



Armée de terre

Centre de doctrine et d'enseignement du commandement

Le combat haute intensité : intensités catégorielles, puissance et robotique en essaims

Thierry Berthier

chercheur associé au CREC Saint-Cyr

Ce document ne constitue pas une position officielle de l'armée de Terre

RÉSUMÉ.

La robotisation progressive du champ de bataille ouvre de nouvelles perspectives mais induit également de nombreuses vulnérabilités. Partant d'une définition mathématique de ce que serait la haute intensité, cet article propose une analyse permettant de valider les concepts d'emploi d'unités robotisées.

Introduction.

La robotisation du champ de bataille s'accélère dans les domaines terrestre, maritime, aérien et cyber. La collaboration « man-machine », la robotique en essaim et l'intégration de systèmes toujours plus autonomes au sein des unités combattantes, sont autant d'outils de puissance et de dissuasion à la disposition des armées. Pour autant, ces technologies « matériel et logiciel » induisent de nouveaux risques cyber que l'ennemi cherchera systématiquement à exploiter en mode « haute fréquence », en s'appuyant sur l'intelligence artificielle.

1. Comment préciser puis définir localement la notion de combat de haute intensité ?

L'ambiguïté de la terminologie « combat de haute intensité » n'est pas réservée au seul domaine militaire. Elle existe, sous une forme très voisine, dans le domaine financier avec le trading dit « Haute Fréquence » ou dans celui du traitement des données massives avec les termes de « Big Data » et de calcul « haute performance ». Dans chacun de ces contextes, il convient de définir précisément l'intensité à partir d'un corpus de métriques adaptées. Une dynamique de haute intensité ne peut s'apprécier qu'à partir d'une échelle ou d'un référentiel d'intensité permettant sa mesure. Nous proposons, dans cette première partie, de construire un référentiel permettant de définir formellement l'intensité d'un combat dans une zone géographique donnée sur une période temporelle fixée. Cette construction s'appuie sur une approche systémique du combat haute intensité.

1-1 Activité et énergie de combat dans un volume durant une période temporelle.

Un théâtre d'opérations militaires s'inscrit dans un espace à trois dimensions d'espace (x, y, z), auxquelles il faut ajouter la dimension temporelle (t). Le cube à trois dimensions est un objet géométrique simple qui permet de découper l'espace en zones différenciées facilement repérables. Le volume $V(Hc)$ d'un cube Hc de côté « a » vaut a^3 . Afin de réduire l'espace vide, on peut toujours projeter ce cube sur une surface à deux dimensions. Cette projection permet de concentrer l'information du cube sur une surface. On note cette projection $proj(Hc)$ et sa surface $S(proj(Hc))$.

La deuxième étape consiste à définir l'activité de combat présente dans le cube Hc durant la période temporelle $Tc = t_{\text{final}} - t_{\text{initial}}$

La description de l'activité de combat doit être exhaustive, non simplificatrice, dans le cube observé. Elle tient compte ainsi de l'ensemble des actions cinétiques, électromagnétiques, cybernétiques, psychologiques, informationnelles, opérant dans le cube Hc durant la période temporelle Tc . Pour modéliser complètement l'activité de combat Ac , une méthode consiste à considérer l'activité de manière vectorielle dans un espace à N dimensions où N est le nombre de caractéristiques de l'action $Ac = (a_1, a_2, \dots, a_N)$. Les coordonnées a_i du vecteur d'activité ne sont pas homogènes. Ainsi, les k premières coordonnées peuvent être réservées aux actions cinétiques : par exemple $a_1 =$ nombre de munitions 5.56 tirées, $a_2 =$ nombre de cartouches 12.7 tirées, $a_3 =$ nombre d'ogives RPG-7 tirées, $a_4 =$ nombre d'obus de mortiers tirés, ..., $a_k =$ nombre de drones aériens activés. Les coordonnées suivantes décrivent l'activité électromagnétique dans le cube de combat. Les suivantes décrivent l'activité cybernétique dans le cube, puis l'activité informationnelle, renseignement et PsyOps. La dimension N est par nature très élevée car elle tient compte exhaustivement de l'ensemble des pratiques militaires. Un combat s'opère dans un espace à grande dimension.

