

PROMOTION P29
2021-2022

Essaim de drones : quel défi pour nos armées ?



LCL Laetitia Ducourtieux

Sous la direction de

Colonel Richard Gros

Sous-Directeur Puissance aérospatiale et Patrimoine
du Centre d'études stratégiques aérospatiales

Résumé

Acteur avant-gardiste des champs de bataille, l'essaim de drones est désormais une menace et une arme incontournables, dans le conflit de haute intensité comme au sein de l'affrontement hybride.

Si l'essaim représente le plus haut degré d'autonomie, sa taxonomie mérite d'être déclinée. En effet, des systèmes de drones organisés sont d'ores et déjà employés, avec des degrés d'automatisation et d'autonomie différents. Face au retour d'expérience des effets de ces essais embryonnaires, appréhender leur taxonomie est primordial pour réfléchir aux niveaux de délégation que l'armée souhaite concéder dans le combat de demain, mais également pour situer la France dans la course mondiale du combat collaboratif, notamment grâce à l'intelligence artificielle (IA).

Laboratoires à ciel ouvert, les conflits récents, alimentés par le marché du drone et l'essor des systèmes connectés, permettent de cartographier les risques de demain mais également les acteurs en lice. Si la France conserve une place en tête de peloton dans le domaine de l'IA et de certaines technologies nourricières de l'essaim, elle doit en revanche, rattraper son retard sur le segment des drones et massifier ses flottes inhabitées.

Sur le plan capacitaire, l'enjeu se disperse autour des briques technologiques nécessaires à l'essaim. Pour fédérer l'effort de son tissu industriel, leur fournir de la visibilité à long terme et protéger ses pépites, la France doit dès lors bâtir une filière dédiée aux systèmes de drones.

D'un point de vue opérationnel, l'essor de cette menace diffuse, sidérante et massive, amène le constat d'une lutte anti-drones démunie malgré des efforts sur l'armement et d'une doctrine lacunaire. Ainsi une réflexion collégiale et efficace doit être rapidement conduite sur la lutte anti-drones, mais également sur les capacités offensives de l'essaim, et enfin sur son aspect collaboratif, permettant de s'intégrer dans la cadence toujours plus rapide de la chaîne de décision.

De plus, l'essaim est un système porté par l'IA, catalyseur des principales réflexions juridiques et éthiques. Refusant toute autonomie de systèmes létaux, la France doit légiférer au plus juste sur l'essaim, afin de respecter son éthique de guerre sans toutefois inhiber la recherche et le développement de la filière.

Fulgurance, saturation, surprise, permanence, résilience et intelligence, ces termes cohabitent au sein d'une même arme, l'essaim de drones. Décupleur d'effets, les armées françaises doivent dès à présent apprivoiser sa complexité et sa puissance au risque de se voir déclassées stratégiquement.

Abstract

As an avant-garde player on the battlefields, the swarm of drones is now an unavoidable threat and weapon, both in high-intensity conflicts and in hybrid confrontations. If the swarm represents the highest degree of autonomy, its taxonomy deserves to be declined. Indeed, organized drone systems are already used, with different degrees of automation and autonomy. Considering the feedback from the effects of these embryonic swarms, understanding their taxonomy is essential to think about the levels of delegation that the armed forces wish to concede in tomorrow's combat, but also to situate France in the global race of collaborative combat, notably thanks to artificial intelligence (AI).

As open-air laboratories, recent conflicts, fueled by the drone market and the rise of connected systems, allow us to map the risks of tomorrow, but also the players leading the race. While France retains a leading position in AI and certain swarm specialized technologies, it must, on the other hand, catch up on the drone segment and massify its unmanned fleets. In terms of capabilities, the challenge is to develop the technological building blocks needed for the swarm. To unite the efforts of its industrial base, provide long-term visibility and protect its industrial nuggets, France must build a dedicated drone systems industry.

From an operational side, the rise of this diffuse, staggering and massive threat has led to the observation that, despite efforts on armaments, the anti-drone warfare system is lacking, and that there are gaps in the doctrine. That's why a collegial and efficient reflection must be rapidly conducted on anti-drone warfare, but also on the offensive capabilities of the swarm, and finally on its collaborative aspect, allowing it to be integrated into the ever faster pace of the decision chain.

Moreover, the swarm is a system supported by the AI, catalyst of the main legal and ethical reflections. Refusing any autonomy of lethal systems, France must legislate as accurately as possible on the swarm, in order to respect its ethics of war without inhibiting research and development of the sector.

Fulgurance, saturation, surprise, permanence, resilience and intelligence, these terms coexist within the same weapon, the drone swarm. As a tenfold effect, the French armed forces must now tame its complexity and power, or risk seeing themselves strategically downgraded.

Introduction

En 2021, le mythe des armées de robots-tueurs hante les salles de cinéma comme les romans d'anticipation. Ces machines parviennent en général, par leur autonomie, à échapper au contrôle de l'homme, et finissent par s'organiser pour lutter contre l'espèce qui les a créées. Les récents conflits illustrent néanmoins le net progrès dans le conscient collectif, de ce concept, qui se matérialise sous la forme d'essaims de drones. Ce mode d'action s'instille dans les esprits des belligérants, à la fois angoissant pour les menacés, comme un nouveau décupleur de puissance pour les attaquants. Très peu décrit, encore sous la plume de la recherche, du programme, avec une doctrine à l'état d'ébauche, l'utilisation d'essaim de drones en combat inquiète nos chefs. Avec une hausse de plus de 58% de pays utilisateurs de drones de combat en 10 ans, cette perspective paraît à la fois lointaine et si proche, sans solution sur étagère, avec une efficacité qui pourrait s'avérer cruciale dans les conflits de haute intensité comme dans les guerres hybrides. Comprendre le défi posé par les essaims de drones en matière de Défense, est à ce jour primordial pour se préparer à une réalité quasi tangible, tant défensive qu'offensive.

Si ce sujet est traité dans un horizon prospectif, il fait l'objet d'une assise écrite très dispersée. En effet, le sujet des essaims de drones soulève de nombreuses questions, tant éthique, que technologique, ou encore d'emploi. La problématique principale relève de l'emploi de l'intelligence artificielle, et de l'autonomie qui en résulte : quelle sera la place de l'humain ? doit-il et peut-il encore avoir sa place dans l'emploi de ce type d'armement ? Je propose ici de donner un éclairage synthétique sur les essaims de drones, et généraliste, avec un focus sur l'intelligence artificielle au combat. L'homme devra changer de place s'il veut rester dans le tempo du combat de demain, il ne sera plus au bout du bras armé mais demeurera responsable de l'autonomie qu'il a bien voulu lui concéder.

Les références utilisées dans ce mémoire, sont variées, des articles de presse spécialisées, aux recherches de l'AID¹, en passant par des interviews de scientifiques travaillant sur l'algorithmique des essaims, sur l'intelligence artificielle mais également des militaires qui dessinent la lutte anti-drones ou leur utilisation offensive. Mon panel de recherche est large car j'ai choisi, au regard du peu de documents écrits existants, de traiter le sujet dans sa généralité.

Si l'accès aux seules sources est relativement aisé, les deux principales difficultés sont le manque de matière écrite (description de concept d'emploi...) mais également l'éclairage souvent très scientifique lorsqu'il est question d'essaim. Or je ne souhaite pas donner une couleur trop technique à mon travail. De plus, le temps imparti est trop court pour un travail à la fois doctrinal, éthique et technique. Le niveau actuel de traitement de ces différents domaines demeure en effet à ce jour de l'ordre du questionnement. Ce travail

¹ Agence de l'innovation de Défense

gagnera ainsi à être davantage étayé lorsque les études prospectives auront gagné en maturité.

Les essaims de drones : quel défi pour nos armées ? Cette interrogation sera donc traitée tant sur le plan défensif, en termes de lutte anti-drones, qu'offensif avec l'utilisation de l'essaim comme arme. Après avoir précisé les différentes notions évoquées pour définir un classement théorique des différents systèmes d'essaims liés à leur degré d'autonomie, sera rappelé le contexte actuel favorisant l'essor de ce concept et ses enjeux pour la Défense afin de demeurer compétitif et dissuasif. Enfin, des perspectives seront proposées afin d'être au rendez-vous de ce prochain tournant des conflits armés. La question de l'autonomie sera notamment posée face à la place de l'humain dans l'action armée.

1 Définition et classification

1.1 Définitions : essaim de drones, de quoi parle-t-on ?

La notion d'essaim de drones appelle de nombreuses interrogations, tant technologiques, qu'éthiques ou juridiques. Or pour circonscrire et optimiser une réflexion parfois dispersée voire biaisée, il est essentiel de préciser la notion d'essaim de drones. Nul doute que ces définitions pourront être reconsidérées par d'autres, des disparités apparaissent d'ores et déjà dans les différents travaux consultés mais ceci servira de cadre à ma réflexion.

Je retiendrai les définitions suivantes :

- Drone : aéronef sans équipage dont le pilote est automatique ou télécommandé à distance par un être humain . « un système automatisé et composé de fonctions pouvant être téléopérées, supervisées, semi-autonomes ou pleinement autonomes². Une définition plus générique serait un système « inhabité », mais ce mémoire se concentrera sur les aéronefs ou Unmanned aerial vehicle (UAV).
- Système multi-agents (SMA)³: il s'agit d'un système composé d'agents intelligents interagissant entre eux. Les agents sont équipés de capteurs et d'actionneurs pour percevoir et agir sur leur environnement et sont capables de mimer certains comportements. Les agents disposent d'une autonomie propre. Ils sont soit réactifs, réagissant instantanément à un stimulus extérieur, soit délibératifs, c'est-à-dire engageant des actions raisonnées en fonction de l'évolution de l'environnement pour parvenir à un état voulu et précis. Son action se veut donc appropriée. L'architecture du système peut être centralisée, avec une redistribution à tous les agents de toute information collectée par un agent. Mais elle peut être également décentralisée, où chaque agent possède ses informations et les échange avec les agents pré-désignés.
- Salve manœuvrante⁴ ce terme représente un ensemble de machines communicantes non habitées agissant collectivement sous supervision humaine, dotées de capacités de vol et de manœuvre automatique de longue durée, tirées contre une zone suspecte et capable de fonction d'attaque. Contrairement à une salve instantanée classique de saturation, elle présente une gamme des effets ajustable en cours de mission par supervision humaine. Ce système peut intégrer par algorithme de synchronisation, d'autres aéronefs. On la présente comme une étape intermédiaire entre l'utilisation de drones seuls au sein des forces et le développement d'essaim

² Centre interarmées de concepts, de doctrines et d'expérimentations, « Emploi de l'intelligence artificielle et des systèmes automatisés », juillet 2018.

³ Mr Thomas SOUSSELIER, Thèse Conception et validation d'un algorithme de mise en formation d'essaim de micro-robots sous-marins auto-organisés, Université de Bretagne-Sud, 2013

⁴ Jean-Jacques PATRY, chargé de mission « affaires militaires », Revue Défense & Industries-n°15, Avril 2021, p27, Paris, Fondation pour la Recherche Stratégique

plus autonome, dont elle anticipe quelques caractéristiques : automatisation des tâches simples pour ses agents internes, souplesse, endurance, réactivité et létalité graduée du collectif. Cette notion de salve permet ainsi de faire le lien entre la généralisation de l'usage des drones dans les forces armées régulières / groupes armés irréguliers et les opérations en essais d'engins non habités autonomes, dont la réalité tactique reste encore très mal définie. L'intervention de l'homme pour la conduite de la salve, implique un nombre forcément plus faible d'agents que ne pourrait accueillir un essaim autonome.

- Meute : cette notion décrit un système multi-agents disposant d'un mécanisme clair permettant l'élection d'un leader. L'homme peut conférer un certain degré d'autonomie à ce leader.
- Essaim : au-delà de la définition biologique, soit le rassemblement important d'insectes de la même famille, l'essaim est aussi une source d'inspiration pour les ingénieurs, dont en robotique, qui dans certains cas préfèrent imiter la nature et faire travailler un essaim de robots simples mais capables de coopérer entre eux (et éventuellement doués d'une certaine autonomie) plutôt qu'un seul robot plus sophistiqué.
L'essaim de drones, ou nuée, est un ensemble d'agents, homogènes ou non, présentant le même niveau d'autonomie (aucun leader désigné ou émergent). L'objectif de l'essaim est la recherche d'un comportement collectif pour répondre à un enjeu donné. Les actions du groupe proviennent d'une émergence des actions individuelles non concertées.
- Automatisation : il s'agit de la création de logiciel pour élaborer des instructions et des processus reproductibles pour réduire l'intervention humaine. Le logiciel d'automatisation permet l'exécution de l'action dans la limite de l'instruction donnée. Il s'agit souvent de fonctions de bas niveau, non critiques.
- Autonomie : dans le domaine de la robotisation et de la dronisation, ce mot est synonyme de rupture technologique mais éthique. Le degré d'autonomie peut être plus ou moins élevé :
 - *L'équipier fidèle* : ses seules initiatives seront celles ordonnées par son maître ;
 - *Délégation partielle* : certains pans d'autonomie peuvent être délégués dans certaines conditions, les robots traitant seulement les événements anticipés.
 - *Automatisation complète* : l'intelligence artificielle gère la planification et l'exécution, privilégie des modes d'actions à partir de RETEX de simulations.

- Intelligence artificielle (IA) : ensemble des théories et des techniques mises en œuvre pour réaliser des machines capables de simuler l'intelligence humaine.
- Intelligence en essaim : capacité d'un groupe d'agents asynchrones à générer un comportement émergent, c'est-à-dire une action collective, non implémentée au préalable provenant d'actions individuelles non prédictives. Capacité à optimiser leurs actions afin d'atteindre un objectif collectif fixé à l'avance.

1.2 Caractérisation de l'autonomie d'un SMA

La compréhension de la construction de l'autonomie de l'essaim est essentielle pour une légifération au plus juste, mais également répondre à des questions éthiques plus précises. De plus, cette appréhension permet de cibler les efforts à privilégier dans le domaine de l'intelligence artificielle pour réduire le risque.

La nature regorge d'exemples de SMA comme les bancs de poissons, les hordes d'animaux terrestres, ainsi que les oiseaux migrateurs. Ces évolutions en essaim, également appelées nuées, résultent de deux comportements contradictoires :

- une volonté de rester au plus proche du groupe,
- une volonté d'éviter les collisions avec les autres membres de l'essaim. Le dialogue dans un essaim se fait alors par des phéromones qui permettent la propagation du signal transmis par réactions stochastiques⁵. Les agents restent anonymes mais l'essaim sait se restructurer de manière dynamique.

Lorsque l'on opère un SMA composé de X agents robotisés, son degré d'autonomie pose les questions suivantes :

- Le SMA doit-il être considéré comme un seul système ?
- Ou comme une somme de X systèmes ?

En effet, si je programme une loi pour chaque agent, est-ce que l'essaim dans son collectif y répond ? peut-il aller au-delà grâce à la dynamique propre de l'essaim ? ou demeure-t-il forcément en-deçà au regard de la somme des contraintes rencontrées par ses agents ?

Selon les études en cours⁶, le comportement émergent de l'essaim, caractéristique de son degré d'autonomie, provient :

- De ses contraintes locales : obstacles de terrain;
- De ses contraintes globales appliquées aux agents : distance à appliquer entre deux agents.

Ensuite, chaque agent agit selon deux modes possibles, choisis auparavant par l'humain :

⁵Par opposition aux effets dits déterministes, les réactions stochastiques n'apparaissent pas selon le principe d'une cause qui induit toujours le même effet. On ne peut lui adjoindre qu'une estimation statistique du « risque »

⁶K ornienko , S., K ornienko , O. et L evi , P. (2006). Swarm embodiment - new way for deriving emergent behavior in artificial swarms. Autonome Mobile Systeme 2005, page 25 – 32

- Mode réactif : l'agent répond uniquement au stimulus extérieur. Les règles sont préétablies, créées par ceux qui en porteront la responsabilité.
- Mode délibératif : l'agent répond de surcroît au stimulus extérieur de manière raisonnée, avec pour objectif de mener son environnement dans un état particulier final voulu. Un agent essaie de suivre la direction générale mais s'adapte en fonction de son expérience (auto-apprentissage) et des contraintes en temps réel. Les SALA sont des agents regroupés en système délibératif.

Par conséquent, au sein d'un essaim de drones, la conception des règles de comportement doit se faire selon un processus top-down, du plus général au plus local : le comportement général de l'essaim est décrit puis le comportement local de l'agent (positionnement par rapport aux autres...) est rédigé.

