



NOVEMBRE  
2021



# L'ailier de demain

## Le partenariat homme-machine dans l'armée de Terre

Laboratoire  
de Recherche  
sur la Défense  
(LRD)

---

Michel PESQUEUR

L'Ifri est, en France, le principal centre indépendant de recherche, d'information et de débat sur les grandes questions internationales. Créé en 1979 par Thierry de Montbrial, l'Ifri est une association reconnue d'utilité publique (loi de 1901). Il n'est soumis à aucune tutelle administrative, définit librement ses activités et publie régulièrement ses travaux.

L'Ifri associe, au travers de ses études et de ses débats, dans une démarche interdisciplinaire, décideurs politiques et experts à l'échelle internationale.

Les opinions exprimées dans ce texte n'engagent que la responsabilité de l'auteur.

ISBN : 979-10-373-0434-6

© Tous droits réservés, Ifri, 2021

Couverture : © Armée de Terre

#### **Comment citer cette publication :**

Michel Pesqueur, « L'aïlier de demain : le partenariat homme-machine dans l'armée de Terre », *Notes de l'Ifri*, Ifri, novembre 2021.

#### **Ifri**

27 rue de la Procession 75740 Paris Cedex 15 – FRANCE

Tél. : +33 (0)1 40 61 60 00 – Fax : +33 (0)1 40 61 60 60

E-mail : [accueil@ifri.org](mailto:accueil@ifri.org)

**Site internet :** [ifri.org](http://ifri.org)

# Auteur

Le **colonel Michel Pesqueur** (ER) a été chercheur au sein du Laboratoire de Recherche sur la Défense (LRD) du Centre des études de sécurité de l'Ifri. Officier de l'armée de Terre, précédemment chef de bureau au Centre interarmées de coordination du soutien (CICoS), il a notamment été projeté en Côte-d'Ivoire, en Afghanistan, en Grèce et en République centrafricaine. Détaché par le ministère des Armées auprès de l'Ifri, il a apporté une expérience opérationnelle aux différentes études relatives aux engagements militaires contemporains ainsi qu'à l'adaptation de l'outil de défense français. Ses travaux ont porté sur l'emploi des blindés français. Diplômé de l'École spéciale militaire de Saint-Cyr, il est breveté de l'École de Guerre et docteur en histoire.

# Résumé

L'armée de Terre s'est résolument engagée dans l'acquisition de capacités de haute technologie, notamment de systèmes automatisés évoluant dans un environnement connecté, afin d'obtenir la supériorité opérationnelle. L'association de combattants et de robots permet à une force déployée d'atteindre sa masse critique, de mieux appréhender son environnement et d'accroître son agilité.

Face à un adversaire symétrique, l'atteinte d'un rapport de force favorable dans les phases critiques de la manœuvre, nécessaire pour emporter la décision, requiert une augmentation de la masse engagée dans l'action. L'association des combattants et des systèmes autonomes de tout type (robots et drones) offre une alternative à une augmentation de format dans un contexte de contrainte budgétaire.

Dans le brouillard de la guerre caractéristique du milieu terrestre, les systèmes autonomes permettent d'acquérir à faible coût humain et en temps utile la masse de données nécessaire à la compréhension de l'environnement, optimisant ainsi le processus d'élaboration des ordres. Leur apport se situe également dans la conduite des opérations, en permettant un ajustement de la planification. Enfin, l'intelligence artificielle (IA) permet un meilleur partage des données géoréférencées, une meilleure disponibilité des équipements et une meilleure endurance.

L'armée de Terre poursuit ses efforts pour développer la synergie homme-machine avec la création du *Battle Lab* Terre. Les programmes Scorpion puis Titan intégreront également de manière graduelle les systèmes automatisés dans les différentes fonctions opérationnelles. Pour autant, il ne faut pas occulter les difficultés induites par ces évolutions, notamment culturelles et éthiques : l'association homme-machine demande un effort important de formation et de préparation, tant pour les chefs que pour les soldats.

# Abstract

The French Army has committed itself to acquiring high-tech capabilities in a bid to achieve operational superiority, including automated systems operating in a connected environment. The combination of combatants and robots aims at enabling a deployed force to reach its critical mass, to improve the understanding of its environment and to increase its agility.

When faced with a symmetrical adversary, achieving a favorable balance of power in the critical phases of the maneuver requires increasing the mass involved. The collaboration of combatants and autonomous systems of all types, particularly in the third dimension (drones), logistics (convoys) and combat in urban areas, thus offers an alternative enabling to increase in size in the context of budgetary constraints.

Autonomous systems, in the fog of war characteristic of the land environment, allow to collect, at low human cost and in a timely manner, the mass of data necessary to understand the environment, thus optimizing the process of elaborating orders. Their benefits also lie in the conduct of operations, by allowing planning to be adjusted. Finally, AI allows better sharing of geo-referenced data, better availability of equipment and better endurance.

The French Army is pursuing its efforts to develop man-machine teaming through the Battle Lab Terre and through programs such as Scorpion and Titan, which will gradually integrate automated systems across the scope of operational functions. Nonetheless, it is crucial not to overlook the difficulties induced by these developments, notably in terms of culture and ethics: man-machine teaming requiring major training and preparation efforts, for both leaders and soldiers.

