophiques relatives à l'utilisation des drones ou des robots de combat. Les dilemmes moraux, éthiques et juridiques afférents à l'emploi de technologies semi-autonomes ou autonomes ne sont pas abordés ici, car ces questions ont déjà fait l'objet de nombreuses études. L'analyse se concentre exclusivement sur les aspects techniques et opérationnels, laissant de côté les considérations éthiques.

Enfin, il ne prétend pas être une étude prospective sur l'évolution des drones dans les domaines civil et militaire. Bien que leur développement dépende de multiples facteurs, comme les avancées technologiques (IA, essais...), les cadres réglementaires et les transformations sociétales, ce livre ne cherche pas à anticiper ces changements. En effet, les perspectives d'évolution peuvent être extrêmement différentes selon les scénarios envisagés.

Au lieu de cela, cet ouvrage s'appuie sur des analyses empiriques issues de l'expérience d'Olivier Dujardin, de Lauraline Maniglier et d'autres experts du domaine. Il vise à nourrir la réflexion et encourager les lecteurs à approfondir et adapter les clés de lecture présentées aux futures évolutions.

Bonne lecture !

QU'EST-CE QU'UN DRONE ?

Il est fréquent de constater différentes interprétations autour du concept de drone. Ce mot peut faire référence à des systèmes sans pilote très différents, dont la dénomination peut varier selon l'interlocuteur. Alors, comment peut-on définir précisément un drone ?

Drone, la dénomination usuelle en France

Selon la Direction Générale de l'Aviation Civile en France (DGAC), les drones sont définis comme des aéronefs sans équipage. Ils sont contrôlés soit à distance par des opérateurs humains, soit de manière automatique. Mais le terme « drone » trouve son origine dans le mot anglais « faux bourdon » en référence au bruit de l'aéronef semblable à celui de l'insecte.

UAS, une terminologie anglo-saxonne

La terminologie anglo-saxonne a évolué avec l'acronyme UAV (*Unmanned Aerial Vehicules*), puis, depuis quelques années, la *Civil Aviation Authority* (CAA britannique) et la *Federal Aviation Administration* (FAA américaine) ont décidé d'employer plutôt le terme UAS (*Unmanned Air System/Aircraft*). Les drones sont des aéronefs pilotés à distance, autrement dit, entendu au sens strict, une plateforme aérienne. Mais, dans les faits, ces vecteurs sont intégrés dans un ensemble plus complexe composé également de capteurs, de liaisons des données, d'une station de contrôle, d'éléments de soutien et de systèmes de récupération. Même s'il n'est pas embarqué, l'humain est

au cœur de ce système, que ce soit pour le pilotage de la plateforme, la conduite de la mission, la mise en œuvre des capteurs, la maintenance ou l'analyse du renseignement recueilli.

Réutilisation : un critère distinctif

Cette définition met en avant une notion importante, celle de la récupération. Les drones ont la capacité de retourner à leur base, les rendant réutilisables, contrairement aux missiles de croisière qui sont détruits avec leur cible. Cette dualité soulève des questions, notamment lorsqu'un même appareil peut servir à la fois de drone et de missile. Les exemples sont nombreux. On peut citer les drones de reconnaissance convertis en missiles de croisière (Tu-141 ukrainiens, drones chinois civils Mugin 5). Il y a aussi le cas des drones FPV armés avec une tête de roquette anti-char qui sont jetés sur les équipements militaires ennemis sans caractère de récupération.

Contradictions historiques

Le concept de « réutilisable » contraste déjà avec les origines anglaises du mot « drone », qui désignait initialement un avion-cible/drone-cible à usage unique, utilisées pour l'entraînement antiaérien. Le premier drone produit en série, le OQ-2A (RQ-4), illustre cette utilisation initiale avec plus de 24 400 unités fabriquées jusqu'aux années 1950.

RPAS, une perspective internationale

L'organisation de l'aviation civile internationale (OACI) utilise le terme « RPAS » pour *Remotely Piloted Aircraft System* (système d'avion piloté à distance). Cette désignation n'inclut pas les appareils fonctionnant de manière automatique. Historiquement, dans les années 1960 et 1970, la majorité des drones utilisés par les armées étaient des aéronefs qui volaient en automatique selon un itinéraire pré programmé. Cette terminologie semble également limiter les avancées pour des applications civiles et commerciales, où un haut niveau de numérisation et d'automatisation est essentiel, notamment pour le développement des U-space.

L'exception militaire

Selon la Commission spécialisée de terminologie et de néologie (CSTN) du ministère de la Défense, un « drone » est un « engin mobile terrestre, aérien ou naval, sans équipage embarqué, programmé ou télécommandé et réutilisable. Les drones militaires sont équipés de systèmes

QU'EST-CE QU'UN DRONE ?

d'armes ou de recueils de renseignements¹ ». Bien que le terme « drone » est largement utilisé, le jargon militaire français et anglo-saxon préfère une terminologie plus précises. Il parle plutôt de :

- **Drone aérien** (*Unmanned Air System/Aircraft, UAS*) ou (*Unmanned Combat Air Vehicle, UCAV*), si le système est muni d'une arme.
- **Drone de surface** (*Unmanned Surface Vehicle/System, USV/USS*).
- **Drone sous-marin** (*Unmanned Underwater Vehicle/System, UUV/UUS*).
- **Drone ou robot terrestre** (*Unmanned Ground Vehicle/System, UGV/UGS*).

Les drones ne se limitent pas à l'espace aérien ; ils se déclinent en autant de sortes qu'il y a de familles de plateformes. Un véhicule ou un engin piloté devient un drone lorsqu'il ne requiert plus la présence d'un équipage humain à bord. Ainsi, « drone » devient le terme générique pour désigner l'ensemble des véhicules terrestre, naval ou aéronautique, piloté à distance ou de façon automatique/autonome.

PAROLES D'EXPERTS

Dylan RIEUTORD

Consultant chercheur, spécialiste en robotique militaire, analyste OSINT et auteur de l'ouvrage *Tactique Robotique*

Un robot (du tchèque « *robota* » qui signifie travail, corvée, serviteur) est une plateforme inhabitée reprogrammable mobile terrestre. Il possède la capacité d'interagir avec son milieu déstructuré. Il déporte les sens du soldat et démultiplie ses effets. C'est un système d'arme qui agit de façon indépendante ou en réseau. Son autonomie décisionnelle paramétrable détermine la nature du lien avec son opérateur éventuel et son niveau d'automatisation qui, une fois à son paroxysme, mènera la machine à une autonomie relative.

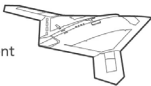
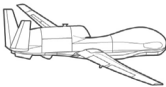


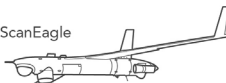
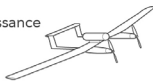

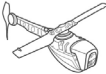
Un drone est une plateforme inhabitée reprogrammable opérant en milieu fluide, c'est-à-dire dans les airs, l'espace extra-atmosphérique et par extension, le milieu marin. Il produit des effets dans son milieu et projette des capacités en tant que système d'arme opérant de façon indépendante ou en réseau. Sa mission détermine son niveau d'automatisation et par voie de conséquence la nature de la station et du lien éventuels avec son opérateur qui le contrôle. S'il venait à pouvoir opérer sur terre (multi-milieus), il serait alors considéré comme un robot amphibie ou aéroterrestre de par sa réversibilité et son accès au territoire régissant la vie humaine.