Une fois le vecteur d'activités Ac fixé, il faut lui adjoindre un vecteur de puissance Pc de même dimension dont les coordonnées p_i mesurent la puissance de chaque activité élémentaire du combat dans le cube Hc durant la période temporelle Tc . Ainsi, $Pc = (p_1, p_2, \dots, p_N)$ où p_i mesure la puissance (ou le poids) de l'action élémentaire a_i .

Dans un modèle linéaire classique, le produit scalaire $Ec = \langle Ac, Pc \rangle = \sum_{i=1}^N p_i \times a_i$ fournit une mesure de « l'énergie » de combat, pondérée par la puissance, présente dans le cube Hc , durant la période temporelle Tc .

Dans un modèle non linéaire, l'énergie de combat déployée dans le cube Hc durant la période temporelle Tc s'écrit :

$$Ec = \langle \Phi(Ac), Qc \rangle$$

où Φ est un opérateur qui modélise les non linéarités et Qc est un vecteur de poids adapté à Φ .

L'introduction de non-linéarité permet de mesurer plus finement les interactions entre les différentes actions élémentaires de combat et leur puissances propres.

1-2 Définition locale de l'intensité d'un combat dans un cube durant une période temporelle.

Nous disposons de tous les ingrédients pour définir l'intensité du combat I_c dans un cube H_c durant une période temporelle T_c .

L'intensité volumique de combat est définie dans le cube de combat H_c de volume $V(H_c)$, et d'énergie E_c durant la période temporelle T_c par $I_c = \frac{E_c}{V(H_c) \cdot T_c}$

L'intensité surfacique de combat est définie par la projection du cube de combat H_c de surface $S(\text{proj}(H_c))$, et d'énergie E_c durant la période temporelle T_c par $J_c = \frac{E_c}{S(\text{proj}(H_c)) \cdot T_c}$

Les intensités volumiques et surfaciques fournissent une métrique précise pour parler de combat « haute intensité ».

Intensité et énergie instantanée du combat.

Le vecteur d'activité A_c et le vecteur puissance P_c dépendent de plusieurs variables dont la variable temporelle t .

L'énergie instantanée de combat s'exprime en fonction de t :

$$E_c(t) = \langle A_c(t), P_c(t) \rangle = \sum_{i=1}^N p_i(t) \times a_i(t) \text{ dans un modèle linéaire}$$

$$E_c(t) = \langle \Phi(A_c(t)), Q_c(t) \rangle \text{ dans un modèle non linéaire}$$

L'intensité volumique instantanée de combat est $I_c(t) = \frac{E_c(t)}{V(H_c) \cdot T_c}$

L'intensité surfacique instantanée de combat s'écrit : $J_c(t) = \frac{E_c(t)}{S(\text{proj}(H_c)) \cdot T_c}$

L'intensité du combat telle que nous la définissons s'applique à tous les types de conflits, passés ou à venir. On peut ainsi chercher à l'évaluer pour de grandes batailles historiques.

1-3 Deux cas de batailles historiques de haute intensité.

La bataille de Gergovie.

La bataille de Gergovie¹ (52 av. J.-C) s'est déroulée en moins d'une journée avec l'engagement de plusieurs milliers de combattants (6 légions soit 36 000 hommes pour César et plus de 50 000 hommes du côté Gaulois) sur une zone géographique très resserrée (un carré de 5 000 mètres de côté).

Particulièrement bien documentée sur les effectifs engagés, sur les armes utilisées et sur les mouvements des forces, la bataille de Gergovie est un exemple où il est possible d'estimer l'intensité du combat à l'aide des formules précédentes. L'élément le plus difficile à évaluer est l'énergie du combat car il doit tenir compte de l'ensemble des armes mises en œuvre (glaives, flèches, boulets de catapultes) et des troupes engagées durant la bataille.