# Sommaire

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>6</b>
<b>L'armée de Terre, une armée peu robotisée ? .....</b>	<b>7</b>
<b>QU'ATTENDRE DU PARTENARIAT HOMME-MACHINE ? .....</b>	<b>9</b>
<b>Un facteur de supériorité opérationnelle .....</b>	<b>9</b>
<i>Augmenter la masse pour remporter le combat décisif.....</i>	<i>9</i>
<i>Mieux comprendre pour mieux commander.....</i>	<i>11</i>
<i>Manœuvrer avec agilité pour sidérer l'adversaire .....</i>	<i>12</i>
<i>Des bénéfices attendus en termes d'endurance .....</i>	<i>12</i>
<i>Bien se préparer pour bien combattre .....</i>	<i>13</i>
<b>De nouvelles vulnérabilités .....</b>	<b>13</b>
<i>Le risque humain :</i>	
<i>recrutement, charge cognitive et confiance .....</i>	<i>14</i>
<i>Le risque technologique :</i>	
<i>menace sur la sécurité des connexions .....</i>	<i>15</i>
<i>Le risque décisionnel : escalade et éviction.....</i>	<i>15</i>
<b>INTÉGRER HOMMES ET MACHINES</b>	
<b>DANS LES PROGRAMMES EN COURS.....</b>	<b>17</b>
<b>Scorpion, au-delà de la numérisation des forces .....</b>	<b>17</b>
<b>Vers le combat collaboratif .....</b>	<b>19</b>
<b>Titan et MGCS : l'avenir de l'automatisation .....</b>	<b>21</b>
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>24</b>

# Introduction

En avril 2021, l'École spéciale militaire de Saint-Cyr partageait sur Twitter les photos d'un entraînement réalisé avec *Spot*, un robot militaire quadripède conçu par l'entreprise Boston Dynamics<sup>1</sup>. Dans sa publication, l'École décrivait cet exercice comme essentiel pour « faire prendre conscience aux étudiants des enjeux de demain, dont celui de la robotisation du champ de bataille ».

Les systèmes d'armes tendent en effet à être de plus en plus automatisés, voire autonomisés. L'expérience significative tirée du monde industriel montre qu'il est possible de délester l'humain de nombreuses tâches répétitives, sales, dangereuses ou coûteuses – dites « 4D » en anglais pour *dull*, *dirty*, *dangerous*, et *dear*<sup>2</sup> – grâce à des systèmes mécaniques et électroniques complexes. Dans les armées comme ailleurs, les progrès fulgurants de la robotique et de l'intelligence artificielle (IA) fascinent autant qu'ils inquiètent, et les scénarios les plus futuristes se font jour. En novembre 2020, le chef d'état-major des armées britanniques annonçait ainsi vouloir disposer de 30 000 robots soldats – soit un quart des effectifs – à l'horizon 2030<sup>3</sup>. Il invitait les militaires à une certaine ouverture d'esprit, « non pas pour savoir ce qu'ils doivent faire, mais pour comprendre ce qu'ils peuvent obtenir ».

De fait, la robotisation du champ de bataille présente des avantages opérationnels, sécuritaires et économiques indéniables. Les robots<sup>4</sup> tendent à être plus rapides, endurants et coordonnés que les soldats, et permettent une réduction des coûts ainsi qu'un meilleur emploi des capacités humaines. Ces dernières années, les avancées technologiques dans le domaine ont permis de développer des systèmes automatisés de plus en plus adaptés aux besoins opérationnels de l'armée de Terre, dans le cadre du programme Scorpion notamment. Des prototypes de drones et de robots sont déjà à l'essai sur le terrain, et devraient être déployés au sein des unités de combat dès l'année prochaine. Si la distinction entre drones et robots fait l'objet de débats (les drones étant aériens et les robots terrestres

---

1. E. Trujilo, « Le "robot-chien" de Boston Dynamics fait ses premiers pas dans l'armée française », BFMTV, 8 avril 2021, disponible sur : [www.bfmtv.com](http://www.bfmtv.com).

2. B. Marr, « The 4 Ds of Robotization: Dull, Dirty, Dangerous, and Dear », *Forbes*, 16 octobre 2017.

3. L. Marchand, « Des milliers de "robots-soldats" pourraient bientôt rejoindre l'armée britannique », *Les Échos*, 9 novembre 2020.

4. Le terme « robot » est une invention de l'écrivain tchèque Karel Čapek, qui l'a formé à partir du substantif « robota » (corvée) et du verbe « robit » (œuvrer, fabriquer) dans les années 1920.

selon la définition initiale), il est possible de parler de « drones » pour les systèmes pilotés à distance, et de « robots » pour les systèmes suffisamment automatisés pour fonctionner en autonomie<sup>5</sup>.

## L'armée de Terre, une armée peu robotisée ?

L'armée de Terre est souvent présentée comme une armée de gros bataillons peu tournée vers la technologie à l'inverse de la Marine et de l'armée de l'Air et de l'Espace. Cette assertion est fautive. Si, bien sûr, l'homme est au centre des systèmes de forces terrestres, la technologie y est désormais largement présente. Les systèmes d'information et de communication (SIC), les nouvelles générations d'engins terrestres (Griffon, Jaguar, Serval) et aéroterrestres (Tigre, Caïman) comme le système du combattant débarqué Felin sont à la pointe de la technologie et montrent que l'armée de Terre est totalement impliquée dans la recherche de la supériorité technologique, gage de supériorité opérationnelle. L'irruption croissante de systèmes d'armes de plus en plus autonomes, à travers les progrès de la robotique et de l'IA, pose aujourd'hui de façon pressante la question de la relation entre ces machines et les soldats qui, jusqu'alors, étaient les seuls êtres doués de raison sur le champ de bataille terrestre. Si le défi est technologique, il est aussi intellectuel : comment mettre les robots et l'IA au service de la manœuvre, aux côtés des combattants des forces terrestres, pour acquérir une supériorité opérationnelle, tout en restant dans le cadre éthique et juridique fixé par le politique ?

