

L'intelligence artificielle au service des aviateurs ou comment l'intelligence humaine est l'avenir de l'IA

David PAPPALARDO

Lieutenant-colonel, bureau Plans, de l'État-major de l'Armée de l'air (EMAA).

Aux côtés de l'analyse massive des données (*Big Data Analytics*), de la connectivité et de la cybersécurité, l'Intelligence artificielle (IA) est l'une des quatre technologies numériques au cœur de la transformation digitale de l'Armée de l'air vers le *Système de combat aérien du futur (Scaf)* : en combinant la « puissance de calcul et de stockage des ordinateurs et la capacité d'adaptation de l'intelligence humaine » ⁽¹⁾, cette transformation vise l'émergence d'un véritable système cognitif aérien.

L'IA dite connexionniste et l'apprentissage statistique ⁽²⁾ ont significativement progressé grâce à la forte augmentation des capacités de calcul. Elles excellent désormais dans leur capacité de traitement de grandes quantités d'informations sur un temps très court, compensant les limitations cognitives de l'homme (mémoire, attention, calcul, anticipation) dans un contexte d'infobésité et de nécessaire accélération des processus décisionnels. Pour autant, ces technologies numériques demeurent limitées à la réalisation de tâches ciblées et spécifiques : la notion d'IA générale surpassant son créateur relève du mythe, tout comme le grand récit de la *Singularité* technologique de laquelle elle découle ⁽³⁾.

Pour cette raison, le système cognitif aérien visé ne rompt aucunement avec l'humanisme ni ne cède à l'impasse sémantique de l'anthropomorphisme : l'IA n'accédant pas à la capacité de transversalité de l'intelligence humaine, la question de savoir si les machines peuvent penser est ainsi à peu près aussi pertinente que

(1) FERRARI Vincent, *Prise de décision et numérisation de l'espace de bataille : l'exemple du C2*, Centre de recherche de l'Armée de l'air, mai 2017.

(2) *Machine learning* en anglais. Les progrès les plus notables concernent l'apprentissage supervisé d'un réseau de neurones nourri par de grandes quantités de données.

(3) GANASCIA Jean-Gabriel, *Le mythe de la singularité : faut-il craindre l'intelligence artificielle ?*, Éditions du Seuil, 2017, 144 pages.

celle de savoir si les avions savent voler ⁽⁴⁾. Au contraire, l'IA doit permettre à l'aviateur de se concentrer sur les tâches « nobles » du combat tactique et opératif, faisant apparaître un paradoxe contre-intuitif : plus on avancera dans le domaine de l'IA, plus l'homme sera capable d'exprimer son plein potentiel, déchargé des tâches d'analyse les plus simples. Capable de comprendre le contexte et les enjeux supérieurs, l'aviateur apportera toujours le bon sens, l'intuition et la capacité d'adaptation face à l'inconnu. L'Homme est bien l'avenir de l'IA au sein du système cognitif aérien du futur.

C'est ainsi que l'Armée de l'air avance avec détermination sur le chemin du développement de l'IA, où les champs d'applications demeurent nombreux, de la maintenance prédictive à la gestion des systèmes multi-agents dans le cadre du projet *Man Machine Teaming*.

IA et performance du maintien en condition opérationnelle (MCO)

À court terme, l'apport de l'IA, associé au *Big Data Analytics*, offre tout d'abord des opportunités déterminantes d'ordre économique, industriel et pratique pour augmenter la disponibilité des flottes et *in fine* la performance globale du Maintien en condition opérationnelle (MCO). Trois axes d'efforts sont ainsi identifiés au sein de l'Armée de l'air : la maintenance prédictive, la logistique 4.0 (son corollaire) et la robotisation dans les opérations de maintenance.

Les technologies numériques doivent permettre d'optimiser la planification des tâches de maintenance au regard des besoins opérationnels en substituant à l'approche classique et corrective une approche différenciée et prédictive. Il s'agit de « rendre le hasard prévisible » ⁽⁵⁾ en agrégeant et corrélant les données des différents acteurs : celles issues des unités et services de maintenance de l'Armée de l'air, celles provenant des industriels en général (intégrateurs, constructeurs, sous-traitants, etc.), enfin les données directement produites par les jumeaux numériques des aéronefs connectés (*Digital Twin*). Ces doubles virtuels, relevant de l'*Internet* des objets (*IoT*), doivent permettre en temps réel l'analyse des données grâce aux techniques d'apprentissage de l'IA et les présenter sur un tableau de bord ergonomique grâce à la réalité augmentée en trois dimensions. De tels projets sont à l'étude pour les appareils nativement connectés, à l'horizon 2030. La valorisation de toutes ces données n'a d'autre ambition que d'améliorer la gestion des flottes et anticiper les opérations d'entretien tout comme le prépositionnement des pièces de rechange.

