



La Lettre de MINERVE

La lettre trimestrielle de Minerve
est éditée par l'Association de l'Enseignement Militaire
Supérieur, Scientifique et Académique

Lettre n° 69 – mai 2026

Table des matières

Éditorial du Président, le Général de corps d'armée (2S) Olivier GOURLEZ de la MOTTE	1
Mot du Directeur général de Minerve, le Général (2S) Nicolas RICHOUX	1
Editorial de la Rédactrice en chef	1
Nouvelles de l'EMSST	2
Le dialogue entre ingénieurs et militaires comme facteur clé de réussite face aux défis militaires contemporains	2
La guerre des drones	2
La guerre des drones : une révolution militaire en marche	3
Les enseignements de la guerre des drones en Ukraine pour l'Armée Populaire de Libération de la République de Chine	4
Les drones et la profondeur du champ de bataille	5
Les drones au service des frappes balistiques terrestres : une (r)évolution tactique	5
Les drones à la fois prédateurs et botte secrète de l'aérocombat ?	6
La détection et le suivi de drones : un enjeu pour la sécurité des emprises militaires - étude d'une solution avec de l'intelligence artificielle	7
Le radar, une arme à énergie dirigée anti-drone ?	8
Vivre sous drones : moral et morale du soldat	9
Les drones hugoliens	10
Informations générales	11
CR de l'AG du 22 janvier 2026	11
Carnet gris	11



La Lettre de MINERVE

La lettre trimestrielle de Minerve
est éditée par l'Association de l'Enseignement Militaire
Supérieur, Scientifique et Académique

Lettre n° 69 – mai 2026

Éditorial du Président, le Général de corps d'armée (2S) Olivier GOURLEZ de la MOTTE Les drones

Ce n'est pas la première fois que la Lettre de Minerve évoque les drones, en revanche cette 69^{ème} édition est la première qui leur est exclusivement consacrée et c'est une bonne chose. En effet, l'utilisation exponentielle des drones dans les conflits armés en cours en fait un sujet brûlant de l'actualité. Le drone est même parfois présenté comme l'armement unique des futurs théâtres d'opération, tellement il semble révolutionner la tactique sur le terrain. Grâce à lui, la « transparence du champ de bataille » relègue dans les placards le « brouillard de la guerre » cher à CLAUSEWITZ.

Qu'en est-il vraiment ?

Avant de répondre à cette question, il faudrait se demander pourquoi la France semble en retard dans la production, tant des drones civils que celle des drones armés. Pourtant depuis longtemps de multiples experts français ont signalé, dans diverses instances, l'avance dans ce domaine bien sûr des États-Unis mais aussi d'autres pays, notamment au Moyen Orient.

Il y a plus de quarante ans que des drones sont exploités, en particulier pour le recueil du renseignement, en logistique et même pour transporter de l'armement. Cependant la réflexion a été confrontée dès l'origine à différentes interrogations relatives à la séparation de l'espace aérien ou bien concernant l'attribution des fréquences nécessaires à leur conduite ou encore vis-à-vis de la sécurité aérienne et plus tard de la navigabilité. Une première étape a

été franchie lorsqu'ont été définis des principes de séparation des porteurs entre types de propulsion, tailles, altitudes de vol, portées...

De nombreuses entreprises se sont lancées dans la production d'engins civils, montrant une maîtrise de savoir-faire complexes. Les micro-drones ont envahi nos espaces, essentiellement à la recherche d'images.

En France, dans le domaine militaire les drones de tous types étaient presque exclusivement cantonnés dans la recherche de renseignements. En effet, l'armement sur un tel système est resté longtemps un sujet interdit. La décision d'emploi d'un drone armé n'est prise que récemment, en 2017.

Grâce à ses capacités industrielles et s'appuyant sur les réflexions menées depuis longtemps sur l'emploi des drones dans les conflits, la France rattrape son retard. L'utilisation de l'Intelligence Artificielle est essentielle pour appréhender ces systèmes et explique en partie les progrès de la France et sa tendance à maîtriser de plus en plus ce domaine.

C'est donc un sujet majeur, source de bien des études et analyses menées par les officiers en scolarité, touchant les aspects industriels, emploi, risques, sécurité, informatiques, etc....

Très bonne lecture à vous.

Mot du Directeur général de Minerve, le Général (2S) Nicolas RICHOUX

Chers amis,

L'année 2026 est déjà bien entamée et la vie de Minerve continue de manière active. L'assemblée générale de janvier a confirmé notre bonne santé générale, tant sur le plan du dynamisme de notre association que du côté de nos finances qui restent saines. Notre crédibilité au sein de l'École militaire et du CEMS-T est clairement confirmée, et nous pouvons nous en féliciter. Beaucoup d'associations ont en effet dû plier bagage !

La conférence de février sur la guerre hybride a été un beau succès avec plus de cent participants, tant en salle qu'en ligne sur Internet. Un grand merci à tous pour l'intérêt que vous nous portez et pour votre soutien dans les activités de Minerve. En plus des conférences à venir pour lesquelles nous comptons toujours sur votre fidélité, notre projet le plus ambitieux, pour la deuxième fois cette année, porte désormais sur l'organisation de notre soirée Alumni, le 16 juin. Elle aura lieu dans les salons du Gouverneur militaire de Paris, ce qui témoigne de notre ambition d'en faire, de concert avec le Colonel Lapacherie, Directeur de l'EMSST, un événement festif annuel d'importance.

Je vous dis à très bientôt !

Editorial de la Rédactrice en chef

Mme Isabelle PRAUD-LION, actuaire agrégé, Professional Fellow de l'ILB (institut Louis Bachelier)

Chers lecteurs,

Le thème de cette Lettre est « la guerre des drones. »

Les nombreux sujets de réflexion des officiers en formation montrent l'avenir de ce sujet crucial pour nos armées mais aussi pour notre pays. N'hésitez pas aussi à partager dans notre Lettre vos expériences et réactions à ce sujet ou à d'autres. De retour de Washington je me suis entretenue avec un jeune ukrainien qui mène actuellement ce combat, prise par le temps je vous en parlerai à l'occasion de la prochaine Lettre.

Bonne lecture !

Nouvelles de l'EMSST

Par le Colonel Alexis-Emmanuel LAPACHERIE, Directeur de l'EMSST

Le début du deuxième trimestre de l'année marque l'aboutissement du processus d'orientation des lauréats du concours 2026 du Diplôme Technique (DT), dans lequel l'EMSST apporte son soutien et son expertise à la DRHAT.

Les orientations de ces officiers sont notamment marquées en 2026 par le nombre insuffisant de candidats dans le domaine scientifique. En outre, au sein de ce domaine, certaines sous options demeurent, cette année encore, délaissées par les lauréats. Des mesures d'attractivité ont été prises et devraient permettre de revaloriser les parcours de nos jeunes officiers DT (classe fonctionnelle A+ et primes de lien au service, temps de responsabilité valorisé au niveau 1 (TR1) et Brevet Technique interarmes pour le parcours de carrière).

Néanmoins, l'EMSST poursuit son effort de formation au profit de l'armée de Terre dans le domaine des technologies de rupture. Ainsi, lors du Conseil de perfectionnement de l'Enseignement militaire supérieur (CP EMSAT) du mois de février 2026, l'EMSST a présenté l'effort réalisé pour former des officiers dans les domaines du quantique, de l'intelligence artificielle, des sciences cognitives, de la robotique et, demain, des armes à énergie dirigée. Cet investissement permet à l'armée de Terre de disposer depuis 2025 d'officiers capables d'éclairer, en toute autonomie, le commandement sur les enjeux technologiques et capacitaires à court, moyen et long terme tout en étant des interlocuteurs crédibles pour des spécialistes du monde civil.

Pour l'EMSST, ces évolutions ont conduit à mener des prospections dans l'offre académique afin d'identifier les formations les plus adaptées aux attentes des employeurs et des pilotes de domaine, notamment à l'École normale supérieure, à la Sorbonne ou à l'ENSAM. L'ingénierie de formation des chefs de filière a été mise à contribution pour honorer ces besoins structurants de l'armée de Terre.

Par ailleurs, le bureau enseignement de l'EMSST est à la manœuvre pour proposer des cours de préparation à la mise en scolarité (CPMS) qui soient tout à la fois pointus et innovants pour amener nos officiers au niveau d'entrée de ces nouvelles scolarités tout particulièrement exigeantes.

Un des enjeux dans le domaine des ressources humaines sera d'employer au bon niveau et de fidéliser ces officiers hyper spécialisés au sein de l'institution.

Le dialogue entre ingénieurs et militaires comme facteur clé de réussite face aux défis militaires contemporains

Par Monsieur Gilles ROUSSET, Directeur Scientifique du Mastère Spécialisé « Management de projet et Ingénierie Système », Professeur Associé, CentraleSupélec, Paris

Dans un environnement géopolitique instable et face à des menaces toujours plus évolutives dont l'actualité nous bombarde, la supériorité opérationnelle ne repose plus uniquement sur la puissance ou la technicité d'un système d'armes figé dans ses performances et ses fonctions. Elle se forge dans le dialogue permanent, fécond, entre les ingénieurs et les opérationnels. Les ingénieurs, porteurs de méthodes, de rigueur scientifique et de créativité technique, croisent leur expertise avec l'expérience du terrain, la capacité d'adaptation et le sens des responsabilités des militaires. Cette synergie, loin d'être anecdotique, est le catalyseur de l'innovation au sein de programmes toujours plus complexes.