- On privilégiera une souplesse pour les terrains accidentés, avec néanmoins davantage de lenteur induite pour l'essaim
- On privilégiera une rapidité de reconfiguration pour les terrains plus lisses, avec néanmoins davantage de rigidité induite pour l'essaim

Une fois ces règles établies, l'essaim peut développer son autonomie grâce à l'IA : plus ils emmagasinent de l'expérience, plus ses réactions seront adaptées à l'environnement. Cet apprentissage (deep learning) est cependant encore difficilement qualifiable à cause du phénomène « boîte noire », de gestion de cet apprentissage, méconnue à ce stade. En revanche, obliger l'essaim à garder le cap général permet de réduire le risque de perte de contrôle auto-générée face aux grandes règles générales.

1.3 *Elaboration d'une taxonomie*

La taxonomie est la science de la classification. Issue des sciences naturelles, cette activité consiste à décrire et circonscrire en termes d'espèces les organismes et à les organiser en catégories hiérarchisées. Elle doit proposer des outils et des méthodes permettant de les identifier.

A ce stade, la création d'une taxonomie de l'essaim de drones devient primordiale afin de le positionner dans le bon degré d'autonomie concédée, lui permettant de trouver sa juste place dans la loi, l'éthique et la doctrine retenue. Le chapitre précédent définit les différents niveaux d'autonomie des SMA, définissant également la responsabilité de l'humain dans la mise en œuvre de ce SMA. La classification des SMA aide ainsi à déterminer si son utilisation présente un risque de non-conformité, de mal traiter cette non-conformité et donc de perte de contrôle de l'essaim.

Je retiendrai la taxonomie suivante :

SMA	Description	Responsabilité de l'homme	Autonomie concédée
Groupe	Ensemble de plusieurs drones agissant individuellement avec un opérateur par drone	Totale	Aucune
Salve	Ensemble de plusieurs drones agissant collectivement	Supervision permanente. Peut ajuster les effets en cours de mission	Communication entre agents pour prévenir les heurts
Meute	Ensemble de plusieurs drones agissant collectivement avec un agent leader	Degré d'autonomie concédé au leader décidé par l'homme	Le leader est responsable de garder le cap pour atteindre l'objectif fixé. Il peut pour cela adapter la réaction de l'essaim. Les autres agents le suivront en demeurant uniquement réactif
Essaim	Ensemble de plusieurs drones agissant collectivement sans leader, avec une capacité d'apprentissage propre à l'essaim et à chaque agent	En fonction de la programmation, l'homme peut abandonner toute action lors de la mise en œuvre de l'essaim. Sa responsabilité se lit alors dans la programmation.	La pleine autonomie est possible, avec adaptation de l'essaim et des agents le constituant pour atteindre l'objectif programmé

2 Etat des lieux : la place de la France face à une menace réelle

Nul ne peut désormais nier la réalité de la menace de l'essaim tirée par l'utilisation systématique des drones sur les champs de bataille les plus récents. La massification concédée par les drones appelle en effet une organisation de systèmes de plus en plus nombreux, allant du groupe à l'essaim selon la taxonomie définie précédemment. Fort de ce constat, il est urgent de réaliser un état des lieux du tissu industriel mondial en étudiant comment la France s'y inscrit, mais également un état de nos forces et de nos faiblesses sur la Lutte Anti-Drones (LAD) et enfin ébaucher la doctrine offensive. Arme du faible comme du fort, les systèmes complexes de drones sont un véritable *game changer*, la France doit connaître l'effort à conduire pour ne pas être contrainte à un déclassement stratégique.

2.1 Dronisation des champs de bataille : les essaims, entre guerres hybrides et hyperwar

Les conflits les plus récents font état de l'utilisation massive de drones, catalyseur de forces des nouvelles batailles asymétriques ou des conflits de haute intensité. Si la plupart des rapports⁷ parlent uniquement de drones et non encore d'essaim, leurs experts mentionnent clairement le rôle de massification du drone, notamment par des systèmes multi-agents, lui permettant des modes opératoires inédits et disruptifs.

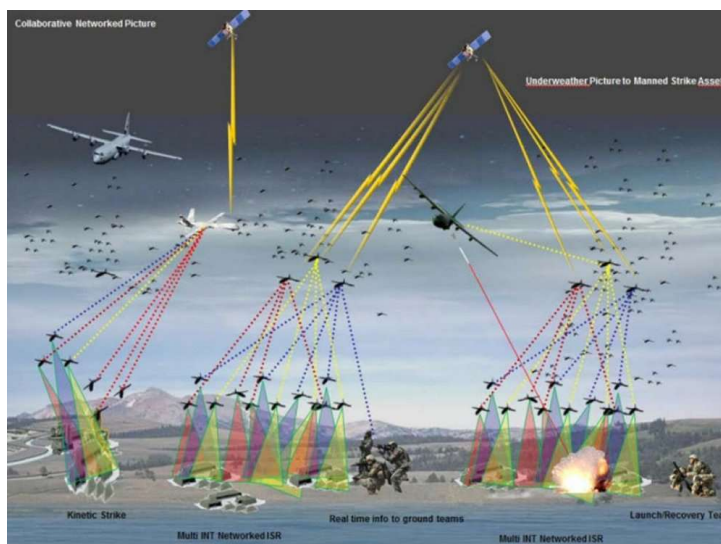


Image : Combat : illustration du combat collaboratif, site <https://www.uasvision.com/2018/06/28/suppressing-air-defenses-by-uav-swarm-attack/>

⁷ Rapport d'information n° 711 de MM. Cédric PERRIN, Gilbert ROGER, Bruno SIDO et François BONNEAU au nom de la commission des affaires étrangères, de la défense et des forces armées

2.1.1 Conflit en Lybie en septembre 2019⁸

La dronisation du théâtre a opposé des drones de combat turques et chinois au profit des forces affiliées à Haftar, à des drones de second niveau pour le gouvernement d'entente nationale, les drones de combat Bayraktar TB-2 fournis par la Turquie, vulnérables à des attaques au sol. Une fois largués, ces derniers étaient détruits dans les airs au moyen du système de défense aérienne Pantsir S-1, fourni initialement aux forces affiliées à Haftar par les Émirats arabes unis en 2019.

Mais le vecteur aérien autonome a de nouveau changé la donne en cours de conflit. L'utilisation de drones de combat ou des systèmes d'armes létaux autonomes (SALA) tels que le Kargu-2 de STM et d'autres munitions rôdeuses a été constatée contre les convois logistiques et les unités des forces affiliées à Haftar. Les SALA avaient été programmés pour attaquer des cibles, sans qu'il soit besoin d'établir une connexion des données entre l'opérateur et la munition, en mode autoguidage automatique. De plus, les drones de combat des forces affiliées à Haftar avaient été neutralisés par le brouillage électromagnétique provenant du système de guerre électronique du Koral 47.

Selon le rapport de l'ONU, l'utilisation efficace de cette nouvelle technologie, drone comme SALA, a permis une meilleure perception de la situation sur le champ de bataille et une concentration de la puissance de feu, harcelant constamment une armée d'Haftar même lors de sa retraite, mettant en échec ses systèmes de défense anti-aérienne et les rendant dès lors vulnérables à des attaques à distance. La technologie aérienne à distance associée à une fusion optimale, des capacités de surveillance et de renseignement a ainsi inversé le cours des événements en faveur du Gouvernement d'entente nationale. Le conflit de faible intensité et basse technologie a mué grâce à ces technologies avancées.

2.1.2 Campagne turque dans le nord de la Syrie en mars 2020

Il y a dix ans, la Turquie a fait le choix de créer une filière drones suite à des interdictions américaines sur la vente de systèmes armés et de la tension croissante avec le fournisseur israélien. Servie par une rapide montée en gamme, la Turquie détient aujourd'hui une architecture de commandement et de contrôle dans ce domaine. Elle s'octroie ainsi par exemple la capacité de mener des opérations réseaux-centrés pour l'élimination ciblée extrajudiciaire de kurdes sur le territoire national ou en Syrie. Elle développe également des capacités de production mobiles projetables au plus près de la zone de conflit, pour assurer un flux tendu d'approvisionnement. Le laboratoire turc pour la guerre en essaim est la région d'Idlib, dans le nord syrien, bastion d'affrontement entre Damas et Ankara.

⁸ Rapport final du Groupe d'experts sur la Libye créé par la résolution 1973 (2011) du Conseil de sécurité

En mars 2020, la Turquie déclenche l'offensive « Bouclier du Printemps » dans le nord de la Syrie contre les forces du régime de Damas, en représailles aux attaques contre ses avant-postes par les forces syriennes loyalistes. Une opération aéroterrestre, reposant quasiment sur les drones armés, est lancée par la Turquie pour détruire des unités blindées autour d'Idlib : une centaine de drones Anka et Bayraktar TB2 seront engagés. Ankara⁹ déclare utiliser des essaims de drones, synchronisant parfois jusqu'à une centaine de machines, et y associant d'importantes capacités de guerre électronique. Pour une demi-douzaine de drones abattus, la Turquie revendique ainsi la neutralisation des systèmes de défenses sol-air syriens, la destruction de centaines de véhicules lourds ou encore des attaques aux drones kamikazes.

Ces groupes de drones servent tant d'observateurs, de relais avancés de communication pour l'artillerie, que comme proto-missiles pour des attaques directes. On peut donc parler ici à minima de salve de drones. Il manque l'utilisation de munitions rôdeuses, opportunité qui sera saisie dans le Haut-Karabagh.

2.1.3 Guerre au Haut-Karabagh à l'automne 2020

La récente campagne militaire du Haut-Karabagh opposant les forces arméniennes et azerbaïdjanaises est symptomatique de l'évolution des opérations par la massification de la force dronisée. La plupart des grands médias nationaux et européens ont d'ailleurs décrit cet épisode comme une « guerre des drones ».

La spécificité tient notamment en l'utilisation d'une panoplie complète de systèmes employés, du drone tactique armé turque Baykar TB2 au micro-drone, en passant par des munitions rôdeuses HAROP de fabrication israélienne et des mini-drones d'observation, tout cela à grande échelle côté azéri :

- Les drones de renseignement au contact ont fait du repérage et désigné les cibles au profit de l'artillerie ;
- Des munitions rôdeuses ou « drones kamikazes » ont neutralisé les défenses aériennes, ouvrant des couloirs pour les plus gros drones d'attaque, plus vulnérables, et infligeant des pertes aux blindés ;
- L'action incessante des drones azéris, de jour comme de nuit, et la propagande diffusant leurs attaques, ont exercé une véritable pression psychologique sur l'adversaire.

Les forces arméniennes, pourtant dotées de défense aérienne et d'une aviation de chasse ont été mises en échec dans les airs, débordées par les offensives de drones.

La salve, définie en première partie, y apparaît notamment comme nouvel « ouvre-boîte » tactique et opératif¹⁰ des deux prochaines décennies. Le terme « essaim » est également mentionné dans un rapport de l'assemblée nationale¹¹.

⁹ <https://www.airuniversity.af.edu/JEMEAA/Display/Article/2329510/the-revolution-in-drone-warfare-the-lessons-from-the-idlib-de-escalation-zone/>

¹⁰ Défense & Industries n°15_avril 2021

¹¹ Examen, ouvert à la presse, des conclusions de la mission d'information sur la « guerre des drones »

De plus, l'Azerbaïdjan a fait le choix de la « masse » sur la technologie, en s'offrant de nombreux équipements, dont certains à bas coût, avec une flotte de près de 30 drones MALE (dont une dizaine de TB2 turcs) et 250 munitions rôdeuses (dont une cinquantaine de HAROP israéliens): la massification « low cost » à portée de tous, sera désormais un préambule de réflexion ouvert à tout belligérant.

Nonobstant sa faible empreinte géographique, ce conflit demeure significatif, aussi bien par la taille des armées impliquées que par les contraintes géographique, véritable laboratoire à petite échelle pour un conflit futur de haute intensité. L'enseignement montre dès lors qu'un emploi généralisé de drones, complémentaires les uns des autres, et relativement bon marché, peut permettre de prendre l'avantage et remporter la victoire, y compris dans un environnement non permissif. **L'utilisation intensive de drones armés comme principal système d'attaque, combiné ici avec un recours massif à l'artillerie, et non comme une simple force d'appoint, constitue bel et bien une évolution stratégique significative.**

Si certains conflits manquent à l'appel pour illustrer la dronisation du champ de bataille et les prémices des essaims, tel le Donbass ou encore le conflit israélo-palestinien où Tsahal aurait engagé en mars 2021 des essaims de drones pour des éliminations ciblées, il n'est néanmoins plus nécessaire de démontrer les effets de telles armes :

- Un effet gibier pour une armée et une population qui entendent un ennemi arriver en masse, tourner autour d'eux, mais ne peuvent souvent pas le voir avant l'attaque ;
- La sidération : l'offensive peut difficilement être anticipée
- La saturation : l'utilisation de SMA permet une massification rapide du combat et peut mettre en difficulté un adversaire technologiquement plus avancé
- Ces effets sont décuplés avec la combinaison quasi-systématique du SMA et de tirs missiles sol sol et obus d'artillerie.

Sur l'ensemble des conflits précités, les prototypes d'essaims de drones apparaissent également comme une arme d'influence, une technologie mise à disposition par des pays puissants sur des théâtres secondaires. Arme bon marché et saturante, souvent appelée arme du pauvre, l'essaim peut être également utilisé avec un effet dévastateur dans les guerres asymétriques, notamment en basse altitude (petits drones).

2.2 La place de la France dans le complexe militaro-industriel mondial

Depuis une dizaine d'années, le complexe militaro-industriel mondial investit dans la dronisation¹², confronté aux guerres hybrides

¹² <https://www.institut-ega.org/l/la-proliferation-des-drones-armes-en-2019/>

(Ukraine/Russie) ou encore aux campagnes de contre-insurrection afghane et irakienne. La construction du modèle prend d'abord en compte un investissement initial sur le domaine de la reconnaissance, de la communication, puis l'armement du drone dans une architecture C4ISR¹³, notamment dans un processus de ciblage d'opportunité. Enfin, une diversification est recherchée pour développer le parc de machines, notamment dans les gammes mini et micro, au développement plus rapide et plus abordable.

2.2.1 Le développement de l'essaim à l'étranger

Quatre nations tirent particulièrement leurs épingles du jeu dans ce domaine du drone : les Etats-Unis, la Chine, l'Israël avec des systèmes vendus clés en main. Répondant à des besoins sécuritaires immédiats, la Turquie se pose également en acteur incontournable avec cette particularité d'avoir développé une BITD¹⁴ autonome.

Cette dronisation étant acceptée de tous, la prochaine étape est l'automatisation d'un groupe de drone sous supervision humaine, voire l'autonomisation d'un groupe : l'essaim. Cette capacité repose sur plusieurs domaines technologiques, notamment la miniaturisation (systèmes de communication...), l'algorithmique pour perfectionner les fonctionnalités existantes et l'intelligence artificielle pour basculer dans l'autonomie.

Un recensement des capacités des nations clés dans le domaine des essaims de drones, est proposé en annexe I. Au regard de la diversité des vecteurs, des programmes et de la confidentialité du sujet, il ne se veut pas exhaustif mais propose certaines tendances, et le niveau estimé d'acquisition des briques selon la taxonomie proposée en première partie.

On retrouve ainsi les grandes puissances militaro-industrielles, avec les Etats-Unis en tête des programmes de développement des systèmes multi-agents. Ils montrent la faisabilité technologique de la salve de drones, en gardant dans le viseur de la recherche et du développement, l'essaim de drones militaires. Cette voie étant tracée, d'autres s'y engouffrent avec des approches différentes, par manque de moyens ou d'accès à certaines technologies avancées. La Chine et l'Israël tiennent leur rang d'acteurs stratégiques dans la course à l'essaim, mais avec un domaine sur l'intelligence artificielle plus faible. La Russie axe son effort sur la robotisation de masse. Les puissances régionales sont, elles, inégales face à ce *game changer*, l'Inde se dotant tout juste d'une politique militaire de dronisation et l'Iran étant relativement absente de cette niche, alors qu'il est un acteur régional important quant à la production de drones bon marché.

¹³ Computerized Command, Control, Communications, Intelligence, Surveillance, Reconnaissance

¹⁴ Base Industrielle et Technologique de Défense

L'annexe II propose quelques illustrations des drones étrangers. L'annexe III permet de situer les pépinières IA dans le monde.

