

# Intelligence Artificielle (IA) et innovations de Défense : propositions théoriques et illustrations

## Artificial Intelligence (AI) and Defense Innovations: Theoretical Proposals and Illustrations

Pierre Barbaroux<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centre de recherche de l'École de l'air et de l'espace, Ecole de l'air et de l'espace, Salon de Provence, France, pierre.barbaroux@ecole-air.fr

**RÉSUMÉ.** Cette contribution interroge les dynamiques à l'œuvre au sein des industries aérospatiales et de défense (A&D) en identifiant les principaux facteurs agissant sur l'innovation. À partir du modèle développé par [BAR 19] et [BAR 20], la recherche examine la dynamique des innovations de défense intégrant des composants issus de la recherche en Intelligence Artificielle (IA). Considérée comme une technologie d'application générale (General Purpose Technology, GPT ; [BRE 96]), l'IA et ses multiples applications affectent en effet significativement les capacités militaires actuelles et futures et constitue un matériau empirique pertinent si l'on cherche à comprendre comment opère l'innovation dans les industries A&D.

**ABSTRACT.** This contribution questions the dynamics of the aerospace and defense (A&D) industries by identifying the main factors acting on innovation. Based on the model developed by [BAR 19] and [BAR 20], the research examines the dynamics of defense innovations incorporating components from Artificial Intelligence (AI) research. Considered as a General Purpose Technology (GPT; [BRE 96]), AI and its multiple applications have a significant impact on current and future military capabilities, and constitute relevant empirical material for understanding how innovation operates in the A&D industries.

**MOTS-CLÉS.** Innovation, Intelligence Artificielle, Industries aérospatiales et de défense.

**KEYWORDS.** Innovation, Artificial Intelligence, Aerospace and Defense Industries.

### 1. Introduction

Pour les acteurs de la défense, l'innovation est essentielle dans la mesure où elle permet de fournir aux forces armées des dispositifs organisationnels, des équipements et des capacités opérationnelles efficaces afin d'atteindre les objectifs fixés par le décideur politique en matière de défense et de sécurité. Si l'approche militaire de la gestion de l'innovation reste profondément ancrée dans la collaboration entre acteurs académiques, industriels et militaires (i.e., entreprises, armées, agences gouvernementales, ministères de la défense, laboratoires de recherche ; [BAR 12]), la communauté aérospatiale et de défense est aujourd'hui confrontée à de nombreux défis. Les modèles économiques et les institutions supportant l'innovation de défense ont en effet évolué en réponse aux changements affectant les politiques de défense et de sécurité et les doctrines militaires d'une part ; d'autre part, la compétition croissante entre les Nations et entre les entreprises, ainsi que les transformations du paysage cognitif et technologique ont redéfini la manière dont les acteurs de la défense s'organisent pour développer de nouvelles capacités. En particulier, l'arrivée de nouveaux entrants dans certains secteurs stratégiques majeurs en matière de défense et de sécurité (e.g., SpaceX ; cf. Encadré 1) a bouleversé les sources de l'innovation ainsi que les modèles de développement capacitaire militaires.

L'initiative *Starlink* de l'entreprise SpaceX par exemple, illustre parfaitement les ruptures affectant les modèles d'innovation dans les industries aérospatiales et de défense. Lancée en 2015, *Starlink* propose une architecture d'accès à l'Internet haut débit à partir du déploiement d'une constellation de microsattellites opérant en orbites basses. En février 2022, lorsque le conflit russo-ukrainien éclate, plus de 3000 satellites sont opérationnels. Dès le début du conflit, Elon Musk met le système *Starlink* à disposition du gouvernement Ukrainien et de sa population. Plus de 10 000 antennes sont alors rapidement déployées permettant de rétablir l'accès au réseau Internet pour plusieurs dizaine de milliers d'utilisateurs, y compris militaires. Cette intervention d'un acteur non traditionnel de la Base Industrielle et Technologique de Défense (BITD) a ainsi eu un impact capacitaire majeur pour les forces ukrainiennes. Celles-ci ont pu disposer d'une infrastructure de communication essentielle au commandement et à la conduite des opérations militaires sur son territoire.

### **Encadré 1.** Nouveaux entrants : l'exemple de *Starlink* (SpaceX)

Cette contribution interroge les dynamiques de l'innovation à l'œuvre au sein des industries aérospatiales et de défense (A&D). D'après [BAR 19], deux dimensions sont en jeu lorsqu'il s'agit d'analyser ces dynamiques. La première concerne les fondements cognitifs des innovations de défense. Ces derniers sont particulièrement affectés par le développement de connaissances duales ainsi que par l'intensification des connaissances scientifiques que ces innovations intègrent (cf., Encadré 2).

La deuxième dimension est liée aux sources de l'innovation elles-mêmes. En particulier, certaines trajectoires technologiques émergent depuis l'extérieur des frontières traditionnelles de la base industrielle et technologique de défense (BITD) et ont un impact significatif sur les compétences des acteurs installés (e.g., les technologies quantiques, les nanotechnologies...). [BAR 20] ajoute une troisième dimension liée à l'évolution des doctrines et des capacités militaires. Cette évolution concerne notamment la réticulation des organisations et des plateformes et leur intégration au sein de structures de commandement et de conduite des opérations dites « multi-domaines et multi-champs » (MDMC). Ce changement doctrinal et capacitaire est la manifestation observable de la modification des besoins et des préférences des utilisateurs des technologies de défense (i.e., les forces armées). Il influence ainsi directement la direction ainsi que le contenu de l'innovation dans les industries A&D.

La dualité est un concept utilisé pour caractériser les fondements cognitifs ainsi que les usages associés à une technologie donnée. Ainsi, la dualité peut-elle être appliquée pour décrire les connaissances, les aptitudes et les compétences nécessaires à sa production (dualité "en amont") d'une part, et pour caractériser son utilisation particulière par des clients civils ou militaires (dualité "en aval") d'autre part. Ce concept peut également être utile pour examiner les politiques et les stratégies des organisations publiques et privées (on dira par exemple de Boeing qu'elle est une entreprise « duale » au sens où les produits et les services offerts satisfont les besoins de clients positionnés à la fois sur les marchés civils et militaires). Enfin, la dualité peut être appliquée pour caractériser des écosystèmes industriels et d'innovation plus vastes (on dira par exemple de l'écosystème aéronautique qu'il est « dual », c'est-à-dire qu'il produit des biens et des services à usages civils et militaires).

### **Encadré 2.** Définition de la dualité technologique et cognitive

Située à l'interface de ces trois dimensions, l'intelligence artificielle (IA) représente une rupture technologique intéressante pour notre propos dans la mesure où elle cristallise de nombreux défis auxquels les acteurs de la défense sont aujourd'hui confrontés lorsqu'ils développent de nouvelles capacités ([GAO 18]). En effet, les progrès enregistrés dans les disciplines de l'informatique et des sciences de l'artificiel modifient profondément les architectures de connaissances à partir desquelles

sont développées les technologies et, plus largement, les capacités militaires. L'IA illustre ainsi le potentiel disruptif d'un champ d'application des connaissances qui se développe à la périphérie de l'écosystème technologique et industriel tout en modifiant durablement les stratégies et les compétences des acteurs privés et publics qui le constituent [GON 18]. Marquant une rupture à la fois scientifique, technologique et capacitaire, l'IA redéfinit en profondeur la dynamique de l'innovation, c'est à dire la manière dont les connaissances sont générées, appliquées et appropriées [BAR 16] par les acteurs des industries A&D.

