



Septembre 2018

Intelligence artificielle

Applications et enjeux pour les Armées

Par Axel Dyèvre, Pierre Goetz
et Florence Ferrando

Les notes stratégiques

L'intelligence
de la décision



Les notes stratégiques

Notes d'étude et d'analyse

*Les idées et les opinions exprimées dans ce document n'engagent que les auteurs
et ne reflètent pas nécessairement la position de CEIS ou des experts rencontrés.*



CEIS est une société d'études et de conseil en stratégie. Sa vocation est d'assister ses clients dans leur

développement en France et à l'international et de contribuer à la protection de leurs intérêts. Pour cela, les 80 consultants de CEIS associent systématiquement vision prospective et

approche opérationnelle, maîtrise des informations utiles à la

décision et accompagnement dans l'action.

CEIS met en œuvre et anime le DGA Lab, le laboratoire d'innovation du ministère de la Défense www.defense.gouv.fr/dga/innovation2/dga-lab

La Direction Générale pour l'Armement a initié en 2013 un centre de réflexion sur l'innovation et un espace de démonstrations de technologies innovantes dans le domaine des systèmes d'informations, le SIA Lab (www.sia-lab.fr), créé et animé par CEIS sous la responsabilité du Groupe Sopra Steria, Architecte-intégrateur du programme SIA. Forte du succès de cette initiative, la DGA a étendu en 2016 le périmètre de ce centre à l'ensemble des domaines technologiques d'intérêt pour la Défense et a lancé le DGA Lab. Espace de démonstration technologique mais aussi de réflexion collaborative sur les usages des nouvelles technologies, le DGA Lab est ouvert à l'ensemble des acteurs de l'innovation de défense, au premier rang desquels les opérationnels du ministère de la Défense.

Le DGA Lab est mis en œuvre et animé par la DGA avec le concours des sociétés CEIS et Sopra Steria.

Dans ce cadre de cette activité, les consultants de CEIS publient des Notes Stratégiques portant notamment sur les questions relatives aux impacts de la transformation numérique pour la Défense.

Travaillant étroitement avec les équipes de CEIS et le DGA Lab, le Bureau Européen de CEIS à Bruxelles, conseille et assiste les acteurs publics, européens ou nationaux, ainsi que les acteurs privés dans l'élaboration de leur stratégie européenne, notamment sur les problématiques de défense, sécurité, transport, énergie et affaires maritimes. CEIS - Bureau Européen participe également à des projets de recherche européens dans ces domaines. Pour mener à bien l'ensemble de ses missions, l'équipe s'appuie sur un réseau européen de contacts, d'experts et de partenaires.

Contact :

Axel Dyèvre

adyevre@ceis.eu

CEIS

Tour Montparnasse
33 avenue du Maine
75755 Paris Cedex 15
+33 1 45 55 00 20

CEIS - Bureau Européen

Boulevard Charlemagne, 42
B-1000 Bruxelles
+32 2 646 70 43

DGA Lab

40, rue d'Oradour-sur-Glâne
F-75015 Paris
+33 1 84 17 82 77

www.ceis.eu

Retrouvez toutes les Notes Stratégiques sur www.ceis.eu et www.sia-lab.fr

Sommaire

SOMMAIRE.....	6
SYNTHÈSE	7
IA : AUTOMATISER LE TRAITEMENT DES DONNÉES	9
UN CONCEPT QUI N'EST PAS NOUVEAU	9
BIG DATA : NOUVEAUX DÉFIS	12
IA ET TRAITEMENT DE DONNÉES MASSIVES	13
UN LARGE ÉVENTAIL D'APPLICATIONS POSSIBLES POUR LA DÉFENSE	15
ENTRAÎNEMENT ET FORMATION	15
PLANIFICATION ET CONDUITE	15
RENSEIGNEMENT	17
LOGISTIQUE ET MCO	18
CYBERSÉCURITÉ	19
AUTRES PISTES ÉTUDIÉES	20
DES USAGES PERMIS PAR LES PROGRÈS TECHNOLOGIQUES	21
IA ET APPRENTISSAGE.....	21
MACHINE LEARNING ET AMÉLIORATION HARDWARE	22
NOUVEAUX HORIZONS DU DEEP LEARNING.....	24
DÉFIS DE L'IA POUR LA DÉFENSE	27
DISPOSER DE DONNÉES EXPLOITABLES	27
DÉVELOPPER LES COMPÉTENCES DES PERSONNELS	28
ADOPTER LA « BOUCLE COURTE » DU SECTEUR CML	28
SOLUTIONS EN « MODE DÉGRADÉ »	29
RISQUES LIÉS À L'UTILISATION DE L'IA	32
PUBLICATIONS RÉCENTES.....	36

Synthèse

L'Intelligence Artificielle ou IA peut être définie comme la « *capacité des machines à reproduire des fonctions que l'on attribue généralement aux animaux et aux humains [et notamment] la reconnaissance d'images, la compréhension de vidéos, de sons et de textes*¹ ».

Concrètement, l'IA repose sur des algorithmes capables, en s'appuyant sur la puissance des processeurs et des unités de calculs d'aujourd'hui, d'analyser dans des délais très courts, voire quasiment en temps réel, des volumes énormes d'information, inexploitable tels quels par le cerveau humain. Pour atteindre de bonnes performances l'entraînement amont de ces algorithmes requiert également une quantité massive de données pour qu'ils puissent par exemple devenir capables de reconnaître des éléments pertinents dans une masse d'informations (un objet, des corrélations, une tendance générale...).

A l'heure où la numérisation généralisée dans l'ensemble des secteurs de la société s'est traduite par une explosion du volume des données produites, il est logique que l'intelligence artificielle, concept né dès les années 60, revienne au centre de toutes les attentions. En effet, si en 2013 l'univers numérique représentait 4,4 zettabytes - soit 4,4 milliards de téra-octets - il devrait atteindre 10 fois cette quantité en 2020. Concrètement, pour représenter la taille de l'univers numérique en 2020, il faudrait faire plus de 6,5 colonnes d'iPads empilés mesurant chacune l'équivalent de la distance Terre-lune². Le monde militaire n'échappe pas à cette tendance générale³ avec l'utilisation de systèmes de géolocalisation et de gestion du trafic aérien

¹ <http://www.lefigaro.fr/secteur/high-tech/2016/06/17/32001-20160617ARTFIG00317-yann-lecun-l-intelligence-artificielle-a-connu-des-succes-et-des-echecs.php>

² <https://www.emc.com/leadership/digital-universe/2014iview/executive-summary.htm>

³ Note Stratégique « Internet des Objets (IoT) - Une nouvelle donne pour la Défense? », CEIS, <https://ceis.eu/fr/note-strategique-internet-des-objets-iot-une-nouvelle-donne-pour-la-defense>

et maritime, de capteurs embarqués, de messageries et de réseaux qui génèrent de plus en plus de données aux formats variés⁴. Ce flux permanent de données a créé un phénomène d'accumulation appelé Big Data.