Le travail collaboratif entre humains et machines (*Man-Machine teaming* – MMT), au service de la manœuvre d'ensemble, mobilise d'importants efforts de prospective et de réflexion quant à son emploi, et au suivi de son développement capacitaire. Associés aux soldats, robots et IA permettront de disposer d'une masse de manœuvre précieuse, de mieux comprendre l'environnement et la situation tactique, et d'augmenter l'agilité de la force. Ces apports vont de pair avec des vulnérabilités nouvelles, liées aux interfaces de connexion permettant de commander en permanence les robots.

Ces efforts d'appropriation, développés notamment dans le cadre du projet Vulcain<sup>6</sup>, se poursuivront tout au long de la décennie 2020

---

5. T. Berthier, « Systèmes armés semi-automatiques : que peut apporter l'autonomie ? », *Revue de Défense nationale*, n° 820, mai 2019, p. 74-80.

6. Le projet Vulcain correspond à la création d'une section robotique dédiée à la mise en situation de systèmes d'armements dans le cadre de situations tactiques. Composée d'un officier, de deux sous-officiers et de dix militaires du rang, elle sera domiciliée au CENZUB-94<sup>e</sup> RI. Sa création a été annoncée en 2021, pour un premier test d'unités pilotes à l'horizon 2025. Lire L. Lagneau,



avec la livraison complète du programme synergie du contact renforcée par la polyvalence et l'info-valorisation (Scorpion) et, à l'horizon 2035-2040, avec le système de combat terrestre principal (MGCS), présenté comme le « char du futur ».

# Qu'attendre du partenariat homme-machine ?

L'armée de Terre doit intervenir dans un environnement singulier, caractérisé par la rugosité du terrain, la dissémination de la masse et une grande subsidiarité au sein des unités. Dans ce contexte, le *Man Machine Teaming* est un outil d'aide au soldat, qu'il faut intégrer sous peine d'être distancé technologiquement et tactiquement par des compétiteurs. Il permet de déléguer à la machine les tâches dans lesquelles elle excelle, pour que le chef tactique puisse se concentrer sur la prise de décision, et que le soldat exécute sa mission dans un environnement plus lisible et plus sûr<sup>7</sup>. Il s'accompagne également de nouveaux défis, humains et techniques, pour assurer la continuité de la coopération entre hommes et machines dans un environnement contesté.

## Un facteur de supériorité opérationnelle

Les apports potentiels du MMT doivent être évalués à l'aune de la doctrine actuelle de l'armée de Terre<sup>8</sup>. Celle-ci décrit huit facteurs de supériorité opérationnelle<sup>9</sup>, qui doivent contribuer aux cinq principes de la guerre<sup>10</sup>. Parmi ces huit facteurs, la collaboration des soldats et des machines peut en renforcer trois en particulier : la masse<sup>11</sup>, la compréhension et l'agilité.

### ***Augmenter la masse pour remporter le combat décisif***

La masse désigne la capacité à générer et à employer une force combinant le volume et la qualité suffisants pour produire des effets décisifs sur le champ de bataille. S'il ne peut pas être obtenu sur le théâtre d'opérations dans son ensemble, ce rapport de force favorable permis par la masse doit être recherché localement. L'art de la tactique

---

7. D. P. Brutzman et C. Fitzpatrick, *Creating Virtual Environments for Evaluating Human-Machine Teaming*, Monterey, California Naval Postgraduate School, 2020, p. 13.

8. « Action terrestre future », État-major de l'armée de Terre, septembre 2016.

9. Les huit facteurs de supériorité opérationnelle sont les suivants : compréhension, coopération, agilité, masse, endurance, force morale, influence, performance du commandement.

10. Aux trois principes hérités de la pensée du maréchal Foch : liberté d'action, économie des moyens, concentration des efforts, s'ajoutent deux principes complémentaires : fulgurance et incertitude.

11. M. Ryan, *Man-Machine Teaming for Future Ground Forces*, Washington D.C., Center for Strategic and Budgetary Assessments, 2018, p. 11.

est de concentrer ses efforts en un point bien choisi dans l'espace et dans le temps, afin de faire basculer la situation à son avantage.

C'est pourquoi, à l'heure où le format de l'armée de Terre demeure modeste malgré la recreation d'unités après 2016 – elle compte deux divisions en 2021, contre quinze à la fin de la guerre froide – l'un des principaux apports du MMT est de contribuer à un certain retour de la masse. L'utilisation de robots en essaim contrôlés par un soldat permet de démultiplier ses capacités sur le terrain. L'emploi massif de petits systèmes, consommables car peu onéreux, permet un effet de saturation en un point donné pour percer les dispositifs de déni d'accès, tout en économisant le potentiel humain. Les premières réflexions montrent que cette capacité de saturation offre une opportunité de rupture tactique<sup>12</sup>. Dans cette perspective, on pourrait imaginer dans un avenir plus ou moins éloigné la constitution de groupements tactiques interarmes (GTIA) composés de seulement 200 à 300 soldats opérant aux côtés de plusieurs milliers de systèmes autonomes de tailles et de conception variées, lesquels permettraient de générer une masse bien supérieure à une unité équivalente, mobilisant aujourd'hui trois fois plus de combattants. De plus, de nombreuses tâches d'appui et de soutien (artillerie, génie, train) pourront voir leurs effets démultipliés par l'apport des systèmes autonomes (SA). Cela permettra de réduire la taille des unités et de libérer des soldats disponibles pour des missions qui demandent de la créativité et de la réactivité dans le renseignement, la planification et bien sûr le commandement.