1. *Emploi des systèmes de drones aériens, réflexion doctrinale interarmées*. Centre interarmées de concepts, de doctrines et d'expérimentations, 2012.

Classification OTAN des drones aériens

Extrait de la classification retenue par l'Organisation du traité de l'Atlantique Nord (OTAN), le schéma suivant permet d'avoir un aperçu de la catégorisation communément admise pour les drones aériens militaires répartis en trois catégories, selon un critère déterminant de poids.

Les différentes catégories de drones aériens

| Drones pouvant être armés - plus de 600 kg | Rayon d'action | Classification OTAN |
|--|--|---|
| Drones d'attaque en cours de développement X47  | Plus de 150 km liaison satellitaire | Frappe / Combat |
| Drones stratégiques Global Hawk  | | HALE (Haute Altitude Longue Endurance) |
| Drones de théâtres MQ-9 Reaper  | | MALE (Moyenne Altitude Longue Endurance) |
| Drones pouvant être armés - de 150 à 600 kg | Rayon d'action | Classification OTAN |
| Drones tactiques Bayraktar TB2  | Moins de 150 km | Tactique |
| Drones de contact pouvant être armés - moins de 150 kg | Rayon d'action | Classification OTAN |
| Boeing ScanEagle  | 80 km | Petit Entre 20 et 150 kg |
| Drone de reconnaissance au contact (DRAC)  | 25 km | Mini Entre 2 et 20 kg |
| Parrot Anafi  | 2-5 km | Micro et nano 2 kg ou moins |
| Black Hornet  | | |

La spécificité du drone suicide

En plus de ces définitions, il faut inclure les drones suicides, aussi appelés munitions rôdeuses. Ce sont des drones équipés d'une charge militaire qui, de manière téléopérée, sera jetée sur une cible pour la détruire, entraînant par la même action la destruction du porteur. La principale interrogation réside dans la distinction entre un drone suicide et un missile doté d'une liaison de données. Les fonctionnements des missiles et des drones présentent de grandes similitudes, suscitant parfois des confusions, notamment à propos de certaines munitions nommées *UAV Cruise Missile*.

Tableau comparatif des caractéristiques des drones

| | Aéronefs sans équipage | Pilotage à distance | Pilotage automatique | Réutilisable | Multi- milieux | Poids |
|---------------|------------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------|-------------------|-------|
| France | ✓ | ✓ | ✓ | – | – | – |
| Anglo-saxons | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | – | – |
| International | ✓ | ✓ | – | – | – | – |
| Militaire | ✓ | ✓ | ✓ | – | ✓ | – |
| OTAN | – | – | – | – | – | ✓ |

En résumé, les drones ne se définissent ni par leur poids, leur vitesse, ni par leur forme aérodynamique. Ils ne se caractérisent pas non plus par la présence de liaisons de données, ni par leur capacité à être réutilisés. Cependant, certaines caractéristiques permettent de classer clairement des appareils dans la catégorie drones, en particulier ceux dédiés à la reconnaissance, qu'ils soient armés ou non, qui restent toujours réutilisables. L'ambiguïté principale concerne les appareils destinés à l'auto-destruction. Un facteur discriminant pourrait être leur mission plutôt que leurs spécifications techniques.

Notre définition des drones

D'après cette réflexion, nous pourrions définir les drones comme un vecteur (aérien, terrestre ou naval), télépiloté ou programmés, capable de collecter du renseignement (indépendamment du caractère réutilisable ou pas) et/ou de servir d'effecteur non-cinétiques.

■ AVANTAGES DE CETTE DÉFINITION

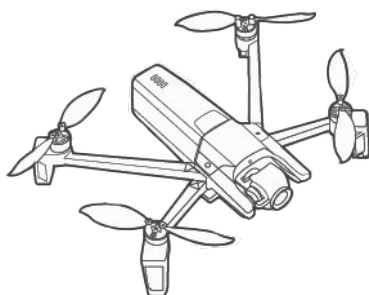
- Elle distingue clairement les drones des missiles télécommandés, lesquels n'acquiescent pas de renseignements de manière intrinsèque. Contrairement aux missiles (anti-aériens, anti-chars, anti-navires ou de croisière) qui visent des objectifs identifiés au préalable par d'autres moyens, les drones suicides peuvent agir sans cibles prédéfinies. Ce sont les capteurs internes qui vont indiquer à l'opérateur quelles cibles d'opportunité pourront être traitées.
- Elle classe les dispositifs préprogrammés pour aller frapper un point précis dans la catégorie des missiles.
- Elle inclut dans la catégorie des drones des vecteurs à usage spécifique tels que ceux utilisés pour le brouillage, l'éclairage ou le leurrage, qui, bien que réutilisables, agissent comme des effecteurs.
- Elle ne limite pas les drones à un seul type de milieu.

■ INCONVÉNIENTS DE CETTE DÉFINITION

- Un système peut être classifié soit comme un drone soit comme un missile, selon sa mission.
- Il peut être difficile de déterminer visuellement à quelle catégorie appartient un appareil.

Malgré l'absence d'un consensus général, nous retiendrons cette définition volontairement large pour ce livre.

COMPRENDRE LES ENJEUX LIÉS AUX DRONES



L'INEXORABLE ASCENSION DES DRONES

Les drones, aéronefs télépilotés, ont connu un essor sans précédent ces dernières années. Leur omniprésence ne surprend plus, que ce soit chez les particuliers, les professionnels ou dans les armées. Leur nombre augmente constamment, tout comme la diversité de leurs applications. À l'exception des drones de combat militaires, ils sont généralement économiques, faciles à manœuvrer et offrent une flexibilité d'utilisation supérieure à celle des plateformes pilotées. De plus, ils peuvent opérer dans des zones à risque sans mettre en danger de vies humaines.

On peut faire le même constat pour les drones militaires, dont l'importance sur les théâtres d'opérations ne cesse de s'accroître, bien que leurs performances ne surpassent pas toujours celles des équipements traditionnels. Par exemple, l'avion de renseignement U2, initialement destiné à être remplacé par les drones RQ-4 Global Hawk, continue d'être utilisé et modernisé, tandis que la demande pour les avions ISR (Intelligence, Surveillance, Reconnaissance) avec équipage reste élevée. Néanmoins, d'autres facteurs pourraient accentuer l'influence des drones dans les opérations militaires à l'avenir.

PAROLES D'EXPERTS

Colonel Pierre-Yves LE VIAVANT

Chef de corps du 61^e régiment d'artillerie

Contrairement à une idée répandue, les drones (aériens) sont presque aussi vieux que les avions et les premières expérimentations à des fins militaires ont lieu pendant la première guerre mondiale. Le premier emploi opérationnel de drones d'attaque a lieu pendant le second conflit mondial. Dès les années 1960, les armées les plus modernes utilisent les drones comme outils de surveillance ou d'acquisition de cibles au profit de l'artillerie à longue portée ou pour des reconnaissances en profondeur avec des frappes aériennes.

Alors que les drones étaient jusque-là des appareils de reconnaissance photographique et qu'il fallait un laps de temps incompressible pour développer les images et ainsi disposer du renseignement obtenu, un grand bouleversement est celui de la généralisation de la diffusion de la vidéo en temps réel à l'aube du ^{xxi}^e siècle. Avec la vidéo numérique diffusée à longue distance, le drone peut filmer une scène et l'action est accélérée. Les drones se multiplient donc dans les armées et leur autonomie élevée (endurance) favorise leur emploi dans les conflits asymétriques du début du siècle.