Vecteur de propagande militaire dont la réelle dimension est cependant maintenue sous le sceau du secret, l'avancement réel de la recherche et du développement au niveau mondial, sur les essais de drones reste néanmoins complexe à cartographier.

2.2.2 Le développement de l'essai en France

Si la France accuse un retard dans le domaine industriel du drone, en est-il vraiment de même pour l'essai.

Tout d'abord, si aucun programme d'envergure européen ne vise pour le moment l'essai de drones, l'Agence Européenne pour la Défense a lancé des études structurantes dans les domaines du guidage, de la navigation et du contrôle intégrant les notions d'intelligence artificielle et de décision autonome, notamment pour les convois autonomes¹⁵. Cette brique vient s'ajouter au projet EURODRONE MALE auquel participent Dassault Aviation et Airbus. L'Europe développe ainsi des briques technologiques et industrielles, à l'instar des autres grandes puissances, permettant dans quelques années, si le pouvoir politique le décide, d'avoir accès à cette capacité, avec une autonomie supposée contrariée si certains domaines ne sont pas disputés aux Etats-Unis (localisation, production autonome de drones...).

Si la France accuse un retard averti sur l'industrie du drone MALE et du segment tactique¹⁶, son tissu de petites et moyennes entreprises (PME) reste concurrentiel dans une logique d'essai de drones :

- Brique « drones » : les PME françaises sont en lice dans le marché du drone de petite taille, abordable et par conséquent disponible pour de l'achat en masse. Quelques PME se distinguent :
 - La société NOVADEM est spécialisée dans la robotique aérienne, fournisseur notamment des micro-drones NX 70 dont nos armées seront équipés. NOVADEM travaille également en collaboration avec des grands de la BITD comme MBDA dans le cadre du projet LynkEUS ;
 - Le constructeur français PARROT offre également un panel de drones de petite taille. À ce titre, il signe en janvier 2021 un contrat de 300 micro-drones avec la Direction Générale de l'Armement (DGA).

Ces PME permettent une offre française pour des missions stratégiques militaires comme civiles : surveillance de sites de production d'énergie comme les centrales nucléaires, aide aux

¹⁵ 20191107_NP_CGARM_Accompagnement du déploiement des robots au Minarm.pdf

¹⁶ Sénat_Rapport d'information sur les drones dans les forces armées – Synthèse, juin 2021

pompiers pour la surveillance des départs de feux, appui aux forces de police, mais également dans le BTP (surveillance ouvrage d'art). Cette dualité est primordiale dans un paysage industrielle morcelé pour assurer la longévité et le maintien à niveau de leur avancée technologique.

- Brique « essaim » :
 - la société française Dronisos est le leader européen des spectacles de drones. Développant des solutions pour la gestion coordonnée de centaines de drones lumineux à des fins de grands spectacles, leur technologie n'est pas aboutie pour l'essaim mais en pose les bases : chaque drone connaît sa propre position, et suit sa propre trajectoire programmée dans un volume donné. Ils obéissent à des algorithmes et des trajectoires pré-calculées. Ils ne communiquent cependant pas entre eux, ils ne peuvent donc pas se reconfigurer en cours de mission, ne s'intervertissent pas et ne réajustent pas leur position les uns par rapport aux autres. Sans capacité propre d'adaptation, on ne peut donc ni parler d'essaim ni de salve. La configuration actuelle peut néanmoins suffire pour une mission de reconnaissance, le nombre permettant une couverture optimale de zone.
 - La société SCALIAN est une ETI¹⁷ française qui porte également cette technologie d'essaim : dans le cadre de surveillance d'activité sismique, le vol de six drones disposant de capacité de largage et de surveillance ont volé en essaim, complètement autonome, en juin 2021.
- Brique « Intelligence artificielle » : ce domaine est porté par le monde de la start-up comme par les grands acteurs de la BITD à l'instar de Thalès, secteur primordial pour ne pas être déclassé stratégiquement. 62% des entreprises utilisent l'IA en France en 2019. Les levées de fonds des start-ups françaises augmente depuis 2015. Lors de l'annonce du plan France 2030, le gouvernement a dévoilé un plan à 2 milliards d'euros pour le développement de ce secteur, former et attirer les talents. Une des objectifs est notamment de tripler d'ici 2025, le nombre de start-ups spécialisés dans l'IA¹⁸. La plus grande difficulté réside dès lors, non dans la formation, mais dans la capacité à garder ses spécialistes en leur offrant des projets d'envergure soutenus par des investissements à hauteur.

Si la France accuse des retards importants sur les branches haut du spectre des drones, elle détient des pépites sur les briques menant à l'essaim. Sans monopole national ou international, ces briques gagneraient néanmoins après leur phase innovation, à être structurées autour d'une BITD propre à ce domaine spécifique afin de proposer une certaine masse de production mais également des projets duaux interministériels et exportables pour rester dans la compétition mondiale.

¹⁷ Entreprise de taille intermédiaire

¹⁸https://www.gouvernement.fr/sites/default/files/contenu/piecejointe/2021/11/08112_021_dp_strategie_nationale_pour_ia_2eme_phase.pdf

2.3 Les programmes en cours sur les essaims

La capacité « drones » fut un des volets sacrifiés lors de l'actualisation de la LPM¹⁹ 2019-2025. Outre les programmes d'envergure comme Patroller, Eurodrone, visant à acquérir une autonomie stratégique sur le secteur de l'agent seul, certains programmes alliant drones, réseau et intelligence artificielle doivent garder leur cap afin de ne pas connaître de rupture capacitaire dans le domaine de l'essaim :

- Programme SCAF²⁰/Armée de l'air et de l'espace : décrivant une architecture de combat en réseau centré sur le NGF²¹, avec un panel de tactique varié, il permet de consolider les bases industrielles mais également de développer les briques technologiques nécessaires aux drones d'accompagnement et au cloud de combat, telles la connectivité, la fusion de données en temps réel, l'autonomie du drone, facilitant ainsi l'émergence de la notion d'essaim. Ce programme s'inscrit sur un processus programmatique de temps long et de haute technologie, cohérent avec l'objectif de mener les opérations aériennes haut de spectre de demain.
- Si l'Armée de terre ne porte pas de programme à proprement dit sur les essaims, des achats sont réalisés dans le domaine des drones tactiques. Décupleur du potentiel tactique des troupes au sol, des réflexions doctrinales sont portées sur l'emploi d'essaims mais également sur la manière dont s'en défendre²².
- Système de lutte anti-mines navales futur (SLAM-F), Marine nationale : produit d'une coopération technologique franco-britannique dénommée MMCM (Maritime mines counter-measures), ce programme est destiné à renouveler l'ensemble de la capacité de guerre anti-mine française. Un démonstrateur de capacité avait été développé en 2011-2012 dans le cadre d'un plan d'études techniques et de développement (PTD) de la DGA : le porte drone « Sterenn Du », drone de surface emportant des robots sous-marins, avec une capacité de largage et de récupération, bénéficiant notamment de l'automatisation du système. Le 25 novembre 2021, la DGA a réceptionné à Brest le prototype d'un système de drones anti-mines navales. Ce système regroupe des drones sous-marins et de surface et doit permettre aux marins d'opérer à distance d'une zone de danger. À l'issue d'évaluations opérationnelles du prototype, les quatre premiers systèmes de drones de série seront livrés d'ici à 2024 en cohérence avec la LPM Ce programme franco-britannique majeur permettra le développement d'une nouvelle capacité industrielle clé en

¹⁹ Loi de Programmation Militaire

²⁰ Système de combat aérien du futur

²¹ New generation Fighter

²² Sarah GUENDOUZ, note de recherche prospective
n°20211116_NP_CDEC_DDO_PEP_Note_Essaim_de_drones, juillet 2021.

matière de robotique et d'autonomie avec mise en œuvre opérée à distance.

2.4 Une lutte anti-drone perfectible

La lutte anti-drones (LAD) est un sujet sensible de la Défense, d'actualité et pris en compte au niveau interarmées. Face à une menace portée par l'hybridité tant que par la haute intensité, deux objectifs cohabitent.

Tout d'abord, le développement de capacités fixes est primordial pour protéger les sites sensibles mais également les manifestations majeures telles les Jeux Olympiques 2024 ou la coupe du monde de rugby en 2023. Parallèlement, les théâtres d'opérations nécessitent une capacité plus mobile adaptée aux différentes manœuvres.

Face à une menace potentielle, la lutte anti-drones prend en compte le processus suivant grâce à différents moyens complémentaires : détecter, identifier, classer et neutraliser les drones aériens mis en œuvre par nos adversaires. Je limiterai mon étude aux dispositifs de d'identification et de neutralisation, lignes les plus complexes de la lutte contre les essaims.

2.4.1 Une trop faible capacité de neutralisation face à l'essaim

Un premier domaine de la neutralisation est l'armement à énergie dirigée (laser) ou à impulsion électromagnétique. A l'instar des brouilleurs omnidirectionnels, capables de brouiller un signal GPS à environ 3 km mais neutralisant des signaux télécommandés uniquement sous faible distance, ce type d'armement utilise un faisceau, obligeant le traitement drone par drone à une distance allant d'une centaine de mètres à quelques kilomètres pour éviter la perte d'efficacité et d'énergie. Outre le traitement d'une seule cible à la fois, le danger se retrouve inévitable en cas d'échec. De plus, la consommation d'énergie nécessaire nécessiterait pour gagner en longévité d'action, une réserve de puissance. Si cela demeure envisageable sur des sites fixes (centrales, emprises militaires), ce stockage s'avérerait impossible sur des sites mobiles ou en OPEX. Il faut également rappeler le caractère non discriminant de ces armes, pouvant se retourner contre nos propres populations de drones. Enfin l'utilisation massive d'ondes a une répercussion non maîtrisée sur l'environnement.

Dans le domaine du laser, l'AID et la compagnie industrielle des lasers (CILAS) ont également engagé des travaux d'innovation dont une expérimentation d'arme à énergie dirigée (laser HELMA-T), avec une mise en service prévue en 2024. Un premier test de destruction d'un drone en vol a été réalisé avec succès en juillet 2021. Seuls les américains et les israéliens ont développé cette capacité parmi les armées occidentales. Cependant, le pointage sur le drone doit être suffisamment long pour brûler le composant idoine, impossible à exercer sur un essaim.

En conclusion, sous une ère de drone toujours plus véloces, l'armement à énergie dirigé ne suffit pas à préserver une bulle de protection.

2.4.2 Un effort en cours

Conscient des efforts à fournir et de la prégnance de la menace, la LAD diversifie ses acquisitions :

- Le marché MILAD (Moyens interarmées de Lutte Anti-Drones) est un programme d'armement, remporté par CS Group dont l'expression de besoin date de 2015, pour une première livraison en 2018 retardée en 2020 : il permet l'acquisition de 18 systèmes de détection-neutralisation, mobiles, et d'une trentaine de fusils brouilleurs Nerod.
- Pour améliorer la LAD en OPEX, l'armée de terre a développé la capacité AR-LAD (adaptation réactive de lutte anti-drones) : équipement d'un véhicule de l'avant blindé, d'une capacité de LAD téléopérée : le système procède d'abord à la détection et à l'identification du drone à 2 km de distance. Si c'est nécessaire, le drone peut ensuite être neutralisé grâce à une mitrailleuse 12,7 mm.
- la solution BASSALT (BASSe ALTitude) a été développée via l'AID par une filiale du groupe Aéroport de Paris en collaboration avec la CDAOA, offrant un système complet permettant de détecter, identifier, classifier et neutraliser par brouillage, la menace drone téléopérée. Une des caractéristiques clés est l'intégration d'un « C2 » à base d'intelligence artificielle. De plus, le système présente une visualisation globale de la situation en basse altitude. Il a été notamment mis en œuvre depuis 2019, dans le cadre de Dispositif Particulier de Sûreté Aérienne (DPSA) pour la protection du Salon du Bourget, des cérémonies du 14 juillet ou encore plus récemment en OPEX dans le cadre d'une expérimentation sur Gao.

Si BASSALT a l'avantage de distinguer les drones téléopérés et de poser les briques de l'IA, certains dispositifs sont déjà quasi-obsoles, face à des drones autonomes, résistants au brouillage. De plus, la LAD est insuffisamment armée face à la densification de la menace, avec l'émergence tangible des salves et à moyen terme d'essaims complètement autonomes, mêlant munitions rôdeuses et drones de reconnaissance.

2.4.3 Des programmes ambitieux

La feuille de route anti-drones des armées présente des programmes ambitieux qui doivent répondre présents sur le segment de l'essaim :

- Le marché PARADE (protection déployable modulaire anti-drones) lancé par la DGA, permettra la fourniture d'un système complet de détection, identification automatique, classification et neutralisation. Il s'agit d'acquérir des senseurs anti-drone de type radar/goniométrie, un système optronique ainsi qu'un C2 qui agrège les informations pour lever de doute et permet le ralliement sur les menaces, et enfin un système de brouillage. Un emploi opérationnel est envisagé en 2023.
- Le programme RAPID fire de la Marine nationale équipera, dès 2023, les bâtiments ravitailleurs de forces (BRF) avec des tourelles à canon de 40 mm à tir rapide, mise au point par Thales et Nexter, capable d'engager successivement des cibles multiples.

Si la LAD interpelle désormais les plus hautes autorités, si elle gagne sa place dans la LPM, si les premières briques du multi-cibles ou du traitement des données par l'IA, viennent tout juste d'être posées, nos dispositifs ne peuvent néanmoins à ce jour faire face à une menace semi-autonome ou autonome ni à une offensive de masse.

2.5 Absence de doctrine offensive

2.5.1 Suppression of Enemy Air Defenses (SEAD) : une niche vide

Depuis la suppression des AS37 Martel fin 1990, la France a une capacité offensive lacunaire dans le domaine de la suppression de la défense aérienne ennemie. Supposée agir en milieu peu contesté, cette capacité se heurte à la réalité des conflits actuels où les nations détentrices de défenses sol-air robustes sont soit belligérantes soit nourrices du belligérant, à l'instar de la Turquie en Lybie.

La suppression des défenses aériennes ennemies relève soit de la SEAD²³ soit de la DEAD²⁴ :

- La DEAD a pour objectif de détruire des sites de défense aérienne, en mettant en œuvre de l'armement propulsé qui traite la source sur localisation (utilisation de la position GPS). Or la DEAD n'est plus optimale pour conserver une autonomie stratégique pour des opérations d'entrée en premier dans les conflits les plus récents. Outre la faiblesse de certains stocks de missiles de croisière, si les systèmes anciens tels les SA-3 et SA-8 sont neutralisables par l'armement air-sol modulaire (AASM), la mobilité des systèmes de défense ennemis ainsi que leur montée en gamme, même chez des adversaires de second rang à l'image de la Lybie disposant de S300/S400 russes, met à mal la politique de DEAD. Ces systèmes de Défense sol-air (DSA) constitués de plusieurs éléments, sont difficilement détectables, hormis le radar lors de l'émission, souvent brève. Si la menace est compliquée à détruire de par la multiplicité de ses éléments, elle peut néanmoins être saturée : par un SMA

²³ Suppression of Enemy Air Defences

²⁴ Destruction of Enemy Air Defences

« low cost » avec plusieurs agents qui se répartissent les cibles ou par un tir multi-cible. Caractérisé par sa furtivité, sa capacité de saturation, l'essaim de drones a toutes les qualités pour combler une niche doctrinale laissée vide dans la SEAD. Il pourrait faire face aux capacités sol/air longue portée (S-300/S-400, peu mobiles), moyenne portée (SA-17) et courte portée (SA22, canon, tête chercheuse). Pour exemple, ce type d'offensive a été appliqué dans les premiers jours du conflit du Haut-Karabagh par l'utilisation massive de systèmes de drones aériens pour réaliser la SEAD sur les forces arméniennes.

Un renouvellement de la doctrine SEAD devra étudier : comment utiliser un SMA : armé ou simplement saturant ? Sous quel degré d'autonomie pour permettre une décision rapide sur une frappe d'opportunité de cible mobile ?

2.5.2 Une étude qui pose certaines difficultés

Outre la SEAD, l'essaim de drones pourrait théoriquement mener d'autres opérations offensives (destruction de sites par emport de charges explosives, élimination de cibles) mais l'autonomie de l'essaim pose alors la question de l'autonomie du tir offensif. L'enjeu éthique sera abordé en troisième partie.