Cette contribution à la masse de manœuvre est particulièrement précieuse dans deux domaines : le combat dans la troisième dimension et le combat en zone urbaine. Alors que le coût unitaire toujours croissant des aéronefs, limite leur nombre, des unités combinant drones et hélicoptères permettent de mener à bien des actions audacieuses, en saturant les défenses adverses et en fournissant des feux variés et précis, même en l'absence de supériorité aérienne. En zone urbaine, terrain parmi les plus difficiles car très cloisonné, très dangereux et très consommateur en ressources, la masse générée par les systèmes robotiques s'avère indispensable pour remporter la décision, du fait de la « prime à la défensive » prévalant dans ce type d'opérations.

De même, l'emploi de convois autonomes pour l'acheminement logistique de la zone arrière vers les bases divisionnaires permettrait un gain considérable en ressource humaine qu'il serait possible de basculer vers les unités de contact.

---

12. Entretien avec le colonel chef de la section emploi au bureau emploi de l'EMAT, mai 2021.

## ***Mieux comprendre pour mieux commander***

Le milieu terrestre se caractérise par sa grande complexité, son opacité et ses évolutions rapides. Les données topographiques (relief, cours d'eau, zones boisées), techniques (état du réseau routier et du bâti), humaines (présence de population) et météorologiques, sont non seulement difficiles à connaître avec exactitude dans certaines zones peu ou pas cartographiées, mais elles évoluent en outre constamment<sup>13</sup>. Pour dissiper ce brouillard informationnel, la robotisation offre des possibilités d'observation permanentes, précises et discrètes, qui seront complémentaires des capteurs humains classiques. Les capteurs à longue endurance, notamment miniaturisés et opérant en réseau, semblent prometteurs. Ils peuvent également être utilisés dans des environnements hostiles, dangereux ou extrêmes (zone contaminée lors de reconnaissance NRBC, zone montagneuse, arctique ou désertique, galeries souterraines, caves ou intérieur de bâtiment en combat en localité), sans avoir à exposer les soldats<sup>14</sup>.

Dans le processus d'élaboration des ordres, l'apport de l'IA est indéniable. Pour les planificateurs, son utilisation peut offrir un avantage crucial dans le processus d'aide à la décision. Elle peut évaluer de grandes quantités de données sans être affectée par des préjugés humains. Classant rapidement de nombreux éléments, elle peut également intégrer les concepts d'opérations ennemis et les confronter aux solutions tactiques élaborées par les états-majors. Ce faisant, elle peut proposer au chef différents scénarios, laissant *in fine* à ce dernier le choix de son mode d'action. Durant tout le processus de planification, la collecte et l'analyse des informations tant opérationnelles que logistiques sont sans cesse actualisées, permettant aux états-majors de planifier et d'élaborer les ordres avec les éléments les plus à jour possibles<sup>15</sup>.

Après le temps de la conception vient le temps de la conduite des opérations. L'IA augmente la vitesse à laquelle les officiers chargés de la conduite des opérations au sein des états-majors peuvent déterminer le risque et l'urgence des menaces. Ils peuvent les discriminer de façon précise et rapide, pour se concentrer sur les plus dangereuses. Une IA centralisée pourrait diriger des unités de SA agissant de manière coordonnée, en suivant ses directives pour manœuvrer de la meilleure façon. Les déplacements et les tirs des SA seraient déterminés en

---

13. É. Tenenbaum, « Le rôle stratégique des forces terrestres », *Focus stratégique*, n° 78, Ifri, février 2018.

14. J. Laird, C. Ranganath et S. Gershman, *Future Directions in Human Machine Teaming Workshop*, Office of prepublication and Security review, U.S Department of defense, 15 janvier 2020, p. 3.

15. C. Lee, « Report Highlights Importance of Human-Machine Teaming for Ground Forces », *National Defense*, 28 mai 2018, disponible sur : [www.nationaldefense.com](http://www.nationaldefense.com).

fonction des tout derniers renseignements analysés et du retour d'expérience de situations analogues passées.

Pendant les phases de combat, le recueil de données sur l'état physique des combattants, leur concentration, leur fatigue et leur état de stress pourrait permettre de leur attribuer au mieux les missions.

### ***Manœuvrer avec agilité pour sidérer l'adversaire***

L'agilité constitue la possibilité, non seulement de faire face à la surprise, mais aussi de la provoquer en manœuvrant avec rapidité au point d'être imprévisible. Elle suppose des déplacements sur le terrain rapides et fluides. Les algorithmes offrent la possibilité de se déplacer plus vite et sans erreur à la minute près pour éviter l'encombrement des axes lors, par exemple, de franchissement d'un point particulier (coupure humide, carrefour stratégique), moment délicat dans la manœuvre. Parce qu'ils mettent en réseau les combattants et les unités, qui partagent en temps réel leur position et leurs observations, ils leur permettent de se situer les uns par rapport aux autres et de visualiser simplement un objectif ou un point à atteindre.

Les algorithmes peuvent enfin limiter grandement le nombre de pannes qui ralentissent et complexifient la manœuvre, parce qu'ils offrent une maintenance prédictive fiable. La capacité à prédire quand une plateforme va tomber en panne et à remplacer les pièces avant qu'elle ne s'arrête, ou à suivre la consommation en munitions et carburant pour réclamer les ravitaillements au moment opportun et en volume adéquat, assure de ne pas briser le *tempo* de la manœuvre. De plus, la maintenance prédictive peut augmenter la sécurité des équipages en leur évitant une panne en plein combat<sup>16</sup>.