¹ <https://musee-gergovie.fr/le-plateau-de-gergovie/histoire/>

La bataille Napoléonienne de Borghetto.

La bataille de Borghetto² (30 mai 1796) a opposé l'armée française (28 000 hommes) sous le commandement du général Napoléon Bonaparte à l'armée autrichienne (18 000 hommes) sous les ordres du général Johann von Baulieu. La confrontation se déroule sur la journée du 30 mai dans une zone géographique réduite à proximité du village de Valeggio sul Mincio.



Napoléon III et l'Italie - Gerolamo Induno - La bataille de Magenta.

Les effectifs humains, le nombre de canons et de fusils engagés sont bien documentés. Ils permettent d'évaluer l'intensité de la bataille dans un carré de 40 km de côté pendant 24 heures.

2. Le combat moderne et ses intensités catégorielles.

Les derniers conflits (Syrie, Yémen, Arménie-Azerbaïdjan) témoignent d'un usage généralisé de systèmes d'armes robotisés, drones aéroterrestres, drones kamikazes, munitions flottantes, fournies par des industriels de l'armement iraniens, saoudiens, turcs, israéliens, chinois, russes et américains. L'emploi d'essaims de drones aériens kamikazes porteurs de charges explosives permet de saturer l'espace pendant une très courte période offensive et de mettre en déroute la défense de l'adversaire. L'Arménie a subi ainsi des pertes importantes à la suite d'attaques de groupes de drones kamikazes téléopérés. Ces cas d'usage nous montrent qu'il convient de catégoriser les intensités du combat en fonction des technologies employées.

2.1 Énergies du combat et intensités catégorielles.

Dans la première partie de l'article, nous avons défini l'énergie d'un combat pondéré par la puissance de l'armement mis en œuvre, dans un cube H_c , durant une période temporelle T_c par :

$$E_c = \langle A_c, P_c \rangle = \sum_{i=1}^N p_i \times a_i$$

² <https://www.napoleon-empire.net/batailles/borghetto.php>

Les termes de cette somme globale peuvent être ordonnés en sous-groupes correspondant aux familles de systèmes d'armes mis en œuvre. On réunit (par exemple) toutes les contributions liées à l'artillerie dans une sous-somme E_{C-Art} , puis toutes les contributions liées aux unités robotisées terrestres E_{C-UGV} , puis toutes les contributions liées aux unités robotisées aériennes (drones, essais, munitions flottantes) E_{C-UAV} , puis les contributions liées aux vaisseaux robotisés de surface et sous-marins E_{C-USV} . Viennent ensuite les contributions liées aux systèmes de guerre électronique (brouillage, déception électronique, leurres électromagnétiques) E_{C-ELEC} , les contributions cyber offensives et défensives $E_{C-CYBER}$, les contributions liées au renseignement E_{C-RENS} .

L'énergie globale est $E_C = E_{C-Art} + \dots + E_{C-UGV} + E_{C-UAV} + E_{C-USV} + E_{C-ELEC} + E_{C-CYBER} + E_{C-RENS}$.

Les intensités catégorielles sont calculées en restreignant les calculs aux contributions des systèmes d'armes correspondants : I_{C-Art} , ..., I_{C-UGV} , I_{C-UAV} , I_{C-USV} , I_{C-ELEC} , $I_{C-CYBER}$, I_{C-RENS} .

2.2 Le combat de haute intensité robotisé et les niveaux d'autonomie des systèmes déployés.

L'usage généralisé de drones aériens, terrestres, marins et sous-marins caractérise le conflit contemporain avec l'emploi de systèmes robotisés, le plus souvent téléopérés depuis une cabine de pilotage déportée ou depuis une console de contrôle à distance. Lorsqu'il s'agit de systèmes de robots en essaims, la semi-autonomie apportée par l'intelligence artificielle (computer vision et apprentissage automatique) permet de contrôler l'ensemble en agissant sur un ou plusieurs éléments leaders dont le comportement est reproduit par le reste du groupe mode (Follow the Leader). Le contexte sous-marin nécessite un haut niveau d'autonomie, par exemple dans le cadre de missions de renseignement de longue durée.