Dans cette contribution, nous proposons d'utiliser le modèle de [BAR 19] et [BAR 20] afin d'examiner la dynamique de l'innovation de défense intégrant l'IA. L'IA y est définie comme une technologie d'application générale (*General Purpose Technology*, GPT ; [BRE 95]) susceptible d'affecter un grand nombre de capacités militaires. Cette technologie justifie par exemple de renouveler les méthodes de formation et d'entraînement des utilisateurs [CAM 19] ; [BAR 22a] ainsi que les compétences des opérateurs de maintenance de systèmes qui intègrent des composants d'IA. Elle conduit également à repenser les opérations militaires à la lumière des changements induits par la mise en relation de deux formes d'intelligence, humaine et artificielle. Celles-ci sont en effet soigneusement imbriquées dans les pratiques et les artefacts utilisés par les opérateurs militaires pour planifier, commander et conduire les opérations (e.g., le renseignement, la surveillance, la reconnaissance, la communication, la prise de décision, et la coordination ; [BAR 17a]).

Nous avons ainsi sélectionné cinq cas d'innovation militaire intégrant l'IA afin de discuter la validité empirique du cadre théorique proposé par [BAR 19] et [BAR 20]. A partir de la taxonomie proposée par [JYA 21], ces programmes visant le développement de capacités militaires sont associés à cinq champs d'application de l'IA, à savoir la reconnaissance d'images, les véhicules autonomes, la formation et l'entraînement, la robotique et les armements autonomes. Les cas se veulent interprétatifs au sens de [THO 10] en ce qu'ils visent à illustrer l'applicabilité du modèle sans prétendre à la généralisation au-delà du contexte qui les caractérise.

La section suivante (section 2) identifie les principales caractéristiques de l'IA en tant que GPT et utilise le cadre proposé par [BAR 19] et [BAR 20] afin de formuler trois propositions (i.e., hypothèses du modèle). Ces propositions sont relatives à la structure des connaissances incorporées dans les innovations basées sur l'IA (i.e., dualité, complexité et intensité des connaissances scientifiques), aux sources de ces innovations (i.e., internes vs externes à l'écosystème A&D), et aux préférences exprimées par les utilisateurs de ces innovations (i.e., corpus doctrinal et conceptuel représentant les besoins des forces armées). La section 3 présente la méthodologie de la recherche (études de cas interprétatives) et introduit les éléments de compréhension des cas et de la façon dont ils ont été documentés et analysés (sources et analyse des données). La section 4 examine la validité empirique du modèle conceptuel dans le contexte défini par les cas étudiés. La section 5 rappelle les objectifs de la recherche et ouvre des pistes de réflexion pour de futurs travaux.

## 2. L'innovation basée sur l'IA dans les industries A&D : trois propositions

L'Intelligence Artificielle (IA) est un des piliers de la révolution informatique. Elle se traduit par de nombreuses innovations numériques (*digital innovations*, [NAM 17]) qui soutiennent la création d'offres commerciales génératrices de valeur ainsi que l'implémentation de processus et de modèles d'affaires nouveaux dans une grande variété de secteurs [YAB 19] ; [REI 20] ; [JAC 21] ; [DIB 22].

Il existe de multiples définitions de l'IA selon que l'on se situe dans le domaine de la science ou dans celui de la technologie. Dès l'origine, en effet, « l'IA a été conçue à la fois comme une technologie – un domaine d'étude visant à développer une nouvelle classe d'outils ou d'algorithmes – et comme un domaine de recherche susceptible de créer une discipline à l'intersection des mathématiques et des sciences du numérique » [DIB 22, p. 26]. La plupart des analystes estiment que l'IA doit être définie comme une technologie d'application générale (*General Purpose Technology*, GPT ; [BRE 95]) relevant de différentes approches épistémologiques (i.e., symbolique, connexionniste

ou hybride [FER 19]). Dans sa version contemporaine, l'IA se caractérise par le développement de systèmes d'apprentissage automatisés (e.g., prédictifs ou décisionnels) capables de modifier leur comportement ou leurs décisions par expérimentations successives impliquant la répétition d'un grand nombre d'expériences (i.e., *machine learning*, *deep learning*). En théorie, la confrontation du système apprenant à des jeux de données réelles ou simulées lui permet de converger vers un comportement (jugé) adapté au contexte d'usage, compte tenu des contraintes qui pèsent sur la réalisation des tâches et des critères de performance retenus [KAU 21]. Le développement des innovations en IA relève ainsi de la combinaison des données massives (*big data*) et des techniques d'analyse statistiques avancées (*advanced analytics*), les premières offrant un champ d'opportunités considérable pour l'application des secondes [YAB 19].

En pratique, l'IA identifie un domaine d'application des connaissances scientifiques permettant de concevoir des systèmes automatisés, voire autonomes, capables de collecter, de traiter et d'exploiter de grandes quantités de données en vue de réaliser certaines tâches dans une grande variété de contextes, sans qu'il soit nécessaire de les (pré)programmer [REI 20]. Pour l'Organisation de Coopération et de Développement Economiques (OCDE), l'IA désigne plus largement « *un système automatisé qui, pour un ensemble donné d'objectifs définis par l'homme, est en mesure d'établir des prévisions, de formuler des recommandations, ou de prendre des décisions influant sur des environnements réels ou virtuels* » [DIB 22, p. 26]. L'automatisation des tâches, l'exploitation de données massives (généralement structurées), ainsi que la variété des domaines d'application (e.g., aide à la décision, prédiction) sont ainsi des piliers de l'IA en tant que discipline scientifique et technologique. Selon [JAC 21, p. 412], « *l'IA n'est plus confinée au laboratoire ou à des applications spécialisées (...) Toute une série de produits et de services basés sur l'IA sont actuellement sur le marché, des moteurs de recherche à la reconnaissance des visages, en passant par les boîtes de dialogue des centres d'appels, les bots, les diagnostics médicaux et la conduite autonome, et bien d'autres encore vont bientôt apparaître* ». L'enjeu est alors de comprendre comment ces technologies sont développées, régulées, intégrées et valorisées par les acteurs économiques. Il s'agit également d'étudier la façon dont elles modifient leurs stratégies, leurs compétences techniques, leurs capacités dynamiques, ainsi que leurs modèles d'affaires [REI 20].