L'optimisation du soutien logistique est en effet un corollaire naturel à la maintenance prédictive : l'IA et le *Big data* doivent concourir à court terme à l'optimisation des flux logistiques en mettant en place en temps réel une meilleure

(4) Paraphrase du mathématicien Edsger W. Dijkstra, dont la comparaison portait sur « les sous-marins sachant nager ».

(5) CHOAIN Christophe, « La course au numérique est en marche », *Epidosis* n° 48 du Cesa, juillet 2015.

capacité d'anticipation des demandes, de suivi des stocks, de l'état des matériels et de pilotage des flux de ravitaillement.

Enfin, la robotique et la fabrication additive modifient progressivement la maintenance en ligne des aéronefs. Des drones automatisés sont par exemple à l'étude pour l'inspection des zones difficilement accessibles sur les différents aéronefs (en hauteur ou à l'intérieur même des structures). Par ailleurs, les imprimantes 3D permettront, à terme, de fabriquer certaines pièces en métropole comme sur les théâtres d'opérations où les flux logistiques sont souvent contraints.

Gestion de la masse des données opérationnelles et de renseignement

Au-delà du champ du MCO, la stratégie d'adoption de l'IA passe prioritairement par la maîtrise des données. Du renseignement jusqu'à la planification et la conduite des opérations aériennes, l'insertion de l'IA doit permettre de répondre à la problématique du « déluge informationnel ». En particulier, l'explosion du nombre d'informations disponibles (infobésité), la multitude des acteurs impliqués et l'augmentation de leurs performances posent de nombreux défis au commandement. Face à cette problématique, la vraie question est bien celle de la donnée avant d'être celle de l'algorithme : les technologies numériques sont devenues essentielles pour analyser des données en très grande quantité, consolider l'information élaborée, et distribuer la connaissance pour décider et agir avec clairvoyance.

IA et capteurs

La première étape consiste à intégrer l'IA dans les capteurs des différents systèmes d'armes selon une approche « *data* et services ». Les efforts actuels portent sur les outils d'aide au traitement et à l'exploitation de l'information pour mieux discriminer et identifier des cibles potentielles (algorithmes d'*Automatic Target Detection/Recognition*). Par exemple, le standard *F4* du *Rafale* intégrera ce type d'algorithme dans le *pod* de ciblage *TALIOS* ⁽⁶⁾ pour l'optronique, dans le radar *RBE2* ⁽⁷⁾ pour l'imagerie radar et, à terme, dans *Spectra* ⁽⁸⁾ pour la guerre électronique. De la même manière, des travaux sont en cours pour améliorer l'interprétation des scènes et la détection d'anomalies issues de la surveillance champ large sur un drone Moyenne altitude-longue endurance ou *Male* (système *WAMI* pour *Wide-Area Motion Imagery System*).

La hiérarchisation des données transmises est également primordiale dans un environnement opérationnel contraint par la technique (la bande passante octroyée est une donnée finie ; les débits de données resteront limités et jamais équivalents à ceux de la fibre optique) mais aussi par la menace (contestation du

(6) *Targeting Long-range Identification Optronic System*.

(7) *Radar à balayage électronique 2 plans*.

(8) *Système de protection et d'évitement des conduites de tir du Rafale*.

spectre électromagnétique). Pré-identifiées par l'IA de bord, les informations prioritaires pourront alors être transmises le plus rapidement possible, alors que celles d'importance ou de criticité moindre pourront être stockées, référencées et archivées pour une exploitation à temps.

La problématique de l'infobésité dans le renseignement

La seconde étape appréhende la problématique de l'infobésité dans le domaine du renseignement, où les questions de criticité, d'intégrité, de validité et de sensibilité de l'information sont exacerbées. L'enjeu consiste donc à exploiter plus efficacement, et de manière souveraine, une masse de données en forte croissance avec une ressource humaine et technique toujours comptée. Il s'agit désormais d'utiliser l'IA et le *Big Data Analytics* pour automatiser les traitements les plus courants et optimiser le croisement d'informations multidomains et multisources. L'objectif final étant bien de recentrer le traitant humain sur les fonctions d'expertise à haute valeur ajoutée, telles que la décision, l'analyse de haut niveau, la création ou la conceptualisation.