Plus récemment, favorisée par la miniaturisation électronique et la révolution du smartphone et des communications, la généralisation des drones à tous les échelons, pour tous les usages et de toutes tailles, est une réalité. Parfaitement prédictible, car elle peut être mise en parallèle avec la généralisation de la domotique, de la téléphonie ou plus généralement de « l'électronique pratique » pour répondre aux besoins individuels. Aujourd'hui, les drones complètent les parcs d'équipements militaires et commencent même à se substituer à certaines catégories d'équipements plus classiques. Trois raisons permettent d'affirmer qu'un drone s'impose. D'abord parce qu'il économise le sang de celui qui l'emploie : c'est un critère particulièrement appréciable dans les conflits sanglants et symétriques actuels, et qui était peu présent dans les conflits asymétriques précédents, faisant perdre beaucoup de son intérêt à ce type de système. L'on conviendra que face à un dispositif sol-air ennemi redoutable, mieux vaut engager des aéronefs sans pilotes à bord. Ensuite, le second critère est celui de l'efficacité : il faut que le drone amène une capacité nouvelle ou remplace aussi bien ce qu'un équipement faisait précédemment. De manière caricaturale, pour que les micro-drones d'attaque

de type FPV « sacrificiable » remplacent ou complètent le vénérable mortier léger, il faut que l'effet militaire de la charge du drone soit aussi puissant qu'un obus de mortier et que l'emploi soit aussi ou encore plus souple. Enfin, notion décisive pour la masse, il faut que le coût unitaire du drone soit moins élevé que l'équipement remplacé ou complété. Typiquement, les missiles modernes dont les prix ont désormais atteint des valeurs déraisonnables semblent condamnés face à des drones moins coûteux, aux performances militaires égales, et dont les capacités de manœuvre en vol sont autrement plus élevées. Protection des opérateurs, efficacité nouvelle ou supérieure, coût moindre sont donc les trois facteurs décisifs de la généralisation récente des drones et surtout du remplacement d'équipements usuels par ce type d'équipements.

Curieusement, cette explosion de l'emploi des drones au cours des toutes dernières années, parfaitement logique et attendue, a été plutôt longue à se réaliser. Elle a été retardée car les conflits dits de « basse intensité » n'ont pas permis de voir tout le potentiel des drones, dont en premier lieu l'économie de vies humaines amies. Comme tout équipement pouvant bouleverser l'organisation sociale, des armées dans notre cas, la résistance au changement est également un facteur significatif de résistance à l'inexorable ascension des drones. C'est bien la violence exacerbée des plus récents conflits qui a pour de bon accéléré la généralisation de ces équipements dont plus personne ne discute désormais ni de l'efficacité ni de l'éthique d'emploi.

« Combattre de loin est naturel à l'homme ; du premier jour toute son industrie n'a tendu qu'à obtenir ce résultat, et il continue. On se figure qu'avec les armes à longue portée on sera forcé d'en revenir au combat de près. On fuira tout simplement de plus loin devant les démonstrations. »

Ardant du Picq, Études sur le combat, 1880, p. 89, Deuxième partie, « le combat moderne ».

Le dilemme entre masse des armées et technologie

La capacité de défense d'un pays peut s'évaluer selon plusieurs critères. Outre le budget qui y est consacré ou les technologies militaires à sa disposition, les effectifs de son armée sont à prendre en compte. Alors que le contexte sécuritaire de ces vingt dernières années, marqué par une succession de crises, s'est fortement dégradé au niveau européen et international, le volume des armées, en termes d'effectif et d'équipements, n'a jamais été aussi faible. Un constat flagrant dans les pays occidentaux, mais également pour la Chine, la Russie et les États-Unis qui ont aussi subi une importante réduction de leurs effectifs depuis la fin de la guerre froide. On peut faire le même constat sur les capacités matérielles.

Même si l'on considère que les militaires d'aujourd'hui sont beaucoup plus efficaces que ceux d'hier grâce à leur équipement, formation et technologie avancée, ils n'ont toujours pas le don d'ubiquité et les besoins opérationnels vont croissant. Le durcissement des opérations extérieures, la nécessaire protection du territoire national, les postures permanentes et forces pré-positionnées, ainsi que la sollicitation des armées au titre du soutien des exportations d'armement, exigent une remontée en puissance des armées. Par ailleurs, la multiplication des crises n'empêche pas l'éventualité d'un conflit majeur comme le montre la guerre en Ukraine.

Pour faire face à cette menace et à la nette dégradation de l'environnement stratégique, le Général Lecointre¹, ancien Chef d'État-major des Armées, et le rapport « *Repenser la défense face aux crises du XXI^e siècle* » de l'Institut Montaigne², ont rappelé l'importance de combler les lacunes capacitaires en ressources humaines et en équipements. Cela permettrait de durcir notre appareil de défense et de renforcer notre capacité à soutenir un effort dans la durée. Une ambition qui se heurte néanmoins à d'importantes difficultés de recrutement et de fidélisation.

La guerre en Ukraine a également réveillé les consciences sur ce besoin de masse, tant en effectif qu'en armement. Elle a montré que les conflits de haute intensité peuvent avoir des taux d'attrition continue extrêmement important et souligné les graves manques des capacités de défense des armées, notamment européennes. Leur matériel disparate est parfois moins performant que les anciens systèmes soviétiques, notamment en termes de maintenance et aptitude à être utilisé en mode dégradé³.

-
1. Général Lecointre: « Il faut dès à présent nous interroger sur l'augmentation de la masse de nos armées ». Zone militaire, 2019.
 2. Rapport *Repenser la défense face aux crises du 21^e siècle*. Institut Montaigne, 2021.
 3. *Guerre en Ukraine: de la prudence à l'affolement... Ce que cache le virage de Macron*. Marianne, 2024.

Ce conflit a remis en question les doctrines de défense établies depuis la guerre froide, basées sur le développement et l'acquisition de matériel suffisamment sophistiqué pour dépasser les problématiques de masse. Quand bien même les budgets permettraient d'acheter massivement de grandes quantités, elles seraient inutiles sans unités et hommes pour les mettre en œuvre. La guerre en Ukraine a démontré l'efficacité de certains équipements peu chers et rapidement productibles en quantité, dans le cadre de certaines missions, tels que les drones convertis pour un usage militaire.

Le général d'armée Thierry Burkhard, ancien Chef d'État-major des Armées, a souligné lors de son audition par la Commission Défense de l'Assemblée nationale française le 13 juillet 2022 : *« La guerre de haute intensité en Europe et les menaces stratégiques de nos grands compétiteurs nécessitent de repenser les équilibres entre la technologie et la masse, l'efficacité et l'efficacité, l'optimisation et la résilience. »*

Le recours aux drones apparaît donc comme un moyen de redonner un peu de volume aux armées en jouant sur la complémentarité des plateformes sans avoir à augmenter significativement les effectifs¹, à des budgets plus maîtrisés. Cette réflexion est déjà explorée dans l'aviation avec des concepts de drone de combat tels que le *Loyal Wingman* ou le *Remote Carrier*, ainsi que dans la Marine où l'on voit les projets d'USV (*Unmanned Surface Vehicle*) se multiplier. L'US Navy prévoit d'augmenter sa flotte principalement via des plateformes autonomes.