Pour pouvoir traiter ces volumes de données et en tirer une valeur opérationnelle réelle, il a fallu développer des moyens adaptés. L'IA s'est révélée particulièrement adaptée en permettant de synthétiser en quasi temps réel d'importantes masses d'informations et d'en extraire des tendances ou d'en extrapoler des modèles. Si le secteur marchand a très vite trouvé des applications rentables, des applications militaires opérationnelles reposant sur ces technologies se développent, dans des domaines aussi variés que l'entraînement et la formation, la planification et la conduite mais aussi le renseignement, la logistique, le maintien en condition opérationnelle et la cybersécurité.

L'exploitation du Big Data, permet en outre de concevoir des algorithmes puissants qui, une fois mis au point, peuvent fonctionner en toute autonomie sans faire appel à des capacités de calcul ou / et à des bases de données externes. Ce mode de fonctionnement « hors connexion », très utile en opérations, est par exemple le modèle retenu pour le Pod Reco NG, utilisé pour les missions de reconnaissance de l'avion de combat Rafale, et qui travaille à partir d'une base de données stockée sur l'outil lui-même⁵.

Si des solutions reposant sur l'IA peuvent présenter un intérêt, ces technologies ne sont pour autant pas la panacée. En tirer le meilleur parti suppose de bien valider la plus-value opérationnelle de leur utilisation par rapport aux inévitables contraintes techniques et de prendre en compte certains risques induits comme par exemple la « dépendance technologique » et la perte possible de savoir-faire dans certains domaines.

⁴ Note Stratégique « Enjeux stratégiques du Big Data pour la Défense », CEIS, <https://ceis.eu/fr/note-strategique-enjeux-strategiques-du-big-data-pour-la-defense/>

⁵ <http://www.air-cosmos.com/thales-propose-de-l-ia-pour-le-pod-reco-ng-111813>

IA : automatiser le traitement des données

Un concept qui n'est pas nouveau

Si l'**Intelligence Artificielle** est un sujet qui défraie régulièrement la chronique depuis quelques années - Vladimir Poutine, le Président de la Fédération de Russie, allant même jusqu'à affirmer que « *le leader dans ce domaine sera le maître du monde* »⁶ - **le concept est loin d'être nouveau.**

Les investissements massifs des GAFAM⁷ et des BATX⁸ pour des applications commerciales - et notamment le développement d'assistants vocaux très souvent associés à l'IA dans l'imaginaire collectif - peuvent donner l'impression que les avancées en matière d'IA sont principalement liées au secteur civil, ce sont bien **les militaires qui sont à l'origine des premiers développements dans ce domaine.**

En effet, l'expression apparaît pour la première fois dans un article de 1950 du mathématicien et informaticien britannique Alan Turing intitulé « *Computing Machinery and Intelligence* »⁹. Grâce à des travaux antérieurs, Turing avait largement contribué à casser le code «Enigma», un dispositif électromécanique servant au chiffrement et utilisé par les Allemands durant la Seconde Guerre Mondiale. Il a réalisé cette prouesse en mettant au point une machine capable de trier des millions de possibilités pour parvenir à identifier le code utilisé¹⁰. Il s'agit là des prémices de l'IA qui permet d'exploiter la

⁶ https://www.sciencesetavenir.fr/high-tech/intelligence-artificielle/poutine-pense-dominer-le-monde-en-maitrisant-l-intelligence-artificielle_116062

⁷ Google, Apple, Facebook, Amazon, Microsoft

⁸ Baidu, Alibaba, Tcecent, Xiaomi

⁹ <https://www.usine-digitale.fr/article/bios-de-robots-1950-la-naissance-de-l-intelligence-artificielle.N277018>

¹⁰ <https://paidpost.nytimes.com/the-weinstein-company/world-war-iis-greatest-hero-the-true-story-of-alan-turing.html#.WrPzXmZ7RTZ>

puissance de la machine pour réaliser des tâches irréalisables par un humain ou un groupe d'humain dans des délais raisonnables.

L'Intelligence Artificielle est née en tant que domaine de recherche lors d'un séminaire qui s'est tenu au Dartmouth College (États-Unis) **en 1956**. L'un des ses instigateurs, Marvin Minski, avait construit en 1951 la première machine neuronale – le SNARC ou *Stochastic Neural Analog Reinforcement Computer* – en créant un réseau de 40 neurones artificiels simulant un rat qui cherchait sa nourriture dans un labyrinthe¹¹. Ces travaux furent d'ailleurs subventionnés par l'armée américaine¹².

Dans les années 1960, les avancées de l'IA se traduisent par l'invention du **Dendral, le premier système « expert »** qui servait à identifier les constituants chimiques d'un matériau à partir de spectrométrie de masse et de résonance magnétique nucléaire. Depuis, les exploits des « machines intelligentes » ne cessent de faire les gros titres :

- **En 1997, Deep Blue** finit par battre le sextuple champion du monde d'échecs Garry Kasparov grâce à 600,000 parties stockées en mémoire et ses 256 processeurs capables d'analyser 200 millions de positions par seconde¹³ ;
- **En 2005, Stanley, un véhicule sans pilote** développé à Stanford, a parcouru en toute autonomie et sans opérer de reconnaissance préalable un parcours de plus de 200 kilomètres dans le désert du Nevada¹⁴ ;
- **En 2016, Alpha Go**, programme développé par Google DeepMind, a battu pour la première fois un humain au jeu de Go en apprenant le jeu à

¹¹ https://interstices.info/jcms/p_88809/marvin-minsky-un-pere-visionnaire-de-l-intelligence-artificielle