La digitalisation des structures de commandement et de conduite des opérations (C2)

Enfin, la capacité à mettre en œuvre l'IA efficacement est un enjeu clé pour gérer un flux croissant de données dans les structures de commandement et de conduite des opérations aériennes. La gestion de l'espace de combat va ainsi nécessiter une coordination et un partage de l'information en temps réel de plus en plus efficace (notion de *Common Relevant Operational Picture* ou *CROP*). Pour mener à bien des opérations sur des théâtres éloignés et à forte élongation, les forces auront besoin de moyens numériques compatibles de transmissions en temps réel de la connaissance, afin de permettre à l'ensemble de la chaîne de commandement de fonctionner au tempo exigé.

L'Armée de l'air avance ainsi vers la digitalisation de ses structures de commandement soutenue par les technologies liées à l'IA (concept « d'*e-JFAC* »⁽⁹⁾). Les progrès des technologies numériques doivent permettre au *C2* Air :

- **D'autonomiser des tâches courantes** de gestion et de coordination de l'espace aérien.
- **De disposer de bases de données dynamiques, résilientes et connectées.** La résilience tiendra à la fois de la répartition des données (entre les aéronefs, bases aériennes et centres de commandement), de leurs transmissions et des applicatifs fonctionnels avec ou sans connectivité.

(9) *JFAC* : *Joint Force Air Command* ou Commandement de la composante air de la force interarmées.

- **De donner du sens à ces données** grâce à l'optimisation des interfaces homme-machine, pour *in fine*, recentrer l'humain sur l'information utile. Cela lui permettra de rester toujours « dans la boucle » décisionnelle (*in the loop*), ou en supervision proche (*on the loop*), de manière adaptative en fonction du contexte et du tempo opérationnel.

- **D'aider à la conception de manœuvres** en proposant des modes d'actions pertinents. L'IA pourra ainsi venir enrichir les techniques traditionnelles de *serious game* en augmentant le champ des possibles, anticipant le comportement probable de l'adversaire et en augmentant les chances de le placer devant un dilemme.

- **D'aider à la conduite d'une manœuvre**, en suivant les écarts à la planification et en proposant des adaptations réactives face aux contingences.

Dès lors, l'implication de l'IA dans le C2 Air pourrait se traduire par le raccourcissement de la boucle OODA (Observation, orientation, décision, action), notamment dans des opérations aériennes se déroulant à grande distance des centres de décision.

Combat collaboratif aérien connecté et assistant cognitif virtuel ⁽¹⁰⁾

Face aux stratégies croissantes de déni d'accès (*A2AD - Anti Access/Area Denial*), le combat mené dans et depuis le milieu aérospatial va s'inscrire dans une perspective multidomaine grandissante au sein de laquelle sa dimension collaborative sera un des gages de la liberté d'action militaire.

La mise en réseau des différents systèmes d'armes aériens, centrés autour du *Rafale* puis du *Next Generation Aircraft (NGF)*, rendra possible de nouveaux modes de combat collaboratifs qui vont démultiplier les forces intrinsèques des plateformes. Pour autant, le combat collaboratif aérien connecté va également nécessiter le pilotage de systèmes de plus en plus complexes. L'IA doit ainsi permettre l'émergence d'un véritable assistant cognitif virtuel de l'équipage dont l'objectif est double : l'aide à la décision et le pilotage de systèmes complexes.

Aide à la décision

Étudié dans le cadre du plan d'étude amont *Man Machine Teaming (MMT)* codirigé par Dassault et Thales, cet assistant cognitif virtuel a pour ambition d'être à la fois proactif (en suggérant des changements d'états opérationnels des objets) et réactif (en choisissant constamment la meilleure fonction ou la meilleure ressource pour obtenir le changement d'état désiré). Il devra interagir et collaborer de manière intuitive et naturelle avec l'équipage afin de l'aider dans les missions (adaptation

(10) FAURY Étienne et PAPPALARDO David, « L'intelligence artificielle dans l'Armée de l'air », hors-série *Défense & Sécurité Internationale (DSI)* n° 65 (*Intelligence artificielle – Vers une révolution militaire ?*), avril 2019.

des visualisations et alertes aux situations tactiques et à la charge cognitive des pilotes ; aide à la reconfiguration des systèmes suite aux pannes et défaillances ; prédiction plus fidèle des chances de succès d'un tir, adaptation de la navigation en fonction de l'évolution tactique, etc.).