Pour construire une doctrine offensive, l'expérimentation est primordiale afin de la mettre en pratique, l'empirisme sur le terrain étant impossible. Ce pan du développement est une nouvelle difficulté auquel doivent faire face nos armées dans la construction de la place de l'essaim de drones :

- Dans le cadre des travaux liés au standard F5 du RAFALE, des travaux sont en cours avec MBDA sur les SMART Cruiser (I2W), drones multi-rôles capable d'évoluer au sein du SCAF en mode connecté et collaboratif. Le problème majeur est la simulation, permettant la détermination du ratio correct du nombre d'armement versus l'efficacité de la saturation adverse. Or l'armement de saturation n'est pas disponible dans nos armées et doit faire l'objet d'un PTD.
- La technologie de l'essaim passant par l'intelligence artificielle, cette dernière doit se nourrir grâce à des bibliothèques d'images permettant notamment la reconnaissance de systèmes de DSA ennemis. Or la sensibilité de ces données complexifie les échanges de data, ralentissant l'évolution et la mise à jour de ces systèmes.

En conclusion, dans un monde où la dronisation des champs de bataille est de plus en plus automatisée voire autonomisée, la France détient toutes les briques technologiques pour faire face à ce nouveau défi mais doit absolument structurer son industrie des systèmes de drones pour gagner son autonomie stratégique.

Sur le plan militaire, si la LAD bénéficie de plans ambitieux pour prendre en compte la menace de l'essaim, cette dernière reste à ce jour inopérante face à la menace de l'essaim.

D'un point de vue doctrinal, la DIA 3.3.8 du 24 avril 2020 expose « l'emploi des systèmes de drones aériens en opérations et la PIA 3.3.1.8 du 25 janvier 2021 évoque, quant à elle, la question de la prolifération des drones aériens et la menace significative que ces nouveaux moyens peuvent représenter. Mais aucune doctrine ne transparaît sur l'emploi de systèmes de drones autonomes. En effet, les réflexions doctrinales suivent malheureusement les contrats de développement-acquisition alors que la doctrine devrait aboutir aux programmes d'armement. Dans les prochaines années, l'absence de doctrine offensive appliquée à cette capacité pourrait notamment priver la France d'un pan substantiel du domaine A2/AD²⁵ ainsi que de la capacité d'entrée en premier contestée par des puissances mondiales comme régionales.

²⁵ « déni d'accès et interdiction de zone » (en anglais, *Anti-Access / Area Denial*).

3 Enjeux : emploi des essais et LAD associée

Les essais de drone provoquent ainsi une tension tangible tant sur le plan capacitaire que sur le plan doctrinal, relayée par une pression du milieu politique qui ouvre les yeux sur la réalité de cette menace et notre dénuement.

Véritable amplificateur de puissance, l'essaim de drones peut présenter une large gamme d'effets et revêt par ses caractéristiques un enjeu majeur :

- Il brouille et comprime les espaces stratégiques ;
- Il représente une rupture technico-militaire ;
- Il peut être consommable ;
- Il assure un haut niveau de permanence sur théâtre.

Si l'enjeu majeur politique est la conservation d'une place stratégique dans les batailles futures, il se décline ainsi en enjeux capacitaire et opérationnel mais l'autonomie de l'essaim interpelle également des enjeux juridiques et éthiques.

3.1 Enjeu opérationnel

« Les armées sont-elles le symbole de la souveraineté ? Il en est d'autres mais ils sont seconds » André Corvisier.

Pour maintenir l'objectif politique français de rester un acteur majeur dans la stratégie internationale, la France doit nourrir une armée moderne et souveraine, répondant aux enjeux opérationnels de demain face aux nouveaux *game changer*. Arme du conflit hybride comme de celui de haute intensité, instrument du belligérant de seconde zone, comme du terroriste mais encore véritable massue d'une puissance internationale, l'essaim de drone appelle plusieurs enjeux opérationnels.

3.1.1 Retrouver une liberté d'action

Comme déjà énoncé, l'armée française a du faire face dans les conflits les plus récents, à une DSA non permissive, tant en masse qu'en efficacité. On peut citer le conflit lybien mais surtout les fronts syrien et irakien. La capacité d'entrée en premier commence à être âprement disputée.

De plus, sur des conflits asymétriques, face à l'Etat islamique ou AQMI en Afrique, la lutte anti-drone ne suffit plus face à la menace diffuse des SMA. A l'état de proto-salve pour le moment, l'essaim sera une menace utilisée et avérée sous une décennie. Contrainte par ces nouveaux modes d'actions offensifs comme défensifs, nos armées doivent regagner leur liberté d'action par :

- la désinhibition des forces face à l'ennemi : améliorer l'identification, augmenter la densité et la capacité de neutralisation ;
- la saturation par la masse, la redondance ;

- la combinaison des moyens : employer un système permettant de réaliser le cycle complet reconnaissance, identification, neutralisation.

3.1.2 Répondre présent à court terme

Comme énoncé au §2.3, la LAD n'est pas en mesure de protéger l'ensemble des sites sensibles ni de faire face à la menace de salve de drones, encore moins d'essaims dans le futur proche.

Si les sites stratégiques civils doivent assurer leur protection, l'armée de l'air et de l'espace a la responsabilité, via le CDAOA de protéger son espace aérien français, et par conséquent d'assurer la défense face à cette nouvelle menace :

- Sur le territoire national, la menace est essentiellement terroriste. L'aspect « low cost » et l'accessibilité de la technologie de la salve est inquiétante. Sans parler de manœuvre autonome armée, des scénarii apocalyptiques peuvent d'ores et déjà être énoncés : attaque biologique, chimique, salve kamikaze... La protection des prochains événements majeurs tels la coupe du monde de rugby en 2023 et les Jeux Olympiques de 2024 appelle à une acquisition rapide de lutte contre cette menace. Vitrine sur le monde, la pleine réussite de la protection de telle compétition revêt un caractère majeur pour les armées françaises, véritable démonstrateur de force auprès de belligérants potentiels.
- En OPEX, il s'agit davantage de faire face à des systèmes de défense sol-air plus robustes et plus mobiles mais également aux nouvelles salves manœuvrantes. Si le développement technologique et par conséquent capacitaire ne permet pas d'envisager une mise en service opérationnel d'essaim de drones autonome et armé, l'acquisition rapide d'une capacité saturante est primordiale pour conserver une capacité d'entrée en premier, ainsi que de moyens de lutte anti-salve pour avoir un A2/AD efficace.

3.1.3 Occuper le domaine offensif du SMA

Les systèmes de drones désinhibent le terrain : ils libèrent des contraintes ergonomiques, des barrières naturelles de milieu. Plus légers, plus spécialisés, ils sont plus endurants et présentent un moindre coût. Si le drone occupe d'ores et déjà une place sur le théâtre, notamment dans la reconnaissance, **le système de drones par sa masse, sa furtivité, sa vélocité et sa mixité potentielle peut être un outil offensif majeur**. Si des acteurs ont déjà adopté l'enjeu et le mettent en œuvre, la France doit également occuper ce terrain. Différentes modes d'action sont possibles :

- Rester discret et rapide pour amener la **FULGURANCE** de l'action ;

- Gêner et compliquer la manœuvre de l'adversaire : l'autonomie peut être plénière, l'adaptation étant nécessaire sur une boucle courte. L'aviation de combat pourrait ainsi se concentrer davantage sur les vecteurs les plus complexes ou habités.
- Obtenir la saturation de la défense pour se protéger ou percer un objectif, en complément des armes classiques : **SURPRISE** et **SATURATION**. La saturation est facilitée par l'aspect low cost, avec une perte d'agents sans conséquence dommageable. Ce mode d'action nécessite une approche plus tactique du combat.
- Assurer une permanence sur zone avant l'offensive : le système DSA ennemi est désormais mobile et constitué de plusieurs éléments, dont le radar est le seul composant détectable lors de son émission. L'empreinte fugace de cette DSA peut trouver son adversaire dans la **PERMANENCE** et la couverture par la **MASSE** d'un groupe de drone.
- Frapper plusieurs cibles simultanément : cette possibilité est couverte par une salve ou une meute, avec un télé-opérant décidant du feu mais permettant à plusieurs agents d'être armés. Les cibles peuvent être diverses : blindés (cf conflit du Haut-Karabagh), éléments de DSA, neutralisation de piste sol ou flottante, humain.

3.1.4 *Respecter le battlerythm des nouveaux champs de bataille*

La numérisation des situations tactiques et l'efficacité des liaisons de données amènent une accélération de la dynamique du conflit et emballe la boucle OODA²⁶. Le temps donné pour autoriser une frappe sur une menace identifiée est de plus en plus contraint. Les armées ont désormais besoin :

- d'un capteur infra-rouge (IR) capable de reconnaître un système grâce au travail de préparation de mission.
- D'une rapidité d'action pour neutraliser des cibles toujours plus fugaces.

Accélérer le processus OODA requiert ainsi une plus grande autonomie des systèmes fusionnant capteurs et tireurs, capacités offertes par la meute et l'essaim de drones.

Les grands enjeux opérationnels auxquels pourrait répondre un SMA, se résument ainsi en la reconnaissance et surveillance à grande échelle, la permanence sur zone, la surprise, la saturation et l'attrition. Si des proto-salves de drones sont déjà opérées sur certains théâtres, elles répondent en majeure partie à ces enjeux, assurant à l'offensive une automatisation sur certains pans (reconnaissance, identification,

²⁶ Observe, Orient, Decide and Act.

saturation, destruction de cibles inertes) et une décision de l'homme pour décider de certaines phases sensibles.

Ces enjeux peuvent parfois être complexifiés par :

- La capacité de brouillage de l'ennemi : le système de drones doit être **RESILIENT** ;
- Le besoin de connectivité des effecteurs entre eux, des effecteurs avec les tireurs ;
- Le besoin d'un armement intelligent pour s'adapter à la fugacité de la menace, à la situation défensive de l'adversaire et à l'évolution des autres vecteurs amis durant l'offensif.

Face à cette complexité, appelant résilience et connectivité, l'enjeu opérationnel appellera un nouvel enjeu capacitaire : s'absoudre d'une connectivité par liaison et privilégier dès lors une dynamique endogène au SMA pour s'adapter dans un environnement brouillé.

La meute est une première réponse avec le maintien d'un cap mais une limitation de l'inter-connectivité des agents, l'essaim comme réponse ultime offrant une pleine autonomie synonyme de fulgurance, permanence, adaptabilité sans offrir de brèche de connectivité (absence de liaison montante).

3.2 Enjeu éthique

L'engouement pour les systèmes de drones répond aux grandes assertions de recherche de supériorité, par le nombre, le leurre et l'élongation de l'intervalle soi/ennemi : dominer, tromper et rester à couvert. L'éthique revêt alors une place importante sur ce nouveau champ de bataille.

Tout d'abord, le ministère des armées s'engage à respecter les principes énoncés dans le droit international humanitaire lorsqu'il emploie des drones armés, de surcroît des systèmes de drones armés. Outre les principes de distinction et de nécessité, de précaution et d'humanité, la proportionnalité doit être scrutée au regard de la massification offerte par un système de drones lors du combat : l'action doit demeurer appropriée pour chaque menace.

En parallèle, l'autonomie du système pose différentes questions éthiques : l'autonomie concédée par l'homme absout-il réellement de toute éthique de combat ? Quel degré d'autonomie concéder pour quelle action ? La question éthique de la place de l'homme se pose notamment si l'on intègre une dimension létale à l'essaim.

Aller au-delà de la réticence réflexe de l'utilisation de l'autonomie des systèmes de combat est primordial pour envisager le combat de demain ; cela permet d'ouvrir le débat de l'éthique du combat en mode semi-autonome ou autonome.

3.2.1 L'IA et la place de l'homme

Dans un premier temps, il s'agit de bien comprendre la signification de l'autonomie, c'est-à-dire bien appréhender le

fonctionnement et l'apprentissage de l'IA pour permettre son intégration à juste niveau.

Dans un second temps, il s'agit de positionner l'humain dans la boucle décisionnelle :

- Dans une salve : l'humain garde la décision sur certaines étapes clés, choisies par avance : automatisation de la surveillance et de la reconnaissance, identification d'un objectif validé par l'humain, commande de feu sous supervision humaine.
- Dans une meute : le degré d'automatisation est plus avancé avec un maintien autonome du cap de la mission par le leader. L'ordre de feu peut néanmoins demeurer sous supervision humaine.
- Dans un essaim : l'autonomie est complète, de la surveillance à la neutralisation. La responsabilité de l'humain porterait alors davantage sur la construction de l'algorithme permettant à l'essaim d'évoluer.

L'éthique rencontre alors un nouvel écueil : la confiance en l'IA. L'IA repose sur des algorithmes et un système auto-apprenant grâce à des bibliothèques de données :

- Le choix de ces données, la manière dont sont construites ces volumes de big data, la qualité et la diversité des échantillons proposés sont autant de biais possibles, implémentés inconsciemment ou non par l'humain lors de la programmation.
- L'auto-apprentissage de la machine qui pourrait gagner l'aptitude à modifier son propre fonctionnement voire ses propres règles d'engagement ;
- Les défauts potentiels lors de l'écriture des algorithmes peuvent entraîner des réactions en chaînes non contrôlées et difficilement identifiables aux conséquences graves, telle la perte de discrimination ;

En bref, le fonctionnement d'un système fondé sur l'IA, ne répond plus à une logique « humaine ».

3.2.2 Le positionnement de la France

Face à ces nouveaux questionnements, la France s'est dotée en 2019 d'un comité d'éthique de la Défense, structure indépendante de réflexion permanente sur les enjeux éthiques des nouvelles technologies dans le domaine de la défense. Cette création est la preuve de l'importance de l'éthique apportée par la France sur les champs de batailles mais également de sa complexité.

- Un apprentissage contrôlé :

Sur l'autonomie des systèmes, si la France doit rester dans la course et approfondir l'utilisation de l'IA sur ses systèmes armés, l'apprentissage de la machine doit demeurer intelligible à l'homme, et si possible dans un temps différé pour laisser l'opportunité de valider cet

apprentissage et l'évolution du système. Sur les pans à faible impact potentiel, cet apprentissage de la machine pourra néanmoins être admis avec un moindre contrôle.

- Le SALA :

Face à l'enjeu éthique du SALA, la France s'est d'ores et déjà positionnée, incluant les meutes et essaims de drones : elle ne cèdera pas la pleine autonomie de décision à un système pour donner la mort²⁷, l'humain reste au cœur des décisions d'usage de la force létale. Il n'y aura donc ni développement ni utilisation de SALA. Sur le terrain, cette position pourrait néanmoins être mise à mal face à des systèmes ennemis où l'autonomie prêterait une vélocité et une rapidité de feu meurtrière face à une puissance campée sur son éthique. Sur le plan capacitaire, un cadre d'emploi s'exonérant de limitations éthiques, culturelles ou réglementaires, libère l'innovation, à l'image d'Israël, leader mondial en matière de systèmes létaux intégrant différents niveaux d'autonomie. Une attention particulière devra donc être portée sur la BITD française qui pourrait être bridée par ce positionnement éthique.

- Vers une solution à compromis : le SALIA

La position française ne ferme néanmoins pas la porte à l'armement des systèmes de drones. Conformément aux orientations éthiques, les essaims de drones pourraient être développés selon le modèle SALIA, système d'armes létaux intégrant de l'autonomie, garantissant ainsi le contrôle de l'opérateur sur la machine. Les automatismes concerneraient des tâches élémentaires, comme la navigation, le suivi d'une cible, la transmission et le traitement des données ISR, la gestion du décollage et de l'atterrissage. Le SALIA intègre ainsi un fort degré d'automatisation, voire d'autonomie pour la correction de plan de vol mais ne peut pas modifier ses règles d'engagement ni prendre des initiatives létales sans le contrôle d'un humain.

Outre le respect du droit international humanitaire, ce fonctionnement respecte également le principe constitutionnel de nécessaire libre disposition de la force armée et la continuité de la chaîne de commandement de l'ordre à son application.

- La pleine conscience de l'acte :

Quant à la question de la pleine conscience de l'opérateur lorsqu'il déclenche le feu, identique à celle d'un drone armé seul, la multiplicité des capteurs dans un SMA, la fusion rapide et complète des données asservie par une boucle IA prêtent au cycle OODA une connaissance en temps réel de la situation tactique de plus en plus précise et éveillée. La décision tombée, la visualisation du milieu dans lequel l'opérateur est plongé via des interfaces de plus en plus immersives, participe activement à sa pleine conscience malgré l'éloignement du théâtre.