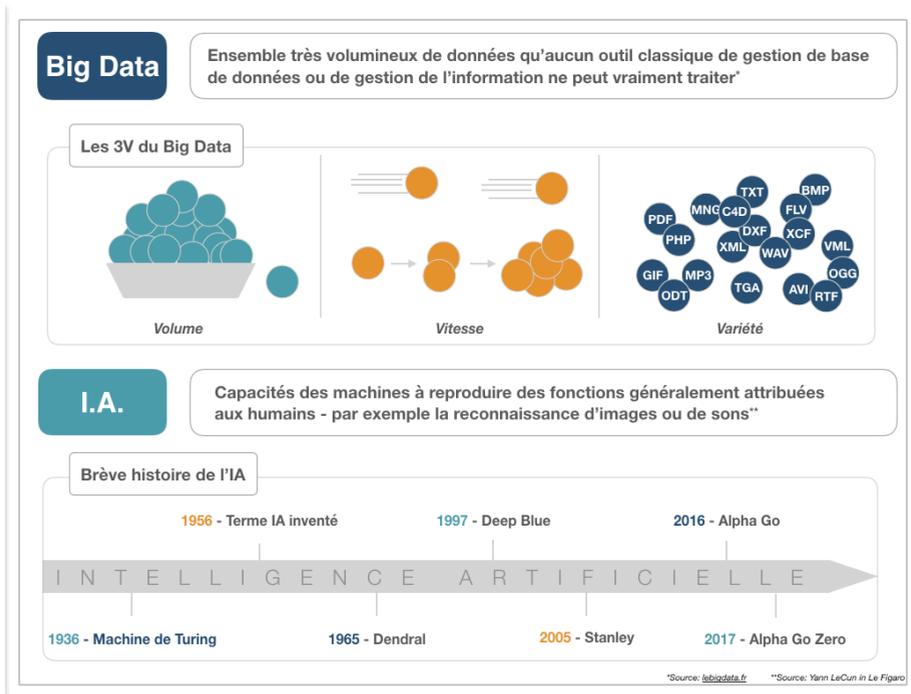
¹² <https://www.lesechos.fr/idees-debats/sciences-prospective/010174900737-1956-et-lintelligence-artificielle-devint-une-science-2108749.php#8FrHtcsITGcz8krb.99>

¹³ <https://www.lesechos.fr/idees-debats/sciences-prospective/030475334820-1997-2109945.php>

¹⁴ https://lexpansion.lexpress.fr/actualite-economique/la-championne-du-rallye-sans-pilote_1406808.html

partir de l'analyse de millions d'exemples de parties jouées par des humains¹⁵ ;

- **En 2017, Alpha Go Zero**, une version améliorée du programme, parvient quant à lui à apprendre à jouer tout seul : les seules informations dont il dispose étant les règles du jeu et la position des pièces sur le plateau - il construit seul sa base de connaissances à partir de ces éléments¹⁶.



¹⁵ http://www.lemonde.fr/pixels/article/2016/01/27/premiere-defaite-d-un-professionnel-du-go-contre-une-intelligence-artificielle_4854886_4408996.html

¹⁶ http://www.lemonde.fr/pixels/article/2017/10/18/intelligence-artificielle-toujours-plus-puissant-alphago-apprend-desormais-sans-donnees-humaines_5202931_4408996.html

Big Data : nouveaux défis

Les progrès fulgurants réalisés ces deux dernières décennies, s'expliquent en parti par la création massive de données qui sont en quelque sorte la matière première indispensable à l'entraînement des algorithmes d'IA. Ce phénomène devrait se poursuivre et s'accroître dans les années à venir et les données numériques créées en 2020 devraient représenter un volume de 44,000 milliards de giga-octets à l'échelle mondiale, soit dix fois plus qu'en 2013.

C'est ce que l'on appelle le **Big Data** - dont la meilleure traduction est « données massives ». Concrètement il s'agit d'« *un ensemble très volumineux de données qu'aucun outil de gestion de base de données ou de gestion de l'information ne peut vraiment travailler* »¹⁷. Cette définition est essentiellement centrée sur un aspect clé à savoir la quantité de données générées, dont le traitement effectif est un défi en soi.

Cependant, le **volume** n'est que l'un des trois V caractérisant le Big Data, les deux autres étant la **vitesse** - qui décrit la fréquence à laquelle les données sont générées, capturées et partagées - et la **variété** - qui correspond à la prolifération de formats différents de données à traiter¹⁸.

Dans le monde militaire la généralisation des capteurs embarqués, des messageries, des réseaux et, plus largement, des objets et plate-formes connectés conduit à l'explosion du volume des données produites. À titre d'exemple, Robert Cardillo, le directeur de la *National Geospatial Intelligence Agency* avait indiqué en juin 2017 que « **si nous devons exploiter manuellement toutes les images satellites que nous nous attendons à**

¹⁷ <https://www.lebigdata.fr/definition-big-data>

¹⁸ <http://www.journaldunet.com/solutions/expert/51696/les-3-v-du-big-data---volume--vitesse-et-variete.shtml>

recevoir au cours des vingt prochaines années, **il faudrait embaucher huit millions d'analystes spécialisés dans l'imagerie** »¹⁹.

À cette problématique du **volume**, s'ajoute celle de la **vitesse**. Ainsi, l'accroissement du débit de transfert des données - grâce notamment à l'amélioration des capacités des matériaux - a considérablement augmenté le débit de transfert des données. La génération de ces flux massifs arrivant en temps réel a largement contribué à la saturation des réseaux. Enfin, la **variété** des données produites - textes, vidéos, audio, données techniques - est un autre défi qui suppose de s'interroger sur le développement de stratégies permettant de traiter les informations non-structurées.

Les solutions reposant sur l'intelligence artificielle permettent - pour une bonne part - de répondre à ces problématiques.

IA et traitement de données massives

L'Intelligence Artificielle correspond en effet à « *la capacité des machines à reproduire des fonctions que l'on attribue généralement aux animaux et aux humains [...] aujourd'hui cela porte sur les domaines de la perception par les ordinateurs, la reconnaissance d'images, la compréhension de vidéo, de sons et de textes*²⁰ ».

Concrètement, le fonctionnement de l'IA repose sur des algorithmes dont la principale valeur ajoutée est le traitement - dans des délais très courts, voire quasiment en temps réel - de volumes massifs d'informations inexploitablement par l'homme. L'entraînement de ces algorithmes requiert une quantité

¹⁹ <http://www.opex360.com/2018/02/06/face-a-linflation-donnees-direction-renseignement-militaire-mise-lintelligence-artificielle/>

²⁰ <http://www.lefigaro.fr/secteur/high-tech/2016/06/17/32001-20160617ARTFIG00317-yann-lecun-l-intelligence-artificielle-a-connu-des-succes-et-des-echecs.php>

importante de données pour qu'ils puissent par exemple devenir capables de reconnaître des éléments pertinents dans une masse d'informations (un objet, des corrélations, une tendance générale...).

Leur valeur ajoutée réside dans leur capacité à synthétiser en quasi temps réel ces gigantesques volumes d'informations et d'en extraire des tendances ou d'en extrapoler des modèles. En d'autres termes, l'intelligence artificielle rend possible à l'homme l'appréhension de volumes d'informations qui seraient autrement inexploitable.