Bien sûr, ce même raisonnement peut être inversé dans une optique de diminution des moyens à « capacité égale » comme l'avait fait l'ancien Premier Ministre britannique Boris Johnson : *« Les dernières avancées [technologiques] multiplieront la puissance de combat de chaque navire, avion et unité d'infanterie et l'avantage ira aux nations les plus rapides et les plus agiles, pas nécessairement aux plus grandes. [...] Nous devons agir rapidement pour supprimer ou réduire les capacités moins pertinentes – et cela permettra à notre nouvel investissement de se concentrer sur les technologies qui révolutionneront la guerre, forgeant nos moyens militaires en un seul réseau conçu pour vaincre l'ennemi. »* Cet argument a été avancé pendant ces 30 dernières années pour justifier la diminution des moyens des armées. On peut en constater aujourd'hui les limites.

1. *Drones de surface : la solution à la réduction des flottes ?* DSI hors-série, 2021.

Le défi des capacités de production industrielles militaires

Au fil des années, les systèmes d'armes sont devenus plus avancés et complexes technologiquement pour offrir des performances toujours accrues. Cependant, ce gain s'est traduit par une augmentation exponentielle des délais de production et des coûts d'acquisition alimentant un phénomène de déflation numérique des équipements occidentaux.

- **Avion de combat** : 24 mois pour un RAFALE ;
- **Canon** : 15 mois pour un canon CAESAR ;
- **Missile** : 24 mois pour un missile anti-navire LRSAM ;
- **Porte-avion** : une dizaine d'années.

En conséquence, le nombre de commandes reste limité avec des investissements étalés dans le temps, et ce même sous une posture d'« économie de guerre¹ ». Un fonctionnement qui empêche les économies d'échelle puisque les volumes diminuent, et qui ne permet pas de constituer un stock de matière première conséquent, d'anticiper les approvisionnements, de développer de nouvelles infrastructures ou de déployer de nouvelles machines. Depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale, c'est pratiquement le même schéma qui se reproduit à chaque nouvelle génération de matériel à quelques exceptions près. Aujourd'hui, les industriels produisent des équipements très avancés, mais ne disposent pas toujours des moyens pour raccourcir les délais de production, augmenter les cadences, et délivrer rapidement et en quantité pour honorer les besoins militaires. L'outil de production étant dimensionné au niveau des commandes.

C'est d'ailleurs le constat fait par le Center for Strategic and International Studies², un Think Tank américain qui a étudié les capacités de production de l'industrie américaine. En la matière, la plus grande puissance du monde serait incapable de compenser ses pertes, inéluctables, en cas de conflit majeur³, alors qu'au contraire, leur destruction pourrait survenir en un instant. En moyenne, il faudrait 8,4 ans pour remplacer les stocks actuellement en service. Ce chiffre masque cependant de grandes disparités, puisqu'il ne faudrait seulement trois ans pour remplacer les activités de soutien, contre plus de vingt ans pour la flotte de l'US Navy. Comme le souligne le stratège et historien militaire, Benoist Bihan⁴ : « *L'impossibilité de remplacer rapidement les pertes subies transforme d'un coup un risque maîtrisé en un quitte ou double aux effets potentiellement désastreux* » avec le risque de « *perdre la guerre en un après-midi* ».

1. Chez Arquus, premier fournisseur de blindés de l'armée de terre, « on tourne au ralenti ». Le Monde, 2023.

2. US War Surge Production Too Slow, CSIS Finds. Breaking Defense, 2021.

3. L'Industrie U.S ne pourra pas remplacer les pertes probables en cas de conflit majeur. Meta-Defense, 2021.

4. Des armes hors de prix et des guerres qui durent. Guerre & Histoire, n° 72.

En conséquence, certains équipements, leurs systèmes d'armes et équipages sont devenus tellement précieux que les armées en limitent volontairement l'emploi par peur des pertes. Cela réduisant considérablement la plus-value opérationnelle qu'ils devaient apporter. C'est pour cette raison que l'aviation russe évite le ciel ukrainien, en se privant volontairement d'une puissance de feu appréciable. De même, il est peu probable que les forces aériennes exposent des F-35, conçus pour pénétrer les espaces aériens fortement protégés, si les risques de pertes sont élevés. À l'avenir, il se pourrait que seuls les drones et les appareils déclassés et « dronisés¹ » soient utilisés au-dessus d'espaces aériens contestés, comme l'envisage la Chine, à condition d'avoir suffisamment de stocks de vieux appareils. La même prudence s'applique aux porte-avions, désormais maintenus à distance des côtes en raison des missiles balistiques anti-navires chinois, d'autres missiles de croisière de plus en plus performants et maintenant des drones de surfaces, qui menacent ces actifs trop précieux pour être consciemment exposés à une telle menace.

En dehors des drones de combat plus imposants soumis à des rythmes de production similaires à ceux des plateformes pilotées, les systèmes robotisés plus légers et économiques représentent donc une réelle opportunité pour redonner de la masse et de l'imprévisibilité aux armées. En cas de conflit majeur, il est plus facile de compenser les pertes de drones (terrestres, aériens ou navals) que celles des véhicules blindés, aéronefs militaires ou des bâtiments de surface. Étant par nature sacrificiable du fait de leur faible coût, ces drones peuvent être employés pour mener des missions dans des zones particulièrement contestées, à proximité desquelles il serait impossible, ou suicidaire, d'envoyer des plateformes pilotées. Face à cette réalité, l'US Army a décidé de mettre fin au programme FARA² d'hélicoptère de combat, jugé trop vulnérables à l'approche de la ligne d'engagement, au profit des drones légers et des munitions rôdeuses. À long terme, les systèmes de lutte anti-drone pourraient également devenir plus importants que les défenses anti-aériennes, étant donné la réduction probable des aéronefs pilotés dans l'espace aérien (destructions non remplacées ou ressources insuffisantes pour les mettre en œuvre).

De plus, les drones et leurs composants, issus de l'industrie civile, sont susceptibles d'être rapidement convertis à un usage militaire. Il en va de même pour convertir l'industrie civile à la production de guerre pour une meilleure résilience à l'engagement dans la durée. À titre d'exemple, le mouvement militaro-industriel de la Russie³ a transformé sa production de drones vers un processus industriel décentralisé, adoptant un modèle standardisé et économique pour une production en masse (1000 drones produits par jour).

1. *La Chine va convertir ses vieux avions de chasse en drones*. Capital, 2023.

2. *US Army spent billions on a new helicopter that now will never fly*. DefenseNews, 2024.

3. *Les drones FPV russes, production et formation : un modèle d'efficacité*. Odysee, 2023.

PAROLES D'EXPERTS

Général de division (2S) Charles BEAUDOUIN

Président de COGES Events et organisateur du salon Eurosatory

Ancien sous-chef d'état-major « plans-programmes » de l'armée de Terre

L'Histoire retiendra que les drones armés sont apparus en masse, par millions d'exemplaires, durant la seconde guerre russo-ukrainienne déclenchée le 24 février 2022, après cinq ans de montée en puissance en Irak/Syrie, puis durant le conflit entre Arménie et Azerbaïdjan. Elle retiendra de surcroît que l'Europe occidentale n'en fut pas le pionnier, se reposant par trop sur un paradigme de forces expéditionnaires pour combat asymétrique et sur les seuls drones MALE armés, rois de ce type de combat.