L'avènement de l'ingénierie système a profondément transformé la façon de concevoir, d'intégrer et d'évaluer les solutions. Plus qu'un outil méthodologique, elle propose un cadre de pensée agile et itératif, dans lequel chaque boucle de développement bénéficie de la confrontation constante à la réalité opérationnelle, lors de retours d'expérience rapprochés. L'ouverture des architectures et la standardisation des interfaces facilitent l'intégration de briques technologiques multiples, accélérant l'innovation tout en consolidant la robustesse de l'ensemble.

Le dialogue entre ingénieurs et militaires ne se limite pas à l'expression du besoin initial, mais irrigue l'ensemble du cycle de vie des systèmes : rédaction du besoin exprimé, prise en compte des évolutions doctrinales, anticipation des menaces émergentes, adaptation en cours de projet et tout au long du cycle de vie. Il s'agit d'un processus vivant, rythmé par la compréhension mutuelle et l'écoute active, où chaque partie tire profit des méthodes, contraintes et visions de l'autre.

Face à des délais contraints, au brouillard de l'incertitude et à la raréfaction des ressources, l'intelligence collective devient un avantage décisif. La réussite ne repose jamais sur un outil ou une méthode seule, mais sur la capacité à tisser des liens entre des mondes de pensée différents, à structurer la complexité et à trouver des compromis féconds entre performance, agilité et robustesse.

C'est de cette alliance entre la science de l'ingénieur et l'art du commandement que naissent les systèmes capables d'affronter les crises de demain et de garantir la souveraineté et la résilience nationales. Le dialogue doit rester la pierre angulaire de chaque projet majeur : il est, aujourd'hui plus que jamais, notre meilleur atout face à l'inattendu.

La guerre des drones

Par Colonel Rémi PELLABEUF, commandant le Laboratoire du Combat Futur au sein du Commandement du Combat Futur

Titulaire d'un Master HEC (2011) et ancien Chef de Corps du 93^{ème} RI de 2018 à 2020, le Colonel Pellabeuf commande le LCF depuis 2024.

Les drones ont déjà profondément transformé le champ de bataille en rendant le front plus transparent et plus contesté. Ainsi que l'explique la dernière publication prospective d'envergure de l'armée de Terre, Action Aéroterrestre Future (AAF), cette mutation s'inscrit dans un environnement où le combat terrestre reste décisif, mais où l'autonomisation des systèmes d'armes, l'essor de l'intelligence artificielle et l'hyperconnectivité imposent d'adapter simultanément la létalité, la manœuvre et la protection.

L'essor des drones : un bond spectaculaire en moins de 6 ans

Les conflits récents ont fait du drone un acteur central, du renseignement à l'attaque, en passant par la saturation des défenses. Au Haut-Karabagh, fin 2020, l'usage coordonné de drones d'observation et d'attaque a montré qu'un adversaire moins lourd pouvait neutraliser des forces conventionnelles plus classiques en frappant leurs capteurs, leur artillerie et leur logistique. En Ukraine, l'emploi massif de drones a rendu le champ de bataille plus transparent et plus létal, tandis que l'Iran a confirmé son rôle de fournisseur et de diffuseur de savoir-faire avec les Shahed-136, utilisés par Moscou contre l'Ukraine.

Ce qui change n'est pas seulement la létalité, mais la logique d'emploi. Les drones peuvent aujourd'hui tenir plusieurs rôles à la fois : surveillance, correction des feux, attaque en profondeur, guerre psychologique, voire saturation par essais. Leur succès tient à leur coût relativement bas, à leur facilité de diffusion et à leur capacité à submerger les défenses traditionnelles par la masse, la discrétion ou l'attrition. Dans ce contexte, le drone n'est plus un simple capteur : il devient un multiplicateur d'effets, souvent décisif dans la première phase d'un engagement.

L'armée française est engagée dans la course

L'armée française est engagée dans une montée en puissance rapide, à la fois pour exploiter les drones et pour s'en protéger. Côté emploi, la DGA a livré les 1 000 premiers drones du combattant, engagés dans l'exercice Orion 2026, avec une portée supérieure à 2 kilomètres et une autonomie de 40

minutes. En parallèle, l'armée de Terre expérimente des essaims de drones, avec des architectures capables de cartographier rapidement un secteur, de surveiller de vastes zones et d'activer une capacité de frappe quasi immédiate.

La dynamique française ne se limite pas au renseignement. AAF insiste sur la nécessité de combiner les effets multi-milieux, de « détruire au contact et dans la profondeur », et de gagner la bataille de l'innovation, ce qui place les drones au cœur de la supériorité décisionnelle et de l'agilité tactique. Sur le plan défensif, la France accélère sur la lutte anti-drones : le système de canon de 20 mm PROTEUS, développé avec une forte composante d'intelligence artificielle, doit être produit à au moins 50 exemplaires et vise les micro-drones les plus agiles. Le système Gatling RAPIDFire terrestre, associé à la munition programmable A3B, complète cette approche en traitant les menaces aériennes rapprochées et les essaims par un effet de saturation létal.

Evolutions prévisibles

D'ici à quelques années, le drone devrait devenir moins un objet qu'une famille de systèmes interconnectés. On imagine des drones coopératifs, capables de voler en essaim, de se relayer entre capteurs et vecteurs d'effets, ou de fonctionner en mode dégradé si les liaisons sont brouillées. AAF souligne justement que la centralité de la donnée et l'autonomisation des systèmes d'armes vont transformer la conduite du combat et rendre cruciale la répartition des fonctions de commandement.

Un pas suivant va aussi dans le sens d'une spécialisation extrême. On voit déjà ou on verra des drones de reconnaissance furtifs, des drones de guerre électronique, des drones munitions rôdeuses, des drones intercepteurs anti-drones, et des plateformes de ravitaillement tactique pour soutenir des unités dispersées. Les armées chercheront aussi des drones plus rustiques, plus consommables, capables d'accepter des pertes élevées sans rupture de capacité, dans un environnement marqué par la saturation et l'attrition. Le combat terrestre de demain sera sans doute moins « piloté par un drone » que « maillé par des réseaux de drones », au service de la décision humaine.

Dans le même temps, la lutte anti-drones devra évoluer vers une défense multicouche, mêlant brouillage, interception, canons à tir rapide, munitions programmables, capteurs passifs et IA de détection, car la menace sera probablement plus rapide, plus discrète et plus nombreuse qu'aujourd'hui.

La vraie rupture pourrait venir de la coopération drones - robots et de la création d'unités robotiques entièrement autonomes associant les effets des drones avec ceux des robots. Chaque fonction opérationnelle est en train de se réinventer avec des drones ; le projet PENDRAGON copiloté par le commandement du combat futur (CCF) et l'agence pour l'intelligence artificielle de défense (AMIAD) produira la première unité robotique de combat en 2027.

Le futur est déjà proche.

La guerre des drones : une révolution militaire en marche

Par le Chef d'escadron Alexis GUILMART, stagiaire EMSST 2024-2026, École du Louvre, master 2 muséologie

Le constat

Omniprésents sur les champs de bataille, les drones sont devenus en quelques années des armes incontournables. L'agression russe en Ukraine a accéléré leur utilisation massive, confirmant une tendance déjà bien amorcée depuis les années 2000. Aujourd'hui, leur présence modifie les doctrines, impose de nouvelles réflexions et soulève de profondes questions éthiques.

Une prolifération sans précédent

On estime à une centaine le nombre d'États disposant officiellement de drones militaires. Parmi eux, quarante-huit possèdent des drones armés capables de missions de plus de 24h à plus de 15 000m d'altitude (ils n'étaient que quatre en 2023¹). Cette forte hausse induit une transformation rapide et profonde de « l'art de la guerre ». Conçus d'abord pour le renseignement, les drones ont vu leurs usages s'élargir à la frappe et à la guerre électronique. Leur faible coût et leur généralisation chez nos adversaires étatiques ou terroristes en font une menace particulièrement inquiétante.

Au-delà de la dimension opérationnelle, leur effet psychologique est également considérable. Le bourdonnement des drones, omniprésent en Ukraine ou à Gaza, installe une angoisse permanente : impossible de distinguer à l'oreille s'ils sont amis ou ennemis.

L'Ukraine, un laboratoire grandeur nature

Tout comme celui du Haut-Karabagh quelques mois plus tôt, le conflit ukrainien a indéniablement marqué un tournant. Dès le début de l'offensive russe en 2022, le drone armé turc Bayraktar TB2 joue un rôle essentiel en permettant à Kiev de compenser son déficit en artillerie et en blindés. La suite sera en revanche davantage marquée du sceau de l'adaptation réactive : usage massif d'engins civils modifiés, production locale parfois imprimée en 3D, recours à des drones marins ou kamikazes longue portée. En peu de temps, la production ukrainienne est devenue vertigineuse : de 10 000 drones par mois en 2023, elle passe à 100 000 en 2024, pour atteindre 250 000 au premier trimestre 2025².

Si les dégâts sont parfois spectaculaires, il faut cependant les nuancer : la plupart des vidéos diffusées sur Internet ne montrent que des frappes réussies, occultant les nombreuses tentatives infructueuses : moins de 2 drones sur 10 touchent leur cible³. Pourtant, même sans frapper systématiquement, l'effet stratégique est réel : saturation des défenses sol-air, usure psychologique et perturbation logistique.