Les Armées, qui utilisent des équipements de plus en plus numérisés et générant un nombre croissant de données, peuvent également bénéficier de la valeur ajoutée opérationnelle apportée par ces solutions. Sans prétendre à l'exhaustivité, quelques exemples représentatifs, pour la plupart déjà mis en oeuvre, sont présentés ci-après.



Un large éventail d'applications possibles pour la Défense

Entraînement et formation

Afin de faire varier les scénarios d'engagement et de maintenir le niveau de préparation opérationnelle des forces, de nombreuses applications d'Intelligence Artificielle peuvent être employées dans le cadre des systèmes de simulation.

Des applications reposant sur l'IA vont ainsi permettre de générer des scénarios d'entraînement nouveaux ou être utilisées pour simuler un ennemi, en se basant sur les données récoltées lors d'entraînements, sur les performances mesurées, ou encore sur des informations extraites de manoeuvres connues de l'adversaire.

L'Armée de l'Air américaine a ainsi testé un programme d'IA, nommé ALPHA, afin de le confronter à un pilote de chasse dans le cadre d'une simulation de bataille aérienne. Capable de traiter des données radar et de planifier les mouvements d'un avion de combat à une vitesse extrêmement rapide, ALPHA sélectionne les informations pertinentes afin de prendre une décision en réaction au comportement du pilote adverse et d'ajuster ainsi ses actions au fil de la bataille.

Planification et conduite

Préparation d'opérations et automatisation de vecteurs

En modélisant des scénarios d'opérations basées sur un nombre important de variables (informations sur la disponibilité ainsi que l'état des forces

humaines et matérielles, les conditions de terrain, etc.), des programmes d'IA ont le potentiel d'assister à la planification d'opérations en amont afin de tester différentes options et d'offrir aux décideurs un éventail de possibilités. L'utilisation de tels programmes peut aussi présenter une valeur ajoutée en opération en permettant de disposer d'une mise à jour continue des plans des missions grâce au recueil en temps réel de données sur les forces en présence, amies ou ennemies.

L'IA peut également être utilisée pour automatiser le déploiement de systèmes d'armes. L'*Iron Dome* mis en service en 2010 par Israël en est l'exemple le plus abouti. Ce système de défense anti-missile mobile est conçu pour intercepter roquettes et obus de courte portée, en repérant l'objet suspect dès son lancement et en identifiant ensuite sa trajectoire pour évaluer s'il convient de l'abattre ou non. Cette décision est prise de façon autonome et quasi-instantanée.

Drones et plateformes autonomes

L'IA est également au cœur des plateformes semi, voire totalement autonomes. Elle est utilisée par exemple pour mettre en oeuvre des essaims de drones (aériens, terrestres ou sous-marins) ayant la capacité de se coordonner entre eux - parfois par le biais d'un engin-mère - afin, par exemple, de submerger des systèmes défensifs adverses ou de mener des missions de renseignement et de surveillance en mode collaboratif.

Début 2017, le Pentagone a d'ailleurs annoncé avoir réussi à déployer un essaim de 103 mini-drones *Perdix* depuis trois avions de combat. Cet essaim a réussi à opérer collectivement en adaptant son comportement en fonction du déroulé de la mission, sous la direction d'un opérateur humain, chaque mini-drone communiquant avec le reste de l'essaim.

Robotisation

L'intégration d'algorithmes d'IA à des engins robotisés offre la possibilité d'automatiser des tâches et fonctions d'un robot - que ce soit de façon partielle ou totale - telles que la détection et l'identification de cibles ou encore la cartographie d'un théâtre d'opérations.

Sur le théâtre syrien, les forces russes se sont ainsi appuyées sur l'utilisation de robots terrestres semi-autonomes pour des missions de reconnaissance, de déminage, et des opérations de combat avec la mise en oeuvre des *Platforma-M* (robot terrestre chenillé équipé de canons et d'une mitrailleuse) et des *Argo* (équipés d'une mitrailleuse et de lance-roquettes). Dans ce contexte d'emploi, un opérateur humain garde toutefois la main sur l'ouverture du feu.

Renseignement

Les apports de l'IA sont évidents pour le traitement de masses d'informations nécessaire à une prise de décision éclairée s'appuyant sur une évaluation de la situation opérationnelle et stratégique.

Les principaux efforts de développement de logiciels et de programmes d'IA connus du grand public se concentrent sur des tâches de reconnaissance automatique d'objets (entendus comme regroupant personnes physiques, infrastructures, véhicules) au sein de flux de données vidéos et photos. L'IA permet d'assister les analystes en les soulageant des tâches chronophages d'identification, leur libérant ainsi du temps pour se concentrer sur des missions pour lesquelles la finesse de l'analyse humaine a une valeur ajoutée supérieure à celle de la machine.

C'est notamment l'objectif du projet déployant conjointement les algorithmes Maven et Minotaur auprès des analystes de l'*U.S. Special Operations Command*. Ces deux applications opèrent une reconnaissance d'objets sur

les flux vidéos collectés par les drones sur le théâtre d'opérations, classent, géolocalisent et analysent lesdits objets.

Le potentiel de l'IA ne se limite pas à ce type d'applications dans le cadre d'activités de renseignement. En effet, comme le responsable du développement technologique à la CIA Dawn Meyerriecks le déclarait, certains outils pourraient à long terme « *prédire des événements importants, politiques ou autres, en trouvant des corrélations entre des changements dans les flux de données et d'autres informations* »²¹. Plus d'une centaine de projets de solutions s'appuyant sur l'IA sont d'ailleurs en cours de développement au sein de l'agence de renseignement américaine.

Logistique et MCO

En alimentant un logiciel d'Intelligence Artificielle avec les données issues des capteurs installés sur les moyens (véhicules, effecteurs ...), il devient possible de procéder à leur gestion de façon plus efficace et de dégager ainsi des ressources et du temps.

Un des principaux bénéfices de l'usage de l'IA dans ce domaine est le passage d'une logistique classique et d'une maintenance corrective à une logistique et une maintenance prédictives. En prenant en compte les contraintes des différentes parties impliquées (utilisateurs, fabricants, sous-traitants, services des Armées) et les remontées de données des plateformes ou des systèmes de gestion des flux, les systèmes d'information permettent d'optimiser la gestion logistique, mais également d'anticiper les opérations d'entretien des matériels et donc de commander et d'installer préventivement les pièces de rechange nécessaires.

²¹ <http://www.opex360.com/2018/02/06/face-a-linflation-donnees-direction-renseignement-militaire-mise-lintelligence-artificielle>

Une autre piste actuellement étudiée par certaines armées est le développement de véhicules logistiques autonomes, reposant sur l'IA.