Ce *game-changer* (ils sont rares dans l'Histoire des conflits) bouscule les doctrines d'emploi et expose dangereusement les *key-players* que sont les chars, l'artillerie, l'infanterie débarquée, les postes de commandement, etc. Pour la première fois depuis la Seconde Guerre mondiale, le ciel redevient ouvertement hostile et meurtrier pour chacun. Cette montée en puissance rapide conjuguée avec un virage drones/anti-drones de masse mal négocié par la plupart de pays occidentaux dotés de budgets de Défense qui restent, encore aujourd'hui malgré trois ans de guerre, contraints, imposent de réagir en urgence opérationnelle préventive, d'agir dans les deux champs simultanés de l'équipement en drones et en moyens de lutte anti-drone. Le drone possédant la caractéristique de l'ubiquité, il convient de s'équiper en masse en moyens de lutte anti-drones (moyens individuels, moyens embarqués, moyens de protection de zone) et de s'équiper vite. Nous sommes là au cœur d'une démarche d'économie de guerre. Ce mode d'acquisition ne nous est pas familier. Les urgences opérationnelles pour l'Afghanistan et le Mali concernaient de petites séries et restaient en général sur un tempo d'acquisition de l'ordre d'un (au mieux) à... quatre ans. En dépit du danger encouru par nos soldats, il n'est pas aisé de changer les processus. Les résistances sont nombreuses, normatives certes, mais également et surtout humaines (pratiquons le « ne me dites pas que c'est impossible » Général LECLERC).

En économie de guerre, la bride est lâchée au constructeur, car la cadence industrielle est première. Il convient de privilégier toute étagère proposée, fruit d'un risque pris par l'entreprise sur fonds propres, d'accepter un premier besoin militaire perfectible qui sera compensé par le progrès rapide de

systèmes ne dépassant pas trois ans de durée de vie et des sauts technologiques réguliers, de lancer simultanément les acquisitions auprès de plusieurs industriels pour privilégier l'équipement en masse rapide en s'affranchissant des risques de retard de programme. Surtout ne pas attendre un standard meilleur. Le temps perdu ne se rattrape jamais. On ne part pas à la guerre avec une notification de contrat en poche, mais avec des stocks.

Si en matières des drones le virage s'amorce, en matière de lutte anti-drone, il reste à prendre. Quand on sait qu'une munition téléopérée ou un drone armé n'est rien d'autre qu'un explosif improvisé (IED) venu du ciel, le défaut de l'armure est prégnant et dramatique quand la boussole de l'action est le soldat. Il est inconcevable demain (question de mois et de quelques années) de déployer en réassurance avec possible confrontation directe de forces russes des brigades disposant de centaines de milliers de drones, des brigades sans équipements de lutte anti-drones. Ce qui signifie que chaque jour compte, que chaque opportunité doit être saisie. À 10 ans, 5 ans ou quelques mois, la livraison des systèmes d'armes est toujours une question d'urgence. On peut être surpris par la guerre, mais on n'a pas le droit d'être démuni.

Nos entreprises de la base industrielle de technologie et de défense s'engagent concrètement de manière proactive en proposant leurs systèmes. Testons, évaluons, produisons, équipons, nos soldats.»

Vers une pénurie et une économie des ressources

De nombreuses études scientifiques, en France et dans le monde, soulèvent des inquiétudes quant aux risques liés à l'accessibilité et à la raréfaction des ressources naturelles (terres rares, énergies fossiles, minerais et métaux). Ceux-ci pourraient être de deux ordres, parfois simultanés.

Le premier concerne un **manque d'approvisionnement** causé par des crises géopolitiques, économiques ou sanitaires. Fortement dépendante vis-à-vis des importations, la France dépend notamment à 100 % de métaux stratégiques importés et produits par un nombre limité de pays, au premier rang desquels figure la Chine. En 2023, la décision de la Chine d'imposer des restrictions sur les exportations de deux métaux rares (gallium et germanium) indispensables pour les semi-conducteurs (composants électroniques incontournables de l'industrie high-tech et des équipements militaires) a alerté sur cette dépendance. À cette problématique de dépendance, et à la vulnérabilité qu'elle induit pour les pays concernés, s'ajoute donc celui de l'indisponibilité de certains composants, ainsi que les risques de pénuries associées comme cela se produit déjà aujourd'hui.

Le deuxième risque concerne une **pénurie de matières premières**¹. En effet, la demande mondiale ne cesse d'augmenter, tandis que les ressources diminuent, ou deviennent moins accessibles et plus difficiles à exploiter. À titre d'exemple, les enjeux de rareté du cuivre ne portent pas sur l'état des stocks, mais sur le rythme d'extraction qui ne suit pas celui de la demande. Un approvisionnement en minerais stratégique rendu nécessaire par la révolution numérique, la transition énergétique et les besoins de l'industrie de l'armement. De plus, la pénurie de matière première relative au développement du virus Covid-19 et son impact sur le milieu industriel, a également accentué ce décalage entre la reprise de la demande et une offre qui a tardé à retrouver son niveau normal.

L'accessibilité et la raréfaction des ressources affectent aussi les réserves énergétiques, notamment face à l'augmentation du poids des véhicules. Dans les armées, les blindés se sont énormément alourdis pour assurer une meilleure protection des équipages et les nouvelles motorisations n'arrivent pas à compenser le surplus de consommation induit. Par exemple, un véhicule de l'avant blindé (VAB) de 13 tonnes est remplacé par le GRIFFON de 24,5 tonnes. Même phénomène au niveau des avions de combat. L'impact est considérable en matière de dimensionnement de la logistique (qualité ou quantité de carburant). Outre le niveau des réserves, se posera aussi la question du coût qui devra rester compétitif pour l'industrie, alors que se profile déjà une montée des prix des matières premières².

1. *Oil Major Total Sees 10 Million Bpd Supply Gap In 2025*. Oilprice, 2021.

2. *Pétrole, cuivre, acier : l'inquiétante envolée du prix des matières premières*. Les Echos, 2021.

Pourtant, les programmes d'armement sont encore pensés sur le long terme et ne prennent pas assez en compte les enjeux liés aux ressources. Les projections sont basées sur le postulat implicite que les ressources et les approvisionnements en matières premières resteront assurés en quantité et à des prix raisonnables sur le long terme. À cet égard, il est possible que les futurs programmes d'armement ne voient finalement jamais le jour. C'est là tout le paradoxe rappelé par l'étude prospective « *Le soldat Low-Tech* » d'Armasuisse¹. « *La technologie est là pour nous permettre, théoriquement, de faire la guerre avec le moins de soldats possible grâce à une amélioration de nos performances opérationnelles. Mais nous consommons sans modération des ressources naturelles de plus en plus rares, et qui viennent de très loin parfois, pour économiser une ressource humaine qui est, elle, toujours en croissance (accroissement de la population). Ce paradoxe risque de se retourner contre nous le jour où certains de nos approvisionnements en matériaux stratégiques viendront à manquer : cela nous privera du levier technologique qui nous permet de faire l'économie du nombre de soldats.* »

Bien entendu, tous les pays ne sont pas exposés au même risque de pénurie. Les grandes puissances comme les États-Unis, la Chine ou la Russie sont bien moins vulnérables à court et moyen terme compte tenu des richesses géologiques dont bénéficient leurs vastes territoires. Néanmoins, ces derniers pourraient aussi avoir à souffrir de restrictions sur certains éléments puisqu'aucun pays n'est autonome sur l'ensemble des matières premières. Une vulnérabilité qui n'est pas comparable à celle des pays européens, extrêmement dépendants de leurs importations de matières premières et de nombreux composants électroniques.

Le recours aux drones se présente donc comme un des moyens de gérer le risque de pénurie et d'économiser les ressources. Intrinsèquement plus petits et plus légers, les drones sont par conséquent plus économiques à produire. Même chose pour les robots terrestres qui ne nécessitent pas des blindages, aussi lourd et perfectionnés que ceux des plateformes pilotées. Toutefois, il est aussi possible, qu'au fil du temps, la taille et le poids des drones produits diminuent à mesure que la tension sur les approvisionnements augmentera. Cette problématique s'applique à l'ensemble du spectre des drones, qu'ils soient d'un usage militaire ou civil.