L'un des domaines applicatifs de l'IA concerne les capacités militaires déployées par les différentes armées sur les théâtres d'opération. Les applications militaires de l'IA affectent aujourd'hui une grande diversité capacitaire [GAO 18] ; [GON 18]. Citons notamment le renseignement, la surveillance et la reconnaissance (*Intelligence, Surveillance, Reconnaissance, ISR*), le commandement et la conduite des opérations (C<sup>2</sup>), la coordination des capacités et des effets aux différentes échelles de la décision (tactique, opérative, stratégique, politique), la formation et l'entraînement des opérateurs, la cyberdéfense et la mise en œuvre de systèmes autonomes et/ou pilotés à distance, létaux ou non (i.e., drones, robots). Pour de nombreux analystes et experts, l'IA a déjà modifié les compétences et les pratiques des acteurs de la base industrielle et technologique de défense (BITD), ouvrant un espace d'opportunités inédit en matière de développement capacitaire [SZA 21].

Afin de mieux apprécier la façon dont émergent et se diffusent les innovations de défense intégrant des technologies d'IA, il convient de comprendre comment la dynamique d'innovation opère dans les industries A&D. Selon [BAR 19] et [BAR 20], cette dynamique repose sur la combinaison de trois facteurs :

- la nature de la connaissance à partir desquelles se développe l'innovation (i.e., dualité, complexité et intensité scientifique des connaissances) ;
- les sources de l'innovation (i.e., sources externes et internes à la BITD) ;
- les préférences et besoins capacitaires des utilisateurs militaires de l'innovation (i.e., politiques de défense, doctrines, techniques, tactiques et procédures).

Concernant le premier facteur (la connaissance), on observe depuis les années 1980, un changement profond de la dynamique de recherche et développement (R&D) dans les secteurs de la défense. Ce changement résulte de multiples facteurs, parmi lesquels La complexité croissante des produits et des services offerts, et la consolidation des industries A&D. Ces facteurs de changement sont renforcés par la concurrence accrue entre les entreprises à l'échelle nationale et internationale, ainsi que par le redéploiement des politiques de défense et de sécurité (y compris les politiques de financement de la R&D) depuis la fin de la guerre froide. Ces tendances de long terme ont conduit à la transformation de la base de connaissances à partir de laquelle se développent les trajectoires technologiques au sein de la BITD. Cette transformation opère selon deux axes [BAR 20]. D'une part, la réduction significative des budgets de défense a déclenché l'intensification du développement des technologies duales [MEU 19], renforçant ainsi les relations de coopération entre les acteurs civils et militaire [BEL 19a] ; [BEL 19b]. D'autre part, le modèle d'innovation dans les industries A&D est devenu plus intense en connaissances, avec une contribution croissante des activités de recherche scientifique au développement des capacités militaires [FAU 19]. La première proposition que nous formulons est donc la suivante :

**Proposition 1 (P1).** Les innovations de défense intégrant l'IA reposent sur des connaissances duales, principalement issues de la recherche scientifique.

Concernant le deuxième facteur (les sources de l'innovation), les progrès récents réalisés dans des domaines technologiques parfois éloignés du cœur de métier des acteurs de la BITD, en particulier les technologies numériques, ont profondément bouleversé les pratiques des acteurs en matière d'identification et d'intégration des sources de l'innovation à des fins militaires. Les domaines d'application de la science et de la technologie (S&T), tels que l'impression 3D, la robotique, les technologies quantiques, la technologie *blockchain*, ou l'Internet des objets (IoT), ont un immense potentiel d'application pour les acteurs de la BITD. Selon [BAR 19], ces sources de connaissances externes à la BITD redéfinissent la manière de créer, d'appliquer et de valoriser les connaissances dans de nombreux domaines d'application militaires. Parmi les domaines les plus concernés, citons la cyber sécurité, les véhicules autonomes (e.g., les systèmes d'aéronefs pilotés à distance), la simulation et le *wargaming*, le commandement et la conduite (C<sup>2</sup>) des opérations, la communication, ou encore les activités de renseignement, de surveillance et de reconnaissance [GAO 18]. Les progrès réalisés dans les capacités de calcul et de communication numériques ont également entraîné une profonde transformation des processus et des méthodes d'éducation et de formation du personnel militaire [CAM 19], ainsi qu'une révolution dans la logistique et la maintenance des systèmes et des capacités militaires [HUE 19]. Pour ces raisons, la technologie de l'IA et les domaines d'application associés constituent un cas d'usage particulièrement pertinent à étudier. La deuxième proposition que nous formulons est donc la suivante :

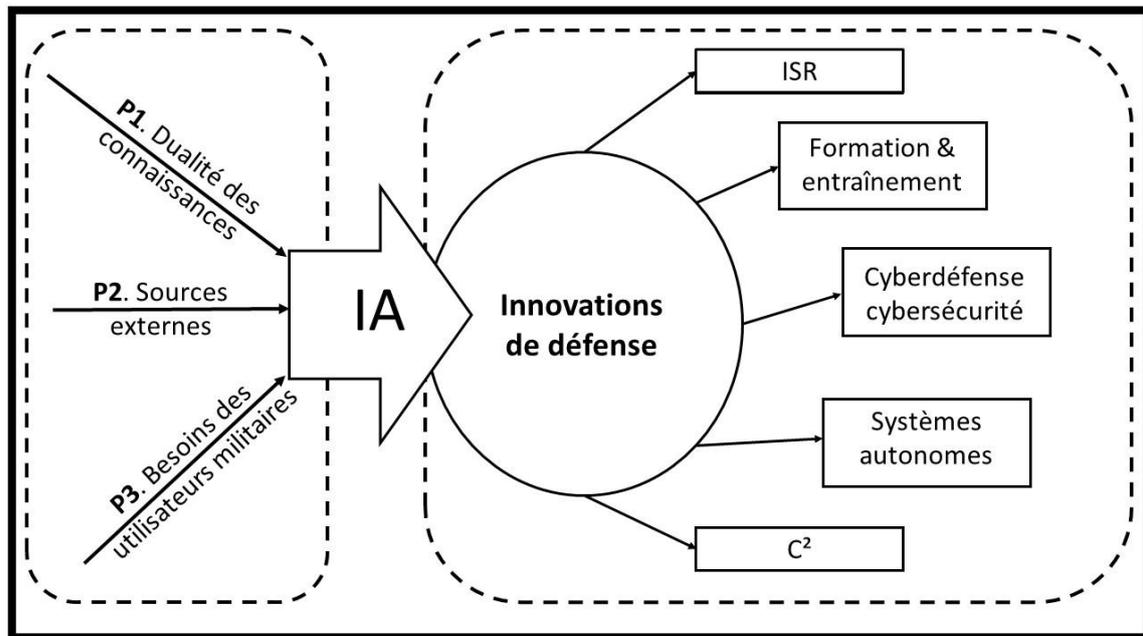
**Proposition 2 (P2).** Les innovations de défense intégrant l'IA proviennent principalement de sources externes à l'écosystème d'innovation A&D.