### ***Des bénéfices attendus en termes d'endurance***

L'endurance, capacité pour les hommes et les machines à durer dans un environnement hostile, est le quatrième facteur de supériorité opérationnelle pouvant bénéficier de l'apport du MMT, même si cela n'est pas encore mis en œuvre de manière convaincante. L'avis du comité d'éthique de la défense au sujet du soldat augmenté<sup>17</sup> rend en tout cas des expérimentations possibles. Parmi les applications plausibles, citons :

---

16. J. Brooks, « Human-Machine Teaming Is Key to Organizational Resilience in Crises », *Mapware.ai*, 13 avril 2020, disponible sur : [www.mapware.ai.com](http://www.mapware.ai.com).

17. « Avis portant sur le soldat augmenté », Comité d'éthique de la défense, Paris, décembre 2020.

- la capacité des véhicules semi-autonomes, en cas de défaillance des équipages, de déclencher certaines actions vitales (protection active et passive) voire de ramener les plateformes automatiquement à leur base<sup>18</sup> ;
- l'allègement de la charge physique et cognitive du combattant : emploi de porteurs robotisés, recours à la réalité augmentée, amélioration de la vision et de l'audition ;
- l'amélioration des soins apportés en cas de blessure avec des dispositifs d'alerte physiologique.

### ***Bien se préparer pour bien combattre***

La prise en compte de l'automatisation des systèmes dans la préparation opérationnelle est primordiale. Elle sera une aide lors des entraînements, mais surtout les combattants devront s'entraîner à l'utiliser pour la maîtriser lors des engagements.

L'IA et les SA rendront la préparation opérationnelle plus cohérente et réaliste. La simulation, tant des actes techniques que des situations tactiques, sera rendue encore plus réaliste grâce à l'IA. Le *wargaming* à base d'algorithmes ayant intégré les modes d'action ennemis sera rendu très proche de la réalité et permettra de s'entraîner à des situations tactiques complexes mais réalistes.

Un binôme homme-machine performant au combat nécessitera une préparation longue et intense. Le soldat devra bien connaître les capacités de son équipier automatisé, savoir l'utiliser au moment opportun et surtout avoir confiance en lui.

Bien consciente des risques de détournement de tels dispositifs, l'armée de Terre a pris soin de dresser des garde-fous et affirme ainsi qu'« il sera préféré un combattant amélioré dans ses dimensions morales et la conscience des enjeux de sa mission à un soldat dit augmenté au risque de la manipulation<sup>19</sup> ».

## **De nouvelles vulnérabilités**

Faire collaborer les hommes et les machines induit des vulnérabilités nouvelles, générées par des facteurs humains, technologiques et tenant à la nature du processus décisionnel.

---

18. J.-C. Noël, « Intelligence artificielle : vers une nouvelle révolution militaire ? », *Focus stratégique*, n° 84, Ifri, octobre 2018, p. 44-60.

19. « Action terrestre future », *op. cit.*

## **Le risque humain : recrutement, charge cognitive et confiance**

Le premier facteur potentiellement limitant est le facteur humain. Les directions des ressources humaines (DRH) des armées devront prendre en compte l'émergence des SA pour le recrutement, la formation et la gestion du personnel.

Après avoir recruté de futurs soldats maîtrisant les outils connectés, la formation devra s'attacher à les acculturer à la coopération homme-machine. La gestion des algorithmes nécessite de nouvelles compétences, que l'armée de Terre ne possède pas encore et qu'il faudra acquérir<sup>20</sup>. De même, l'éducation des chefs militaires vise actuellement à réaliser leur développement intellectuel dans l'art et la science de la guerre. Si l'on ajoute des machines d'apprentissage à cet environnement, l'enseignement militaire professionnel institutionnel et individuel devra s'adapter.

Le fait que les robots et les algorithmes soient conçus pour être employés par un opérateur humain limite leur potentiel aux performances humaines – notamment au regard de la charge cognitive. Un fantassin responsable de plusieurs systèmes aériens et terrestres a, au combat, une charge cognitive importante<sup>21</sup>. Dans ce contexte, le but de l'association homme-machine n'est pas uniquement de faire travailler des humains et des machines ensemble, mais également de faire collaborer un très grand nombre de machines entre elles, pour que la charge cognitive des humains demeure compatible avec la conduite du combat à un *tempo* élevé<sup>22</sup>.

L'efficacité du MMT peut également être altérée par le manque de confiance de l'utilisateur dans sa machine, au risque de ne pas l'exploiter à sa juste valeur. La confiance est instaurée par la performance et la régularité d'exécution de la tâche donnée, la compréhension mécanique (plus nous comprenons le fonctionnement d'un système, plus nous avons tendance à être à l'aise avec lui), la prévisibilité (anticiper le comportement d'un système augmente la confiance dans son utilisation) et la familiarité (plus un système est utilisé efficacement plus la confiance augmente)<sup>23</sup>. Illustrant ces principes, une expérimentation récente au sein de l'US Marine Corps suggère que la confiance des soldats envers les systèmes robotisés est fortement améliorée quand les premiers ont pu participer aux processus d'intégration et de développement dès leur

20. « Emploi de l'intelligence artificielle et des systèmes automatisés. Concept exploratoire interarmées », CEIA-3.0.2, CICDE, 2018, p. 32.

21. M. Ryan, *Man-Machine Teaming for Future Ground Forces*, op. cit., p. 37-40.

22. « Human-Machine Teaming », JCN 1/18, Ministry of Defense, 2018, disponible sur : [www.gov.uk.com](http://www.gov.uk.com), p. 19.