Bien entendu, cela suppose également une souveraineté accrue sur les composants et sous-ensembles nécessaires à la production de drones, afin d'éviter toute dépendance vis-à-vis d'un pays étranger potentiellement hostile. La décision de la Chine, prise en octobre 2024², de restreindre l'exportation de certains composants essentiels aux drones (tels que les batteries, moteurs et systèmes électroniques embarqués), illustre parfaitement cette problématique.

1. *Le soldat low-tech*. Defence Future Technologies, armasuisse Sciences et Technologies 2022.

2. *L'entreprise américaine de drones Skydio victime des sanctions économiques chinoises*. RFI, 2024.

Souplesse et économie d'emploi

Loin de représenter une alternative affichant des performances dégradées aux plateformes pilotées, l'emploi des drones, permet d'accroître la transparence du champ de bataille. Les drones assurent eux-mêmes la fonction de renseignement, surveillance, acquisition d'objectifs et reconnaissance (ISTAR). Dans le même temps, les munitions rôdeuses, comme le Lancet russe ou le Switchblade américain, font peser une menace constante sur les infrastructures et véhicules blindés ennemis, se substituant efficacement aux plateformes pilotées dans cette mission. En participant à l'économie générale des moyens (moins de porteurs utilisés, de personnel mobilisé, de carburant consommé...), elles offrent plus de souplesse dans la coordination des missions de reconnaissance (ISR) et d'attaque. Elles se défont également de tous les défis associés à l'utilisation des plateformes de combat, qui deviennent de plus en plus complexes, lourdes et onéreuses. Ce constat se vérifie également dans le secteur civil, où les drones sont de plus en plus utilisés pour des applications variées telles que l'agriculture, la logistique, la sécurité civile, la cartographie et l'audiovisuel.

PAROLES D'EXPERTS

Axel DYEUVRE

Associé du groupe Forward Global

Ancien officier de cavalerie

En Ukraine, le « drone individuel » est devenu une extension naturelle du combattant. D'origine civile ou fabriqués pour un usage militaire de renseignement ou de destruction, à voilure fixe ou tournante, les drones sont devenus des armes d'emploi massif, utilisées des niveaux tactiques les plus bas jusqu'aux niveaux opératifs et stratégiques, comme arme manœuvrante de bombardement ciblé ou comme outil de renseignement en espace fortement contesté.

Tout particulièrement, le conflit russo-ukrainien a consacré l'émergence du « drone de contact » consommable, relevant plus de la grenade ou de la paire de jumelles, que du bijou de haute technologie (même s'il en contient beaucoup !). Il y a d'ailleurs fort à parier que désormais, même dans les opérations contre des groupes armés, le « drone individuel de reconnaissance » comme celui « de combat » ne devienne un instrument indispensable, pour l'adversaire comme pour nos forces, pour allonger la vue au-delà de la colline ou de la dune et engager au plus loin et sans ligne de tir directe. « Jetable », « consommable »,

employé en « essaim » il devra forcément être disponible massivement à un prix compatible avec cet emploi, se rapprochant plus du prix de la paire de jumelles ou de l'obus, que du satellite ou du missile. Les concepts et moyens de la lutte contre cette nouvelle menace devront évidemment suivre le même chemin de simplification d'emploi, de disponibilité aux niveaux tactiques et de coûts raisonnables.

Toutefois, les drones ne sont pas dénués de certaines faiblesses et vulnérabilités, en particulier, dans le spectre électromagnétique, mais aussi, pour ce qui concerne leur profondeur d'action plus réduite. Des limites qui invitent à nuancer l'image du drone comme horizon capacitaire unique. L'ensemble, plateformes habitées et téléopérée, nécessitera de réfléchir sur l'équilibre à établir entre l'une et l'autre pour répondre efficacement, en termes d'effet recherché et de coût, à chaque menace du spectre. Pour le moment, la priorité est à la complémentarité entre ces deux vecteurs.

Formation

Les équipements militaires actuels nécessitent des technologies de plus en plus pointues et complexes, exigeant un personnel toujours mieux formé pour leur utilisation et maintenance. Toutes les spécialités sont concernées, des unités de combat à celles du soutien. Cela rend le recrutement plus exigeant pour simplifier la formation, réduisant ainsi le nombre de candidats potentiels.

Actuellement, former un pilote de chasse demande plus de quatre ans, après une sélection très stricte. Si on fait l'analogie avec la Seconde Guerre mondiale, les armées actuelles auraient du mal à former à temps des pilotes pour compenser les pertes subies. À l'époque, malgré une pénurie de matières premières, la principale difficulté de la Luftwaffe fut le recrutement et la formation en nombre suffisant de pilotes. Les performances des avions allemands étaient très bonnes, mais la formation insuffisante a contribué à leurs lourdes pertes. Qu'en serait-il aujourd'hui avec la sophistication des avions actuels et le caractère omnirôle de ces plateformes qui impose aux pilotes de l'être également ? Pour s'en convaincre, le rapport de l'accident d'un F-35 de l'US Air Force en mai 2020 démontre que même un pilote expérimenté peut se retrouver en difficulté face à la complexité du système¹ alors même qu'il est dans un contexte de vol d'entraînement relativement simple.

1. *Crash F35 aux USA. Le pilote s'éjecte. Analyse des faits par un pilote de chasse.* Ate Chuet, 2020.

En revanche, former des opérateurs de drone est nettement plus simple. Cela exige moins de contraintes physiques, intellectuelles et cognitives que pour une plateforme pilotée. C'est d'autant plus vrai avec la montée en puissance de l'automatisation et de l'intelligence artificielle qui facilite le pilotage ou le traitement des informations. On peut facilement imaginer que la maîtrise des drones civils, adaptés à des fins militaires, soit aussi intuitive que l'utilisation des technologies numériques ou des jeux vidéo, surtout avec l'aide des simulateurs. Ceux-ci offrent un entraînement réaliste sans risquer d'endommager l'équipement. De plus, certaines radiocommandes, compatibles avec de nombreux simulateurs, facilitent la transition vers une utilisation concrète sans nécessiter d'apprentissage additionnel. Le recours à la simulation, combiné à un peu de pratique, pourrait significativement réduire les temps de formation et augmenter le nombre de recrues potentielles.

Cette approche rejoint l'initiative russe qui a introduit le pilotage de drones dans sa « formation militaire initiale ». Ce programme, d'une durée supérieure à 140 heures, inclut non seulement une initiation aux fusils d'assaut, mais aussi à l'utilisation militaire des drones et aux techniques de reconnaissance et de neutralisation des drones ennemis¹. En cas de conflit de haute intensité, ces compétences sont cruciales pour renforcer rapidement les effectifs et compenser les pertes. En France, l'École des drones de l'armée de Terre adopte une stratégie différente, favorisant un modèle décentralisé. Plutôt que de former directement les opérateurs de drones, le modèle vise former des instructeurs au meilleur niveau. Ces derniers peuvent ensuite transmettre leurs connaissances aux télépilotes de leurs unités respectives. *« Je m'appuie sur des cavaliers, des sapeurs, des artilleurs ou encore des logisticiens. Ce vivier hétérogène amène une culture qui profite à l'ensemble dans le cadre de l'instruction »* se félicite le lieutenant-colonel Jean-Louis Bourgeois, commandant l'École des drones².