Concernant le troisième facteur (les préférences et les besoins des utilisateurs militaires), contrairement aux biens normaux produits en série pour des clients anonymes, les capacités militaires relèvent de l'emploi de systèmes de produits complexes pour lesquels l'offre ne préexiste pas à l'expression de la demande [MOO 06] ; [BAR 22b]. Leur développement apparaît donc sensible aux préférences et aux besoins des utilisateurs tels qu'exprimés dans les doctrines, les techniques, tactiques et procédures (TTPs) et les concepts d'opération (CONOPS). Depuis une dizaine d'années, le concept dominant les réflexions doctrinales des Nations militairement avancées est celui de C<sup>2</sup> multi-domaines (*multidomain command and control*, MDC<sup>2</sup>). Selon cette approche, la supériorité des capacités militaires ne repose plus sur une technologie isolée mais sur la combinaison en réseaux de systèmes cyber-physiques organisés en couches et d'algorithmes distribués au sein des multiples plateformes aériennes, spatiales, terrestres et navales qui les composent. L'architecture se veut polyvalente, reconfigurable et agile conformément au concept de *Mosaic Warfare* développé par la DARPA [GRA 18]. Si la doctrine MDC<sup>2</sup> est clairement alignée sur les principes de la guerre en réseau (*network-centric warfare*, NCW), elle s'en éloigne toutefois sur un point central : l'automatisation couvre des

activités qui relèvent habituellement de la mise en œuvre d’actions et de décisions humaines. L’application de la doctrine MDC<sup>2</sup> suppose en effet que « *l’ensemble du processus de kill chain - de la détection de la cible à la sélection de l’arme - se déroule sans aucune intervention humaine* » [TRI 19, p.51]. La première conséquence est un changement culturel majeur pour les militaires via la redéfinition du périmètre de l’intervention humaine dans les activités de commandement et de conduite des opérations. Du statut d’acteurs lors des différentes phases de la *kill-chain* (i.e., identification de la cible, détermination de sa position, affectation d’une plate-forme et d’une arme pour la neutraliser, engagement de l’arme), les opérateurs militaires (officiers) deviennent des superviseurs de la chaîne, jusqu’au moment ultime de l’engagement de la cible (qui nécessite toujours une décision humaine). La seconde conséquence de la mise en œuvre de la doctrine MDC<sup>2</sup> est le développement et l’intégration de techniques d’IA (e.g., reconnaissance et classification des cibles) dans un cadre d’emploi qui engage une collaboration intelligente entre agents humains et non humains. La troisième proposition formulée dans cette contribution est donc la suivante :

**Proposition 3 (P3).** Les innovations de défense intégrant l’IA sont « tirées » par les besoins des utilisateurs (militaires).

La figure 1 propose une représentation synthétique du modèle qui articule les trois propositions précédentes, chacune portant sur un facteur affectant la dynamique de l’innovation de défense. La figure 1 identifie également les principales capacités militaires affectées par les innovations intégrant l’IA, sans prétendre à l’exhaustivité.



**Figure 1.** Dynamique de l’innovation de défense et IA : propositions de modélisation (d’après [BAR 19] et [BAR 20])

### 3. Méthodologie de la recherche et études de cas interprétatifs

Afin d’examiner la validité empirique du modèle (Fig. 1), nous proposons de nous appuyer sur des cas d’innovations de défense intégrant des technologies issues de la recherche en IA. Nous situons notre démarche empirique dans le cadre de la méthodologie abductive au sens de [THO 10]. A partir de cas interprétatifs, notre ambition est de discuter la pertinence des trois propositions énoncées plus haut, c’est-à-dire d’examiner leur validité entendue comme la capacité à illustrer les mécanismes empiriques à l’œuvre dans les cas étudiés. L’ambition n’est pas de généraliser le cadre théorique élaboré par [BAR 19] et [BAR 20], mais de produire des évidences empiriquement valides permettant d’illustrer son potentiel applicatif et interprétatif lorsque nous le confrontons aux pratiques des acteurs.

La sélection des cas a suivi un cheminement logique déterminé par la question de recherche traitée : comprendre la dynamique des innovations de défense intégrant des technologies d'IA. Les cas ont été documentés à partir de données secondaires collectées sur la base d'une revue de la littérature académique et spécialisée et classés en fonction de leur champ d'application. Dans un rapport publié en 2019, le Ministère français des armées (MINARM) identifie les applications militaires les plus prometteuses qu'elle classe en sept catégories : aide à la décision, combat collaboratif, cyberdéfense (et influence), logistique (soutien et MCO), renseignement, autonomie, administration et santé [TFI 19]. Ces catégories sont très larges dans la mesure où elles agrègent des domaines techniques hétérogènes résultant d'une lecture capacitaire des domaines d'application proprement militaires de l'IA. Adoptant une grille de lecture davantage centrée sur les techniques d'IA, [JYA 21] proposent une taxonomie des innovations militaires intégrant l'IA plus adaptée pour notre propos. Nous proposons d'utiliser cette taxonomie afin de classer les cas sélectionnés par champ d'application. Celle-ci inclut les champs suivants : reconnaissance d'images, analyse textuelle, véhicules autonomes, formation et entraînement (*simulation-based training, game-based learning*), robotique et armements autonomes. Chaque champ peut servir le développement de capacités particulières au sens de la typologie proposée par le MINARM.

Le tableau 1 présente les cas étudiés, en précisant les sources principales qui ont permis de les documenter ainsi que leur champ d'application. Cinq cas ont été retenus, couvrant cinq des six champs d'application<sup>1</sup> proposés par [JYA 21]. En choisissant cinq programmes d'innovation, l'ambition n'est pas d'être exhaustif mais représentatif de la variété des capacités militaires développées à partir de l'intégration de technologies issues de la recherche en IA.

Cas	Définition	Application	Sources
Project Maven (JAIC)	Lancé en 2017 par le ministère de la défense américain (DoD), l'intention du projet Maven est de développer une IA capable de catégoriser et d'identifier les énormes volumes de séquences de surveillance prises par les équipements de combat (capteurs photos et vidéos) en utilisant les techniques de vision artificielle.	Reconnaissance d'images	<a href="https://emerj.com/ai-sector-overviews/military-applications-of-machine-vision-current-innovations/">https://emerj.com/ai-sector-overviews/military-applications-of-machine-vision-current-innovations/</a>
np	np	Analyse textuelle	np
Skyborg (Leidos–Kratos)	Skyborg désigne une architecture d'aéronefs collaborative, constituée d'un système de contrôle autonome (ACS), sorte de "cerveau" composé d'éléments matériels et logiciels pouvant être utilisés pour assister le pilote d'un avion de combat avec équipage et lui permettre de piloter un essaim de drones sans équipage. Skyborg permet à tout type d'aéronef d'éviter de manière autonome les autres aéronefs, les obstacles physiques et les conditions météorologiques dangereuses, et de décoller et d'atterrir sans intervention humaine. Initialement conçu par l'entreprise informatique Leidos, Skyborg est développé par l'US Air Force en partenariat avec des acteurs industriels majeurs de la BITD américaine.	Véhicules autonomes	<a href="https://dronewars.net/2022/01/03/skyborg-ai-control-of-military-drones-begins-to-take-off/">https://dronewars.net/2022/01/03/skyborg-ai-control-of-military-drones-begins-to-take-off/</a>
Tactical Engagement Analysis (Thales)	Outil de formation tactique et d'analyse des tirs conçu par Thales Group (Training and Simulation Business Unit) en collaboration avec les utilisateurs et différents experts du secteur, le système TAE intègre des briques d'IA permettant de garantir la sécurité des sessions d'entraînement,	Formation & entraînement	<a href="https://www.thalesgroup.com/fr/monde/defense/press_release/thales-devoile-nouveau-systeme-formation-">https://www.thalesgroup.com/fr/monde/defense/press_release/thales-devoile-nouveau-systeme-formation-</a>