La riposte ukrainienne et ses limites

Face à l'intensification des attaques russes avec plus de 6 000 vecteurs en juillet 2025, majoritairement des Shahed-131 iraniens fabriqués en Russie, l'Ukraine tente de s'adapter. Ses défenses antiaériennes, déjà très sollicitées par les missiles, peinent à intercepter ces nuées imprévisibles. En réaction Kiev investit dans des drones d'interception à pilotage immersif (le pilote est équipé d'un casque de visualisation en réalité virtuelle) ou *First Person View* (FPV) et vise une production de 1 000 par jour. Elle installe même des filets de protection au-dessus de ses axes routiers essentiels. Le défi est immense : la Russie envoie régulièrement 300 à 400 engins par nuit, saturant les défenses et épuisant les stocks.

Le dilemme éthique et technologique

L'essor des drones soulève enfin une question fondamentale : où placer la limite de l'autonomie des systèmes d'armes ? Si pour le moment l'intelligence artificielle reste marginale, certains États, s'appuyant sur le retour d'expérience ukrainien, considèrent déjà qu'elle offre un avantage décisif, reléguant au second plan la question de la responsabilité morale ou juridique... Face à cela, les armées européennes apparaissent insuffisamment préparées tant leurs programmes peinent à suivre le rythme. Pour beaucoup, les drones utilisés en 2022 seraient déjà obsolètes ! À l'inverse, ironie du sort, les systèmes anciens de lutte anti-aérienne comme le bitube de 35 mm Gepard allemand⁴, abandonnés après la Guerre froide et livrés à l'Ukraine, obtiennent quant à eux de très bons résultats.

Conclusion : une nouvelle ère stratégique

La guerre des drones est devenue centrale dans les conflits contemporains. Avec leur faible coût et leur efficacité psychologique, tactique, opérative voire stratégique, les drones modifient le rapport coût/bénéfice de la guerre : chaque attaque obligeant l'adversaire à mobiliser des moyens disproportionnés pour

se défendre. Au-delà de l'Ukraine, c'est toute la géopolitique militaire mondiale qui s'en trouve secouée. Les drones deviennent un facteur de puissance pour les puissances régionales (Iran, Turquie...), autant qu'outil de dissuasion et un symbole de modernité.

La course est lancée. Entre production de masse, artisanale, contre-mesures et recours croissant à l'intelligence artificielle, la guerre de demain sera une guerre de drones.

1- Drones war UK, <https://dronewars.net>

2- Ministry of defence of Ukraine, <https://mod.gov.ua/en>

3- Ukraine VS Russie : la révolution des drones », reportage le Monde

4- Air et cosmos, <https://air-cosmos.com/>

Les enseignements de la guerre des drones en Ukraine pour l'Armée Populaire de Libération de la République de Chine

Par le Chef de bataillon GUERINET Yorrick, stagiaire EMSST, 2025 - 2028, INALCO Chinois

A. Les enseignements retenus par l'Armée Populaire de Libération (APL)

L'APL a suivi avec une attention soutenue les évolutions observées en Ukraine, et s'est engagée dans une adaptation doctrinale rapide autour de quatre priorités :

1- Massification industrielle. La Chine bénéficie d'un complexe militaro-industriel intégré, combinant entreprises d'État, start-ups technologiques et secteur civil dans le cadre de la politique d'« intégration civilo-militaire ». Contrairement à l'Ukraine qui a dû improviser un tissu productif, Pékin mise sur une industrialisation massive et planifiée. Les enseignements tirés des drones *First Person View* (FPV) et kamikazes conduisent à concevoir des systèmes modulaires produits à grande échelle, capables de remplir plusieurs missions au moindre coût.

2- Intelligence artificielle et autonomie distribuée. La dépendance ukrainienne aux opérateurs humains pour piloter les FPV incite Pékin à chercher un niveau d'autonomie supérieur. Des recherches universitaires et industrielles chinoises visent clairement le développement de capacités de navigation en environnement privé de GNSS (*Global Navigation Satellite System*) — via la navigation inertielle améliorée, l'odométrie visuelle, la fusion capteurs/IMU et des techniques d'apprentissage permettant de corriger la dérive — ainsi que la coordination d'essais et des architectures de prise de décision décentralisée. Des acteurs civils d'IA, dont certains comme *DeepSeek*, alimentent cet écosystème technologique, mais il n'existe pas de preuve publique qu'ils développent directement des systèmes de navigation militaires ; leur contribution reste avant tout celle d'un apport d'expertise duale. L'objectif stratégique est clair : réduire la vulnérabilité au brouillage tout en multipliant les effets par saturation.

3- Guerres multi-domaines et essais combinés. La Chine anticipe qu'un conflit autour de Taïwan sera d'abord une guerre de systèmes, dans laquelle drones aériens, maritimes, et sous-marins autonomes devront agir de concert. L'APL envisage des frappes coordonnées : drones de guerre électronique neutralisant les radars, essais aériens saturant les défenses, puis drones maritimes kamikazes frappant les navires de débarquement.

4- Lutte anti-drones. L'APL ne se contente pas de préparer l'offensive. Elle s'arme aussi contre la saturation adverse. Des systèmes à énergie dirigée (lasers, micro-ondes), des radars basse fréquence pour détecter les mini-drones et des filets électroniques de brouillage sont en développement pour contrer des nuées hostiles.

B. Innovations technologiques récentes

Présenté à Zhuhai en 2024, le drone Jiutian modulable peut emporter à la fois des missiles, des pods de guerre électronique et jusqu'à 200 micro-drones. Il illustre la volonté chinoise de penser le drone comme « porteur de nuée » plutôt que comme unité isolée. Déployé expérimentalement en 2025, il constitue un prototype de plateforme hybride capable de combiner renseignement, saturation et frappe.

Des ingénieurs chinois ont conçu des propulseurs vectoriels permettant à des drones d'exécuter des manœuvres erratiques en phase terminale, compliquant l'interception. Testé en simulation avec un taux de survie de 87 %, il représente une avancée clé pour percer les défenses anti-aériennes modernes.

Le défilé militaire de l'APL du 3 septembre 2025 a présenté au public plusieurs drones récents, confirmant l'importance accordée par Pékin à ces systèmes. Parmi eux figuraient des drones kamikazes ainsi que des essais de micro-drones. Cette démonstration sert autant à afficher la capacité industrielle et technologique de la Chine qu'à envoyer un signal stratégique aux observateurs internationaux et à Taïwan : l'APL dispose désormais d'une panoplie complète de systèmes autonomes capables de saturation et de frappe coordonnée.

Au-delà de l'air, la Chine développe activement des drones de surface et sous-marins autonomes. L'objectif est de saturer les défenses navales taïwanaises et de sécuriser les convois amphibies en multipliant les menaces à bas coût. Des plateformes comme l'AJX002 sont conçues pour la surveillance, le déminage ou la frappe sous-marine, renforçant sa capacité de guerre en mer.

C. Les limites de l'apprentissage chinois

L'Ukraine a offert un terrain continental. Dans le détroit de Taïwan, le climat et l'environnement maritime constitué d'humidité, de la salinité et potentiellement de typhons fragilisent les petits drones et réduisent la fiabilité des communications. L'APL devra adapter son arsenal à un milieu beaucoup plus hostile.

En Ukraine, la transparence offerte par les drones a réduit la surprise, mais n'a pas totalement éliminé l'effet de manœuvre terrestre. En mer la densité navale et aérienne, combinée à la météo, pourrait paradoxalement recréer des « zones d'ombre » - ce qui limite la transposition d'un modèle de transparence totale et donc pourrait créer des opportunités d'« opacité opérationnelle ».

La Chine peut produire massivement, mais elle doit projeter ces systèmes à travers un espace maritime contesté. Les chaînes logistiques, vulnérables aux frappes taïwanaises ou américaines, constituent des failles que l'expérience ukrainienne n'éclaire pas totalement et donc pose la question de la soutenabilité logistique.

Enfin les essais testés sont encore relativement limités et par conséquent se pose la question de l'efficacité réelle des essais massifs. L'APL ambitionne des nuées de centaines de drones autonomes, mais leur comportement en situation de guerre électronique extrême reste incertain. L'Ukraine n'a pas encore fourni de réponse à ce *stress-test*.

Conclusion

La guerre des drones a transformé l'Ukraine en un champ d'expérimentation grandeur nature. L'innovation improvisée des Ukrainiens et la capacité de réaction des Russes ont montré que la supériorité militaire ne se joue plus seulement par la qualité des plateformes, mais dans la vitesse d'adaptation et la capacité d'industrialisation. La Chine observe cette dialectique avec une acuité particulière, consciente que l'enjeu n'est pas seulement technologique mais aussi organisationnel et doctrinal.

Pourtant, transposer ces leçons au détroit de Taïwan n'est pas une opération mécanique. Là où l'Ukraine a révélé la guerre terrestre des drones, le théâtre taïwanais pourrait inaugurer la guerre des drones maritimo-aériens, avec des contraintes inédites qui limiteront certaines certitudes issues du front européen.