23. *Ibid.*, p. 48.

commencement<sup>24</sup>. Pour cette raison, un binôme homme-machine performant au combat demandera une préparation longue et intense<sup>25</sup>. L'intelligence artificielle du système équipier pourra faciliter cette relation particulière, en apprenant comment se comporte son binôme, anticipant ses initiatives et ses réactions<sup>26</sup>.

### ***Le risque technologique : menace sur la sécurité des connexions***

Parce que le MMT consiste justement à élaborer des interfaces entre hommes et machines, ces interfaces peuvent devenir des cibles. Le comité d'éthique de la défense a tracé une ligne rouge : les robots de l'armée française ne seront pas entièrement autonomes, ils devront toujours être commandés<sup>27</sup>. Pourtant, les interfaces de commandement constituent des vulnérabilités nouvelles, car elles requièrent une connectivité permanente et fiable dans un environnement électromagnétique contesté<sup>28</sup>. Elles sont consommatrices de bande passante dans un environnement électromagnétique déjà saturé et vulnérable aux cyberattaques et au brouillage. La menace persistante sur les réseaux nécessite donc des systèmes résilients et fiables.

### ***Le risque décisionnel : escalade et éviction***

L'emploi accru de systèmes robotisés et d'algorithmes sur le champ de bataille s'accompagne certainement d'une accélération du *tempo* des opérations, ce qui modifie la manière dont les décisions sont prises. Face à une manœuvre plus brutale qui accorde moins de temps à la réflexion humaine, il existe un risque d'emballement et d'escalade non souhaitée<sup>29</sup>. Dans cette perspective, les états-majors doivent concevoir de nouveaux modes d'action prenant en compte l'emploi des systèmes de MMT par nos troupes, par les forces alliées mais aussi les modes d'action ennemis utilisant les systèmes d'armes létales autonomes (SALA). Car si la France se refuse à les employer d'autres moins inhibés ne s'en priveront pas. Il faut donc une convergence de la technologie

---

24. J. Chagoya, « NPS Researchers, Marines Explore the Trust Factor in Human-Machine Teaming », *Marines.mil*, 7 décembre 2020, disponible sur : [www.marines.mil](http://www.marines.mil).

25. M. Paglia, « Réparer 2020 ou préparer 2030 ? L'entraînement des forces françaises à l'ère du combat multi-domaine », *Focus stratégique*, n° 101, Ifri, janvier 2021.

26. J.-C. Noël, « À la recherche du soldat augmenté : espoirs et illusions d'un concept prometteur », *Focus stratégique*, n° 99, Ifri, septembre 2020, p. 55.

27. « Avis portant sur l'autonomie dans les systèmes d'armes létales autonomes », Comité d'éthique de la défense, Paris, 2021.

28. Discours du CEMAT lors de la journée de la robotique, 10 juin 2021.

29. « Avis portant sur l'autonomie dans les systèmes d'armes létales autonomes », *op. cit.*, p. 5.



alliée à des concepts d'emploi nouveaux et une organisation des forces adaptée à l'entraînement et à l'emploi des équipes homme-machine<sup>30</sup>.

Sur le plan politique, le MMT comporte un risque d'éviction des unités humaines : les décideurs pourraient avoir la tentation d'un recours « systématique et excessif » à des systèmes présentant moins de dangers pour nos soldats<sup>31</sup>. La maîtrise industrielle et l'emploi opérationnel des SA pourront être des éléments de crédibilité politique, de souveraineté et d'efficacité de l'action militaire, et donc des éléments d'influence et de prévention des conflits.

---

30. Voir Maj. Gen. Mick Ryan, cité dans C. Lee, « Report Highlights Importance of Human-Machine Teaming for Ground Forces », *op. cit.*

31. *Ibid.*

# Intégrer hommes et machines dans les programmes en cours

Dans les années 2010, l'arrivée à maturité des technologies a permis un emploi opérationnel de drones et robots sur les théâtres d'opérations de l'armée de Terre française à une large échelle. Soucieuse d'être toujours à la pointe de l'innovation pour ne pas se faire distancer par des adversaires qui utilisent de plus en plus les technologies émergentes à des fins militaires, l'armée de Terre a mis en place en 2019 un dispositif complet d'innovation, auquel participe le *Battle Lab* Terre pour le volet technico-opérationnel. Cette structure est destinée à créer des liens entre les différents acteurs de l'innovation. Son rôle est de capter les idées d'innovation, de tester les solutions laissant envisager des ruptures sur le champ de bataille avec l'aide de différents partenaires militaires ou civils et de recommander, le cas échéant, leur mise en service opérationnel.

## Scorpion, au-delà de la numérisation des forces

Lancé en 2014, le programme Scorpion (synergie du contact renforcée par la polyvalence et l'info valorisation) est une nouvelle étape vers un partenariat homme-machine plus poussé. Associant trois véhicules blindés (Griffon, Jaguar et Serval) à une version modernisée du char Leclerc et à des systèmes d'information et de préparation opérationnelle, il s'inscrit dans une démarche d'info-valorisation, c'est-à-dire l'échange et le traitement automatisé de données, pour produire une information précise, immédiate et facilement exploitable, au service de l'efficacité opérationnelle. Scorpion introduit donc une meilleure compréhension du champ de bataille, une manœuvre plus agile et ouvre la voie du combat collaboratif dans les forces aéroterrestres<sup>32</sup>.

---

32. « Doctrine exploratoire SCORPION », RFT 3.2.2.1/4, Centre de doctrine et d'enseignement du commandement, 2017.