<sup>1</sup> Le champ d'application de l'IA dédié à l'analyse textuelle n'est pas couvert par l'échantillon des cas retenus dans cette contribution. Nous n'avons en effet pas trouvé, dans la littérature ouverte, de cas illustratifs portant sur le développement de capacités militaires exploitant spécifiquement les connaissances et les technologies développées dans ce champ d'application. Cela ne signifie pas qu'il n'en existe pas.

	d'améliorer leur efficacité opérationnelle, et de réduire significativement leur coût global.		<a href="#">tactique-et-simulation-base</a>
RoBattle (IAI)	Véhicule autonome développé par Israel Aerospace Industries (IAI) pour les forces israéliennes, le Robattle est un véhicule modulaire de combat intelligent capable d'ajuster la configuration de sa structure, ce qui lui permet d'escalader ou de franchir certains grands obstacles, ainsi que de s'aplatir si nécessaire. Il peut être utilisé pour acheminer des fournitures ou des informations, et pour secourir des soldats sans mettre le personnel militaire en danger.	Robotique	<a href="https://www.surplus-militaire.com/larmee-israelienne-presente-mini-robot-tank-robattle/">https://www.surplus-militaire.com/larmee-israelienne-presente-mini-robot-tank-robattle/</a>
Mini HARPY (IAI)	Munition tactique polyvalente dite de « vagabondage », le mini HARPY est un système de drone aérien autonome développé par IAI, qui offre aux forces tactiques la capacité de patrouiller des zones d'intérêt pendant une longue durée et de frapper des cibles de tous types, émettrices ou non.	Armements autonomes	<a href="https://www.iai.co.il/p/mini-harpy">https://www.iai.co.il/p/mini-harpy</a>

**Tableau 1.** Présentation des cinq cas étudiés (np : non pertinent dans le cadre de cette étude)

### Project Maven (JAIC)

Le Pentagone, en collaboration Microsoft et Amazon, a développé un logiciel qui s'intègre à la base de données d'images de reconnaissance de l'armée de l'air américaine et analyse les images prises par tous types de véhicules de reconnaissance, habités ou non, utilisés par l'Air Force. L'IA signale les véhicules, les personnes, ainsi que les objets d'intérêt, afin d'attirer l'attention des opérateurs et des analystes du renseignement. D'après les informations fournies par les parties prenantes du projet, le modèle d'apprentissage automatique à l'origine du logiciel a été entraîné sur des milliers d'heures filmées par des petits drones volant à basse altitude et montrant 38 objets d'intérêt stratégique sous différents angles et dans diverses conditions d'éclairage. Ces objets ont été étiquetés par séquençage du flux vidéo en fonction de ce que nous savons être des objets, comme une voiture, une arme ou une personne. Ces séquences étiquetées ont ensuite été soumises à l'algorithme d'apprentissage automatique du logiciel afin de l'entraîner à les discerner. Ces séquences, pour l'œil humain, constituent la vidéo d'une zone de combat telle qu'elle apparaît dans les images de surveillance par drone. L'algorithme est alors capable de déterminer le contenu de la séquence, d'identifier toute anomalie ou tout objet d'intérêt contenu dans sa base de données, et d'alerter un opérateur humain en mettant en évidence les objets signalés sur l'écran vidéo.

### Skyborg (Leidos)

Le programme Skyborg développé par l'entreprise informatique américaine Leidos vise à développer une solution-système implantable sur tous types de véhicules et de plateformes, et adaptable à différentes missions. En pratique, ce programme repose sur une brique d'IA capable de contrôler un aéronef en vol. Initialement développé par la DARPA pour assister un pilote humain dans l'accomplissement des tâches de pilotage d'un aéronef, le programme est aujourd'hui soutenu par l'armée de l'air américaine (*US Air Force Research Laboratory*). Celle-ci espère que les avions équipés de Skyborg seront disponibles pour des opérations régulières d'ici 2023 - éventuellement sur une plateforme d'avion de combat F16 ou F-35 - et qu'ils seront finalement adoptés sur les chasseurs de sixième génération. Jusqu'à présent, les tests du système ont porté sur de petits drones à déplacement rapide. L'US Air Force a depuis attribué des contrats pour le développement de la partie drone de Skyborg à des entreprises leaders des industries aérospatiales et de défense (Boeing, General Atomics Aeronautical Systems et Kratos Unmanned Aerial Systems). L'Air Force prévoit de mettre en concurrence les contractants afin de ne retenir que les meilleurs aspects de chaque conception et de créer un système optimal capable d'entreprendre une grande variété de missions.

### Tactical Engagement Analysis (TEA - Thales)

La solution TEA répond aux besoins de formation et d'entraînement des groupements d'intervention et des forces spéciales. Elaborée par la Business Unit Training & Simulation de Thales Group, elle comprend un outil portable d'analyse et de débriefing permettant d'enregistrer différents types d'événements, qu'il s'agisse des tirs, des données relatives aux armes utilisées, ou des positions adoptées – autant de variables pouvant varier lors d'une session d'entraînement au tir. Grâce à l'apport des techniques d'intelligence artificielle et à des algorithmes optimisés à faible latence, l'outil d'aide à l'analyse génère des indicateurs et des rapports qualitatifs en temps réel. L'instructeur bénéficie ainsi d'un ensemble de données objectives pour chacun des stagiaires et peut réaliser une analyse précise des comportements individuels et des interactions interindividuelles.

### RoBattle (IAI)

RoBattle est un véhicule de combat autonome et extrêmement manœuvrable développé par l'entreprise israélienne Israel Aerospace Industries (IAI). Il a été conçu pour intégrer des forces spéciales lors d'opérations mobiles. Il est polyvalent et doit servir principalement à la collecte d'informations et à la reconnaissance. Il est également capable d'effectuer des missions de protection de convois, et peut servir d'appât. Ce véhicule modulaire est équipé des éléments suivants : un contrôleur, un système de navigation, différents capteurs et conteneurs ainsi qu'un dispositif de cartographie intégré. Adapté aux besoins spécifiques de chaque opération, RoBattle est capable de se déplacer soit à l'aide de roues, soit à l'aide de chenilles. Ses concepteurs ont prévu la possibilité d'ajouter des extensions comme des bras de manipulations, des radars de surveillance, ainsi que des armes contrôlables à distance.