Cybersécurité

Des solutions reposant sur l'Intelligence Artificielle permettent, grâce à leurs caractéristiques intrinsèques - rapidité, automaticité, facilité des capacités d'ajustement - d'apporter des réponses aux défis à relever dans le domaine de la cybersécurité. Il s'agit ainsi d'utiliser les capacités de traitement de grands volumes de données de l'IA pour automatiser la détection et l'analyse d'anomalies ou de failles de sécurité en temps réel. C'est sur ce segment qu'est actuellement développée une large partie des solutions commerciales.

Les développements de l'IA permettent également d'exploiter les données des réseaux informatiques pour anticiper leurs vulnérabilités et d'automatiser la réponse aux incidents. Par exemple, les solutions UBA²² mettent à profit des techniques d'apprentissage ne requérant pas l'intervention d'un opérateur (« non supervisées ») afin que les logiciels d'IA détectent en amont des signaux potentiellement annonciateurs d'une cyber attaque.

La DARPA²³ américaine finance actuellement plusieurs initiatives dans le domaine, parmi lesquelles le programme CHESS²⁴, lancé début avril 2018, visant à instaurer une meilleure collaboration entre les experts en cybersécurité et les systèmes semi ou complètement autonomes. Il s'agit ainsi d'augmenter la résilience des systèmes informatiques face aux cybermenaces en combinant les valeurs ajoutées respectives de l'humain et de la machine.

²² User Behavior Analytics

²³ Defense Advanced Research Projects Agency

²⁴ Computers and Humans Exploring Software Security

Autres pistes étudiées

Les applications potentielles de l'Intelligence Artificielle s'étendent également au domaine des neurosciences, avec le développement de solutions visant à améliorer les capacités cognitives humaines.

La DARPA mène notamment deux projets dans cette optique :

- Le programme RAM²⁵ pour *Restoring Active Memory*, lancé en 2013, a pour objectif de créer des implants, placés dans le cerveau humain, permettant de restaurer la mémoire des soldats blessés en opérations.
- Le projet N3 pour *Next-Generation Non-Surgical Neurotechnology*, vise à développer une interface neuronale ne nécessitant pas d'intervention chirurgicale et permettant d'améliorer la capacité des soldats à effectuer simultanément plusieurs tâches, et également de communiquer avec des systèmes semi ou totalement autonomes.

L'entreprise russe Neurobotics et la Fondation pour la recherche avancée (FPI) - entité gouvernementale pour le développement d'applications militaires innovantes - travaillent quant à elles au développement d'une interface neuronale permettant de piloter un drone par la pensée. Le dispositif est le suivant : le logiciel d'IA traite les signaux électriques du cerveau qui sont collectés par des capteurs et les transmet ensuite à un ordinateur qui les traduit en fonctions pour le maniement du drone.

²⁵ RAM fait également référence à « *Random Access Memory* », c'est à dire la mémoire vive où un ordinateur stocke les données pendant leur traitement.

Des usages permis par les progrès technologiques

IA et apprentissage

Les développements rapides de l'IA ont notamment été rendus possibles par l'introduction de la fonction d'apprentissage dans les machines. En effet, s'il est possible d'écrire un programme qui peut fonctionner de façon satisfaisante et avec une performance constante pour des tâches simples (calculs de probabilités, comparaisons d'éléments), il est impossible de le faire pour des tâches plus complexes, comme la reconnaissance d'images.

Par exemple, même un enfant en bas âge sera en mesure de reconnaître très facilement deux avions dans les images ci-dessous. En revanche, la tâche sera beaucoup plus complexe pour un ordinateur dans la mesure où ces deux éléments, appartenant pourtant à une même catégorie, ne présentent pas les mêmes caractéristiques.



Ainsi, pour rapprocher les capacités de la machine des performances humaines, il a été indispensable d'y intégrer une fonction d'apprentissage.

Pour revenir à notre exemple l'identification d'un avion dans une image est particulièrement difficile puisque cet objet peut prendre une infinité de formes possibles, correspondant donc à une infinité de combinaisons de pixels pour la machine. Pour rendre cette prouesse réalisable les algorithmes ont dû évoluer et devenir capables « d'apprendre ».

Machine learning et amélioration hardware

Le *machine learning* aussi appelé « apprentissage automatique » ou « apprentissage machine » est un sous-ensemble du domaine de l'Intelligence Artificielle, qui, comme son nom l'indique, a trait aux capacités d'apprentissage. En résumé, il s'agit de « *développer des programmes informatiques capables d'acquérir de nouvelles connaissances afin de s'améliorer et d'évoluer d'eux-mêmes dès qu'ils sont exposés à des nouvelles données.*»²⁶

Les algorithmes de *machine learning* peuvent être regroupés en plusieurs grandes catégories, qui correspondent à autant de types d'apprentissage distincts. Les plus connus sont l'apprentissage supervisé et l'apprentissage non-supervisé.

L'apprentissage supervisé consiste à fournir à l'algorithme un certain nombre d'exemples pertinents à partir desquels il « apprendra » progressivement. Ces données de départ sont par exemple des images « étiquetées », c'est-à-dire des images auxquelles une description est associée. La machine va ensuite « comprendre » le lien entre l'image et la description et être en mesure d'appliquer cet étiquetage à d'autres images non encore rencontrées. C'est cette méthode qui permet notamment d'entraîner des machines à reconnaître des objets ou à analyser, puis à reconnaître du langage naturel, c'est-à-dire le langage utilisé par les humains. Avec ce mode de fonctionnement, la machine collecte et analyse des éléments produisant un résultat qui peut être validé ou non par l'homme.

Concrètement si une machine analyse une photo d'avion et en conclut que c'est un hélicoptère, l'humain lui indiquera son erreur et le système ajustera ses paramètres en conséquence. La machine procède alors en essais-

²⁶ <https://www.ledigitalab.com/fr/intelligence-artificielle-machine-learning-deep-learning-kezako>

erreurs et gagne en efficacité progressivement en voyant ses propositions validées ou infirmées. De cette manière sa base de connaissance s'élargit, les critères de performance sont affinés et la fiabilité des résultats proposés va progressivement s'améliorer.

L'apprentissage non-supervisé est un mode d'apprentissage, pour lequel l'intervention de l'être humain n'est pas nécessaire. Dans ce cas, l'algorithme travaille sur un ensemble de données et les structure de façon autonome en fonction de différents critères, par exemple en utilisant des méthodes de *clustering*²⁷. Ainsi, si on lui fournit en données d'entrée des images d'avions et de chars d'assaut, l'algorithme va les diviser en deux catégories en opérant des rapprochements entre les éléments rangés dans la même catégorie à partir de l'analyse des formes.