3.3 Enjeu capacitaire

²⁷ Comité d'éthique de la Défense, « Avis sur l'intégration de l'autonomie dans les systèmes d'armes létaux », 29 avril 2021

Constitué de briques de haute technologie comme tout public, le SMA présente plusieurs enjeux capacitaires :

- La miniaturisation nécessaire à l'emport sur mini-drones/nano-drones: les capteurs (boule optronique..), la navigation inertielle...,
- La limitation voire la suppression des liaisons entre opérateurs et systèmes afin de résister au brouillage
- L'intelligence artificielle : l'introduction de l'IA constitue pour les drones « une rupture systémique » principalement dans le pilotage et le traitement des données. Utilisée actuellement pour l'exploitation et le traitement des données (ARTEMIS), l'IA permet d'analyser et de fusionner de la Big data. Plus la banque de données est importante, plus l'IA livrera une analyse complète, avec des biais moins prégnants.
- L'agilité de la recherche et développement pour maintenir un niveau compétitif sur des technologies de pointe.

Parmi ces briques, l'intelligence artificielle demeure le point majeur pour évoluer de la salve à l'essaim en passant par la meute.

Ces enjeux appellent des enjeux industriels :

- Constituer une BITD cohérente, protégeant le savoir-faire existant des PME détenant le savoir sur ses briques.
- L'achat de masse : l'acquisition d'une flotte de micro-drones permettrait de simuler, s'entraîner et équiper les SMA.

Enfin l'agilité des programmes d'armement est primordiale. Si l'AID permet de déclencher des plans d'études techniques et de développement, interpellant les pépites des PME françaises, les acteurs des marchés d'armement doivent utiliser l'éventail des possibilités offertes par le code des marchés publics français pour faciliter les achats de mini-drones sur étagère, promouvoir une certaine plasticité des contrats et suivre le rythme effréné imposé par ces nouvelles technologies, face à la concurrence mondiale, étatique ou privée.

3.4 Enjeux juridiques

La première difficulté est le respect de la vie privée. L'utilisation de données recueillies lors de surveillance de drones fait apparaître un vide juridique quant à leur traitement, ces dernières ayant un caractère personnel. Problématique connue, elle voit la masse de données incriminées décupler lors de la mise en œuvre d'essaim de drones. Légiférer sur l'utilisation de ces données est primordial.

De plus, l'évolution du SMA vers davantage d'autonomie pose les questions juridiques suivantes :

3.4.1 Sécurité aérienne

La circulation aérienne doit permettre l'intégration de systèmes autonomes pour expérimenter face à des agents autonomes

offensifs, la LAD mais également pour expérimenter l'emploi tactique de meutes ou d'essaim.

Or comme rappelé dans le rapport du Sénat de juin 2021²⁸, les drones même militaires ne sont pas exempts des contraintes de navigabilité : délivrance d'un certificat de type, d'un certificat de navigabilité, restriction de circulation. Un premier enjeu est une application raisonnée des règles de navigabilité sur ces flottes.

Par ailleurs, même certifié, le vol des drones vis-à-vis des autres activités aériennes doit être ségrégué en raison du principe « voir et éviter » qui empêche la cohabitation de vecteurs non habités, encore plus d'essaim, et des autres aéronefs. En France, il s'avère ainsi compliqué de développer des drones de petite taille, de les expérimenter en vol puis d'entraîner les équipages. A ce titre deux ans auront été nécessaires pour autoriser le drone REAPER à voler dans l'espace aérien français, alors qu'il volait déjà en opération. Cette limitation vient porter une concurrence déloyale aux entreprises françaises, face à des entreprises étrangères (Chine) qui évoluent, testent leur produit dans un espace moins contraint.

Si les normes imposées garantissent une certaine performance, obligeant les entreprises et développeurs à produire des systèmes fiables en matière de sécurité aérienne, cette normalisation agit également comme un véritable plafond de verre à prendre en compte par les autorités.

3.4.2 Légiférer l'utilisation de l'IA

Tout d'abord, l'utilisation de l'IA amène une perte de visibilité sur les actions conduites avec une logique d'action définie en conduite par la « boîte noire », qui ne répond pas forcément à une logique humaine : qui est responsable de l'action finale en cas de modification des règles de fonctionnement ou d'engagement de la machine par l'IA ?

Ensuite, l'imputation juridique d'un acte repose sur des preuves. Dans le cadre d'une action tactique menée par un essaim, les effecteurs ne produiront pas de documentation car l'absence de liaisons extra-essaim empêchera toute boucle retour et le mini-drone aura une capacité de stockage minimum.

Enfin, les lois de la guerre, à l'instar des conventions de Genève, définissent ce qu'est un combattant, et son périmètre de responsabilité. Si l'on écarte le sujet de la létalité, débattu au §3.2, un essaim en action, sans armement, sur le terrain devra se voir caractérisé au regard de la loi, pour déterminer qui est responsable en cas de dégât collatéral. A l'instar des véhicules autonomes, ce serait le constructeur qui serait incriminé, soit ici le créateur de l'algorithme ou le constructeur du vecteur. Quant au sujet de la létalité, l'adhésion de la France au concept uniquement de SALIA ramène la responsabilité

²⁸ Sénat_Rapport d'information sur les drones dans les forces armées – Synthèse, juin 2021

à celle du contrôleur du tir, personnel civil ou pas. Il demeure préférable que ce dernier soit militaire qui accepte de facto d'endosser ce rôle.

Domaine encore mal appréhendé techniquement, l'IA souffre d'un maigre corpus législatif. Afin de contrer les réticences liées à son utilisation, cette dernière doit être capable de davantage de transparence et d'une législation spécifique pour rendre acceptable ses décisions et le partage de la responsabilité avec l'homme.

4 Quelques perspectives pour la Défense française

Si la partie 3 démontre la prégnance des enjeux liés aux essais dans les combats proches et futurs, la partie 2 rappelle que la France est confrontée à une rude concurrence tant sur les pans technologiques, capacitaires qu'opérationnels. N'ayant d'autres choix que faire face, la Défense doit donc relever les défis qui lui sont imposés face à cette menace prospective, en désinhibant sa recherche mais également en menant une réflexion disruptive sur sa doctrine.

4.1 *Perspectives opérationnelles*

4.1.1 *Doctrine générale*

L'entrée en lice dans les conflits récents, de systèmes de drones impose une réflexion sur la doctrine d'emploi de ces systèmes en fonction de leur niveau d'autonomie, mais également sur la manière de lutter contre cette nouvelle arme.

Décuplant les capacités de surveillance, d'acquisition d'objectifs et de reconnaissance, un SMA provoque l'accélération de la boucle OODA. Outre le soulagement de la charge cognitive des décideurs, la doctrine doit donc autoriser au chef militaire, la délégation d'une certaine autonomie aux systèmes d'armes afin de rester dans le nouveau tempo de la guerre. Ceci nécessite une réflexion quant à l'interaction que l'homme s'autorise avec la machine pour superviser le système, avec un niveau de subsidiarité admis et un niveau de contrôle humain suffisant pour assumer l'emploi et le fonctionnement du système.

Ce niveau de délégation dépendra de la mission, de l'emport d'armement ou non et devra préserver la chaîne de commandement humain. Elle pourra s'appliquer sur le système ou une partie du système, par exemple :

- Autonomie sur les fonctions basiques : pilotage, optimisation des trajectoires, contournement des obstacles ; gestion du carburant ;
- Autonomie sur l'analyse des scénarii tactiques, analyse qui serait poussée vers le chef militaire qui déciderait
- Préservation de l'action de l'homme sur les fonctions hautes de commandement : engagement du feu, appréciation de l'environnement tactique.

Sans force létale embarquée, la réflexion sur l'autonomie intégrale d'un système de drones ne doit pas être interdite.

La doctrine évoluerait ainsi en fonction de la nature de la mission :

- Salve : mission de ciblage et de neutralisation ;
- Meute : renseignement en milieu non permissif, LAD contre un essaim par neutralisation armée ;

- Essaim : renseignement en champ profond permissif, LAD contre un essaim par brouillage, neutralisation non armée .

4.1.2 *La LAD, une priorité*

4.1.2.1 Quelle doctrine ?

Au regard de l'essor de cette nouvelle arme accessible aux grandes puissances comme aux groupes non-étatiques, la protection des points d'intérêts vitaux doit être renforcée par :

- Davantage de moyens de détection et neutralisation ;
- En combinant les moyens pour faire face à l'agilité et l'occupation de l'espace de l'essaim : capteurs + effecteurs + IA avec un C2 agile ;
- Une plasticité du système qui se veut ouvert et interconnectable pour faciliter les évolutions ;
- La mise en œuvre d'une capacité de défense anti aérienne de contact, mobile.
- La mise en œuvre d'une défense d'accompagnement de nos forces en opérations, pour conserver la capacité d'entrer en premier », face à des salves par exemples.

4.1.2.2 La détection

Tout d'abord, il s'agit de détecter la présence d'un système de drones. Or le contrôle de la basse altitude, notamment sur de petits objets volants, reste ardu. Il est donc nécessaire de sécuriser et réglementer l'espace aérien :

- Mise en place d'un système de navigation et de contrôle dans l'espace aérien de très basse altitude pour faciliter la détection. Une solution demeure la localisation passive grâce à l'intégration de transpondeur miniaturisé. La réglementation pourrait notamment l'imposer ;
- Renouveler les radars militaires qui sont primaires et ne détectent pas ce type de transpondeur, détectables en revanche par des radars secondaires ;
- Application d'une doctrine « Blue force Tracking » pour distinguer les amis des ennemis, avec un repérage du drone en continu et une remontée d'information s'il passe à l'ennemi. A l'échelle d'un essaim, un affrontement de masse rend la situation tactique difficilement lisible, cette application sur des drones équipés de transpondeur aurait un avantage discriminant.

La détection de l'essaim dans la circulation aérienne est ainsi primordiale. Certains projets offrent d'ores et déjà de réelles perspectives :

- Face à la saturation de l'espace aérien, le projet français DOREDO a pour objectif de concevoir un système de détection et de localisation d'obstacles embarcable, pour prévenir toute collision, notamment avec les mini-drones. D'un

point de vue militaire, DOREDO permet de faciliter l'insertion dans la circulation aérienne avec pour objectif une surveillance déportée par drone ou essaim de drone

4.1.2.3 La neutralisation

Une fois détecté, la neutralisation de l'essaim doit appeler le développement de certaines capacités défensives et offensives. Face à un essaim, une salve ou encore une meute, doivent être étudiés les modes de défense suivants :

- Le brouillage des liaisons radio-fréquences et des moyens de navigation par satellite sur la salve ou la meute où les liaisons montantes permettent de contrôler le système ;
- Le leurrage
- L'interception et destruction par moyens cinétiques, avec un risque de dommages collatéraux dispersés.
- Les actions de cyberattaque : la protection des systèmes informatiques est primordiale afin de s'assurer qu'il n'y ait pas d'altération de l'information de bout en bout, de l'algorithme et de ses bases de données à la gestion en temps réel des communications et fonctionnement de l'essaim. L'utilisation d'essaim offre ainsi un angle d'attaque pour le cyber à saisir pour neutraliser ou encore récupérer de la donnée collectée. Cela peut être mis en œuvre en *backdoor* en altérant les algorithmes à la base, provoquant des divergences profondes des systèmes, mais encore en *frontdoor* par une attaque directe sur les liaisons de données

Parmi les différentes études, le projet Leonidas développé par la société Epirus, start-up américaine, met en avant plusieurs idées pour les armes anti-drones : brouilleurs de radiofréquence, canons à filet à grande portée. Leonidas émet notamment un faisceau de micro-ondes de haute puissance qui surcharge l'électronique du drone mais avec une possibilité d'élargir ou de rétrécir le faisceau, offrant une capacité d'abattre plusieurs drones à la fois.



Vue d'artiste montrant l'arme micro-ondes d'Epirus en train de neutraliser des drones. / Epirus Inc.

Thales Group propose également une solution en développement EagleSHIELD, système intégrée de lutte anti-drone pour la protection et la sécurisation des sites sensibles et des grands événements urbains: système multi-senseurs permettant la détection, l'identification, la classification et la neutralisation de drones malveillants volant à basse altitude jusqu'à une distance de 7km.

Pour répondre à la masse et à la fugacité d'un système de drones, l'utilisation d'un système similaire doit également être étudiée. L'autonomie demeure alors primordiale pour s'absoudre des liaisons et gagner en fugacité. Un essaim pleinement autonome pourrait être utilisé, non armé mais disposant de capacités de brouillages et/ou de détection, pouvant ensuite détruire l'autre essaim par actions cinétiques.

Pour exemple, Lockheed Martin développe une solution C-UAS, MORFIUS. Il s'agit d'un drone intercepteur délivrant des ondes à haute fréquence permettant la neutralisation par brouillage de plusieurs drones adverses, en essaim.



Projet : Système MORFIUS, Lockheed Martin

Pour une LAD efficace face aux essaims, meutes ou salves de drones, il devient urgent d'accélérer les acquisitions de systèmes de défense surface –air de basse couche qui feront front aux attaques saturantes. Ce système devra intégrer à la fois des moyens de détection performants, mais également des équipements de neutralisation, avec une gamme d'effets large (brouillage large spectre, munition Air Burst, armes à énergie dirigée). La LAD pourra également envisager le développement de systèmes mobiles, plus offensifs tels un essaim...



Image extraite du site Liteye²⁹ : exemple de système LAD anti-essaim

²⁹ Liteye SHIELD <https://liteye.com/multi-mission/shield/> Multi-Domain Defense System in an airbase protection solution

4.1.3 Passer à l'offensive grâce à l'essaim

Pour contrer une A2AD³⁰ toujours plus contestée, il est essentiel de désinhiber la doctrine d'emploi des SMA. Ces derniers offrent un large champ de possibilité :

- L'ISR³¹ de masse : la couverture de l'essaim, sa fugacité alliée à la possibilité de combiner au sein d'un même système des senseurs et des effecteurs différents permettraient de collecter rapidement une masse importante de données. L'affranchissement des obstacles et l'agilité offerts par un essaim, seraient un avantage, notamment en zone urbaine.
- Massifier et diversifier les effets d'un système : L'intégration d'un essaim autonome non armé à une formation, à l'instar du SCAF, permet d'aller chercher une complémentarité entre vecteurs habités et non habités, mais également de massifier ponctuellement un système. Un SMA pourrait également se composer d'un essaim non armé et une meute équipée de munitions rôdeuses. Ce système complet suivrait le rythme de l'opération, offrirait un panel complet au commandement, qui conserverait l'ordre de tir pour conclure l'action : détection + identification + neutralisation mais avec un effet de sidération propice aux nouveaux théâtres.
- Occuper l'espace : l'inhospitalité de ce nouveau champ de bataille pourrait voir proliférer des SMA, avec un profil « meute » pour une adaptation quasi-instantanée avec des liaisons de communication réduites au minimum mais sous supervision humaine pour les actes offensifs.

Une fois la pensée désinhibée, les perspectives d'évolution d'emploi de l'essaim, de la meute devront s'accompagner des réflexions sur la gouvernance de ces projets (qui développe pour quel effet), mais également sur leur chaîne de commandement dont les effets peuvent couvrir les besoins des trois armées : quelle serait le partage de l'autorité sur le plan tactique ? Il est donc primordial de conduire ce travail en interarmées, au niveau COCA³² et SPSA/DGA pour définir le besoin futur, en assurer la déclinaison en étude amont afin de saisir l'instantanéité des nouvelles technologies, conduire les travaux en plateau et offrir des possibilités de simulation, obligation pour que ces systèmes voient le jour.

³⁰ Anti-access/Area Denial

³¹ Intelligence, Surveillance and Reconnaissance

³² Cohérence Capacitaire

4.2 Perspectives juridiques

Le premier travail juridique à mener sera de lever les contraintes de circulation aérienne pour faciliter les expérimentations et les entraînements opérationnels. En effet, là où certains états se servent des véritables théâtres de guerre comme laboratoire expérimental pour leurs essais, ou encore utilisant un espace aérien bien moins normé que le nôtre, la France doit légiférer au plus juste pour prendre en compte et avancer sur ce nouveau champ de confrontation. Une lueur d'espoir repose sur le développement en cours du projet « *U-Space Together 2023* » qui a vocation à simplifier la réglementation au sein de l'espace aérien européen.

La croissance de l'autonomie des essais requiert un second axe de progrès, la licéité de l'intelligence artificielle :

- Définition de la responsabilité lorsqu'un acte répréhensible est commis par interface IA : le constructeur ? le créateur d'algorithmes ? l'intégrateur ?
- Sur les fonctions à hautes valeurs ajoutées, l'explicabilité de la logique de la « boîte noire » doit progresser pour que les actes découlant d'une action gérée par l'IA soit compréhensible et justifiable aux yeux de la loi, du commandement et de l'éthique.