### Mini HARPY (IAI)

Développé par l'entreprise israélienne IAI, le drone Mini HARPY est capable de rechercher et d'engager n'importe quelle cible de façon autonome (ou piloté à distance), dans n'importe quelle direction et sous n'importe quel angle, quel que soit l'environnement dans lequel il est déployé. Disposant de capacités de communication à longue portée (jusqu'à 100 km) et d'une longue endurance en vol (2 heures), le Mini HARPY opère à des altitudes comprises entre 1000 et 5000 pieds. Le Mini HARPY peut neutraliser les émetteurs Radio Fréquence (RF) comme les radars ; il utilise des capteurs électro-optiques pour capturer les menaces sur vidéo ; et il peut être lancé à partir de sites terrestres, d'hélicoptères et d'aéronefs à voilure fixe, et de navires de surface.

## 4. Résultats et validité empirique du modèle d'innovation

La présentation des résultats suit la décomposition du modèle en trois propositions. Nous examinons ainsi dans un premier temps la nature des connaissances (P1), puis nous questionnons les sources de l'innovation (P2) à partir desquelles ces programmes sont développés. Enfin, nous analysons comment les préférences et les besoins des utilisateurs militaires affectent la conception et le développement des programmes (P3).

La validité empirique de chaque proposition est plus particulièrement évaluée à partir de l'examen d'un ou plusieurs cas choisis parmi les cinq programmes sélectionnés. Les cas ont été sélectionnés en raison de leur potentiel illustratif [THO 10] au regard du contenu de la proposition théorique discutée. Nous avons ainsi décidé de discuter la proposition P1 en mobilisant le programme Skyborg. Le programme Maiven servira de cadre pour discuter la proposition P2. Les programmes TEA, RoBattle et MiniHARPY serviront enfin d'illustrations pour discuter la proposition P3<sup>2</sup>.

---

2 Cela ne signifie pas que les programmes non retenus pour discuter l'une ou l'autre des propositions ne sont pas pertinents pour examiner la validité empirique des deux autres propositions. Nous ne visons en effet ni la généralisation, ni l'exhaustivité conformément à la position défendue par [THO 10]. Les cas sont illustratifs. Par ailleurs, en sélectionnant certains cas au sein de l'échantillon, nous espérons faciliter la présentation des résultats en limitant les redondances et les répétitions susceptibles d'alourdir leur compréhension.

#### 4.1. Dualité et intensité scientifique des connaissances (P1)

Afin de discuter de la validité de la première proposition, nous avons choisi de porter notre attention au programme Skyborg. Celui-ci a pour finalité de concevoir des capacités militaires innovantes en laboratoire avant de les tester sur le terrain. Il s'agit donc d'un programme de recherche scientifique dont le livrable est la production d'une preuve de concept (TRL 5) avant passage à l'échelle. Piloté par l'*Air Force Research Laboratory* (AFRL), la maîtrise d'œuvre du programme est confiée à l'entreprise informatique Leidos (software) pour qui Skyborg offre l'opportunité de développer son portefeuille de compétences dans les composants *hardware* et les applications militaires. Initialement, Leidos est une entreprise dont les domaines d'expertise sont à l'interface des biotechnologies et de l'IA, avec des applications dans le secteur de la santé. Sur le plan scientifique, la consultation des brevets déposés par Leidos au cours des deux dernières années témoigne de la volonté d'affirmer une compétence dans les champs de l'imagerie haute résolution, de la détection et la classification d'objets et de signaux de tous types. La maîtrise de ces champs de connaissances permet à l'entreprise de répondre aux besoins du gouvernement américain en matière de développement des capacités militaires dites multi-domaines et multi-champs (MDMC). En pratique, le programme Skyborg intègre de multiples composants technologiques parmi lesquels des algorithmes de traitement et d'intégration des données massives, ainsi que des capteurs avancés permettant la collecte et la transmission d'une variété de sources de données brutes. Les premières expérimentations conduites en 2021 ont montré que la combinaison des algorithmes et des capteurs favorise la réactivité et l'autonomie décisionnelle des plateformes (systèmes de drones aériens et avions pilotés), dans le respect des règles d'engagement établies par les juristes et les décideurs politiques et militaires.

Le programme Skyborg confirme la proposition P1 selon laquelle les innovations de défense intégrant l'IA reposent sur des connaissances duales, issues de la recherche scientifique, et couvrant un périmètre disciplinaire étendu.

#### 4.2. Sources de l'innovation (P2)

Afin d'examiner la validité de la deuxième proposition, nous avons choisi le projet Maven développé par le *Joint Artificial Intelligence Center* (JAIC), en collaboration avec des entreprises américaines du secteur du numérique. Ce projet vise à développer et à intégrer les algorithmes de vision par ordinateur (reconnaissance d'images) afin d'aider les analystes militaires et civils à exploiter les (énormes) volumes de données vidéo collectés chaque jour par le DOD à l'appui des opérations de contre-insurrection et de contre-terrorisme. Placé sous le contrôle opérationnel de la *National Geospatial Intelligence Agency* (NGIA) en 2022, le projet résulte de la volonté d'exploiter les capacités développées par le secteur commercial civil dans le domaine de l'informatique et de l'IA. Comme le rappelle Mark Mundell, directeur-adjoint de la NGIA, « *tout a commencé avec l'idée que l'industrie commerciale - la Silicon Valley - avait mis au point des techniques remontant à 2008 et 2009, lorsque la révolution du deep learning s'est produite (...) L'idée était de faire appel à l'industrie et de traduire ce que vous faites dans le domaine commercial. Nous voulons vous donner des scénarios militaires pour voir dans quelle mesure vous pouvez le faire* » (cité dans [STR 22]). La NGIA s'efforce depuis longtemps d'exploiter l'IA pour ses propres missions, afin de gérer l'immense quantité de données provenant de sources à la fois gouvernementales et commerciales. Les responsables de l'agence de renseignement affirment qu'il y a trop de données à traiter pour les analystes humains, et misent sur l'IA pour signaler les *patterns* qui nécessitent un examen plus approfondi de la part des opérateurs humains (collaboration intelligente entre agents humains et non-humains ; [FER 19]). Les entreprises initialement sollicitées pour participer au projet Maven sont Google, Amazon et Microsoft, cette dernière recevant la majeure partie des financements relatifs au développement d'une infrastructure de service *Cloud*. Les sources de l'innovation sont donc clairement externes à la BITD, les autorités militaires cherchant à exploiter les capacités et les compétences dont disposent les géants américains de l'économie numérique.

Le projet Maven confirme la proposition 2 (P2) selon laquelle les innovations de défense intégrant l'IA proviennent principalement de sources externes à l'écosystème d'innovation A&D.