Le combat robotisé présente un spectre d'intensités catégorielles particulièrement large. On peut distinguer les intensités I_{C-UGV} , I_{C-UAV} , I_{C-USV} , I_{C-ELEC} , $I_{C-CYBER}$, I_{C-RENS} .

Pour chaque catégorie, il est possible de détailler l'intensité du combat en fonction du niveau d'autonomie du système robotisé déployé et de redéfinir l'intensité du combat robotisé par niveau d'automatisme des systèmes mis en œuvre. Ainsi, les niveaux d'automatisme L0, L1, L2, L3, L4, L5 donnent lieu aux intensités catégorielles I_{C-L0} , I_{C-L1} , I_{C-L2} , I_{C-L3} , I_{C-L4} , I_{C-L5} .

Nous avons proposé en 2018 (Revue Défense Nationale³) une classification des systèmes armés robotisés en six niveaux d'automatismes L0, L1, L2, L3, L4, L5 et un corpus de métriques associées⁴.

Niveau L0 - Système armé pleinement téléopéré.

L'opérateur humain téléopère à distance le système à l'aide d'une interface de pilotage déportée. Les déplacements du système sont strictement téléopérés par l'opérateur humain. Les détecteurs du système renvoient des informations à l'opérateur. La reconnaissance et l'acquisition des cibles sont exclusivement réalisées par l'opérateur humain. Les commandes de tirs du système sont exclusivement actionnées par l'opérateur humain. L'intensité du combat associée au niveau L0 est notée I_{C-L0} .

³ Thierry Berthier, Systèmes armés semi-autonomes : que peut apporter l'autonomie ?, L'IA et ses enjeux pour la Défense, Revue Défense Nationale RDN n° 820, mai 2019.

⁴ Thierry Berthier, Gérard de Boisboissel, Éric Hazane, Olivier Kempf, Nicolas Mazzucchi, P.H. Marconnet, Approche économétrique du facteur multiplicateur de puissance associé à l'intégration de systèmes autonomes au sein d'un groupe de combat terrestre, Actes Conférence CESAR DGA IA Défense 2019, Rennes.

Niveau L1 - Système armé dupliquant automatiquement l'action de l'opérateur.

L'opérateur humain est augmenté par un système qui l'assiste en dupliquant automatiquement ses actions. La composante de traction peut suivre et reproduire les déplacements du superviseur humain via ses capteurs. Les capteurs du système détectent les objets que l'opérateur a détecté. L'acquisition des cibles est identique à celle de l'opérateur humain via le système de visée de son arme, connecté à celui du système. Le système ouvre le feu sur une cible si et seulement si l'opérateur ouvre le feu sur cette cible. L'intensité du combat associée au niveau L1 est notée I_{C-L1} .

Niveau L2 - Système armé semi-autonome en déplacement et en détection de cibles.

L'opérateur humain supervise le système en lui fournissant un plan de route et des indications de cibles. Le système choisit le meilleur chemin en fonction des indications de localisation fournies par l'opérateur. Les capteurs du système détectent automatiquement les objets et cibles potentielles. Le système suggère des objets comme cibles potentielles à l'opérateur humain qui définit les cibles à prendre en compte. Le système ouvre le feu sur la cible après autorisation du superviseur humain. L'intensité du combat associée au niveau d'automatisme L2 est notée I_{C-L2} .

Niveau L3 - Système armé autonome soumis à autorisation de tir.

L'opérateur humain n'intervient que pour donner l'autorisation d'ouvrir le feu sur une cible proposée par le système. Les déplacements sont décidés par le système en fonction de sa perception du terrain et de ses objectifs de mission. Les capteurs détectent et reconnaissent les objets de manière autonome. L'acquisition de cibles s'effectue de manière automatique ou dirigée via les capteurs du système et ses capacités de reconnaissance. Le système propose une cible et ouvre le feu après autorisation du superviseur humain. L'intensité du combat associée au niveau L3 est notée I_{C-L3} .