Si le drone a déjà remplacé le char comme symbole de la puissance terrestre, il pourrait devenir demain le nouvel acteur majeur des espaces maritimes et aériens. La question n'est plus seulement « combien de drones » ou « à quel coût », mais qui saura orchestrer un écosystème multi-domaine capable de transformer l'océan en un champ de capteurs et de projectiles autonomes. Dans ce futur, l'issue d'un conflit ne dépendrait plus du rapport de forces navales ou aériennes classiques, mais de la capacité à rendre l'adversaire aveugle, saturé et désorganisé par une nuée d'acteurs autonomes.

Ainsi, tout affrontement sino-taïwanais pourrait être la première guerre totale des drones maritimes et aériens, un basculement stratégique où l'innovation, l'adaptation et l'intégration systémique compteraient davantage que la masse brute de navires et d'avions. Ce serait alors moins une répétition de l'Ukraine qu'une nouvelle ère de conflictualité, annonçant peut-être la fin de la suprématie traditionnelle des flottes et des armées de l'air.

Les drones et la profondeur du champ de bataille

Par le Chef de bataillon Guillaume MARIE, stagiaire EMSST année 2025-2026, CentraleSupélec, MS Management de projet et Ingénierie Système

La profondeur constitue depuis toujours l'un des fondements structurants de la pensée militaire. Elle organise l'espace de combat, hiérarchise les zones d'engagement et conditionne la manœuvre. Elle influe également sur la durée de l'effort, entendue comme la capacité d'une force à s'engager, à se réorganiser et à se maintenir dans le temps. En distinguant clairement les espaces de contact, de manœuvre dans la profondeur et de soutien, elle permet de protéger les fonctions vitales de la force (commandement, logistique, régénération) et d'autoriser la concentration des moyens là où l'effet recherché est déterminant. Cette organisation repose sur un postulat implicite : la distance protège. Or, la Revue de la Défense Nationale¹ souligne que « la transparence croissante du champ de bataille réduit la valeur protectrice de la distance et remet en cause la notion même d'arrière ». Cette affirmation éclaire une évolution doctrinale à prendre en considération.

La prolifération des drones sur le champ de bataille constitue la pierre angulaire de cette transformation. Sans représenter une rupture technologique isolée, leur diffusion massive banalise l'observation aérienne continue. Là où l'acquisition du renseignement imposait par le passé des temporalités discontinues et une planification rigoureuse, le drone instaure une surveillance quasi ininterrompue de l'ensemble du dispositif. Cette capacité ne se limite plus aux espaces de combat direct mais s'étend à des activités relevant d'échelons habituellement situés en retrait. Dès lors, la profondeur géographique cesse progressivement de remplir sa fonction protectrice². Le passage des espaces de contact vers ceux dédiés à la manœuvre indirecte ne correspond plus à une diminution graduelle de l'exposition à la menace mais traduit une transformation de la nature même de cette exposition. Les zones historiquement conçues pour la coordination, la préparation et la régénération ne constituent plus des sanctuaires relatifs. Elles deviennent des espaces durablement observés dans lesquels la mobilité, la discrétion et l'éphémère priment sur l'installation durable.

Cette dégradation affecte en tout premier lieu les postes de commandement. Par leur centralité fonctionnelle, ils concentrent des flux humains, informationnels et énergétiques qui les rendent particulièrement exposés dans un environnement saturé de capteurs. La nécessité de limiter leur détectabilité impose une remise en cause des modes d'implantation et de fonctionnement traditionnels, au prix d'une complexification de la coordination et d'une contrainte accrue sur l'exercice du commandement. Cette même logique s'applique aux fonctions d'appui et de soutien de la force. Lorsque les espaces qui leur sont dédiés deviennent eux-mêmes observables, ces fonctions perdent de facto la protection relative que leur offrait la profondeur. Les flux, les zones de stockage temporaires et les moyens de production d'énergie génèrent des signatures visuelles, thermiques et électromagnétiques difficilement dissimulables dans la durée. La contrainte imposée par les drones agit ainsi comme une forme d'interdiction, non par la destruction systématique mais par la pression constante exercée sur la liberté de circulation, d'installation et de régénération des forces.

La prolifération des drones n'abolit pas la manœuvre terrestre, elle impose toutefois d'en repenser les fondements spatiaux. Les concepts de zone des opérations rapprochées (CLOSE), zone des opérations dans la profondeur (DEEP) et zone des opérations arrières (REAR) conservent leur pertinence comme cadres d'analyse mais ne peuvent plus être envisagés comme des espaces offrant des niveaux de protection garantis³. La profondeur ne constitue plus un acquis géographique. Elle ne peut être préservée qu'au prix d'une réduction des signatures, d'une mobilité accrue, d'une déception permanente et d'une fragmentation des dispositifs ; faute de quoi, elle devra être considérée comme durablement dégradée. Dans cet environnement sans sanctuaire réel, la supériorité ne réside plus uniquement dans la capacité à frapper ou à manœuvrer, mais dans celle à durer malgré une exposition devenue continue.

1- Revue de la Défense Nationale, « Guerre de haute intensité : enseignements et perspectives », dossiers thématiques, 2022–2023.

2- Watling, Jack – RUSI (Royal United Services Institute), « *Tactical Developments in the Russo-Ukrainian War* », analyses open source, 2023–2025.

3- Institute for the Study of War (ISW), « *Russian and Ukrainian Military Adaptations to Drone Warfare* », rapports analytiques, 2023–2024.

Les drones au service des frappes balistiques terrestres : une (r)évolution tactique

Par le Chef de bataillon Timothy SMATI, stagiaire EMSST 2025-2026, Master Spécialisé « Advanced Project Management » ISAE-SUPAERO

Introduction

Les drones, petits avions sans équipage embarqué, télécommandés ou programmés, fascinent autant qu'ils inquiètent, tant par leur simplicité apparente que par leur impact stratégique. Longtemps cantonnés à des missions de reconnaissance, ils s'imposent désormais comme des acteurs clés des frappes dans la profondeur. La volonté de la France de combler son trou capacitaire en se dotant de missiles balistiques terrestres, accélérée par la guerre en Ukraine, pourrait transformer durablement la conduite des opérations terrestres.

Un missile balistique terrestre se définit comme une arme propulsée depuis la surface terrestre, suivant une trajectoire balistique après sa phase de propulsion, destinée à transporter une charge utile (conventionnelle ou nucléaire) sur des distances variables allant de la courte à l'intercontinentale (moins de 1000 km jusqu'à 5 500 km). Ces missiles offrent une puissance de frappe considérable, mais leur coût élevé et la sophistication des systèmes d'interception limitent leur emploi. Les drones, en revanche, apportent flexibilité et économie : faciles à produire, adaptables, et capables de saturer les défenses adverses. L'exemple des Shahed-136 iraniens, utilisés par la Russie, illustre cette tendance : avec une portée supérieure à 1 500 km et un coût bien inférieur à celui d'un missile, ces vecteurs permettent de multiplier les attaques.

Complémentarité tactique : salves mixtes

L'efficacité des frappes repose désormais sur des salves combinées. Les drones servent à détourner les radars et à épuiser les systèmes antimissiles, ouvrant la voie aux missiles balistiques pour atteindre des cibles durcies. Cette approche exploite la diversité des profils de vol : vitesse lente et altitude basse pour les drones, trajectoire rapide et haute pour les missiles¹. Le résultat : une complexité accrue pour la défense, qui doit gérer simultanément des menaces

hétérogènes.

Cette évolution ne concerne plus seulement les grandes puissances. Des acteurs non étatiques, comme les Houthis, utilisent déjà des drones et des missiles pour frapper des infrastructures stratégiques, posant un défi inédit aux Forces israéliennes et américaines². Le coût réduit et la disponibilité des composants civils facilitent cette prolifération. À terme, l'intégration de l'IA et des essais collaboratifs pourrait permettre des attaques coordonnées, capables de réorienter les vecteurs en vol selon la situation tactique.

Conflit Iran/Israël 2024 : la montée en puissance des frappes saturantes

Les tensions entre Téhéran et Tel-Aviv ont culminé en avril et octobre 2024 avec deux attaques directes iraniennes contre Israël³. Ces offensives ont mobilisé plus de 300 vecteurs – drones Shahed, missiles de croisière et missiles balistiques Fattah à tête manœuvrante – pour saturer les défenses israéliennes (Arrow, David's Sling, Patriot). Malgré les interceptions importantes, plusieurs projectiles ont atteint des sites stratégiques, confirmant la vulnérabilité des systèmes face à des salves mixtes. La riposte israélienne, incluant des frappes précises sur des radars et usines de missiles en Iran, illustre l'escalade technologique et la nécessité d'intégrer saturation et pénétration dans les doctrines futures.

Quel avenir pour la France ?

La France ne dispose plus que de quelques lance-roquettes unitaires (LRU), limités à environ 70 km, et l'armée de Terre prévoyait leur retrait en 2027. Le programme Frappe Longue Portée Terre (FLP-T)⁴ vise à combler ce vide avec des systèmes dépassant 150 km, voire 500 km à l'horizon 2035. Mais au-delà des missiles, il s'agirait d'intégrer des drones dans la future doctrine pour combiner pénétration et saturation, comme le montrent les enseignements ukrainiens.