### 4.3. L'influence des préférences et des besoins des utilisateurs militaires sur l'innovation (P3)

Afin d'examiner la validité de la troisième proposition, nous avons choisi les programmes TEA, Mini HAP et Robattle dans la mesure où ils répondent à des besoins capacitaires exprimés par les utilisateurs à travers les publications doctrinales, et relevant de champs d'application différents ([JYA 21]) : formation et entraînement (TEA), robotique (RoBattle) et armements autonomes (Mini HARPY).

La solution TEA élaborée par Thales Group permet aux militaires de disposer d'une capacité sécurisée, portable et adaptative en matière de formation et d'entraînement du personnel. Le recours de plus en plus intense aux techniques d'apprentissage dans et par l'action (simulation) à des fins d'acquisition, de consolidation et de maintien des compétences et des qualifications, est aujourd'hui un pilier central de la doctrine de formation et d'entraînement des armées. La solution TEA est ainsi parfaitement alignée avec les principes doctrinaux en matière de formation et d'entraînement militaires. Cette solution permet en effet de concevoir des dispositifs d'apprentissage fondés sur la mise en situation des opérateurs dans un cadre qui respecte l'articulation du cycle préparation de l'action – réalisation de l'action – analyse après action (AAA). Les briques d'IA intégrées à la solution TEA offrent aux utilisateurs (formateurs) militaires la capacité d'analyser la performance des apprenants et d'opérer des ajustements en temps réel, augmentant ainsi leurs capacités réflexives et d'auto-régulation. Celles-ci ne sont plus seulement mobilisées lors de la phase d'AAA (débriefing) mais tout au long de l'exercice d'entraînement.

Les programmes Mini HARPY et RoBattle répondent quant à eux aux évolutions doctrinales que connaissent la plupart des armées modernes autour des concepts de guerre réseau-centrée [BAR 11], d'autonomisation des plateformes et d'intégration des capacités multi-domaines (interarmes) et multi-champs (informationnel et électronique). La doctrine de la guerre multi-domaines et multi-champs (MDMC) considère en effet que la performance opérationnelle sur le champ de bataille repose sur l'emploi coordonné de systèmes sociotechniques, d'algorithmes et d'applications logicielles répartis sur une variété de plates-formes aériennes, spatiales, terrestres et navales polyvalentes, reconfigurables, agiles, et distribuées en réseau. La traduction opérationnelle de la doctrine MDMC suppose donc l'emploi de plateformes autonomes et/ou pilotées à distance, distribuées en réseau ou en essaim, et dont les capacités couvrent un large spectre allant de la surveillance, de la reconnaissance et du renseignement, de l'appui feu, du transport ou de la protection des personnels. Avec le développement de systèmes tels que le mini HARPY et RoBattle, il devient possible d'automatiser les différentes étapes de processus tels que l'engagement d'une cible - de sa détection à sa neutralisation, en passant par la sélection de l'effecteur le plus adapté – ou la navigation d'un véhicule destiné au transport de matériel ou au secours (*Search & Rescue*, SAR), limitant ainsi l'intervention humaine à des actions de programmation et/ou de supervision. Ces deux programmes ont ainsi pour ambition de délivrer aux forces une capacité habilitante pour la mise en œuvre de la doctrine MDMC.

Chacun dans leur domaine d'application, les programmes TEA, Mini HARPY et RoBattle confirment ainsi la proposition 3 (P3) selon laquelle les innovations de défense intégrant l'IA sont « tirées » par les besoins des utilisateurs, ces derniers étant accessibles via un corpus documentaire doctrinal, tactique, technique et procédural.

## 5. Conclusion et recherches futures

Cette contribution avait pour objectif d'interroger la dynamique de l'innovation au sein des industries aérospatiale et de défense en prenant pour exemple l'innovation de défense intégrant des technologies issues de la recherche en IA. S'inspirant du cadre théorique élaboré par [BAR 19] et [BAR 20], l'article a formulé trois propositions relatives à la nature des connaissances mobilisées pour innover (P1), aux sources internes et externes de l'innovation (P2) et au rôle des utilisateurs (P3) dans le développement des innovations militaires intégrant l'IA. La validité empirique des propositions a ensuite été discutée à partir de cinq cas d'usage (taille de l'échantillon) choisis parmi la diversité des

programmes d'innovation militaires intégrant de l'IA et. Les cas sélectionnés parmi notre échantillon ont servi d'illustrations permettant de discuter la dualité et la diversité des connaissances scientifiques impliquées, l'origine des sources de connaissances, ainsi que le rôle déterminant joué par les besoins des utilisateurs en matière de développement de nouvelles capacités. L'apport principal de cet article est ainsi d'apporter des éléments de compréhension de la spécificité de la dynamique d'innovation à l'œuvre au sein des industries A&D (i.e., importance de la collaboration et de la diversité internes et externes des sources de l'innovation, intensité et dualité des connaissances scientifiques, rôle moteur des préférences et des besoins opérationnels des utilisateurs militaires des innovations de défense).

L'une des pistes de recherche que nous envisageons d'explorer dans la continuité de ce travail concerne l'étude de l'impact des innovations militaires intégrant l'IA sur les personnels et les organisations militaires. En particulier, la généralisation des techniques d'IA en matière de collecte, de stockage, de traitement et de diffusion des données massives, et l'automatisation croissante de nombreuses activités informationnelles et décisionnelles, ont un effet transformationnel majeur sur les métiers du commandement et de la conduite des opérations (C<sup>2</sup>). Interroger les perceptions des acteurs du C<sup>2</sup> (officiers supérieurs) concernant l'IA et ses effets ouvre selon nous un axe de recherche prometteur en vue de caractériser le changement induit par l'introduction des innovations intégrant l'IA dans les armées. En travaillant sur les perceptions des acteurs, il devient possible de caractériser les types et les sources de la légitimité [SUC 95] des capacités militaires basées sur l'IA, et d'étudier les modalités de gestion du changement induit par leur adoption à l'échelle individuelle et organisationnelle [BAR 17b].