Enfin, le domaine des essais de drones gagnerait à davantage de flexibilité et d'agilité sur les modes d'acquisition et de développement du marché public pour coller en permanence à ces technologies fortement évolutives. Davantage d'aisance pour l'achat sur étagère en masse de produits COTS³³, permettrait de combler certaines lacunes capacitaires, comme acquérir sur étagère des flottes dédiées à la détection, grâce à des micro-drones de commerce et focaliser la R&D et ses programmes sur l'essor des nouvelles technologies, telles l'IA et la conduite d'un essaim.

4.3 Perspectives capacitaires et technologiques

4.3.1 Epaissir la capacité existante

La première évolution capacitaire sera de construire une masse critique et se défaire de l'inflation technologique chère aux programmes de Défense français.

En effet la masse a été souvent malmenée face à l'approche technologique, équipant les armées de matériels de pointe mais coûteux (drone MALE). Réviser les spécifications au plus juste, permettrait d'acheter une masse critique de vecteurs, mais également une base de données conséquente pour nourrir l'IA et développer l'essaim de drones, en partant d'un système moins complexe mais pour lequel la masse faciliterait l'expérimentation. La recherche se

³³ Commercial Off-The-Shelf

focaliserait ainsi davantage sur l'adaptation, le système de communication/ d'information et l'apprentissage de l'IA que sur des vecteurs performants. Face à des systèmes parfois low cost de nos compétiteurs, la masse pourrait en effet lutter plus efficacement qu'un système complexe, à l'instar des systèmes MAMBA qui se retrouvent inefficaces face à des drones bas de gamme.

De plus, pour intégrer son vecteur à un système tel l'essaim, la France doit pouvoir travailler de manière autonome, sur les différentes briques capacitaires. L'essor des essaims de drones passera donc par le rattrapage français de son retard sur le segment drones. En effet, faute de stratégie nationale ou européenne, la France a été contrainte d'acheter sur étagère, le drone américain (Reaper).

Des travaux sur la miniaturisation sont également obligatoires pour développer des systèmes de communication et optroniques embarquables sur drone.

De plus, pour répondre à l'enjeu de l'espace aérien, la normalisation des règles de trafic à très basse altitude doit s'accélérer face à une densification du milieu. Une étude est en cours sur un système de navigation aérienne et de contrôle de l'espace aérien de TBA³⁴. La réflexion est en cours au niveau OACI³⁵ pour bâtir un modèle de navigation pour l'espace aérien de basse couche, l'Unmanned air system traffic management (UTM).

4.3.2 Une recherche plus agile

Afin de demeurer dans le *battlerythm* de l'évolution des technologies d'essaims, des efforts doivent être consacrés pour une recherche plus agile :

- **Privilégier les études duales :** certaines technologies développées par des PME permettent d'ores et déjà le pilotage d'essaim. La dualité permet de diversifier les capitaux d'entreprise et limite la prédation des marchés étrangers mais également des industriels dominant la BITD.
- **Protéger ses pépites :** La conservation dans le giron, des pépites nationales est primordiale sur ce domaine technologique si concurrencé. Il apparaît donc impératif de structurer une filière de la Défense autour de ces systèmes alliant drones et autonomisation, pour associer les industriels historiques à des PME et start-up innovantes. L' Association du Drone de l'Industrie Française (ADIF) propose cette initiative, embryonnaire d'une filière « drone », regroupant pour le moment, une quinzaine d'acteurs liés à cette industrie.

4.3.3 Développer le segment de l'IA

³⁴ Très Basse Altitude

³⁵ Organisation de l'Aviation Civile Internationale

L'autonomisation de l'essaim est liée au développement de l'IA, son acceptation à une IA performante. Les évolutions capacitaires à venir devront donc être traitées :

- Développer le traitement en temps réel grâce à des réseaux et des algorithmes plus performants et des capacités de calcul de masse, notamment en prenant en marche la révolution du quantique. Le limitant sera alors le calculateur à bord des drones. Il y aura un équilibre à trouver dans un environnement contesté par la guerre électronique, à faible bande passante, entre l'autonomie et les données qui doivent être transmises à l'opérateur superviseur. Le programme CODE³⁶ de la DARPA³⁷ développe des solutions exportables pour des échanges en milieu électronique dégradé.



Image : Le concept CODE , extrait du site Defense One³⁸,

- S'affranchir suffisamment des biais de l'IA, qui pourrait amener à une dérive du système :
 - Acquérir une maîtrise et une taille importante de la banque de données, servant à l'IA pour s'éduquer : bibliothèques de signatures des équipements, nature des liaisons entre les systèmes. Face à la haute sensibilité de ces données et à la masse, des moyens de stockage sécurisés devront être déployés.
 - Valoriser l'IA symbolique, dans un premier temps, davantage explicable, qui permet la modélisation des connaissances et raisonnement, en les traduisant par des algorithmes :
 - Continuer à travailler sur l'IA d'apprentissage autonome, « *deep learning* », avec une léicité plus complexe.
 - Conserver des mécanismes de vérification humaine : par batch d'échantillonnage par exemple.

³⁶ Collaborative Operations in Denied Operations

³⁷ Defense Advanced Research Projects Agency

³⁸ <https://www.defenseone.com/technology/2018/11/us-militarys-drone-swarm-strategy-just-passed-key-test/153007/>, réalisée par "An artist's concept of the CODE program DARPA

- Renforcer la protection de ce type de données, leur utilisation, leur mise en commun pour permettre un développement cohérent de l'IA entre les trois armées, tant sur le plan doctrinal que sur la logique de moyens.
- Rechercher la lisibilité du fonctionnement de la boîte noire pour les fonctions à haute valeur ajoutée, notamment pour assurer la bonne gestion des cas non conformes
- Développer l'expérimentation et la simulation essentielles au bon apprentissage de l'A et par conséquent aux essais : accès facilité à des espaces aériens dédiés, développement de la simulation, construction top-down des règles de comportement en fonction du RETEX.
- Accélérer et renforcer le RETEX : L'acquisition de calculateurs modernes employés avec l'IA permettrait un traitement rapide et complet des RETEX des opérations et des exercices (Libie, Dombass ...) et des tactiques employées par les systèmes de drones en opérations. Le ministère pourrait dès lors enrichir les réflexions sur les futurs modes d'actions possibles, le type de SMA nécessaire (meute, essaim...) et développer la doctrine inhérente.

La nouvelle conflictualité impose désormais des changements de paradigme. Si l'emploi des SMA, de la salve à l'essaim, doit être intégré dans les doctrines offensives et défensives, il s'accompagne d'évolutions capacitaires, notamment la miniaturisation pour doter l'essaim de fonctions variées, l'intégration de l'intelligence artificielle mais également la massification de nos moyens, afin d'éviter le déclassé stratégique.

Conclusion

Le ministère des armées présage et réfléchit les nouveaux combats. Le roman prospectif de la Red Team « *Ces guerres qui nous attendent 2030-2060* » projette les essaims de drones autonomes tant en défenseur des hyperforteresses grâce à une couverture de masse, mais encore en groupes d'attaques. A la fois vecteurs de capteurs et effecteurs légers, les drones voient leurs effets démultipliés grâce à leur intégration au sein de système automatisé voire autonome. Au regard des conflits récents, force est de constater qu'il ne s'agit pas de fiction, mais au mieux de la spéculation sur un avenir très proche.

Afin d'éviter tout déclassement stratégique, face à des nations qui densifient leurs systèmes de drones, progressent sur l'autonomisation, la France doit répondre aux enjeux imposés par ces nouveaux systèmes de combat.

D'un point de vue opérationnel, elle doit prendre compte cette menace croissante, qui se révèle également une nouvelle arme et aborder avec désinhibition les perspectives doctrinales que cela offre.

D'un point de vue éthique et juridique, deux problématiques principales se posent : l'armement et le degré d'autonomisation concédé par la chaîne de commandement. Si la France assume sa volonté de ne pas utiliser de SALA, le SALIA reste un compromis efficace, permettant de conserver sa dynamique de recherche tout en préservant une éthique de combat. Quant à l'autonomisation, le panel de la salve, meute ou essaim offre une modularité de délégation de fonctions, dont le chef militaire doit se servir pour maintenir le doigt sur la gachette tout en restant dans le rythme accéléré de la boucle OODA. Les nouvelles générations de militaires devront ainsi accepter de travailler avec l'IA, seule solution possible dans un champ contesté, saturé d'information où l'espace temps se contraint à chaque nouveau conflit.

Pour rendre cela possible, le virage des essaims appelle à demeurer dans la course capacitaire des nouvelles technologies tout en densifiant le tissu des systèmes modulaires de drones. Les perspectives sont désormais à la miniaturisation, aux liaisons de communication réduites, à la réduction de l'empreinte électromagnétique et à la massification.

Cette révolution capacitaire et légale trouvera ses forces et sa soutenabilité dans une filière cohérente de la BITD, française mais surtout européenne. L'Europe de la Défense se doit en effet de porter cette cohérence, tant légale, que normative, et protéger les différentes briques capacitaires nécessaires au vol de l'essaim.

De plus, face à des systèmes existants, souvent complexes et onéreux, les essaims de drones offrent un vecteur de combat, modulaire, résilient, de profondeur, adaptable et rentable. Ils sont le bras armé ou non, des opérations de demain, des défis lancés sur les théâtres de haute intensité comme dans les affrontements hybrides ou de guerillas. Opérant au sein d'engagements dynamiques, dans un environnement contesté A2/AD, brouillé, les essaims symbolisent la nouvelle conflictualité avec lequel le chef militaire se bat, le nouveau système contre lequel le soldat se bat.

A ce jour, certaines interrogations demeurent. Pointant du doigt les divergences possibles de l'autonomisation, certains verrous intellectuels et juridiques garantissent encore une éthique de combat en conservant l'humain dans la boucle du système de drones armés. Cela sera-t-il suffisant, dans une conflictualité exacerbée, à la violence désinhibée, où certains individus comme de nombreux états ont accès à ces technologies d'essaim, avec une éthique bien moins attentive à la discrimination, au respect du droit de la guerre ? Rien n'est moins sûr.

Face à l'accélération du rythme tactique, à la saturation de l'information, l'homme sait d'ores et déjà qu'il devra céder toujours davantage de place à la machine. De son hyperréactivité dépendra sa victoire dans l'hyperwar marquée par la vitesse.

Albert Einstein déclarait : « *Il est hélas évident aujourd'hui que notre technologie a dépassé notre humanité* »

Ethique, commandement responsable, place du soldat et du chef, doivent alimenter une réflexion continue qui doit sans cesse s'adapter au tempo du théâtre moderne, au rythme de ce nouveau ballet : l'essaim.



Image : <https://www.techeblog.com/darpa-offset-drones/>

GLOSSAIRE

A2AD	: Anti-access/Area Denial
AASM	: Armement Air-Sol Modulaire
ADIF	: Association du Drone de l'Industrie Française
AID	: Agence de l'Innovation de Défense
AQMI	: Al-Qaïda au Maghreb Islamique
AR-LAD	: Adaptation Réactive de Lutte Anti-Drones
BASSALT	: BASSE ALTitude
BITD	: Base Industrielle et Technologique de Défense
BTP	: Bâtiments et Travaux Publics
C2	: Control and Command Computerized Command, Control, Communications, Intelligence, Surveillance,
C4ISR	: Reconnaissance
CDAOA	: Commandement de la Défense Aérienne et des Opérations Aériennes
CILAS	: Compagnie Industrielle des LASers
COCA	: Cohérence Capacitaire
CODE	: Collaborative Operations in Denied Environment
COTS	: Commercial Off-The-Shelf /produit informatique standard
C-UAS	: Counter-Unmanned Aerial Systems
DARPA	: Defense Advanced Research Projects Agency
DEAD	: Destruction of Enemy Air Defenses
DGA	: Direction Générale de l'Armement
DIA	: Doctrine Interarmées
DPSA	: Dispositif Particulier de Sécurité Aérienne
DSA	: Défense Sol-Air
ETI	: Entreprise de Taille Intermédiaire
HPM	: High Power Micro-wave
IA	: Intelligence Artificielle
IADS	: Integrated Air Defense Systems
IR	: Infra-Rouge
ISR	: Intelligence, Surveillance and Reconnaissance
LAD	: Lutte Anti-Drones
LPM	: Loi de Programmation Militaire
MILAD	: Moyens Interarmées de Lutte Anti-Drones
MMCM	: Maritime Mine Counter Measures
NGF	: Next Generation Fighter
OACI	: Organisation de l'Aviation Civile Internationale
OODA	: Observe, Orient, Decide and Act.
OPEX	: OPérations EXtérieures
PARADE	: Protection Déployable Modulaire Anti-Drones
PTD	: Plans d'études techniques et de développement
R&D	: Recherche & Développement
SALA	: Système d'Armes Létal Autonome
SALIA	: Système d'armes létal Intégrant de l'Autonomie
SCAF	: Système de Combat Aérien du Futur
SDA	: Système de Drone Aérien
SEAD	: Suppression of Enemy Air Defenses

SLAMF	: Système de Lutte Anti-Mines du Futur
SMA	: Système Multi-Agents
	Service de Préparation des Systèmes et d'Architectures/Direction Générale
SPSA/DGA	: d'Armement
TBA	: Très Basse Altitude
UASWG	: Unmanned Aircraft System Working Group
UCAV	: Unmanned Combat Aerial Vehicle
UTM	: Unmanned air system Traffic management
UUV	: Unmanned Underwater Vehicle

BIBLIOGRAPHIE

RED TEAM, *Ces guerres qui nous attendent, 2030-2060*, ed.Des Equateurs Eds, publié le 05/01/2022.

Jean-Jacques PATRY, *La « save manœuvrante » : une avancée décisive dans les combats des 20 prochaines années en attendant l'ère des essais autonomes*, Défense & Industries-n°15, Avril 2021.

France 2030, Stratégie nationale pour l'intelligence artificielle -2^{ème} phase, Dossier de presse, 2021.

MM Cédric PERRIN, Gilbert ROGER, Bruno SIDO et François BONNEAU, *Se préparer à la « guerre des drones » : un enjeu stratégique*, Rapport d'information n°711 au nom de la commission des affaires étrangères, de la défense et des forces armées, juin 2021.

Ministère des armées, Comité d'éthique de la Défense, *Avis sur l'intégration de l'autonomie dans les systèmes d'armes létaux*, 29 avril 2021.

Compte-rendu n°73 Commission de la défense nationale et des forces armées, présidence de Mme Françoise DUMAS, juillet 2021.

Instruction ministérielle n°6255/ARM/CAB relative à l'examen de la licéité des nouvelles armes et des nouveaux moyens et méthodes de guerre, en application de l'article 36 du Protocole I aux Conventions de Genève du 12 août 1949, Bulletin officiel des armées, n°173 du 6 novembre 2019.

Alain JAOUEN, *Accompagnement du déploiement des robots au ministère des armées*, note CGARM, Ministère des armées, novembre 2019.

Rapport public annuel 2020 de la Cour des comptes, tome I/ Finances, politiques et gestion publiques, février 2020.

Publication inter-armées PIA-3.3.1.8, *Lutte anti-drones aériens*, N° 03/ARM/CICDE/DR du 25 janvier 2021.

Centre interarmées de concepts, de doctrines et d'expérimentation, *Ens.OPS.IA-3.3.8(1) sur l'emploi opérationnel des systèmes de drones aériens et sur la lutte anti-drones aériens au sein des armées françaises et alliées*, N° 54/ARM/CICDE/DR du 12 juillet 2021.

Lettre datée du 8 mars 2021, adressée à la Présidente du Conseil de sécurité par le Groupe d'experts sur la Libye créé par la résolution 1973 (2011) du Conseil de sécurité, n° S/2021/219, publié le 8 mars 2021.