Ce mode d'apprentissage a pour inconvénient de produire des résultats qui ne sont pas toujours facilement compréhensibles par l'homme. Cependant il a pour avantage d'éviter d'introduire dès le départ des biais humains dans les algorithmes en les entraînant avec des données étiquetées à la main et de mettre en évidence des corrélations qui n'auraient pas forcément été perçues par l'homme.

Si l'Intelligence Artificielle permet de répondre à certaines problématiques soulevées par le Big Data, ce dernier est lui-même une condition nécessaire au déploiement de l'IA, puisque celle-ci se nourrit de données pour apprendre. Les deux notions sont donc interdépendantes.

²⁷ « Le clustering est une méthode d'analyse statistique utilisée pour organiser des données brutes en silos homogènes. » (Source : <https://www.journaldunet.fr/web-tech/dictionnaire-du-webmastering/1203345-clustering-definition>)

Développement de programmes capables d'optimiser leur base de connaissance et le fonctionnement des algorithmes qui les composent

Apprentissage non supervisé

1 Création d'une base de connaissance avec des données pré-étiquetées pour entraîner la machine



2 La machine fait ensuite des propositions qui sont validées (ou non) par l'homme



Apprentissage supervisé

1 La machine travaille directement sur un jeu de données non étiquetées



2 Classification des données par la machine elle-même - avec des méthodes de clustering par exemple



Nouveaux horizons du *deep learning*

L'apprentissage profond ou *deep learning* fait quant à lui référence à l'architecture du système et non au mode d'apprentissage - supervisé ou non - qui est utilisé. Il s'agit d'une architecture composée de plusieurs couches - d'où la notion de profondeur - chacune étant responsable d'une opération particulière et transmettant le résultat de son analyse à la couche suivante.

À titre d'illustration, Yann LeCun (directeur du *Facebook Artificial Intelligence Research* à Paris) explique dans cet extrait le fonctionnement du *deep learning* pour la reconnaissance d'image : « Comment reconnaître une image de chat ? Les points saillants sont les yeux et les oreilles. Comment

reconnaître une oreille de chat ? L'angle est à peu près de 45°. Pour reconnaître la présence d'une ligne, la première couche de neurones va comparer la différence des pixels au-dessus et en dessous : cela donnera une caractéristique de niveau 1. La deuxième couche va travailler sur ces caractéristiques et les combiner entre elles. S'il y a deux lignes qui se rencontrent à 45°, elle va commencer à reconnaître le triangle de l'oreille de chat. Et ainsi de suite. »²⁸

En résumé chaque couche accomplit une tâche très simple, et c'est la somme des actions individuelles de ces différentes couches qui permet en définitive de réaliser une tâche complexe.

Si l'idée n'est pas nouvelle, elle n'a pu être exploitée réellement que très récemment par le biais des processeurs graphiques ou GPUs (*Graphics Processing Units*).

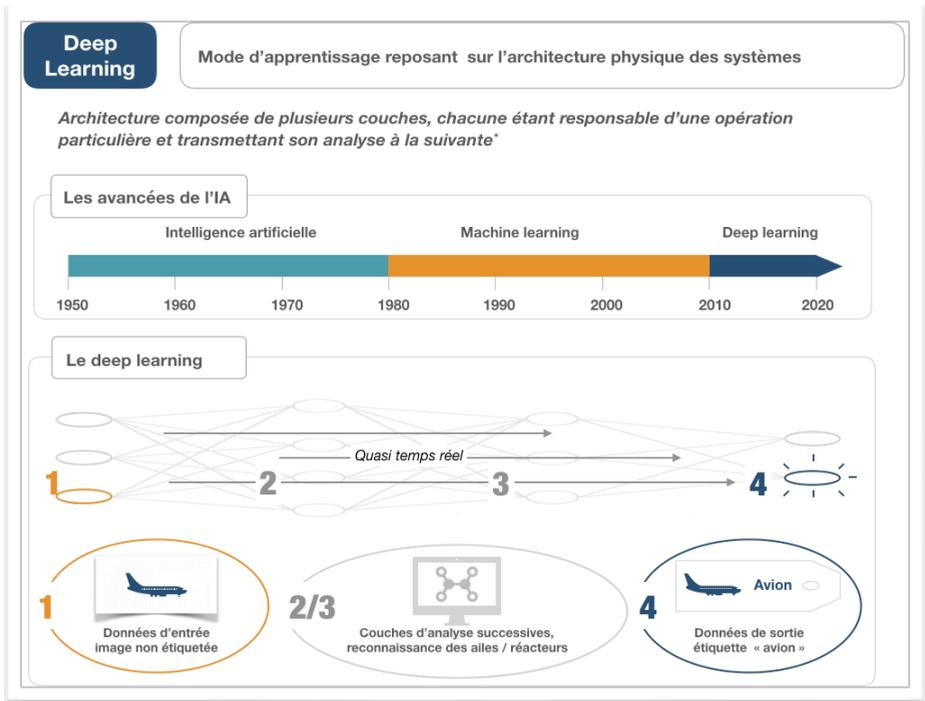
Initialement conçues pour des applications liées aux jeux vidéo, ces puces se sont révélées très performantes pour des applications de *deep learning*, notamment pour entraîner des réseaux de neurones à reconnaître des objets à partir de banques d'images volumineuses.

Par ailleurs, le développement d'architectures massivement parallèles utilisant des GPUs, qui sont des structures permettant d'effectuer certains types de calculs de manière extrêmement efficace - par exemple ceux qui s'appliquent au traitement d'images de bas niveau²⁹ - ont permis d'imaginer de nouvelles applications. Ces structures sont notamment utilisées par les géants américains (GAFAM) et chinois (BATX) pour développer de nouvelles solutions.

²⁸ http://www.lemonde.fr/pixels/article/2015/07/24/comment-le-deep-learning-revolutionne-l-intelligence-artificielle_4695929_4408996.html

²⁹ <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00820700/file/phdAP.pdf>

Une partie des recherches actuelles dans le domaine du *deep learning* visent à créer la meilleure représentation possible du réel et à générer des modèles capables de fonctionner avec ces représentations à partir d'un minimum de données. Les applications envisagées – dont certaines pourraient être particulièrement pertinentes pour les Armées – comprennent : la reconnaissance de formes et de personnes, la reconnaissance de la parole, le traitement automatique du langage naturel et la reconnaissance audio.