## Bibliographie

- [BAR 11] BARBAROUX, P., « A design-oriented approach to organizational change: insights from a military case study », *Journal of Organizational Change Management*, 24(5): 626-639, 2011.
- [BAR 12] BARBAROUX, P., « Identifying collaborative innovation capabilities within knowledge-intensive environments: Insights from the ARPANET project », *European Journal of Innovation Management*, 15(2): 232-258, 2012.
- [BAR 16] BARBAROUX, P., ATTOUR, A., SCHENK, E., *Knowledge Management and Innovation: Interaction, Collaboration, Openness*, ISTE-Wiley, 109 pages, 2016.
- [BAR 17a] BARBAROUX, P., « Cyber Resilience: A critical capability of aerospace cyber-physical organizations », *Inaugural lecture of the Aerospace Cyber Resilience research chair*, delivered publicly at Ecole de l'air et de l'espace, Salon de Provence (France), on Tuesday 05 December, 2017.
- [BAR 17b] BARBAROUX, P., GAUTIER, A., « En quête de légitimité : la gestion du changement organisationnel comme processus de légitimation », *Management International*, 21(4): 48-60, 2017.
- [BAR 19] BARBAROUX, P., *Disruptive Technology and Defence Innovation Ecosystems*, Edited by Pierre Barbaroux, ISTE – Wiley, 207 pages, 2019.
- [BAR 20] BARBAROUX, P., « The transformation of defence innovation systems: Knowledge bases, disruptive technologies, and operational capabilities ». In D. Uzunidis (Ed.) *Systemic Innovation. Entrepreneurial Strategies and Market Dynamics*, Chapter 8 (pp. 163-182), ISTE-Wiley, 2020.
- [BAR 22a] BARBAROUX, P., « Developing leadership skills through simulation-based training: A research framework and interpretive case study », *Management International*, 26(1): 192-208, 2022.
- [BAR 22b] BARBAROUX, P., DOS SANTOS PAULINO, V., « Why do motives matter? A demand-based view of the dynamics of complex products and systems (CoPS) industry », *Journal of Evolutionary Economics*. <https://doi.org/10.1007/s00191-022-00788>, 2022.
- [BEL 19a] BELIN, J., GUILLE, M., LAZARIC, N., MERINDOL, V., « Defence firms adapting to major changes in the French R&D funding system », *Defence & Peace Economics*, 30(2): 142-158, 2019.
- [BEL 19b] BELIN, J., GUILLE, M., « Innovation dynamics in defence industries ». In Pierre Barbaroux (Ed.) *Disruptive Technology and Defence Innovation Ecosystems*, Chapter 1 (pp. 3-30). ISTE-Wiley, 2019.
- [BRE 95] BRESNAHAN, T., TRAJTENBERG, M., « General Purpose Technologies: Engines for growth », *Journal of Econometrics*, 65: 83-108, 1995.

- [CAM 19] CAMACHON, C., BARBAROUX, P., « Technological change and individual competencies: The influence of glass-cockpit aircraft on French Air Force pilots training and skills ». In Pierre Barbaroux (Ed.) *Disruptive Technology and Defence Innovation Ecosystems*, Chapter 8 (pp. 155-180), 2019.
- [DIB 22] DI BIAGGIO, L., NESTA, L., KEITA, M., *L'Intelligence Artificielle. Technologies et Acteurs clefs*. TESIA & SKEMA Business School editions. 146 pages, 2022.
- [FAU 19] FAUCONNET, C., « Evolution of the aerospace and defence innovation model: Intensifying science and technology relationships ». In Pierre Barbaroux (Ed.) *Disruptive Technology and Defence Innovation Ecosystems*, Chapter 2 (pp. 31-60). ISTE-Wiley, 2019.
- [FER 19] FERRARI, V., « Man-machine teaming: Towards a new paradigm of man-machine collaboration? », In Pierre Barbaroux (Ed.) *Disruptive Technology and Defence Innovation Ecosystems*, Chapter 6 (pp. 124-137). ISTE-Wiley, 2019.
- [GAO 18] U.S. GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE, *Artificial Intelligence: Emerging Opportunities, Challenges, and Implications*, Report to Congressional Requesters, GAO-18-142SP, 102 pages, <https://www.gao.gov/assets/700/691536.pdf>, 2018.
- [GON 18] GONS, E., KETZNER, L., CARSON, B., PEDDICARD, T., MALLORY, G., « How AI and robotics will disrupt the defense industry », *The Boston Consulting Group*, April 2018, 6 pages, <https://www.bcg.com/publications/2018/how-ai-robotics-will-disrupt-defense-industry.asp>, 2018.
- [GRA 18] GRAYSON, T., « Mosaic Warfare », DARPA Briefings Series, 12 pages, <https://www.darpa.mil/attachments/STO-Mosaic-Distro-A.pdf>, 2018.
- [HUE 19] HUÉ, N., ARNAUD, W., GRANDEMANGE, C., « Perspectives and ambitions of the maintenance in operational condition renovated at the heart of the armament programs: Illustrations in the terrestrial environment », In Pierre Barbaroux (Ed.) *Disruptive Technology and Defence Innovation Ecosystems*, Chapter 7 (pp. 139-154). ISTE-Wiley, 2019.
- [JAC 21] JACOBIDES, M.G., BRUSONI, S., CANDELON, F., « The evolutionary dynamics of the Artificial Intelligence ecosystem », *Strategy Science*, 6(4), 412-435, 2021.
- [JYA 21] JYAKUMAR, P., BROWI, S.W., JHANJHI, N.Z., « Artificial Intelligence and military applications: Innovations, cyber-security challenges, and open research areas », *Preprints* (8 pages), <https://doi.org/10.20944/preprints202108.0047.v1>, 2021
- [KAU 21] KAUTZ, A., « The third AI summer: AAAI Robert S. Englemore memorial lecture », *AI Magazine*, 43: 105-125, 2021.
- [MEU 19] MEUNIER, F-X., « Identification of defence technological knowledge systems: A tool for duality analysis ». In Pierre Barbaroux (Ed.) *Disruptive Technology and Defence Innovation Ecosystems*, Chapter 3 (pp. 61-79). ISTE-Wiley, 2019.
- [MOO 06] MOODY, J.B., DODGSON, M., « Managing complex collaborative projects: Lessons from the development of a new satellite », *Journal of Technology Transfer*, 31(5): 568-588, 2006.
- [NAM 17] NAMBISAN, S., « Digital entrepreneurship: Toward a digital technology perspective of entrepreneurship », *Entrepreneurship Theory and Practice*, 41(6). <https://doi.org/10.1111/etap.12254>, 2017.
- [REI 20] REIM, W., ASTRÖM, J., ERIKSSON, O., « Implementation of Artificial Intelligence (AI): A roadmap for business model innovation », *AI*, 1: 180-191, 2020.
- [SUC 95] SUCHMAN, M.C., « Managing legitimacy: Strategic and institutional approaches », *The Academy of Management Review*, 20(3): 571-610, 1995.
- [STR 22] STROUT, N., <https://www.c4isrnet.com/intel-geoint/2022/04/27/intelligence-agency-takes-over-project-maven-the-pentagons-signature-ai-scheme/>, 2022.
- [SZA 21] SZABADFÖLDI, I., « Artificial Intelligence in military application: Opportunity and challenges », *Revista Academiei Fortelor Terestre*, 102(2), 157-165, 2021.
- [TFI 19] TASK FORCE IA, « L'intelligence artificielle au service de la défense » (41 pages). <https://www.defense.gouv.fr/sites/default/files/aid/20200108-NP-Rapport%20de%20la%20Task%20Force%20IA%20Septembre.pdf>, 2019.
- [THO 10] THOMAS, G., « Doing case study: Abduction not induction, Phronesis not theory », *Qualitative Inquiry*, 16(7): 575-582, 2010.
- [TRI 19] TRIMBLE, S., « Command and control », *Aviation Week & Space Technology*, September 16-29: 50-51, 2019.

[YAB 19] YABLONSKI, S.A., « Multidimensional data-driven artificial intelligence innovation », *Technology Innovation Management Review*, 9(12) : 16-28, 2019.