Mr Thomas SOUSSELIER, Thèse Conception et validation d'un algorithme de mise en formation d'essaim de micro-robots sous-marins auto-organisés, Université de Bretagne-Sud, Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Information, de la Communication et de la Connaissance (UMR 6285 CNRS), soutenue le 6 décembre 2013, <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01096431>

Mme Sarah GUENDOUZ, *Essaims de drones : quels enjeux pour le combat de haute intensité*, Note de recherche prospective, Armée de terre , CDEC juillet 2021

Gulf Security after 2020, Rapport, The international Institute for Strategic Studies

Articles de presse relevés dans 20191209 DR DGA-DS-S2IE-SIE-BIE Dossier-veille-macro-économique-Défense-anti-drone-nov-2019

ANONYME, *Les drones anti-drones arrivent sur le champ de bataille*, site Intelligence Online, publié le 5 novembre 2019.
<https://www.intelligenceonline.fr/surveillance-interception/2019/11/05/les-drones-anti-drones-arrivent-sur-le-champ-de-bataille,108380194-art>

Dylan MALYASOV, *Lockheed Martin demonstrates its new laser weapon system*, publié le 8 novembre 2019.
<https://defence-blog.com/lockheed-martin-demonstrates-new-laser-weapon-system/>

ANONYME, *Thales présente une nouvelle solution pour protéger les sites sensibles des drones malveillants*, site Thales Group, publié le 19 novembre 2019.
https://www.thalesgroup.com/fr/group/press_release/thales-presente-une-nouvelle-solution-protger-sites-sensibles-des-drones

Anne BAUER, *Les drones, nouvelle terreur sécuritaire* , publié le 19 novembre 2019.
<https://www.lesechos.fr/industrie-services/air-defense/les-drones-nouvelle-terreur-securitaire-1148913>

Articles de presse relevés dans 20210406 NP IEsphere-Actualité-Presses-Industrie-Drones-APID-mars-2021-2ème-quinzaine

M Laurent LAGNEAU, *Des navires de l'US Navy ont été suivis par de mystérieux essaims de drones* , site Zone militaire, publié le 25 mars 2021.
<http://www.opex360.com/2021/03/25/des-navires-de-lus-navy-ont-ete-suivis-par-de-mysterieux-essaims-de-drones/>

M Baptiste GUILLOU, *MORFIUS, le drone anti-essaim qui embarque une arme à micro-ondes* , site Air & Cosmos, publié le 24 mars 2021.
<https://air-cosmos.com/article/morfiusle-drone-anti-essaim-qui-embarque-une-arme-micro-ondes-24479>

Articles de presse relevés dans 20210416 NP IEsphere-Actualité-Presses-Industrie-Drones-APID-avril-2021-1ère-quinzaine

M Daniel FONTAINE, *Les munitions rôdeuses, ces nouvelles armes intelligentes qui choisissent elles-mêmes leur cible*, site RTBF Info, publié le 6 avril 2021.

<https://www.rtbef.be/article/les-munitions-rodeuses-ces-nouvelles-armes-intelligentes-qui-choisissent-elles-memes-leur-cible-10731862>

M Tong ONG, *South Korean Army Vows Early Deployment of 'Dronebot' Combat System*, Site The Defense Post, publié le 13 avril 2021.

<https://www.thedefensepost.com//?s=+South+Korean+Army+Vows+Early+Deployment+of+%E2%80%98Dronebot%E2%80%99+Combat+System>

M Yannick GENTRY-BOUDRY, *Drones turcs dans le Dombass*, site Air & Cosmos, publié le 12 avril 2021.

<https://air-cosmos.com/article/drones-turcs-dans-le-dombass-24617>

M.Jonathan PAIANO, *Cette arme à micro-ondes pourrait neutraliser instantanément un essaim de drones militaires*, site Trustmyscience, publié le 14 avril 2021.

<https://trustmyscience.com/arme-micro-ondes-pourrait-neutraliser-instantanement-essaim-drones/>

Articles de presse relevés dans 20210705 NP IEsphere-Actualité-Presses-Industrie-Drones-APID-juin-2021-2ème-quinzaine

Mme Elise VINCENT, *Guerre des drones : la menace des essaims*, Site Le Monde, publié le 25 juin 2021.

https://www.lemonde.fr/international/article/2021/06/25/guerre-des-drones-acte-ii-la-menace-des-essaims_6085696_3210.html

Mr Yannick SMALDORE, *"Robots-tueurs" : entre légendes et réalités, de quoi doit-on avoir peur ?*, site Clubic, publié le 19 juin 2021.

<https://www.clubic.com/robotique/dossier-374366-robots-tueurs-entre-legendes-et-realites-de-quoi-doit-on-avoir-peur-.html>

Mr Olivier JAMES, *Coup d'envoi de la filière industrielle des drones*, Site L'USINENOUVELLE, publié le 16 juin 2021.

<https://www.usinenouvelle.com/article/coup-d-envoi-de-la-filiere-industrielle-des-drones.N1106529>

ANONYME, *AID - Projet DOREDO pour la détection d'obstacles par radar embarqué sur drone*, Site de la Défense/AID, publié le 28 juin 2021.

<https://www.defense.gouv.fr/actualites/projet-dored-detection-dobstacles-radar-embarque-drone>

Mme Anne BAUER, *Nouveaux nuages sur l'Eurodrone*, site Les Echos, publié le 23 juin 2021.

<https://www.lesechos.fr/industrie-services/air-defense/nouveaux-nuages-sur-leurodrone-1326339>

Mme Léna COROT, *Anduril lève 450 millions de dollars pour sa solution de détection des drones et des intrus*, site L'USINEDIGITALE, publié le 18 juin 2021.

<https://www.usine-digitale.fr/article/anduril-leve-450-millions-de-dollars-pour-sa-solution-de-detection-des-drones-et-des-intrus.N1107739>

Mr Nathan GAIN, *Du neuf sur PARADE, future solution anti-drones du ministère des Armées*, Site Force Operations blog, publié le 23 juin 2021.

<https://www.forcesoperations.com/du-neuf-sur-parade-future-solution-anti-drones-du-ministere-des-armees/>

ANONYME, *Comment l'armée de terre a bricolé son propre système anti-drone*, Site Intelligence On line, publié le 25 juin 2021,

<https://www.intelligenceonline.fr/surveillance--interception/2021/06/25/comment-l-armee-de-terre-a-bricole-son-propre-systeme-anti-drone,109675393-art>

Annexe I : Recensement des capacités des nations clés dans le domaine de l'essai de drones

Type	Drones	BITD	Etat d'une capacité systèmes de drones	Particularités
TURQUIE				
Combat/surveillance/enseignement	Bayraktar TB-2 (drone de combat d'altitude de croisière moyenne et de longue autonomie (MALE))	Baykar TAI (Turkish aerospace industries)	<p>1/ BITD autonome couvrant un domaine complet et visant le déploiement de flottes de drone et l'émergence de salve :</p> <ul style="list-style-type: none"> -un retour d'expérience riche -le développement rapide de briques technologiques essentielles aux systèmes de drones autonomes : le C2 adapté aux opérations réseaux-centrées, la capacité létale des drones ISR et une brique « guerre électronique » nécessaire pour opérer dans des zones moins permissives. - la volonté d'acquérir une capacité de production endogène des composants provenant des Etats-Unis pour supprimer l'impact d'éventuelles interdictions internationales de vente d'armes <p>2/ Engagement direct sur les conflits syriens et indirect en fournissant les forces azerbaïdjanaises et lybiennes : expérimentation de salve de drones .</p>	Coût d'un système (coût complet programme) : un système de drones Bayraktar TB2 (3 drones et cabines de pilotage) coûte environ 15 Meuros au lieu d'environ 100 Meuros pour un système REAPER ou une estimation à 200 Meuros pour l'EUROMALE. Par des coûts moindres, la Turquie ouvre un marché d'acquisition de systèmes semi-autonomes aux puissances régionales proxy et entités non étatiques
Systèmes d'armes létaux autonomes (SALA) I	Kargu-2	STM (Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.)	<p><i>En bref</i> : La filière drone turque se caractérise aujourd'hui par une crédibilité <i>combat proven</i> bénéfique pour les exportations (Azerbaïdjan, Qatar, Ukraine, Tunisie) et la vitalité industrielle, la maîtrise grandissante des capacités d'emploi en combinaison de moyens et d'effets (saturation et salve manœuvrante), servi par un processus de développement capacitaire particulièrement agile.</p> <p>=> capacité SALVE MANOEUVRANTE ACQUISE</p>	

Type	Drones	BITD	Etat d'une capacité systèmes de drones	Particularités
CHINE				
drone de combat d'altitude de croisière moyenne et de longue autonomie (MALE)	CAIC Wing Loong II Rainbow CH7/CH5	China Aviation Industry Corporation Ziyan	<p>1/ Objectifs de la Chine : automatiser les capteurs ISR longue portée sous-marins et aériens pour contrer les porte-avions et forces avancées américaines ; bénéficier d'ici 10 ans, d'un essaim autonome, à portée tactique comme opérative, pour user l'adversaire et appuyer les tirs de missiles. L'IA devrait concentrer à elle-seule un budget de 59 Mds \$ en 2025 et 150 Mds en 2030*.</p> <p>2/ BITD : travaux centrés sur la robotique et intelligence artificielle. Programmes majeurs en cours :</p> <ul style="list-style-type: none"> - New generation AI development plan de 2017 : programme sur 13 ans focalisé notamment sur les drones légers en essaims d'abeille, les architectures auto-organisées de réseaux, technologie de mise en réseau et de positionnement des essaims. -Expérimentations multidomaines ouvrant la voie à des systèmes de drones aux effets combinés : menées sur le Morning Star, un drone solaire dont les ailes pèsent moins de 20 kilos, le CH901, un drone kamikaze assez petit pour être porté par un soldat, et un drone amphibie, qui peut attaquer des sous-marins. <p>* : A Next Generation Artificial Intelligence Development Plan, China State Council, 2017</p>	Puissant exportateur d'aéronef autonome militaire : Arabie Saoudite, Irak, Nigéria, Yemen, Pakistan, Ouzbékistan, Emirats arabes unis
			<p>3/ En particulier :</p> <ul style="list-style-type: none"> -développement d'un groupe automatique de 10 drones aériens tactiques, dont une présentation eut lieu en Turquie en 2019, composé de Blowfish A2 et A3, équipés d'armes automatiques, grenades et potentiellement capables de traiter automatiquement des objectifs à terre sur une zone prédéterminée sous supervision humaine. -En septembre 2020, l'Académie chinoise d'électronique et d'information technologique (CAEIT) a dévoilé un concept permettant le lancement d'un essaim de plusieurs dizaines de drones à partir d'un camion ou d'un hélicoptère. <p>=> capacité SALVE MANOEUVRANTE ACQUISE</p>	

Type	Drones	BITD	Etat d'une capacité systèmes de drones	Particularités
ISRAEL				
(MALE pour missions stratégiques et tactiques), drone tactique de reconnaissance	IAI-Eitan), Hermes 450, Hermes 900, Heron (MALE pour missions stratégiques et tactiques), Orbiter3	Israel Aerospace Industries (IAI) Elbit systems Aeronautics Defense Systems /Israël	<p>1/ Enjeu : les tensions sécuritaires régionales et le bellicisme latent israélo-iranien amènent les forces armées à développer des moyens de surveillance, de protection et de ciblage. Ces systèmes devront saturer la défense sol/air régionale non permissive et traiter les cibles d'opportunité; allégeant ainsi la tâche de l'aviation qui se concentre sur les missions d'interdiction. De plus, il y a une volonté permanente d'accélérer le processus de décision, en libérant l'automatisation des systèmes.</p> <p>2/Performance du segment drone : pour répondre à ces enjeux, Israël développe ce domaine depuis 50 ans, avec une capacité d'innovation et de mise en service opérationnelle extrêmement rapide. La BITD est composée d'entreprises de renommée mondiale et de start-up pour les technologies de pointe, telles la connectivité, la mise en oeuvre d'essaim, l'IA et les lasers anti-drones.</p> <p>3/ Pour les systèmes de drones, l'Israël détient donc en quasi-autonomie, les briques nécessaires pour, une fois combinées, constituer une salve manoeuvrante : gamme de missiles aéroportés, munitions maraudeuses utilisables en téléopération ou en vol automatique sous supervision.</p> <p>- Programme majeur Momentum : production de milliers de machines aériennes et terrestres qui agiront en groupe puis essaim collaboratif.</p>	<p>Exportateur puissant : Maroc, Amérique du Sud, Allemagne, Grèce, Canada, Singapour</p> <p>Selon NewScientist, en mai 2021, les Forces de défense israéliennes affirment avoir utilisé une IA et des supercalculateurs pour identifier des cibles des frappes. Le système serait un essaim de drones guidés par cette IA qui aurait procédé à l'identification dans la bande de Gaza après que les supercalculateurs aient analysé les données collectées par des satellites, des aéronefs et des troupes au sol.</p>
Munitions téléopérées	HAROP			

Type	Drones	BITD	Etat d'une capacité systèmes de drones
IRAN			
drone aérien de reconnaissance et combat MALE	Ababil (drone kamikaze) Shahed 129, Saegheh-2 Kaman22, Gaza	Iran Aircraft Manufacturing Industrial Company (HESA)	<p>1/ BITD : l'Iran possède une capacité de production drone, complémentaire de son arsenal. Si certaines démonstrations directes ou par le biais de conflits proxy (Yémen, Irak) font état d'un segment de drones à technologie avancée, un doute subsiste sur les capacités annoncées sans transfert de technologies. En effet, les différentes sanctions de la communauté internationale et les embargos depuis 2015, ont limité l'accès à l'Iran de certaines briques technologiques. Le segment drone souffre notamment d'un déficit sur la navigation et les liaisons de données, avec des conséquences sur les capacités de permanence et d'allonge de la flotte iranienne. Le segment propulsion est également lacunaire.</p> <p>2/Cependant, contournant les sanctions, adaptant des technologies étrangères tombées entre leurs mains, l'Iran a su faire montre de capacité d'adaptation de certaines technologies avec les possibilités de production nationales : le superdrone GAZA ressemble ainsi énormément au drone chinois Wing Loon2. A ce jour, l'Iran a acquis une capacité de production de drones. Si l'Iran ne peut accroître sa flotte conventionnelle, elle peut en revanche rapidement étendre ses capacités pour la guerre asymétrique.</p> <p>3/ L'autonomie et l'intelligence artificielle sont des briques échappant aux sanctions sur l'armement. Les outils de non-prolifération existants, tels que le Régime de contrôle de la technologie des missiles (RCTM), ne sont pas susceptibles d'entraver les efforts de l'Iran pour développer les algorithmes qui permettront l'essaimage autonome <i>low cost</i>.</p> <p><i>=> pas de capacité internationalement reconnue de système de drones organisé</i> <i>Réf : rapport de l'IISS (International Institute for Strategic Studies) "Gulf security after 2020, 2017.</i></p>

Drones	BITD	Etat d'une capacité systèmes de drones
ETATS-UNIS		
Predator RQ-9 , Reaper MQ9 XQ 58 (attaque), Global HAWK MQ9B/MQ 4 (renseigne- ment), SEA HUNTER et SEA HAWK(dr one maritime)	DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) du département de la Défense américain.	<p>1/ Enjeu : les Etats-Unis mènent une vaste initiative capacitaire Third Offset Strategy (TOS) pour contrer les capacités de déni d'accès et d'interdiction, notamment dans les zones disputées aux chinois et aux russes.</p> <p>2/ Montée en puissance de l'autonomie des systèmes de drones :</p> <ul style="list-style-type: none"> - les Etats-Unis possèdent une BITD autonome et disposant de tous les composants à un système complètement autonome; - le développement est réalisé par test incrémental des différentes briques nécessaires aux essais : communication et repérage des agents, navigation automatique, autonomie du repositionnement dans l'essaim. Les tests sont réalisés avec des microdrones peu coûteux et disponibles en masse. Une fois la brique approuvée, les algorithmes sont modifiés pour augmenter le nombre d'agents au sein du système. <p>3/ Avancées :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 2014 : programme Perdix du Naval Air System Command : test d'un système multi-agents pour une mission de reconnaissance aérienne avec pour objectifs la couverture optimale de la zone survolée et la réorganisation de près de 1000 agents en vol. - fin 2017 : Programme CODE » Collaborative operations in denied environment » : mise en œuvre sur un terrain de l'US air force, d'un essaim de drones aériens autonomes dans un environnement contesté - Programme OFFSET Offensive Swarm-Enabled Tactics pour équiper l'infanterie d'un essaim de 250 drones pour environnement urbain. Simulation virtuelle des engagements. - 2019 : Développement d'un pod Agile condor adapté au Reaper, permettant le traitement à bord du drone d'une importante masse de données par l'IA. Sa puissance de calcul pallie le risque de rupture de transmission. <p>4/ Outil : la DARPA est une agence du Pentagone dédiée à la R&D des technologies de rupture à usage militaire, dotée d'un budget de 3 Mds \$.</p>
	US Navy	<p>Programme « Low cost UAV swarming Technology » LOCUST, lancé en 2016 : mise en œuvre d'un essaim de mini-drones autonomes pour submerger l'adversaire. Ce programme a pour objectif de vérifier la gestion d'un essaim de 30 machines. Lancés depuis un tube de lance-roquettes, les drones sont non récupérables, équipés de charge utile ISR, pour désignation d'objectif et employés en munition rodeuses.</p> <p>=> Le "super-essaim" intègre ainsi la doctrine offensive de combat américaine, avec un système envisagé à 10 000 mini-drones.</p>