Niveau L4 - Système armé autonome sous tutelle humaine.

L'opérateur humain peut désactiver et reprendre le contrôle du système pleinement autonome. Les déplacements sont décidés par le système en fonction de sa perception du terrain et de ses objectifs de mission. Les capteurs détectent et reconnaissent les objets de manière autonome. L'acquisition de cibles s'effectue de manière automatique via les capteurs du système et ses capacités de reconnaissance et d'analyse. Le système décide de l'ouverture du feu sur la cible qu'il a sélectionnée mais peut être désactivé par son superviseur. L'intensité du combat associée au niveau L4 est notée I_{C-L4} .

Niveau L5 - Système armé autonome sans tutelle humaine.

L'opérateur humain n'a pas la possibilité de reprendre le contrôle du système pleinement autonome. Les déplacements sont décidés par le système en fonction de sa perception du terrain et de ses objectifs de mission. Les capteurs détectent et reconnaissent les objets de manière autonome. L'acquisition de cibles s'effectue de manière automatique via les capteurs du système et ses capacités de reconnaissance et d'analyse. Le système décide de l'ouverture du feu sur la cible qu'il a sélectionnée sans possibilité de désactivation (sauf destruction). L'intensité du combat associée au niveau L5 est notée I_{C-L5} .

Le dernier niveau (L5) de ce classement correspond à celui d'un robot de type « Terminator » fortement ancré dans l'imaginaire « grand public » mais avec très peu d'intérêt opérationnel pour les forces armées. Les niveaux utiles s'échelonnent de L0 à L4 et ne disposent pas tous du même degré de maturité technologique. Le niveau L0 est celui des drones et robots pleinement téléopérés par un opérateur humain et ne disposant d'aucune fonctionnalité échappant au contrôle humain. Le niveau L1 est celui d'un système armé dupliquant automatiquement les actions et les tirs d'un superviseur (humain ou système).

Les systèmes de niveau L1 existent depuis 2018 notamment en Russie avec la Plateforme MARKER. Les robots dotés de fonctionnalités activables en mode « Follow The Leader » sont de niveau L1. Les niveaux L2 et L3 concernent potentiellement tous les milieux d'action : terre, air, mer en surface et sous-marin. Le niveau L4 peut s'appliquer à une opération de lutte anti-sous-marine menée en temps de guerre.

3. La puissance de la robotique en essaim.

Les vols en essaims d'insectes ou d'étourneaux, le déplacement d'un groupe de poissons ont donné lieu à de nombreuses recherches en informatique, mathématiques appliquées et en simulation multi-agents. La robotique cherche à imiter la puissance de l'essaim dans la construction de fonctionnalités décentralisées résilientes.

Des exemples spectaculaires de robotique en essaim sont donnés par les spectacles lumineux mettant en scène des ensembles coordonnés de drones aériens. Dans ce type de spectacle, les drones sont supervisés par un calculateur centralisé (au sol) qui suit chaque robot et qui commande leur déplacement en formation. Les mouvements individuels résultent d'une version adaptée du contrôle du trafic aérien. Ils sont calculés en maintenant les trajectoires de vol séparées mais suffisamment proches tout en évitant les collisions. Individuellement, ces drones ne participent pas au processus de prise de décision.

Le véritable comportement de l'essaim résulte d'un ensemble de règles élémentaires que chaque drone participant à l'essaim suit, sans contrôleur centralisé. En 1986, les travaux de recherche de Craig Reynolds⁵ sur la modélisation des essaims naturels (insectes, poissons, étourneaux) ont montré qu'il était possible de reproduire un vol en essaim à partir de trois règles très simples, sans supervision centrale. Ces trois règles sont les « consignes » que chaque participant à l'essaim doit respecter et appliquer :

- Règle 1) Séparation : garder une distance minimale avec ses voisins les plus proches.
- Règle 2) Alignement : se diriger vers le cap moyen de ses voisins à la même vitesse qu'eux.
- Règle 3) Cohésion : essayer de se rapprocher de la position moyenne de ses voisins tout en maintenant la cohésion locale de l'essaim.