Gestion de systèmes complexes et autonomie ⁽¹¹⁾

Le combat collaboratif aérien connecté ira de pair avec un partenariat renforcé entre opérateurs humains, embarqués ou non, et des fonctions autonomes au sein d'un système de systèmes. Ce partenariat doit améliorer l'efficacité de la mission au-delà de ce que le seul vecteur habité traditionnel aurait pu obtenir seul. Pour ce faire, l'assistant cognitif virtuel devra être en mesure de répondre aux sollicitations, d'anticiper les besoins et d'agir de façon autonome et coordonnée avec le dispositif.

Par exemple, le combat en meute (plateformes habitées, drones de combat et *remote carriers*) produira des effets de saturation facilitant la neutralisation des défenses sol-air d'un réseau A2/AD. L'autonomie collaborative permettra dans ce cadre d'assurer la cohérence globale des trajectoires (anti-abordage, performance des effets de saturation), en particulier pour les éléments furtifs et dans un contexte *Navwar* ⁽¹²⁾. Elle augmentera en outre la survivabilité de l'ensemble par l'assignation de tâches particulières à certains éléments consommables au profit de la meute. Cette approche est celle d'un combat d'usure par opposition au classique du duel, qui nécessite bien souvent des technologies plus onéreuses et dont il est difficile de garantir la supériorité dans le temps long.

In fine, la collaboration au sein d'un système de systèmes, par l'émergence d'assistants virtuels cognitifs, offrira au stratège aérien l'ubiquité par procuration ⁽¹³⁾ en recréant de la masse, essentielle pour ouvrir des fenêtres de supériorité aérienne, à la fois spatiales et temporelles, face aux défenses ennemies.

Protection : unique solution pour contrer une IA adverse

L'arrivée de l'intelligence artificielle n'est pas uniquement une source d'opportunités. Elle est également annonciatrice de menaces nouvelles. Plus personne ne peut prétendre battre une IA aux jeux d'échecs ou de Go. Si la stratégie est bien, comme la définissait Hervé COUTAU-BÉGARIE, « la dialectique des intelligences, dans un milieu conflictuel » ⁽¹⁴⁾, les armées doivent être en mesure d'opposer à

(11) PAPPALARDO David, « Combat collaboratif aérien connecté, autonomie et hybridation Homme-Machine : vers un "Guerrier Centaure" ailé ? », *DSI* n° 139, janvier-février 2019, p. 70-75.

(12) Guerre dite du PNT pour Positionnement, Navigation, Temps.

(13) MALIS Christian, « Horizon 2030 : réflexions prospectives sur le combat terrestre », *Revue Défense Nationale* n° 778 mars 2015, p. 105-112.

(14) COUTAU-BÉGARIE Hervé, *Traité de stratégie* (7^e édition), Economica, 2017, 1 200 pages.

l'adversaire une intelligence capable d'opérer à une vitesse supérieure, sur un plus large éventail ⁽¹⁵⁾. Face à l'essor de cette nouvelle conflictualité, l'Armée de l'air doit notamment être en mesure de se défendre contre des attaques massives, synchronisées, soudaines et autonomes, que cela soit dans le cyberspace pour l'analyse des signaux faibles, ou face à une attaque saturante de mini-drones (concept d'essaims) ou de missiles de croisières. En particulier, la menace d'un essaim de mini-drones hostiles contre une base aérienne ou un site sensible constitue un véritable défi pour les capacités de défense sol-air nationales : la miniaturisation de ces technologies et leur démocratisation rendent les menaces drones de type LSS (« *Low Slow Small* ») de plus en plus crédibles et dangereuses.

À l'autre bout de l'éventail, l'émergence d'une menace hypervélocité impose par nature de disposer de systèmes de défense de plus en plus automatisés et réactifs compte tenu de la faiblesse des délais de réaction offerts.

Éducation, formation, entraînement

Enfin, l'IA doit jouer un rôle clé pour transformer et améliorer la formation des aviateurs dans toutes les fonctions opérationnelles. À l'échelle individuelle, les IA pourront ainsi stimuler l'apprentissage actif et interactif par la personnalisation des syllabus (notion de *coach* virtuel). En matière de préparation opérationnelle virtuelle, l'IA facilitera la génération d'opposants virtuels représentatifs de la menace dans les différents outils de simulation.