**Tableau 1 : Le système Scorpion et les Facteurs de supériorité opérationnelle (FSO)**

FSO	Capacités Scorpion	Bénéfices tactiques
Compréhension	<i>Blue force tracking</i> : transmission en temps réel de la position exacte des unités amies	Meilleure compréhension de la situation tactique à tous les niveaux de responsabilité
	Connaissance partagée de la situation amie et du dispositif ennemi	Limitation des échanges radio
		Accélération de la décision
		Prise de recul du chef
		Limitation des risques de tirs fratricides ou de doublons
Pénétration en profondeur du dispositif ennemi		
Agilité	Attribution automatique de secteurs de tirs et désignation des objectifs	Amélioration de la réaction à une attaque
	Connaissance partagée du terrain, de la situation amie et du dispositif ennemi	Accélération du <i>tempo</i> de la manœuvre (fulgurance)
	Réarticulation et détachement d'un subordonné à une unité voisine en cours d'action	Décentralisation de la manœuvre dans la profondeur (dispersion et concentration)
		Concentration très rapide des effets
Remontées automatiques des consommations et analyse des données d'état des véhicules	Anticipation des besoins en ravitaillement et maintenance, maintien du rythme de la manœuvre	

Source : Entretien EMAT, 2021.

Le programme Scorpion va renouveler et moderniser le segment médian<sup>33</sup> de l'armée de Terre, afin de lui procurer une supériorité tactique. Les nouveaux véhicules sont conçus pour pouvoir communiquer entre eux au moyen du nouveau système de communication SICS (système d'information du combat Scorpion). En 2021, un groupement tactique interarmes « scorpionisé » est projeté pour la première fois, marquant l'arrivée à maturité du programme. L'objectif est de disposer d'une brigade interarmes projetable en 2023.

Scorpion ouvre enfin la voie au combat collaboratif, c'est-à-dire qu'il exploite l'info-valorisation pour créer collectivement des capacités qui n'existent pas individuellement :

- ▀ La protection collaborative permet à chaque véhicule ou combattant de faire bénéficier son environnement de sa protection et de ses détections.
- ▀ L'observation collaborative assure une vision complète et plus juste du champ de bataille, et répartit au mieux les secteurs d'observation. Les détections s'en trouvent améliorées.
- ▀ Une fois les objectifs détectés, l'agression collaborative offre une répartition optimisée des cibles.

## Vers le combat collaboratif

Pour accompagner ces évolutions propres à Scorpion, l'armée de Terre a mis en place un certain nombre d'initiatives destinées à favoriser les expérimentations. Celles-ci étaient notamment le souhait du général Burkhard qui, lorsqu'il était chef d'état-major de l'armée de Terre (CEMAT) n'avait pas manqué de pointer du doigt le fait que la généralisation de l'emploi de ces technologies conduirait, à l'échelle d'une ou deux décennies, à un véritable changement de paradigme pour le combat aéroterrestre : « une erreur serait de sous-estimer la rupture historique que va provoquer la robotisation<sup>34</sup> ».

En vue d'une appropriation des nouveaux outils offerts par l'émergence de nouveaux systèmes de plus en plus autonomes, l'armée de Terre a ainsi lancé en 2021 le projet Vulcain, dont le mandat a été signé en février 2021 par le CEMAT<sup>35</sup> et qui a été officiellement présenté lors de la journée de la robotique aéroterrestre le 10 juin au camp de Satory.

33. Le segment médian désigne les véhicules blindés légers et intermédiaires.

34. Discours du CEMAT lors de la journée de la robotique, 10 juin 2021.

35. Lettre N° 501904/ARM/EMAT/SCOAT/BEMP/NP du 23 février 2021, Projet Vulcain sur les systèmes automatisés du futur (robots et drones).

Vulcain est le 13<sup>e</sup> projet stratégique de la vision stratégique du CEMAT<sup>36</sup>. Tournée vers l'expérimentation des robots aéroterrestre, elle vise à alimenter la réflexion sur la robotisation, son influence sur les principes de la guerre et les facteurs de supériorité opérationnelle (FSO) à l'horizon 2040. Elle participe d'une approche centrée sur l'emploi plus que sur les caractéristiques technologiques des systèmes d'armes déployés.

**Tableau 2 : Tests de robotisation de l'armée de Terre**

Programme	Description	Bénéfices attendus
Convoi semi-autonome (janvier 2021)	À Satory a été présenté un convoi composé de : - en tête, un blindé léger piloté par un humain, - un petit véhicule protégé (PVP) robotisé, - deux robots-mules	Réduire la ressource humaine nécessaire pour les convois logistiques  Réduire les pertes humaines en cas d'attaque des convois logistiques  Réduire la valeur de la cible « convoi logistique », parce que ces convois ne comporteront presque plus d'humains
Robots-mules (avril 2021)	Employés au sein du Groupement tactique désert Bison au Sahel, ces robots téléopérés peuvent transporter jusqu'à 750 kg durant 8 heures, à une vitesse de 8 km/heure	Rendre le fantassin plus mobile et plus endurant  Délester les humains de certaines missions simples mais pénibles ou dangereuses
Robots de combat (mars 2021)	Testés par des élèves de l'école militaire interarmes, ces robots téléopérés ont été utilisés en appui d'un groupe d'infanterie pour l'exécution de missions offensive, défensive et de combat en zone urbaine de jour et de nuit <sup>37</sup>	Moins exposer les combattants humains

Source : Entretien EMAT, 2021.