En respectant ces trois règles élémentaires, on montre que de très grands groupes d'agents (étourneaux, insectes ou drones) peuvent se déplacer vers une certaine destination en évitant des obstacles avec une agilité fluide et transparente.

Des approches décentralisées similaires permettent aux essaims de drones de se « répandre » pour couvrir une vaste zone, et de se « déconcentrer » pour s'assurer qu'ils n'attaquent pas tous la même cible. Un opérateur dirige l'essaim vers la zone d'action pertinente et l'essaim autonome peut faire le reste. Notons que les essaims de drones militaires, contrairement aux drones de spectacle lumineux ou aux oiseaux en masse, peuvent être séparés les uns des autres et mis en œuvre en formation de moindre densité.

⁵ Boids, Background and Update, Craig Reynolds <https://www.red3d.com/cwr/boids/>



Silhouette of drones in the sky.

Une formation en essaim rend les drones beaucoup plus efficaces qu'une formation supervisée de manière centralisée. Une étude de l'armée américaine⁶ a montré en 2018 que l'essaimage semi-autonome augmente la létalité d'un essaim de drones d'attaque d'au moins 50 % tout en réduisant de 50 % les pertes subies via les défenses de l'adversaire. Les drones engagés peuvent coordonner leur sélection de cible, leur approche ou tout autre angle d'attaque. Lors d'une attaque omnidirectionnelle, des drones en essaim frappent une cible sous de nombreux angles. La communication permet également aux drones de partager des informations sur les emplacements des cibles et de les utiliser pour guider les attaques. Alors que les essaims dans la nature ont tendance à être constitués d'un seul type d'animal, un essaim de drones peut incorporer différents types de robots coopérants, avec des rôles spécialisés en tant que capteurs, attaquants, leurres ou communiquant au sein du groupe hétérogène. Cette coopération crée la puissance offensive du dispositif comme le montre un cas d'usage étudié par l'armée américaine : un premier groupe de drones non armés peuvent collecter des informations sur le terrain pour informer un second groupe de drones armés de la meilleure façon de frapper une cible. Des drones armés de fusils, de bombes et de missiles permettent à l'essaim de drones d'utiliser une combinaison d'armes pour mener une attaque adaptative et reconfigurable à tout instant. Cette flexibilité fonctionnelle optimise les solutions d'engagement de tout type d'objectif au sol (véhicules, bunkers ou personnels). Idéalement, l'essaim offensif se présente comme un jeu de Lego illimité permettant de mélanger des blocs fonctionnels en les faisant coopérer. Cette approche est précisément celle de « Mosaic Warfare » proposée par l'agence d'innovation de la Défense américaine DARPA dans laquelle tout est décentralisé avec des attaques menées par « Kill Web » constitués de groupes d'essaims optimisés semi-autonomes.

⁶ Étude "Swarm Weapons: Demonstrating a Swarm Intelligent Algorithm for Parallel Attack" Defense Technical Information Center, DoD, 2018: <https://apps.dtic.mil/sti/citations/AD1071535>

Les attaques « Super Swarm ».

Les dernières études DARPA laissent entendre que des attaques menées par des essaims constitués de plusieurs dizaines de milliers de petits drones aériens et navals porteurs de charges seront techniquement réalisables en 2025. Selon les responsables du programme « Super Swarm DARPA », de tels dispositifs offensifs en super essaim doivent désormais être classés dans la catégorie des armes de destruction massive⁷ en raison des dommages massifs qu'ils peuvent provoquer et du manque de réponse défensive face à ce type d'attaque.

Le scénario d'une attaque « Super Swarm » menée contre un porte-avions par un essaim semi-autonome de 10 000 drones navals de surface, sous-marins et aériens, kamikazes, porteurs de charges explosives, est très sérieusement étudié par la Marine américaine⁸.