Dans le cadre du programme FLP-T, ArianeGroup propose un missile balistique terrestre (MBT) pour offrir une solution souveraine face aux systèmes étrangers (HIMARS, K239, EURO-PULS)⁵. L'objectif serait : 150 km en 2030, 500 km en 2035, avec une option pour dépasser 1 000 km. Ce projet, bien que coûteux et limité en volume, renforcerait la capacité française à mener des frappes stratégiques et à garantir son autonomie technologique. Il s'inscrit dans une logique de montée en gamme et de complémentarité avec les drones pour des salves hybrides.

Conclusion

Les drones ne remplacent pas les missiles balistiques : ils les complètent. Ensemble, ils pourraient offrir une nouvelle capacité à l'armée de Terre pour de la guerre en profondeur, où la quantité et la diversité des vecteurs deviennent aussi déterminantes que leur puissance. Pour la France, l'enjeu est clair : investir dans cette complémentarité, sous peine de rester vulnérable face à des ennemis capables de frapper loin, vite et à moindre coût.

1- Fayet & Péria-Peigné 2024, *Deep Precision Strikes: A New Tool for Strategic Competition ?* Ifri.

2- Arab Observer 2024, Les Houthis et la guerre par drones.

3- War on the Rocks 2024, *Patterns of Iranian-Israeli Military Confrontation*.

4- Drone Actu 2025, L'avenir des drones de combat.

5- Meta-Défense 2025, FLP-T : la France prépare ses frappes longue portée.

6- Opex360 2024, ArianeGroup et MBDA : projets pour la frappe terrestre longue portée.

Les drones à la fois prédateurs et botte secrète de l'aérocombat ?

Par le Commandant Guillaume COSNARD management de projet et ingénierie systèmes ENSTA 2025-2026

En août puis en novembre 2025, des hélicoptères de combat ont été abattus par des drones, sur et loin derrière la ligne des contacts, en Colombie et en Ukraine respectivement, illustrant la vulnérabilité des voiliers tournants sur le champ de bataille. L'évolution des performances dynamiques des drones aériens, la généralisation de leur production, leur facilité de dissémination et le développement d'autodirecteurs qui leur soient adaptés généralisent la menace autrefois matérialisée par les missiles anti-aériens portables (MANPADS). Autrement dit, n'importe quel combattant débarqué peut se voir doté de la capacité de détruire un hélicoptère. Cette augmentation de la menace signe-t-elle la fin de l'hélicoptère de combat ?

En réalité, la montée en gamme des drones intercepteurs ne signifie pas la fin de l'hélicoptère de combat car des moyens d'atténuation du risque existent déjà et parce qu'au contraire, l'intégration des drones à la manœuvre d'aérocombat lui permettra d'exprimer toute sa puissance.

Les drones ou la prolifération de la menace anti-aérienne guidée

Les drones d'interception offrent des performances contre les hélicoptères équivalentes à celles des MANPADS, ceci pour une fraction de leur coût et de leur empreinte logistique. Le FP-1 ukrainien qui s'est illustré contre un hélicoptère russe le 23 novembre dernier ne revient qu'à environ 50 000 \$ et est produit à une centaine d'exemplaires par jour, alors que le coût d'achat d'un missile STINGER est de près d'un million \$¹ soit 20 fois plus.

De plus, les savoir-faire se disséminent déjà, laissant craindre une extension mondiale de la menace, en particulier chez les groupes armés irréguliers. Les opérations des Houthis, du Hamas ou d'autres groupes appuyés par l'Iran ainsi que les exportations massives de la République islamique vers la Russie laissent craindre une extension du phénomène via les groupes islamistes. La menace des drones d'interception est donc bien plus généralisée que la menace des MANPADS qui ont pu être déployés ou disséminés depuis les années 1980.

Une simple mise à jour du danger missile

Cette généralisation ne représente qu'une évolution d'une menace déjà ancienne. L'impact de ces drones intercepteurs est finalement modéré car leurs performances restent plus modestes que celles des missiles, et parce que les procédures et matériels de protection existent.

Tout d'abord, les performances des drones intercepteurs ne font que s'approcher de celles des missiles. Leur vitesse maximale, leur plafond d'interception ou encore leurs modes de guidage restent pour l'heure largement en deçà des caractéristiques des missiles. Les drones d'interception volent autour de 200 km/h, les plus rapides atteignant 600 km/h. Côté altitude, les performances en plafond des intercepteurs sont dans la tranche 750 à 1000 m. Enfin, ces intercepteurs sont pour les modèles les plus éprouvés télépilotes en mode immersif (drone FPV), ou pour ceux qui disposent d'autodirecteurs optiques, assistés par IA. Les performances des drones intercepteurs sont donc loin d'être écrasantes comparées à celle d'un Stinger : vitesse 2700 km/h, plafond 3800 mètres et autodirecteur infrarouge et ultraviolet résistant au leurrage.

Par ailleurs, la doctrine de vol tactique de l'ALAT comprend déjà un volet d'auto-protection des aéronefs (APA). Ces manœuvres, adaptées à chaque hélicoptère d'arme, visent à exploiter au mieux la dynamique de celui-ci pour regagner le couvert offert par le terrain face à des tirs anti-aériens. Enfin, au-delà des procédures, l'APA se traduit également par un ensemble de systèmes déjà déployés sur les aéronefs qui pourraient être adaptés pour agir contre les drones intercepteurs. Ainsi les leurres thermiques actuellement employés pourraient probablement être adaptés pour perturber un autodirecteur optique sur drone. L'adaptation sur un hélicoptère de dispositifs d'autoprotection dérivés de systèmes existants ne devrait donc pas être un défi technique insurmontable² : un fusil anti-drone brouilleur NEROD ne pèse que 6.5 kg.

Contre les drones, le salut par les drones

Finalement plus qu'une menace, les drones sont surtout l'avenir de la manœuvre d'aérocombat puisqu'ils apporteront une démultiplication des capacités des hélicoptères de combat et parce que la masse apportée par les drones pave la voie de la survie pour les aéronefs habités.

Pour augmenter la performance de ses hélicoptères au combat, l'ALAT mise tout d'abord sur les drones mis en œuvre à partir d'aéronefs habités, les ELA³ (Engins Lancés depuis Aéronef). À ce titre la diversification de l'usage des drones, notamment l'interception, qui semblait initialement surtout être une menace devient la plus grande source de puissance de feu à faible coût pour un hélicoptère. Une fois un système de mise en œuvre de drone intégré sur l'aéronef, toute une palette d'effets devient disponible : capteur déporté de reconnaissance, munition téléopérée, intercepteur anti-aérien, ou encore munition antiradar. Dans le sillage des expérimentations déjà lancées par les forces, on peut imaginer que des solutions seront rapidement déployées et généralisées.

Au-delà des ELA, l'ALAT étudie un drone tactique d'aérocombat (DTA)⁴. Dans l'état actuel des réflexions, ce drone doit être employé comme ailier d'une formation comportant des aéronefs habités. Il permettra ainsi d'étoffer la palette des capacités dans les mains du chef tactique au moyen de charges embarquées spécifiques (guerre électronique, capteurs, munitions, etc.), mais aussi d'autoriser l'exposition de certains aéronefs à un risque bien supérieur à celui tolérable pour un équipage humain. Il permettra même d'envisager de saturer un dispositif défensif ennemi, d'autant plus si certains DTA sont spécifiquement équipés pour cela avec des systèmes de leurrage. La conservation des parcs d'aéronefs en cours de retrait de service afin de les automatiser pourrait s'envisager.

S'adapter pour vaincre

En conclusion, il apparaît que si la diversification de l'usage des drones sur le champ de bataille et leur dissémination s'effectue à une vitesse impressionnante, cette évolution n'est pas une révolution. Il faut donc se garder de prononcer trop vite la fin de la pertinence de l'hélicoptère de combat. Il convient toutefois d'étudier les moyens de s'adapter à cette nouvelle menace de manière pragmatique : en adaptant les dispositifs déjà connus, et en exploitant au mieux les nouvelles performances de ces systèmes.

1- <https://www.airandspaceforces.com/pentagon-spending-big-to-counter-cheap-drones/>

2- <https://www.opex360.com/2025/09/29/la-france-envoie-un-helicoptere-fennec-dedie-a-la-lutte-antidrone-au-danemark/>

3- <https://www.forcesoperations.com/dexercices-en-experimentations-comment-lalat-integre-les-drones-dans-laerocombat/>

4- <https://www.terredefense.gouv.fr/enquetes/zoom-sur/la-dronisation-de-laerocombat-lalat-prepare-les-combats-de-demain>

La détection et le suivi de drones : un enjeu pour la sécurité des emprises militaires - étude d'une solution avec de l'intelligence artificielle

Par le Chef de bataillon Matthieu PEREIRA, stagiaire EMSST 2025-2026, Télécom Paris - ENSTA, MS IA LLM et systèmes autonomes
(NDLR. Rapport synthétisé et simplifié dans cet article)

Introduction

Les drones, de plus en plus accessibles, représentent une menace croissante pour la sécurité des emprises militaires et sensibles. Lors des jeux olympiques de 2024, près de 400 drones ont été détectés et une centaine neutralisés par brouillage¹. Une étude² récente combinant l'intelligence artificielle (IA) et les filtres de Kalman (KF) a été réalisée pour détecter et suivre ces appareils en temps réel. Ce rapport scientifique propose un procédé en deux étapes :

- Détection par des modèles YOLO (*You Only Look Once*)³, capables d'identifier des drones.
- Suivi par des filtres de Kalman, qui corrigent les erreurs de détection et prédisent les trajectoires.