Défis de l'IA pour la Défense

Disposer de données exploitables

Le fonctionnement de l'Intelligence Artificielle repose sur des algorithmes dont la principale valeur ajoutée est le traitement - dans des délais très courts, voire quasiment en temps réel - de volumes gigantesques de données inexploitables tels quels par l'homme.

En d'autres termes, tirer parti de l'IA nécessite d'avoir à disposition de très grandes quantités d'informations pertinentes au moins pour la phase d'entraînement des algorithmes - la phase d'utilisation pouvant quant à elle se faire dans certains cas à partir d'un très petit jeu de données couplé à un algorithme puissant. Ainsi, sans cet apport initial de données, l'IA ne permettra pas d'obtenir de résultats.

Au delà de cette évidence, les données mises à disposition devront - si ce n'est pas déjà le cas - être structurées de manière à pouvoir être exploitées. Ainsi, pour entraîner une machine à reconnaître des images précises, il faut disposer de données d'entrée « *classées et étiquetées à l'avance et ce travail se fait souvent manuellement* »³⁰. Cela peut représenter des efforts considérables : à titre d'exemple, dans le cadre du projet Maven précédemment cité plus de 150,000 images ont été à ce jour étiquetées une à une par des humains pour créer les jeux de données initiaux nécessaires à l'entraînement des algorithmes³¹.

³⁰ <https://geointblog.wordpress.com/2018/04/11/le-pentagone-dans-la-course-a-lintelligence-artificielle>

³¹ http://www.intellisia.org/index.php/Index/news_page/id/121.html

Développer les compétences des personnels

La dimension ressources humaines (RH) est également un élément à prendre en compte. Bien souvent la mise en place de méthodes d'automatisation de processus - comme l'installation de portiques pour le contrôle des passagers dans les aéroports - est perçue comme un moyen de réduire les effectifs en s'appuyant sur la machine pour gérer davantage de cas dans des délais contraints. Dans les faits, les machines se concentrent sur certaines tâches répétitives qu'elles peuvent effectuer rapidement et à performance constante laissant à l'humain plus de temps pour procéder à des tâches plus complexes. Par exemple la comparaison des photos incluses sur le passeport avec le visage du passager est effectuée par la machine, tandis que l'analyse comportementale demeure une activité humaine.

En d'autres termes, **l'IA va permettre de rendre les personnels plus productifs en leur permettant de se concentrer sur des tâches où l'intelligence humaine a une plus-value difficilement contestable à ce jour.** Dans le même temps il est **nécessaire de faire évoluer les compétences de ces personnels qui vont devoir accomplir des tâches nouvelles**, notamment en identifiant les moyens d'améliorer les performances de la machine. L'introduction massive de l'IA conduira par ailleurs à un besoin croissant de profils capables de créer, paramétrer et faire fonctionner les logiciels correspondants.

Adopter la « boucle courte » du secteur civil

La mise en place de solutions faisant appel à l'IA ne saurait se faire selon les cycles habituels de développement de programmes militaires qui s'étendent sur plusieurs années. En effet les technologies de l'information et de la communication et celles liées à l'IA sont tirées par **le marché civil dont les cycles de développement sont très courts** - parfois quelques mois

seulement - par comparaison à ceux des Armées qui peuvent s'étaler sur plusieurs dizaines d'années.

Pour s'adapter à cet environnement, il convient de mettre en place des équipes resserrées aux compétences diverses, mêlant opérationnels et spécialistes techniques. **Les solutions gagnent à être développées en boucles courtes et itératives et toujours en lien avec les utilisateurs finaux.** Idéalement, ces derniers doivent être en mesure de partager leurs retours d'expérience, qui peuvent ensuite servir à améliorer les solutions par itérations successives.

La création de mécanismes dédiés à l'intégration des dynamiques accélérées d'innovation dans le monde de la Défense reflète la prise en compte de cet enjeu. À titre d'exemple l'entité *Defense Innovation Unit eXperimental* (DIUX) du Département de la Défense américain, localisé au coeur de la Silicon Valley, s'engage à démarrer un projet en moins de 60 jours. Pour cela l'entité s'appuie sur un mécanisme appelé « *Other Transaction Agreements Commercial Solutions Openings* », se situant en dehors des procédures d'acquisitions usuelles du Pentagone.

Solutions en « mode dégradé »

La spécificité des missions des Armées oblige à penser le déploiement et l'**utilisation des applications** ayant recours à l'Intelligence Artificielle **dans un environnement particulier caractérisé par des réseaux contraints et des conditions d'emplois dégradées** sur les théâtres d'opérations.

Certaines des applications précédemment mentionnées permettent de traiter une grande quantité d'informations en un temps record, pouvant ainsi faciliter la prise de décision. Elles présentent cependant l'inconvénient d'être extrêmement gourmandes en bande passante : ces flux massifs devant, pour pouvoir être traités, être remontés vers un point central. La mise en place

d'un tel dispositif n'est pas une option systématiquement viable pour les Armées, notamment lorsqu'elles mènent des opérations sur des théâtres reculés et non connectés. Dans ce contexte précis, une piste à explorer est le mode de fonctionnement de l'IA « en local » par opposition au mode de fonctionnement que l'on pourrait qualifier de « centralisé ».

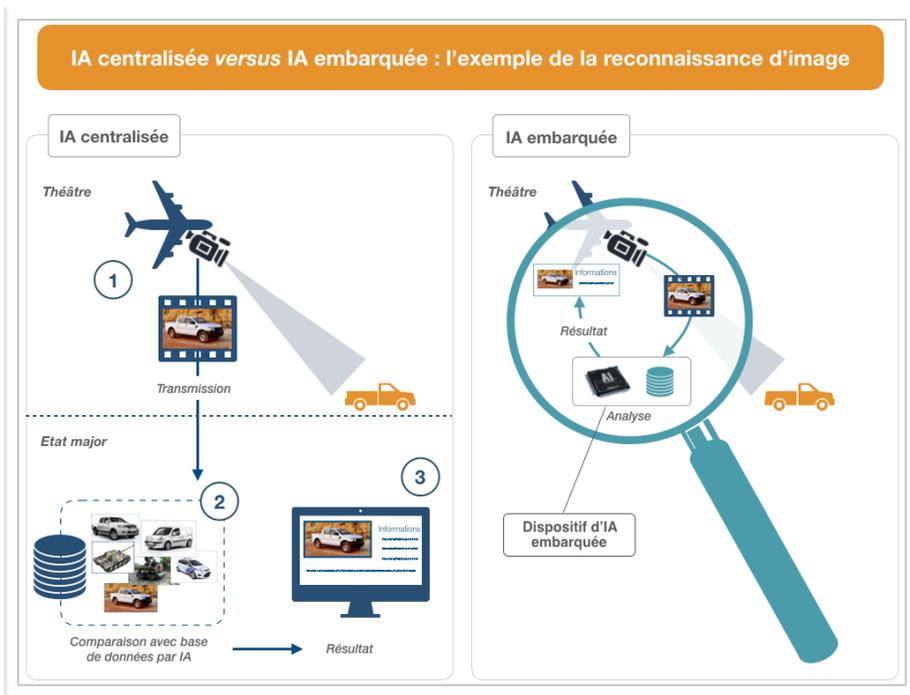
En résumé, **le mode centralisé consiste à faire remonter toutes les informations vers un point unique** de manière à pouvoir les comparer à de très larges bases de données stockées sur des serveurs. Les algorithmes s'enrichissent et s'affinent ainsi au contact de volumes d'informations de plus en plus conséquents.