Une attaque de ce type menée contre une force navale est susceptible d'avoir lieu à des vitesses incompatibles avec les vitesses de réactions humaines, avec des forces d'attaque et de défense tentant d'agir sur les algorithmes de l'adversaire, de les exploiter et de les déjouer en temps réel, simultanément sur et sous l'eau. Les belligérants chercheront à déterminer les meilleures tactiques afin d'actionner un dispositif « Super Swarm » en composant vitesse, agilité, puissance de feu, résilience grâce à l'intelligence artificielle.

Haute intensité et risque cyber.

L'intégration croissante d'unités robotisées téléopérées ou semi-autonomes au sein des dispositifs de combat induit de nouveaux risques de cyberattaques sur ces systèmes.

Les scénarii de cyberattaques sur un système robotisé sont multiples :

Un drone téléopéré peut être attaqué via sa liaison avec son pilote déporté. Ses capteurs peuvent être compromis, trompés, détournés pour entrainer sa neutralisation.

Le drone peut être recruté par l'ennemi et retourné contre son ancien superviseur.

Dans le contexte d'un système robotisé semi-autonome de niveau d'automatisme L1, L2, L3, L4, L5, les composantes d'apprentissage automatique ou de « computer vision » peuvent être trompés par une attaque spécifique, data centrée sur ses capteurs.

Des attaques spécifiques sur les essaims de drones permettent de modifier le comportement global ou partiel de l'essaim. Un essaim peut être vaincu en profitant de ses règles internes si celles-ci peuvent être déterminées par l'adversaire. Plus précisément, un essaim complet, dont les membres ont tous une règle d'évitement de collision, peut être « rassemblé » par quelques drones extérieurs et être détourné vers une autre destination. Si les membres de l'essaim sont tous programmés pour attaquer ce qu'ils considèrent comme la cible de la plus haute valeur, alors ils peuvent tous être leurrés pour attaquer un leurre. Une erreur de ciblage peut ainsi engendrer des erreurs en cascade dans tout l'essaim.

⁷ Les « Super Swarm » considérés comme des armes de destruction massive. <https://www.forbes.com/sites/davidhambling/2020/06/01/why-new-us-armys-tank-killing-drone-swarm-may-be-a-weapon-of-mass-destruction/?sh=3fe27eacece8>

⁸ Robust Counter UxS Strategies Against Multi-Domain Super Swarms https://nps.edu/documents/113838019/119143709/Kaminer_RobustCounterUxS_v1.pdf/ec414cfa-cc57-c7c3-d44d-8592a561c492?t=1585694994514

Du côté de la défense, pour tenter de contrer une attaque par essaim ou super essaim, le défi consiste à déterminer les algorithmes qui régissent l'essaim d'attaque dont on ne sait rien à partir de son comportement offensif. Il s'agit de comprendre les éléments internes de l'opération d'un essaim en observant son mouvement et comment il réagit à l'injection de drones intrus au sein de l'essaim. L'envoi de drones jouant le rôle d'agent provocateur provoquera des réactions qui pourront être analysées et exploitées. La rétroingénierie d'un essaim de drones s'effectue à la fois sur les champs physiques et cyber.

En conclusion.

La définition de l'intensité globale et des intensités catégorielles contribue à la construction de modélisations et de simulations du combat haute intensité. Une simulation paramétrée par l'intensité permettrait, entre autres, de vérifier la doctrine d'engagement de nos unités et de nos moyens robotiques et d'évaluer des algorithmes de « swarming ».

Le combat haute intensité est une thématique centrale dans la réflexion stratégique des forces armées. La montée en puissance de l'intelligence artificielle associée aux progrès de la mécatronique et de la robotique rend possible la constitution de systèmes robotisés à haut niveau d'autonomie, capables de s'inscrire dans un combat collaboratif en mode haute fréquence. La question des contre-mesures face à un super essaim offensif robotisé accélère la course à la robotisation et à l'autonomie des systèmes.