Cette approche a obtenu de bons résultats, et pourrait apporter une solution à ce besoin.

a. La détection du drone par l'IA

Les modèles *opensources* YOLO (*You Only Look Once*) sont testés dans l'expérimentation. Ce sont des réseaux de neurones conçus pour détecter des objets dans une image vidéo en temps réel. Le principe est simple :

- L'image analysée est quadrillée par une grille de 13 x 13 cellules (1).
- Des zones de détection « boîtes d'ancrage » (2) de taille prédéfinie pour détecter les objets sont créées.
- Pour chaque cellule, le modèle prédit la présence d'un drone et dessine un cadre ou « boîte bornée » autour de lui.
- Le drone est ensuite classé parmi plusieurs catégories (ex : modèles de drone).

Exemple de détection de véhicule et personne avec YOLO v8

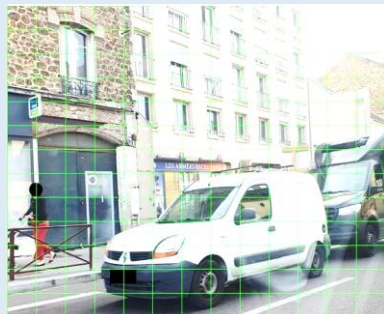
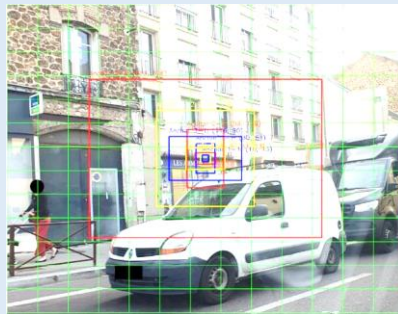


Image quadrillée en grille de 13x13 (1)



vue avec boîtes d'ancrage (2)



vue avec les boîtes bornées (3)

b. Le suivi par filtres de Kalman

Les filtres de Kalman (KF) sont des algorithmes récursifs qui estiment l'état d'un système dynamique à partir de mesures bruitées. Le processus se divise en deux phases :

- Phase de prédiction : Le filtre estime où le drone sera dans la prochaine image, en utilisant un modèle dynamique et l'estimation précédente.
- Phase de mise à jour : l'estimation prédite est corrigée à partir des mesures réelles des capteurs pondérée par leur incertitude.

Dans l'étude, les filtres de Kalman simples (KF) et étendus (EKF) sont testés. Le KF est adapté aux objets se déplaçant linéairement et à vitesse constante alors que l'EKF sera plus adapté au suivi de trajectoires non linéaires.

c. Le principe de fonctionnement

La correction est réalisée par une boucle avec le modèle : Le filtre de Kalman ajuste cette estimation en fonction de la nouvelle détection de YOLO. Ce processus se répète pour chaque image, réduisant les erreurs cumulatives. Si le drone est caché ou flou du fait d'un mouvement trop rapide, le filtre de Kalman prédit sa position depuis la position précédente.

II Processus d'apprentissage et résultats obtenus

a. Méthode d'apprentissage de l'IA

Pour assurer l'apprentissage supervisé, le *dataset*, base de 7620 images, est issu essentiellement d'extraits vidéo de *YouTube* et est réparti en trois échantillons (entraînement, validation et évaluation). Il contient des images différentes de trois modèles de drones (F450, Husban et Phantom) et d'autres objets volants, et des images sans objet.

b. Présentation des résultats

- Le modèle YOLOv5 a atteint une grande efficacité de détection.
- Le KF a permis de réduire significativement les erreurs de suivi, passant d'une erreur de 57 pixels avec YOLO seul à seulement 6 pixels avec son intégration. Cette amélioration montre que le KF corrige efficacement les erreurs de détection.
- Les évaluations sur des séquences vidéo ont également confirmé la robustesse du système pour maintenir un suivi continu et précis, même en cas de perte temporaire de détection.
- Les résultats de cette étude montrent l'efficacité d'une approche combinant la détection par *deep learning* et le suivi par filtres de Kalman.

Cette expérience présente plusieurs avantages :

- La combinaison de YOLOv5 et du filtre de Kalman est une solution pour la détection et le suivi de drones en temps réel, avec une précision élevée et une capacité à gérer les perturbations visuelles.
- La disponibilité du *dataset* et du code en open-source favorise la reproductibilité et la poursuite de l'expérimentation.

Toutefois, cette étude présente certaines limites :

- Le *dataset* ne couvre pas suffisamment de scénarios extrêmes
- Le filtre de Kalman suppose des mouvements linéaires, ce qui peut poser problème pour des trajectoires très erratiques.

Conclusion : une solution prometteuse, mais perfectible

L'approche YOLO + Kalman représente un bon moyen de détection et de suivi de drones. Cependant, les limites de cette expérimentation appellent à des recherches complémentaires :

- Enrichir et équilibrer les *datasets* avec des scénarios variés.
- Explorer des filtres plus avancés pour des trajectoires complexes.
- Combiner avec d'autres capteurs tels que des radars ou des microphones pour une détection multimodale.

1- N.Alshaer, R. Abdelfatah, T. Ismail, H. Mahmoud « *Vision-Based UAV Detection and Tracking Using Deep Learning and Kalman Filter* » 19/01/2025

2- <https://www.defense.gouv.fr/actualites/lutte-anti-drones-volet-majeur-posture-permanente-surete-aerienne>

3- <https://github.com/ultralytics/ultralytics>

Le radar, une arme à énergie dirigée anti-drone ?

Par le Lieutenant-colonel BURGER-WALCH, chef de la filière sciences de l'ingénieur, EMSST

Le concept d'arme à énergie dirigée (AED) relève un peu du pléonasmisme car toute arme vise peu ou prou à diriger une certaine quantité d'énergie sur une cible pour obtenir un effet. À certains égards, le gourdin est une AED, dirigeant et concentrant une énergie cinétique de rotation vers un crâne. Le vocable AED couvre toutefois d'autres champs que l'énergie cinétique (projectile) ou chimique (explosif) et traite des effets du son ou des ondes électromagnétiques et au premier chef du laser, sur les hommes ou le matériel. Le radar, lui, est comme cet acronyme le rappelle, un instrument de détection et de mesure des distances utilisant des fréquences radio. En quoi un radar peut-il être vu comme une AED ?

Un peu d'histoire

Au-delà des premiers radars installés au sol, technologie maîtrisée par les Britanniques (mais aussi ce qui est moins connu par les Allemands dès 1940), les premiers radars embarqués sur aéronef sont opérationnels dès la fin de la Seconde guerre mondiale. La détection d'une cible repose sur une antenne parabolique montée sur un dispositif permettant de l'orienter vers l'objectif, mission dédiée d'un opérateur embarqué. Le concept va peu évoluer mais sera accompagné des progrès de l'électronique : l'instrument est fiable, précis, sa puissance (et donc sa portée) a augmenté et il n'a plus besoin d'un opérateur.

Toutefois, demeure l'antenne parabolique qui doit être pointée vers sa cible, en particulier pour guider les missiles dits « semi-actifs » qui « voient » la cible « éclairée » par le faisceau du radar. Cette phase oblige à diriger l'énergie émise vers l'objectif et à verrouiller le faisceau. Le radar devient presque aveugle en dehors d'un cône étroit et le dispositif mécanique qui fait bouger l'antenne a des limites en termes d'agilité : traiter plusieurs cibles est impossible ; traiter une cible très agile est non garanti. Là-aussi des progrès technologiques (dont ceux des missiles) vont contrebalancer ces limites intrinsèques – le radar du chasseur F-14 peut suivre et attaquer plusieurs hostiles – mais il s'agit bien de limites intrinsèques.

Arrive alors la lentille électromagnétique : le radar est fixe et un dispositif va traiter ses émissions telle une lentille optique déviant et focalisant la lumière (autre onde électromagnétique). Le radar gagne en efficacité, la lentille pouvant créer des faisceaux en nombre certes limité mais agiles, n'étant plus limités par des contraintes mécaniques. La lentille absorbe toutefois une part de l'énergie du radar.

Les dernières générations de radars relèvent d'un assemblage de « micro-radars », des modules d'émission-réception, chaque faisceau individuel étant combiné par le calcul et sur la base des propriétés des ondes électromagnétiques en fonction du besoin. Ces radars dits « à balayage électronique » peuvent tout aussi bien surveiller une zone large, sur de grandes portées, que suivre de nombreuses cibles simultanément ou diriger de l'énergie sur une zone précise.

Un peu d'histoire ... culinaire

Un technicien radariste se serait brûlé en mordant dans son sandwich resté dans un faisceau radar lors de tests. D'autres se seraient amusés à faire du pop-corn en jetant des grains de maïs dans un faisceau. Légendaires ou pas, ces anecdotes rappellent que le potentiel commercial du radar comme instrument ... de cuisine a vite été compris, donnant naissance à nos fours à micro-ondes. Un radar émet des ondes de la famille dite des micro-ondes et le magnétron

de nos fours domestiques est issu des technologies radars. Un faisceau radar peut être dangereux, *a fortiori* quand son faisceau est puissant et focalisé comme pour une conduite de tir : les oiseaux passant dans le faisceau sont tués net.