Toutefois, la simulation ne peut se substituer totalement à la préparation opérationnelle sur le terrain. Celle-ci ne permettant pas de restituer tous les facteurs environnementaux et physiques (météorologies, froid...), mais aussi cognitifs (maîtrise du stress et des émotions) qui caractérisent les manœuvres sous le feu.

1. *Russie : le pilotage de drones de combat fait son apparition au programme du lycée*. Le Point, 2023.

2. *Elisabeth Borne et Sébastien Lecornu inaugurent l'Ecole des drones de l'armée de Terre*. Ministère des Armées, 2023.

Drone et lutte anti-drone, une mission pour la réserve opérationnelle ?

En France, de nombreuses personnes possèdent et maîtrisent le pilotage des drones, tant dans un contexte professionnel que récréatif. Ces pilotes qualifiés représentent une ressource précieuse. Leur expertise pourrait être valorisée au sein de la réserve opérationnelle, représentant une alternative économique pour les forces armées.

Le métier des armes exige une formation et un entraînement soutenus et constants. Cela requiert des investissements considérables en temps et en ressources, à la fois matérielles et financières, difficiles à obtenir pour entretenir une réserve opérationnelle importante. Toutefois, inspirés par les initiatives en Ukraine, il serait possible d'intégrer rapidement ce « contingent » de personnes expertes en télépilotage. Leur contribution serait particulièrement pertinente face à l'augmentation de l'utilisation des drones dans les conflits modernes, renforçant ainsi nos capacités avec des opérateurs spécialisés.

Par ailleurs, cette stratégie pourrait s'étendre à la lutte anti-drone, en particulier dans le déploiement de systèmes de détection et de neutralisation non-destructifs, compétences transposables dans le civil. L'emploi de drones et les contre-mesures associées offrent une dualité dans le savoir-faire des opérateurs qui pourrait rapidement et efficacement renforcer l'expertise de nos armées en cas de besoin. L'engagement de volontaires comme réservistes spécialisés, responsables de missions spécifiques liées à ces technologies, est une piste à envisager.

Les 5 choses à retenir

- 1 **Du « high tech » au « low tech ».** Les guerres de haute intensité pourraient bien être moins technologiques du fait des vulnérabilités induites par l'évolution de nos systèmes et par les contraintes associées. La décroissance des moyens traditionnels sera corrélée avec l'augmentation des équipements légers, peu onéreux, et sacrificiables comme les drones. À long terme, il est possible que des systèmes de lutte anti-drone deviennent parfois plus importants que les défenses aériennes.
- 2 **Les lacunes capacitaires** en ressources humaines et en équipements **doivent être comblées** pour durcir notre appareil de défense et renforcer notre capacité à soutenir un effort dans la durée.
- 3 Si les capacités des drones ne peuvent prétendre remplacer celles des plateformes pilotées sur l'ensemble du spectre des missions, **accroître et de renforcer considérablement l'offre des drones ou munitions rôdeuses**, permettra de limiter l'attrition en matériel que les cadences de production ne pourront pas combler.
- 4 **Les stocks de matières premières et de composants électroniques** doivent être **assurés et anticipés** pour répondre aux besoins des armées (produire plus et plus vite), car les grandes puissances seront moins enclines à les exporter. Cela implique de garantir l'accès aux financements avec une visibilité long-terme sur les commandes.
- 5 Les **compétences spécialisées** doivent être **protégées et anticipées au travers du recrutement** de télépilote volontaires dans la réserve opérationnelle, mais également **de la formation** du plus grand nombre à l'utilisation militaire des drones, à la manière de mener des missions, ainsi qu'aux contre-mesures pour parer les drones de l'adversaire. On peut déjà prédire que, dans les conflits du futur, les drones, la guerre cyber-électronique et les systèmes anti-drone feront partie des briques essentielles à maîtriser.

CARACTÉRISER LA MENACE DES DRONES

Dans le domaine de l'innovation, la démocratisation de l'accès aux technologies en facilite l'usage. Les drones constituent l'exemple caractéristique d'une technologie en plein essor, que ce soit à des fins militaires, professionnelles ou de loisir. Ceux-ci font l'objet de nombreuses applications dans le monde civil (observation, surveillance, acquisition ou transmission de données), rendues possible par des améliorations technologiques couplées à une diminution des coûts de l'ensemble des composants. Deux facteurs ayant permis l'émergence de ces aéronefs légers, polyvalents et peu onéreux.

Cependant, sur le plan des usages, un drone civil peut être facilement détourné à des fins malveillantes (espionnage, terrorisme) ou à des fins militaires (reconnaissance, attaque). En effet, la plupart des fonctions peuvent être assurées par des technologies développées dans le monde civil et embarquées dans des aéronefs accessibles sur étagère par simple achat en ligne ou par un bricolage sur-mesure (*Do It Yourself*), à partir de tutoriels ou de plans de conception facilement accessibles.

En conséquence, certaines organisations, séduites par le potentiel que peut leur apporter un drone *low cost* pour une utilisation malveillante, se procurent et exploitent ces aéronefs générant un défi considérable pour les forces militaires et de sécurité qui doivent y faire face. En outre, les groupes armés terroristes (GAT), les réseaux mafieux ou criminels tels que les trafiquants de drogue ou d'armes, les mouvements politico-militaires non-étatiques ou encore les groupes révolutionnaires armés, s'affranchissent des contraintes éthiques dans l'emploi de ces équipements, allant jusqu'à créer des modes opératoires nouveaux défiant les doctrines des forces conventionnelles qui les combattent.

Du point de vue des menaces que ces usages représentent, nous proposons une classification des drones selon quatre catégories.

- **Les drones du commerce non modifiés;**
- **Les drones du commerce modifiés;**
- **Les drones DIY «*Do It Yourself*»;**
- **Les drones militaires armés.**

Bien sûr, les frontières entre ces quatre catégories ne sont pas absolues. Des cas intermédiaires existent, mais cette classification fournit des repères utiles dans la discussion des risques et menaces associés aux drones.

Les menaces des drones du commerce non modifiés

Dans le cadre d'un usage civil, on trouve le plus souvent une utilisation accidentelle du drone, plus que des actes volontaires, impliquant des personnes qui n'ont pas conscience de la dangerosité de voler dans un espace aérien réglementé, ou qui méconnaissent la réglementation. Bien qu'ils ne constituent pas une menace directe, ils représentent un risque potentiel allant de la chute accidentelle sur des personnes à la collision avec un aéronef, suite à la perte de contrôle du drone.

Équipés de caméras, ils peuvent également être employés pour capter illégalement des images à des fins lucratives, violant ainsi les droits de diffusion exclusifs financés par les organisations médiatiques. Cela pouvant interférer avec les diffusions officielles et impacter la réputation face à une audience importante. Cette catégorie de drones pénètre également facilement les périmètres protégés pour surveiller les biens, les personnes et les opérations. Ils espionnent les entreprises ou industries sensibles et peuvent voler secrètement des contenus précieux sur les données sensibles (données privées, propriété intellectuelle et industrielle, innovation...).

En revanche, ces mêmes drones utilisés à des fins militaires peuvent avoir des effets beaucoup plus importants. Ils deviennent une menace sérieuse notamment lorsqu'ils sont utilisés pour des missions de reconnaissance en appui de l'artillerie ou d'équipes équipées de missiles anti-chars par exemple.