Drones	BITD	Etat d'une capacité systèmes de drones
ETATS-UNIS		
	United States Marine Corps	<p>Programme OPF (Organic Precision Fire) : développement d'un système de drones/munitions maraudeuses, opérant en groupe avec un seul téléopérateur, capable d'attaques de drones adverses, d'appui ISR, d'appui-feu aux troupes au sol. Ce système pourra embarquer des charges modulaires : capteurs ISR, guerre électronique, charges militaires. Prévu d'être mis en service en 2022, il s'agit ici d'un véritable démonstrateur pour la salve de drones avec une recherche de volume important d'agents et davantage d'autonomie.</p> <p>=> déploiement de la salve de drones</p>
Coyotte	Raytheon	<p>Etudes amont en cours : le mini-drone Coyotte devrait servir de base à de nombreux programmes dans la marine, l'armée de l'air et l'armée de terre. Ce drone peut réaliser des vols en autonomie, avec un lanceur aérien à faible coût ; il présente une liaison de sonnée résistante et un logiciel permettant de voler en essaim autonome, avec possibilité d'un reciblage et une réaffectation dynamiques en vol, ainsi que des attaques synchronisées coopératives et de saturation. => acquisition de la brique IA avec une semi-autonomie</p> <p>ref : Military & Aerospace Electronics, sur https://www.militaryaerospace.com, 2021/04/02</p>
Mini-drones dérivés du De Havilland	Northrop Grumman	Programme Remedy : groupe synchrone de plusieurs mini-drones pour renforcer la capacité embarquée de guerre électronique du EA-18G Growler
	United States Air Force (USAF)	<p>Programme Golden Horde : intégration dans un même ensemble collaboratif et synchrone de missiles de croisière, munition stand off et leurre. Pour un schéma tactique préselectionné par un opérateur, le concept est donc un ensemble composite de machines capables reconnaître une zone, d'identifier les cibles, brouiller, traiter et se reconfigurer, avec pour objectif de percer la bulle de défense sol-air adverse et ouvrir des couloirs sécurisés pour les autres composantes aérospatiales.</p> <p>=> déploiement de la salve de drones</p>

Type	Drones	BITD	Etat d'une capacité systèmes de drones
ETATS-UNIS			
	Drone XQ-58A Valkyrie et mini-drone ALTIUS-600.	KRATOS/ USAF	<p>Programme Skyborg* : il vise la création de nuées de drones semi-autonomes exploitant au mieux les dernières technologies IA : à partir de paramètres de missions simples, ces derniers sauront comment gérer au mieux leurs missions d'escorte, l'humain conservant uniquement la décision pour contrôler d'éventuels tirs d'armes, ou pour redéfinir dans l'urgence les paramètres de mission. L'entreprise Kratos** a été sélectionnée par l'US Air Force, avec Boeing et General Atomics, pour fournir prochainement les démonstrateurs du programme. Kratos espère pouvoir proposer le drone furtif Valkyrie, devant être capable d'opérer en essaim, en se répartissant les tâches à accomplir. Il est de surcroît doté de liaisons de données à haut débit et résistantes au brouillage, et serait capable de déployer ses propres essaims de mini-drones sacrificiels, capables d'effectuer une multitude de tâches allant de l'identification de cible à l'attaque électronique, en passant par la lutte anti-drones.</p> <p>* 20210416_NP_Iosphere-Actualité-Presse-Industrie-Drones-APID-avril-2021-1ère-quinzaine.pdf</p> <p>**2021-04-07 – Clubic - Avec son Valkyrie, Kratos démontre la possibilité de déployer des drones... depuis d'autres drones</p> <p>Pour l'heure, les IA intégrées aux drones servent principalement à la gestion du vol, permettant à un opérateur humain de contrôler à distance les paramètres tactiques et la charge utile. A l'avenir, Skyborg vise à doter les drones d'accompagnement de capacités semi-autonomes : à partir de paramètres de missions simples, ces derniers sauront comment gérer au mieux leurs missions d'escorte, l'humain ne restant dans la boucle décisionnelle que pour contrôler d'éventuels tirs d'armes, ou pour redéfinir à la volée les paramètres de mission.</p>

Type	Drones	BITD	Etat d'une capacité systèmes de drones
RUSSIE			
Drone tactique léger de reconnaissance russe Drone d'attaque intercepteur	Altius S-70 Okhotnik Orlan-10 Carnivora	Sukhoi Special Technological Centre de Saint- Petersbourg1	<p>1/ Objectif : la Russie affiche comme priorité, la robotisation de ses forces armées, avec en 2025 un objectif de 30% de systèmes autonomes ou semi-autonomes. Elle souhaite entre autres, acquérir une capacité de saturation rapide au niveau tactique et opératif bas.</p> <p>2/ Domaines privilégiés : micromécanique et électronique, IA (passage de 4,9% à 5,1% du PIB en 2024)</p> <p>3/ Faiblesses : intelligence artificielle et électronique embarquée sur les drones. Les opérateurs humains restent donc irremplaçables pour gestion de SMA au niveau d'automatisation simple.</p> <p>4/ Programme en cours : expérimentation Flock93, mise en œuvre en 2019. Il s'agit d'une task force téléopérée pour reconnaissance de zone avec combinaison de drones équipés de boule ISR, de relai de communication, de drones armés d'attaque et drone de guerre électronique. Ciblant une centaine de machines, aucun vol de la formation n'a néanmoins été rapporté. Ce SMA s'apparenterait à une combinaison de drones leader téléopérés accompagnés de machines asservis en navigation automatique pour une zone préprogrammée. L'attaque serait téléopérée avec sacrifice du drone. La dernière montée en gamme consisterait à remplacer les drones armés par des munitions maraudeuses.</p> <p>=> la Russie détient les briques pour une SALVE voire une MEUTE mais certains domaines restent faibles. Aucune preuve de vol de SALVE à l'heure actuelle</p>
Royaume-Uni			
Drone tactique de renseignement, drone de combat armé	BAE Taranis Qinetiq Zephyr Watchkeeper per WK450 19	Bae systems Airbus Defence & Space Thales	Programme en cours : simulation en 2020 d'une opération de guerre électronique « massive » avec un essaim de drones brouilleurs

Type	Drones	BITD	Etat d'une capacité systèmes de drones
INDE			
	MQ-9B SeaGuardian	Leasing avec General Atomic DRDO (Defence Research and Development Organisation) Start-up (New Space Research and Technologies)	<p>1/ Objectif : l'Inde met en oeuvre une politique d'acquisition de drones et d'un segment lutte anti-drone dans un environnement régional contesté, caractérisée par l'autosuffisance et une technologie indigène.</p> <ul style="list-style-type: none"> - le développement local des technologies de drones en essaim sera particulièrement soutenu. - augmentation de la limite des investissements directs étrangers (IDE) de 49 % à 74 %, - notification de 209 articles de défense qui ne peuvent pas être importés ; - création d'un budget distinct pour l'achat de matériel militaire fabriqué localement. <p>2/ Domaines privilégiés : l'intelligence artificielle, les systèmes d'armes autonomes, les technologies quantiques, la robotique, le cloud et les algorithmes (particulièrement avancés sur les capacités de niche et distinctives)</p> <p>3/ En particulier : en janvier 2021, l'armée de terre indienne a réalisé une démonstration d'un vol de 75 drones en simultané. L'Inde parle d'essaim, avec des simulations offensives multi-cibles. Le système est produit intégralement en Inde</p> <p>cf: 20210406_NP_Iosphere-Actualité-Presses-Industrie-Drones-APID-mars-2021-2ème-quinzaine.pdf UAS Vision, http://www.uasvision.com, 2021/03/24</p> <p>=> si la notion d'essaim n'a pas dépassé la démonstration, l'avancement spectaculaire de l'Inde dans les branches de la haute technologie et la volonté de fonder une BITD autonome permettent d'attribuer la capacité SALVE/MEUTE à court terme, rapidement suivi de l'ESSAIM</p>
COREE DU SUD			
			<p>1/ Domaines forts : robotique.</p> <p>2/ Programme en cours depuis 2017* : reconnaissance et surveillance de la frontière avec la Corée du Nord, avec petits drones en essaim</p> <p>* 20210416_NP_Iosphere-Actualité-Presses-Industrie-Drones-APID-avril-2021-1ère-quinzaine.pdf 2021-04-13 – The Defense Post - South Korean Army Vows Early Deployment of 'Dronebot' Combat System</p>

Annexe II : illustrations



TURQUIE : drone
tactique
Bayraktar TB2/Baykar

TURQUIE : Kargu-
2/STM avec capacité
d'essaimage



CHINE : Wing
Loong II/
Chengdu
Aircraft
Industry
Group

CH-7 Rainbow-7/ China
Academy of
Aerospace
Aerodynamics



ISRAEL : IAI EITAN/Israel
Aerospace industrie

IRAN : drone Ababil , Iran
Aircraft/ Manufacturing
Industrial Company (HESA)



ETATS-UNIS :
REAPER
general ATomics

ETATS-UNIS : PREDATOR
general ATomics



ETATS-UNIS : Drone XQ-58A pouvant larguer le drone ALTIUS 600,
KRATOS

RUSSIE : drone ALTIUS, OKB
Sokol



RUSSIE : drone kamikaze
Kyb, Kalashnikov

GRANDE-BRETAGNE :
drone TARANIS, BAE
system



Annexe III : l'essor de l'IA dans le monde industriel

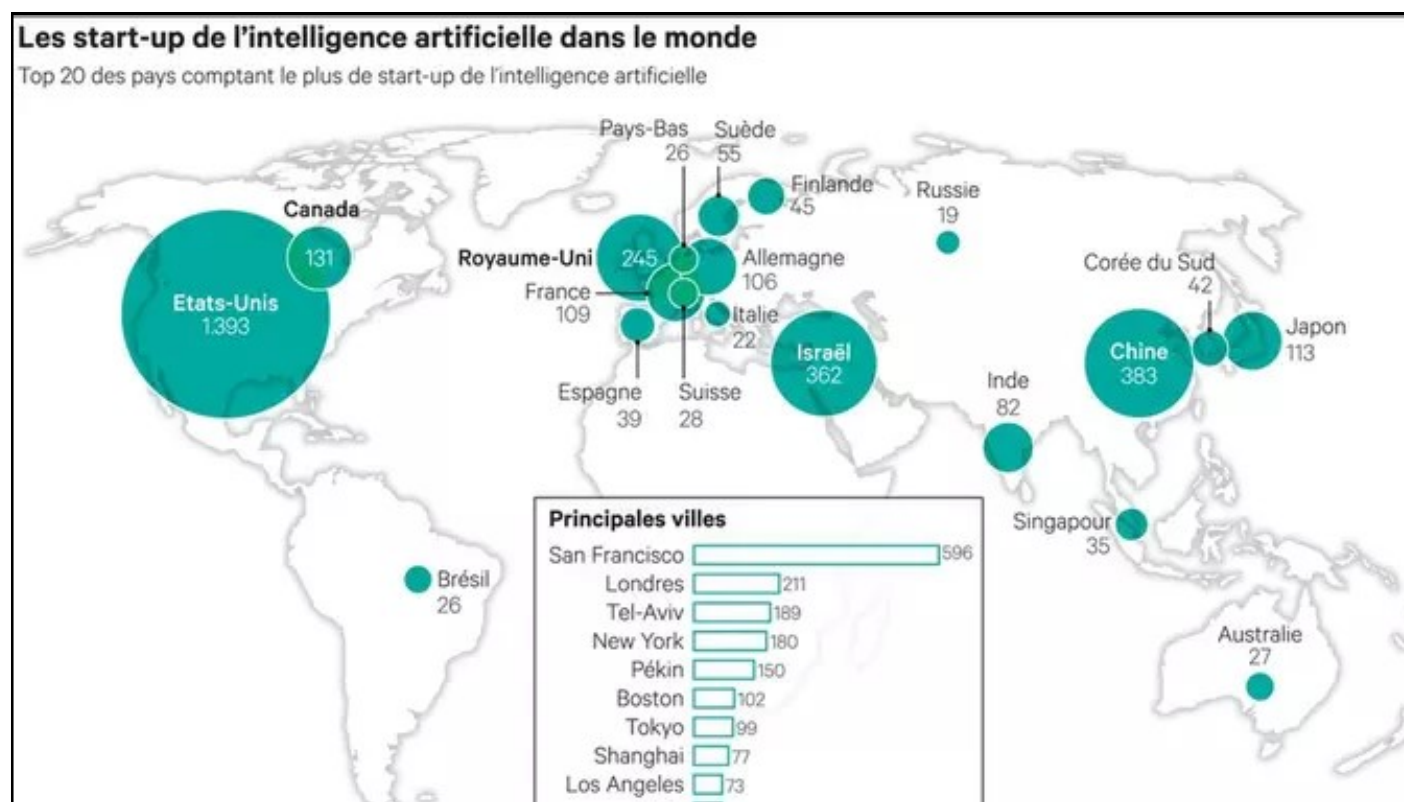


Table des matières

Résumé.....	2
Abstract	4
Introduction	6
1 Définition et classification	8
1.1 Définitions : essaim de drones, de quoi parle-t-on ?	8
1.2 Caractérisation de l'autonomie d'un SMA.....	10
1.3 Elaboration d'une taxonomie	11
2 Etat des lieux : la place de la France face à une menace réelle...	14
2.1 Dronisation des champs de bataille : les essaims, entre guerres hybrides et hyperwar	14
2.1.1 <i>Conflit en Lybie en septembre 2019</i>	15
2.1.2 <i>Campagne turque dans le nord de la Syrie en mars 2020</i>	15
2.1.3 <i>Guerre au Haut-Karabagh à l'automne 2020</i>	16
2.2 La place de la France dans le complexe militaro-industriel mondial.....	17
2.2.1 <i>Le développement de l'essaim à l'étranger</i>	18
2.2.2 <i>Le développement de l'essaim en France</i>	19
2.3 Les programmes en cours sur les essaims	21
2.4 Une lutte anti-drone perfectible	22
2.4.1 <i>Une trop faible capacité de neutralisation face à l'essaim</i>	22
2.4.2 <i>Un effort en cours</i>	23
2.4.3 <i>Des programmes ambitieux</i>	23
2.5 Absence de doctrine offensive.....	24
2.5.1 <i>Suppression of Enemy Air Defenses (SEAD) : une niche vide</i>	24
2.5.2 <i>Une étude qui pose certaines difficultés</i>	25
3 Enjeux : emploi des essaims et LAD associée.....	28
3.1 Enjeu opérationnel	28
3.1.1 Retrouver une liberté d'action	28
3.1.2 <i>Répondre présent à court terme</i>	29
3.1.3 <i>Occuper le domaine offensif du SMA</i>	29
3.1.4 <i>Respecter le battlerhythm des nouveaux champs de bataille</i>	30
3.2 Enjeu éthique.....	31
3.2.1 <i>L'IA et la place de l'homme</i>	31
3.2.2 <i>Le positionnement de la France</i>	32

3.3	Enjeu capacitaire.....	33
3.4	Enjeux juridiques	34
3.4.1	<i>Sécurité aérienne.....</i>	34
3.4.2	<i>Légiférer l'utilisation de l'IA</i>	35
4	Quelques perspectives pour la Défense française	38
4.1	Perspectives opérationnelles	38
4.1.1	<i>Doctrines générale.....</i>	38
4.1.2	<i>La LAD, une priorité</i>	39
4.1.3	<i>Passer à l'offensive grâce à l'essaim.....</i>	42
4.2	Perspectives juridiques.....	43
4.3	Perspectives capacitaires et technologiques	43
4.3.1	<i>Epaissir la capacité existante.....</i>	43
4.3.2	<i>Une recherche plus agile</i>	44
4.3.3	<i>Développer le segment de l'IA</i>	44
	Conclusion.....	48
	GLOSSAIRE	50
	BIBLIOGRAPHIE.....	52
	Annexe I : Recensement des capacités des nations clés dans le domaine de l'essaim de drones	56
	Annexe II : illustrations.....	65
	Annexe III : l'essor de l'IA dans le monde industriel.....	68