Le radar comme AED pour la LAD

Un radar à balayage électronique est en mesure de détecter une cible (sa fonction première), de la classer voire de l'identifier sur la base d'une banque de signatures, d'en estimer la taille en croisant l'énergie renvoyée et la distance calculée (son autre fonction première), d'en déduire la vitesse et d'en estimer la trajectoire. Un faisceau puissant de micro-ondes peut alors être émis et maintenu vers la cible avec des effets divers : aveuglement du radar d'un avion hostile, par saturation, disfonctionnements voire endommagement de certains composants électroniques et, sur une cible de petite taille comme un drone, engagée à courte ou moyenne distance avec une énergie qui n'a été que peu dissipée, perte de contrôle voire destruction en vol.

En matière de lutte anti-drone (LAD), des dispositifs radars peuvent être employés avec efficacité, combinant détection et neutralisation, voire destruction. Sans se substituer au laser, le radar apparaît complémentaire car ayant d'autres limites mais aussi avantages. Contrairement au laser il est peu affecté par l'atmosphère mais son action peut être limitée si la cible à une électronique embarquée protégée ou est composée de matériaux peu sensibles aux micro-ondes ; un tir laser peut alors prendre le relais.

L'AED sur base radar - plusieurs systèmes sont déjà opérationnels et répondent à différents scénarios opérationnels en termes de distances d'engagement ou de nature de zone à protéger – permet donc d'élargir le spectre des dispositifs de LAD et apparaît comme un domaine d'intérêt en termes d'enseignement scientifique et technique.

Vivre sous drones : moral et morale du soldat

Par le Commandant Rémi GAVAGE, stagiaire EMSST, année scolaire 2025-2026, École de psychologues praticiens en vue de l'obtention du titre de psychologue clinicien

Introduction

Fin septembre 2025, l'armée française était appelée en renfort à Copenhague afin de sécuriser le Sommet européen après des survols de drones non identifiés. La population danoise craignait une attaque et certains habitants de la capitale se dotaient du kit de survie conseillé par les autorités. Dès 2012 un rapport consacré aux drones diffusé par l'organisation caritative britannique *Medact*¹ soulignait les conséquences psychologiques de l'usage de ceux-ci à la fois sur les groupes humains sous surveillance et sur les opérateurs eux-mêmes. L'étude du sujet des « engins mobiles sans équipage » (pour reprendre partiellement la définition de l'Académie Française) sous l'angle de la santé mentale ne constitue donc pas une nouveauté. Elle nous amène pourtant à renouveler nos interrogations sur la manière dont se répartissent la charge et la responsabilité psychologiques et morales de l'usage du drone. L'emploi d'engins télépilotes, pour l'attaque ou la surveillance, reconfigure en effet notre représentation du conflit en instaurant une dissymétrie psychique et en créant une guerre non pas « sans lieu » mais « en tout lieu ». Nous nous intéresserons ici aux implications psychologiques nées de l'usage, de la menace ou de la proximité de drones.

1) Déshumanisation du combat, ethos du soldat

L'évolution de la conflictualité marquée notamment par un recours accru aux drones vient s'ajouter aux nombreux facteurs (parmi lesquels la professionnalisation, la privatisation, l'autonomie des systèmes etc.) qui changent notre représentation collective de l'homme qui fait la guerre. Cette dynamique paraît contribuer à faire perdre au militaire une partie de la représentation héroïque initialement associée au guerrier.

Pour décrire la dimension portée par celui-ci depuis l'Antiquité, Hérisson évoque notamment la primauté du courage qui résulte du choix délibéré d'un affrontement avec la mort². Or le drone crée précisément une rupture en éloignant au moins l'un des deux protagonistes du champ de bataille, comme l'illustre la définition qu'en donne le département de la Défense américain d'un « véhicule terrestre, naval ou aéronautique, contrôlé à distance ou de façon automatique ». Il en résulte un risque sur le plan des principes éthiques, que le Général Royal nomme la « distanciation³ » et qui pourrait s'accompagner d'une indifférence progressive à mesure que le soldat usant de drones s'écarte des conséquences de ses actes.

À titre d'illustration, la dénomination choisie pour certains drones ou leur munition (*Reaper* : « grande faucheuse » l'allégorie de la mort, *Hellfire* : « le feu infernal ») pourrait être assimilée à un mécanisme de défense collectif permettant d'éloigner la responsabilité. Une lecture psychanalytique associerait cette démarche à la fois à une dénégation : la violence admise pour être mieux tenue à distance psychique, et une sublimation : la pulsion destructrice est transférée dans un registre symbolique élevé.

2) Le téléopérateur, quelle blessure ?

Les nouvelles technologies de guerre modifient non seulement l'image que l'opinion publique peut avoir du soldat, mais également la perception que ce dernier a de lui-même et de ses actes. L'existence même des drones soulève ce que Dubey désigne comme « l'énigme d'une technologie sans sujet et sans corps⁴ », un questionnement durable en matière d'implication psychologique. En juillet 2013, un article de *The Guardian* citait un opérateur de drone *Predator* qui comparait son travail à un jeu vidéo où il recommencerait en boucle le même niveau depuis quatre ans⁵.

Cette métaphore appliquée à une action de combat potentiellement létale pourrait exercer un rôle de stratégie psychique de mise à distance. L'expression « mentalité *Playstation*⁶ » a ainsi été avancée pour décrire cette détérioration de l'implication affective. Elle pose d'abord la question d'un désengagement compassionnel qui aurait pour fonction de se protéger de la blessure morale. Le terme désigne un syndrome traumatique susceptible d'apparaître quand une situation viole profondément les valeurs éthiques d'un individu⁷, par exemple celle consistant à observer puis tuer sans s'exposer soi-même.

Cette notion se distingue pourtant d'une pathologie mentale et des études successives ont cherché à nuancer la prévalence de syndrome de stress post-traumatique (SPT) chez les opérateurs de drones en comparaison avec des combattants de terrain. Un critère étiologique couramment associé au développement d'un SPT repose en effet sur l'exposition directe du sujet au risque de sa propre mort, ce qui tendrait à exclure les militaires éloignés du combat. Pourtant, si différentes revues observent que les téléopérateurs remplissent des critères symptomatiques du SPT inférieurs à ceux des militaires déployés sur le terrain, le score des premiers révèle bien une vulnérabilité. Dès 2005, MacNair avait ainsi évoqué la notion de « stress-post traumatique par perpétration⁸ », qui pouvait résulter de l'action de tuer. Certaines publications observent par ailleurs des niveaux de détresse psychologique supérieurs chez les opérateurs de drones⁹ : insomnie, irritabilité, épuisement ou encore symptômes dépressifs.

3) Drones et traumatisme anticipatoire

L'effet psychologique produit par le drone repose sur la manière dont il investit nos représentations, à savoir en tant que menace diffuse, persistante et mobile. Chamayou le décrit comme un « objet violent non identifié¹⁰ », difficile à appréhender tant du point de vue éthique que stratégique, juridique et politique.

Il semblait intéressant de comparer le drone avec d'autres menaces typiques d'une guerre fondée sur l'imprévisibilité, par exemple l'insurgé ou l'engin explosif improvisé. Ces trois figures contribuent à produire un état d'hypervigilance, sorte de traumatisme anticipatoire autour de l'incertitude ressentie quand

plus aucun espace du terrain n'est sûr. Le drone se distingue vraisemblablement des deux autres par son omniprésence et son omniscience réelles ou supposées, et la violence psychologique particulière exercée par ce vecteur revêt plusieurs formes. L'idée d'omniprésence comporte une dimension historique, plus spécifiquement associée au drone volant. Arnold souligne ainsi que la mémoire collective reste durablement marquée par les raids aériens, en prenant l'exemple des bombardements alliés sur les villes allemandes au cours de la Seconde Guerre mondiale¹¹. Cette expérience psychologique du ciel occupé et perpétuellement menaçant avait été identifiée très tôt comme un élément décisif dans la prise d'ascendant sur l'ennemi, affectant le moral des populations¹².

Comme le souligne Kail le rôle du drone n'est pas simplement de surveiller ou de neutraliser mais également de réaliser une projection de pouvoir¹³. L'affirmation de ce pouvoir omniscient s'exprime notamment à travers la dimension panoptique décrite par Michel Foucault¹⁴, laquelle vise à induire un « état conscient et permanent de visibilité » duquel naît l'assujettissement. Foucault ajoute que ce procédé « automatise et désindividualise le pouvoir », ce qui renvoie à l'idée de déshumanisation.

Conclusion

Les drones modifient notre rapport psychologique à la guerre. Ce constat maintient sa pertinence « du fait des nouvelles possibilités offertes par la miniaturisation des systèmes et l'amélioration fulgurante de leurs fonctionnalités¹⁵ ». Les technologies de la conflictualité moderne font peser un risque traumatique spécifique sur les combattants de terrain et les populations locales, mais également sur les spécialistes opérant à distance. Ce constat peut relever du paradoxe dans la mesure où l'un des avantages initialement associés au drone était qu'il permettait de « projeter de la capacité sans projeter de vulnérabilité¹⁶ ».