- **Type de menace civile :** espionnage industriel, vol de propriété intellectuelle, violation de vie privée, perte de contrôle du drone, pression psychologique ou d'influence, etc.
- **Type de menace sécuritaire :** surveillance des frontières, reconnaissance en prévision d'actes malveillants, collision volontaire ou non avec un aéronef, etc.
- **Type de menace militaire :** reconnaissance, appui de l'artillerie, etc.

Les menaces des drones du commerce modifiés

Les drones modifiés sont souvent adaptés pour commettre des actes malveillants ou utilisés dans des contextes militaires. Les modifications peuvent notamment inclure, sans s'y limiter, le changement de capteurs ou de composants du drone, l'ajout de nouvelles capacités d'emport de charges et/ou de largage, le retrait de l'identification à distance, etc. Ces ajustements visent à optimiser les drones pour des missions spécifiques.

Bien que la charge utile embarquée reste limitée (de quelques centaines de grammes à quelques kilogrammes), les dégâts matériels ou le bilan humain peuvent être conséquents. Cela a largement été observé lors de la guerre en Ukraine avec les drones larguant des grenades ou des drones FPV (*First Person View* ou vol en immersion) équipés de charges creuses pour perforer le blindage des véhicules militaires.

Ces drones sont également utilisés pour transporter des dispositifs d'écoute et de captation d'images à des fins d'espionnage industriel, ou d'équipements d'intrusion pour pénétrer à distance le réseau local des entreprises afin d'obtenir des accès ou des informations sensibles et confidentielles.

Les acteurs malveillants peuvent également désactiver ou retirer les dispositifs d'identification à distance des drones, rendant inefficaces les systèmes de surveillance qui s'appuient uniquement sur cette technologie. De plus, il est simple de trouver en ligne des méthodes pour manipuler ces signaux pour cacher un vrai drone dans un essaim de fausses émissions.

Cette catégorie de drones modifiés est accessible à toute personne ayant des compétences techniques basiques et ne nécessitent pas un investissement financier élevé. Pour un acteur malveillant, la partie la plus complexe sera de se procurer la charge utile correspondant à son projet.

- **Type de menace civile**: surveillance de zone, espionnage industriel, cyberattaque, dépôt de dispositifs de surveillance, pression psychologique ou d'influence, etc.
- **Type de menace sécuritaire**: destruction par une charge explosive ou autres substances NRBC embarquées larguées sur objectif, attentats, livraisons de produits de contrebande (drogues, armes...), etc.
- **Type de menace militaire**: attaques d'unités et de véhicules ennemis par largage de charges militaires ou par collision directe, dépôt de mines, etc.

Les menaces des drones DIY (*Do-it-yourself*)

Les drones *DIY* sont fabriqués entièrement sur mesure et artisanalement à partir de composants standards disponibles sur le marché (moteur, électronique, batteries, etc.). Cela permet aux acteurs malveillants de créer un dispositif qui peut ne pas être détecté ou tracé de la même manière qu'un produit fabriqué en série. Grâce aux tutoriels et vidéos pédagogiques disponibles en ligne, leur conception est accessible à tous. Ainsi, cette gamme se décline en de nombreux modèles avec des concepts d'emplois très différents, tels que les drones-suicides, les drones de longue endurance, ou encore des drones capables de larguer des charges ou d'emporter de l'armement.

Bien que leur conception exige des compétences avancées en aéromodélisme, ils restent accessibles financièrement et techniquement aux organisations terroristes. Ces drones représentent une menace significative, comme l'ont démontré les attaques régulières sur la base aérienne russe de Hmeimim en Syrie.

- **Type de menace civile** : activités de renseignement et d'espionnage réalisées par des organismes professionnels (renseignement économique, services officiels) en mesure de contourner les dispositifs de sécurité.
- **Type de menace sécuritaire** : attentats de grande envergure, livraisons de produits de contrebande (drogues, armes...), activité mafieuse, etc.
- **Type de menace militaire** : instruction, reconnaissance, offensive, etc.

Les menaces des drones militaires armés

Les drones armés répondent à des exigences militaires et relèvent d'un processus de conception complexe. Ils nécessitent un travail d'ingénierie et des compétences avancées, d'importants moyens et un budget conséquent. Ces drones sont opérés par armées, ou par des mouvements rebelles avec un soutien étatique, à l'image des Houthis au Yémen.

Leur conception sans aide extérieure demeure hors de portée pour la plupart des organisations terroristes, bien que technologiquement, certains modèles ne diffèrent guère des drones DIY de la catégorie précédente. Quant aux drones armés les plus imposants, ils présentent une menace similaire à celle des aéronefs et sont donc contrés par des défenses antiaériennes traditionnelles.

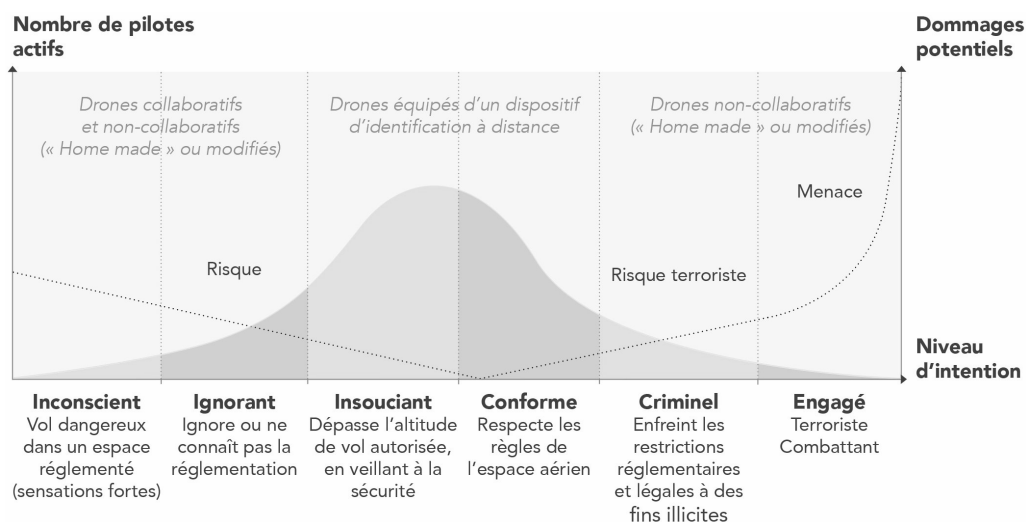
- **Type de menace civile** : l'utilisation de ce type de drone étant l'apanage des entités étatiques ou paraétatiques, leur utilisation est signante et relève donc de la menace militaire.

CARACTÉRISER LA MENACE DES DRONES

- **Type de menace sécuritaire**: lors de tensions internationales importantes, pour des opérations de renseignement, surveillance et reconnaissance, de harcèlement et de provocations aux frontières.
- **Type de menace militaire**: tous les types de missions et d'usages à caractère militaire ou paramilitaire.

En dehors des drones du commerce non modifié, il ne faut pas s'attendre à ce que les utilisateurs respectent les normes imposées par la réglementation en vigueur. Pour les drones spécifiquement conçus ou modifiés pour des actes malveillants et opérations militaires, leurs utilisateurs vont donc chercher les solutions techniques qui leur donnent le plus de chance de réussir leur mission, indépendamment de toute notion de réglementation.

Matrice des 6C « *Crazy, Clueless, Careless, Compliant, Criminal and Committed*¹ »



1. Inspiré de la figure *The Spectrum of Drone Operation. How to Adapt Your Security Solutions for Drone Threats*. Security Sales & Integration, 2019.