À l'échelle de l'Armée de l'air tout entière, le croisement par l'IA des données issues de la doctrine, de l'entraînement et du retour d'expériences des opérations doit permettre une meilleure évaluation de la performance, et l'identification en boucle courte des voies d'amélioration. L'IA et le traitement massif et coordonné des données doivent ainsi aider le Centre d'expertise aérienne militaire (CEAM, basé à Mont-de-Marsan) à devenir un véritable *Battle lab*, capable de faire évoluer les tactiques, les techniques, les procédures et les doctrines, tout en étant en mesure de conseiller le chef de l'opération et les états-majors.

L'aviateur ne subira pas l'algorithme

En conclusion, comme l'explique la docteure en philosophie Marie-des-Neiges RUFFO DE CALABRE, « voir dans le robot un miroir de ce que nous devrions être est une erreur. La manière dont nous [les programmerons] ou les informations que nous [livrerons] pour son apprentissage révélera nos préjugés, nos biais cognitifs, tout ce qui devrait changer dans nos sociétés. Les robots ne créeront pas un monde parfait pour nous » ⁽¹⁶⁾. L'IA et les robots ne créeront pas non plus un monde parfait

(15) PAPPALARDO David, *DSI*, *op. cit.*

(16) RUFFO DE CALABRE Marie-des-Neiges, *Itinéraire d'un Robot tueur*, Éditions Le Pommier, 2018, p. 180.

pour l'Armée de l'air. Leurs apports sont innombrables et prometteurs mais ils n'annoncent pas la disparition de l'aviateur au sein du *Scaf*. L'Armée de l'air développe à cette aune une stratégie volontariste sans fausse pudeur, ni fol espoir, mais toujours avec responsabilité. Ses principaux déterminants sont :

- **La prise en compte fondamentale de la question de la donnée** dont l'IA se nourrit : il est primordial de stocker, archiver, structurer et valoriser les données en déployant des infrastructures adaptées et en rationalisant nos processus.

- **L'accélération de la mise en œuvre et de l'adoption de l'IA** (non seulement en matière de technologies, mais aussi d'organisation et de ressources humaines) afin de ne pas se laisser distancer. Pour que l'Armée de l'air et les opérations aériennes puissent entrer pleinement dans l'âge de l'IA, les architectures des futurs systèmes devront être pensées pour permettre des évolutions digitales continues tout au long de leur longue vie (30 ans pour un *Rafale*). Il faudra donc pouvoir améliorer facilement les logiciels, les capacités embarquées de stockage de données et de calcul, sans avoir à requalifier tout l'aéronef. Cela nécessitera une séparation entre le système de vol et le système de combat, et un découplage entre *hardware* (matériel), *software* (logiciel) et données. C'est en soi une révolution.

- **Le durcissement face à une menace cyber croissante**, d'où la nécessité de conserver des modes d'actions non connectés et l'aptitude à utiliser des modes dégradés pour maintenir un certain niveau de résilience.

- **Des régulations strictes en matière d'éthique**. En aucun cas, la machine ne sera morale ou éthique. Toutefois, comme le met en exergue le chercheur Louis COLIN, « l'éthique demeure un instrument pertinent de maîtrise des risques et de bonne gouvernance de la robotique de coercition »⁽¹⁷⁾. Les arbitrages éthiques doivent se faire en vertu des préceptes développés par l'éthique utilitariste (une action est bonne lorsqu'elle a les meilleures conséquences possibles pour les individus/entreprises affectés) et l'éthique de responsabilité (je réponds des conséquences de mes actes).

*
**

Face à ces défis, la rationalité du système de combat aérien doit finalement être modelée par trois exigences. L'association homme-machine tirera parti de la précision et de la vitesse de l'automatisation tout en décuplant l'agilité et la créativité de l'intelligence humaine. L'IA n'abolira pas la responsabilité humaine et ne sortira pas l'homme du processus décisionnel dans l'engagement de la force létale. La réflexion de l'ingénieur en amont ne remplacera pas celle de l'aviateur dans le processus décisionnel : l'homme ne doit jamais subir l'algorithme mais l'utiliser pour accroître sa propre performance. ♦

(17) COLIN Louis, *Éthique des systèmes d'armes autonomes* (mémoire), Université de Cergy-Pontoise, 2018.