Notre sujet ouvre une réflexion plus générale en matière de force morale individuelle, l'innovation technologique amenant à repenser l'action du soldat. Un glissement vers une forme de combat toujours plus médiée nécessiterait sans doute d'adapter les narratifs de recrutement. Le site « *sengager.fr* » montre qu'une rhétorique plus traditionnelle reste privilégiée autour du défi, du don de soi et de la recherche de l'aventure. Pour une jeune recrue, la technicité n'est donc pas spécifiquement mise en avant. La centralité de cette dernière invite à donner du sens à de nouvelles valeurs martiales comme la lucidité, la conscience émotionnelle et situationnelle ou le sang-froid cognitif. Cela contribuerait, pour reprendre les mots du chef d'état-major de l'armée de Terre, à « épanouir les vertus guerrières dans la modernité ».

- 1- Medact, Drones – *The Physical and Psychological Implications of a Global Theatre of War*, Londres, Medact, 2013.
- 2- Audrey Hérisson, « Mythologie du guerrier », *Inflexions*, n°22, 1, 2013, p. 69-78.
- 3- Benoît Royal, « L'éthique du soldat français : la conviction d'humanité », Paris, Economica, 2014.
- 4- Gérard Dubey, « Grandeur et misère de l'humain augmenté. Le cas du pilote sans avion », *L'homme et la société*, n°207, 2, 2018, p. 75-97.
- 5- « *Life as a US drone operator : It's like playing a video game for four years* », *The Guardian*, 2013.
- 6- Ayla Molenkamp, Maartje Weerdersteijn, et Alette Smeuleurs, « *A Playstation Mentality to Killing ? Adverse Psychological Consequences in Drone Pilots and the Stigmatization thereof in the Military* », *Armed Forces & Society*, vol. 51, n° 3, 2024, p. 840-859.
- 7- Christine Roullière-Le Lidec et Nicolas Méric, « Blessure morale », Paris, Pierre de Taillac, 2024.
- 8- Rachel MacNair, « *Perpetration-Induced Traumatic Stress* », Lincoln, iUniverse, 2005.
- 9- Chermie Armour & Jana Ross, « *The Health and Well-Being of Military Drone Operators and Intelligence Analysts : A systematic Review* », *Military Psychology*, vol. 29, n° 2, 2017, p. 83-98.
- 10- Grégoire Chamayou, « Théorie du drone », Paris, La Fabrique éditions, 2013.
- 11- Jörg Arnold, « *The Allied Air War and Urban Memory. The Legacy of Strategic Bombing in Germany* », Cambridge, Cambridge University Press, 2011.
- 12- Giulio Douhet, « *The Command of the Air* », trad. Dino Ferrari, Washington, D.C., Office of Air Force History, United States Air Force, 1983.
- 13- Michael Kail, « Bombardement, drone, politique », *L'homme et la société*, nos 193-194, 3, 2015, p. 209-220.
- 14- Michel Foucault, « Surveiller et punir », Paris, Gallimard, 2024.
- 15- Jean-Marc Moschetta, « Les futurs systèmes de drones », *Revue défense nationale*, HS 1, 2018, p. 95-103.
- 16- David Deptula, « *Transformation and Air Force Intelligence, Surveillance and Reconnaissance* », communication présentée à l'Air Force Defense Strategy Seminar, US Air Force Headquarters, 2007.

Les drones hugoliens

Par le Colonel (H) André MAZEL

Dans le lointain
Quel est ce bruit
Qui, tout soudain
Perce la nuit.
Bourdonnement
Qui rend dément

Roulements de tonnerre
De pluies caniculaires
Pour inonder nos terres
Ou bien vol de rapaces
Obscurcissant l'espace
En cherchant des carcasses.

Il semble aller de droite à gauche
Mais on entend qu'il se rapproche
Sans que l'on puisse deviner
Vers qui et quoi est destinée
Son arrivée dessus nos têtes
Ni quand viendra cette tempête.

Arrivant au galop, amplifié par l'écho,
Maintenant complété par moult explosions
Des grenades lâchées sur nous à profusion.
Ce bruit est infernal et vient semer la mort.
Cherchons vite un abri ou bien quelque estanco
Qui nous préservera d'un triste mauvais sort.

Il est là, ce bruit de turbines,
Qui lui seul fait trembler nos corps.
Et notre grand Hugo Victor
Sans faire appel à la Sorbonne
Nous aurait dit ce sont des drones
Qui supplantent aujourd'hui les Djinns

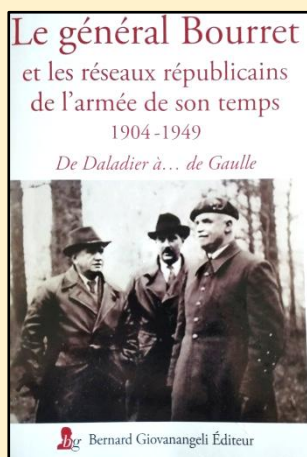
Faux-bourdon adversaires,
Qui viennent bombarder
Civils et militaires.
En semant la terreur
Chaque jour à toute heure
Ignoble procédé.

Le bruit soudain
S'est éclipié.
Sa pluie d'airain
Fut sans succès
Sur nos grillages
Cela soulage.

Informations générales

Soirée de gala des Alumni le 16 juin

L'association MINERVE et l'EMSST organisent conjointement une soirée de gala des **Alumni** le 16 juin prochain dans les jardins du Gouverneur militaire de Paris. Cette soirée a pour but de célébrer près de 80 ans de formation et d'excellence à travers l'Enseignement militaire supérieur scientifique et technique, mais aussi de renforcer nos liens intergénérationnels et l'influence de notre réseau auprès de partenaires académiques, industriels et institutionnels.



Conseil de lecture

Notre Camarade le Général (2S) André BOURACHOT, dont on sait qu'il est un sapeur distingué, est également un historien passionné, auteur de plusieurs ouvrages sur la période qui court de la guerre de 1870 à la fin de la 2^e guerre mondiale.

Son dernier ouvrage, « le général BOURRET et les réseaux républicains de l'armée de son temps 1904-1949 » évoque l'influence de la gauche républicaine dans les armées de l'époque de Daladier à celle de... de Gaulle, dont le général Bourret a été un acteur majeur.

CR de l'AG du 22 janvier 2026

L'assemblée générale nous a réunis le 22 janvier à l'Ecole militaire et ce petit billet en donnera un aperçu à ceux qui n'ont pas eu le loisir de potasser le compte rendu (sur le site pour les adhérents, onglet « L'ASSOCIATION / comptes rendus de réunions »).

Cette séance a permis de valider de nombreux aspects positifs, parmi lesquels les toujours excellentes relations avec le CEMS-T et une légère augmentation des adhésions – grâce aux efforts de persuasion du GCA Christian Piroth.

Le rayonnement progresse via les réseaux sociaux (création d'un canal YouTube grâce à l'appui de Christophe Achte, actualisation du compte LinkedIn et toilettage en cours du site internet avec Franck Schabert et Laurent Tard). Les conférences bénéficient d'un écosystème de très bonne qualité et la lettre de Minerve d'une thématisation qui s'avère productive. Le projet de plaquette commune EMSST-Minerve approche de son débouché.

Les activités traditionnelles (conférence inaugurale et prix Sabatier, journée défense et rentrée de l'EMSST) ont été conduites dans de très bonnes conditions. Quant à la mobilisation des énergies, Laurent Bourdeau a endossé la responsabilité de la base rayonnement, les mandats de Luc Beaussant, Michel Gourdin, Françoise Daniel et André Mazel ont été renouvelés et Michel Pesqueur a rejoint le conseil d'administration.

Les cotisations demeurent de 20 €, et de 10 € pour les officiers subalternes.

Nous avons aussi identifié plusieurs axes de progrès.

Concernant les activités :

- La qualité de nos conférences mérite une meilleure audience ; les adhérents sont invités à les suivre grâce à la connexion vidéo mise à disposition de chacun.
- La rencontre Alumni de l'EMSST sera maintenue pour témoigner de l'excellence de la formation et conforter l'esprit de famille que Minerve promeut. Programmée le 16 juin prochain, elle valorisera la vision que l'Ingénieur général Sabatier a développée après la Libération pour l'enseignement militaire supérieur scientifique et technique.
- Le voyage d'études du Cours Armement de décembre est ouvert à trois membres de Minerve (un rappel sera fait en septembre).

En matière de gestion des compétences et de participation :

- Les postes de directeur général adjoint, ceux des responsables du rayonnement, des réseaux sociaux, des bases de données, de secrétaire général adjoint et de trésorier adjoint restent à pourvoir.
- La participation à l'AG devrait s'étoffer (nous n'étions que 12 sur place, il est vrai nantis de 22 procurations) ; cette situation nous offre une marge de progrès inédite...
- Les efforts pour convaincre les plus jeunes d'adhérer après les années de scolarité et d'inscription de droit doivent se poursuivre.
- Avec des responsables distants, la coordination du rayonnement devient une nécessité plus prégnante.

Sur le plan financier, la conquête de nouvelles ressources (institutionnelles et privées) est nécessaire pour soutenir les événements pilotés par l'EMSST, dont la nouvelle rencontre des Alumni.

S'il ne fallait retenir qu'un facteur clef, il semble que le sentiment d'appartenance à une communauté d'officiers performants, privilégiés par une compétence augmentée, est de nature à renforcer les points forts et à résoudre les quelques difficultés rencontrées. Tout ce qui fait croître ce sentiment mérite d'être exploité.

Carnet gris

Minerve a appris avec tristesse le décès du Colonel André MIANOWSKI, DT Armement.

Minerve présente à sa famille ses plus sincères condoléances.