Le mode de fonctionnement en local consiste, à l'inverse, à embarquer un algorithme « entraîné » et une base de donnée réduite sur un terminal. Une telle solution est alors capable d'interpréter son environnement à partir de quelques signaux faibles. Cette architecture ouvre la porte à une réduction considérable des flux de données – et donc à des solutions véritablement opérationnelles en conditions dégradées.

En effet, **l'outil embarqué procède à son analyse sans faire appel à des ressources externes.** Ce dispositif présente néanmoins des inconvénients, à savoir une puissance de calcul moindre et une base de données plus réduite. En outre, cette technique conduit à une singularisation des systèmes puisque chaque système évoluant en fonction des données qu'il intègre, se différenciera de plus en plus des autres systèmes de sa catégorie.

Les mérites respectifs des deux approches - d'un point de vue strictement militaire - peuvent être résumés comme dans le tableau ci-dessous :

	IA « centralisée »	IA « en local »
Base de données	Massive, centralisée	Plus réduite, en local
Méthode	Machine learning / apprentissage	Optimisation des algorithmes
Accès	Client en réseau	Possible « hors connexion »
Utilisation	Etat-major uniquement	Possible aussi en opération



Risques liés à l'utilisation de l'IA

Si la mise en oeuvre de solutions reposant sur l'IA présente un intérêt indéniable pour les Armées, le recours à ces technologies induit néanmoins un certain nombre de risques:

- En ayant recours à des algorithmes qui peuvent en théorie être « lus et compris » par l'adversaire, **les forces peuvent devenir prévisibles** - dans leurs mouvements notamment - et donc vulnérables.
- Des algorithmes mal configurés ou mal utilisés peuvent conduire à **un déluge informationnel qui peut paralyser la décision**, voire à une mauvaise prise de décision suite à une analyse opérée par un logiciel dans lequel un biais humain a été introduit, volontairement ou non.
- En s'étant habitué à utiliser l'IA, il peut être tentant d'interroger les algorithmes en permanence et de **rester bloqué dans la phase « d'analyse » sans jamais passer à l'action**, ce qui a également pour conséquence la paralysie.
- En s'étant habitué à utiliser l'IA comme une « béquille décisionnelle », **l'humain pourrait peu à peu perdre en compétence (navigation par exemple).**

La prise en compte de ces réalités est un préalable nécessaire au déploiement de solutions reposant sur l'IA.

En conclusion, l'Intelligence Artificielle - qui permet notamment d'exploiter de très gros volumes d'information autrement inutilisables par l'homme - peut avoir une réelle valeur ajoutée pour les Armées. Bien utilisée, elle permettra de faire mieux ou plus dans de nombreux domaines, en déchargeant les hommes de certaines tâches.

L'IA n'est cependant pas une panacée. À cet égard, la classification établie par Jean-Claude Heudin, Directeur de l'Institut de l'Internet et du Multimedia, qui distingue 6 niveaux d'Intelligence Artificielle est particulièrement éclairante³² :

Niveau 1	Sous-humaine pour des tâches spécifiques
Niveau 2	Equivalente à un humain pour des tâches spécifiques
Niveau 3	Supérieure à la plupart des intelligences humaines pour des tâches spécifiques (Alpha Go)
Niveau 4	Supérieure à toute intelligence humaine pour des tâches spécifiques
Niveau 5	Supérieure à l'intelligence humaine pour une majorité de tâches - Artificial General Intelligence
Niveau 6	Intelligence artificielle ultime (singularité technologique)

Comme le rappelle M. Heudin, si le développement d'IA de niveau 4 relève du domaine du possible, ce n'est absolument pas le cas, à l'heure actuelle, pour les niveaux supérieurs. En résumé, si l'IA permet d'apporter une aide précieuse pour la réalisation de tâches précises, il ne s'agit pas d'une solution miracle susceptible de se substituer totalement à l'humain pour la prise de décision.

³² <http://www.mondedesgrandesecoles.fr/robots-intelligence-artificielle-futur-de-lindustrie/>

Par ailleurs, le déploiement de solutions reposant sur l'IA - que ce soit sous la forme de plateformes autonomes ou de logiciels de reconnaissance d'images - n'a de sens que si elles apportent une réelle plus-value opérationnelle. C'est ce critère qui, en dernière analyse, devrait présider au choix de son utilisation.

Enfin, le recours accru de l'IA à des fins militaires devrait conduire à s'interroger sur les conditions d'emplois de cet ensemble de technologies et leurs conséquences sur la doctrine militaire, que ce soit en temps de paix ou en temps de guerre.





Société Anonyme au capital de 150 510 €

SIREN : 414 881 821 – APE : 7022 Z

Tour Montparnasse - 33, avenue du Maine - BP 36

75 755 Paris Cedex 15

Tél. +33 1 45 55 00 20 / Fax +33 1 45 55 00 60 / contact@ceis.eu

Publications récentes

A télécharger sur www.sia-lab.fr ou www.ceis.eu

Blockchain : état des lieux et perspectives - Janvier 2018

Internet des Objets (IoT) - Nouvelle donne pour la Défense ? – Juin 2017

Enjeux stratégiques du Big Data pour la Défense – Juin 2017

Emploi du Cloud dans les Armées – Juin 2016

Impression 3D - Technologie de rupture au service des Armées – Juin 2016

Rattrapages technologiques et technologies de l'information – Déc.2015

Impact de la numérisation sur l'exercice du commandement – Déc. 2015

Numérisation de l'outil de Défense – Juin 2015

Rythme des opérations et nouvelles technologies – Juin 2015

Mission des Armées et systèmes d'information – Déc. 2013

Le Système d'Information des Armées (SIA) – Déc. 2013