36. Ministère des Armées, EMAT, Vision stratégique du CEMAT, juin 2020.

37. P. Chapleau, « Quand l'EMIA part au combat avec des robots terrestres », *Lignes de défense*, 31 mars 2021, disponible sur : [www.lignesdedefense.com](http://www.lignesdedefense.com).

Les défis sont politiques (quelle autonomie et respect des principes éthiques), tactiques (imaginer toutes les possibilités et opportunités d'emploi) et techniques (intégration dans la bulle Scorpion et résilience des liaisons homme-machine, concilier la technologie avec les besoins opérationnels).

Ce projet de long terme s'appuie sur de nouveaux organes spécifiques destinés à la réflexion et au développement de ces capacités. Le premier est la section Vulcain, mise sur pied à l'été 2021. Décrite comme une « section robotique », elle doit compter 13 militaires chargés de mettre en situation différents robots dans des situations tactiques de combat en zone urbaine pour en tirer des leçons. La seconde structure dédiée est le *Battle Lab* Terre, inauguré en janvier 2021.

La constitution de premières unités pilotes robotisées est imaginée à compter de 2025, et celle d'unités opérationnelles à l'horizon 2030. L'objectif est de disposer en 2040 d'une capacité robotique aéroterrestre complète dont l'emploi, les équipements et la tactique seront maîtrisés par l'armée de Terre.

## Titan et MGCS : l'avenir de l'automatisation

À plus long terme, la volonté de l'armée de Terre d'intégrer toutes les avancées permises par l'association homme-machine est illustrée par l'introduction du MMT dans le programme Titan, dont les premières réalisations doivent voir le jour vers 2035-2040, et dont le futur char MGCS sera un exemple.

Lancé en 2020 le projet Titan renouvellera le segment de décision. Tout en améliorant la connectivité et l'info-valorisation ainsi que les services de combat collaboratif au sein de la brigade interarmes (BIA), il s'agira d'être capable de combattre avec les autres milieux, pour une meilleure intégration des effets.

Il intégrera des systèmes automatisés dans les différentes fonctions opérationnelles. Les systèmes autonomes et équipiers seront développés pour les plateformes terrestres. L'IA et la réalité augmentée seront présentes dans toutes les phases opérationnelles permettant entre autres l'introduction de la simulation dans le processus de planification et d'élaboration des ordres.

Les principaux domaines concernés sont le MGCS, le successeur du VBCI, l'aérocombat, l'artillerie et la défense sol-air (DSA) d'accompagnement. À terme, Titan devrait fédérer ces grands programmes d'armement dans chacun de ces domaines<sup>38</sup>.

38. Entretien avec l'officier prospective capacitaire Titan, EMAT, B. Plans du 16/03/2021.

**Tableau 3. La répartition homme-machine dans le MGCS**

Fonction	Tâches automatisées	Tâches sous supervision humaine
<b>Observation et ciblage</b>	Répartition des secteurs d'observation	Autorisation de tir
	Proposition d'envoi de drones dans des secteurs n'étant pas en vues directes	
	Détection et acquisition des cibles à 360°	Décision d'emploi des drones
	Répartition des objectifs	
	Repérage des parties les plus vulnérables de la cible	
<b>Mobilité</b>	Proposition d'itinéraires adaptés	Réaction à des imprévus
	Pilotage automatique	
<b>Maîtrise de l'environnement</b>	Représentation 3D du terrain	-
	Gestion des systèmes radio (réduction de la signature électromagnétique)	
	Réduction de la menace des munitions téléopérées et des drones	
	Protection active dotée de munitions d'autoprotection	
	Réduction de la menace missile	
<b>Gestion des systèmes équipiers</b>	Répartition des missions des systèmes équipiers	Autorisation de tir

Source : Entretien EMAT, 2021.

Lancé il y a presque dix ans, le programme MGCS est un projet franco-allemand né de la nécessité de remplacer les actuels chars de batailles français et allemands à l'horizon 2035. Prenant en compte le durcissement de la menace, le successeur du Leclerc illustre le besoin de monter en gamme, car le char de bataille, par ses capacités à pénétrer et agir dans les espaces les plus contestés pour y créer le choc et prendre l'ascendant sur un adversaire de premier rang, reste encore un moyen de supériorité dans le domaine aéroterrestre au XXI<sup>e</sup> siècle. Prenant en compte une très grande diversité de menaces (frappes directes multidirectionnelles, menaces 3 D, menace au sol (mines, IED), champ électromagnétique, combattants), il devrait être constitué

de plateformes habitées couplées avec des systèmes équipiers ailiers et déportés, terrestres et aériens.

Lancé en 2012 par l'analyse du besoin, ce projet s'est poursuivi en 2016 par l'étude du concept qui a conduit à la décision de créer un système multi-plateformes, dont certaines robotisées et à la signature par les deux MINARM d'une lettre d'intention (LOI) en 2018. Le projet s'est concrétisé en 2019 avec la création d'un consortium industriel (Arbeitsgemeinschaft), suivie par la signature de l'arrangement cadre et de l'étude d'architecture en 2020. Celle-ci sera complétée par des études technologiques qui pourraient commencer début 2022 avant la production et l'évaluation d'un démonstrateur système complet entre 2024 et 2028. Les premiers systèmes sont attendus en 2035. Les différentes phases du projet font encore l'objet d'intenses discussions entre les partenaires au sujet de la répartition des rôles, du partage des études et du financement.

La coopération homme-machine sera présente dans quatre de ses fonctions : les systèmes embarqués, la mobilité, la maîtrise de l'environnement et la gestion des systèmes équipiers.



# Conclusion

L'association homme-machine et l'emploi des systèmes autonomes sont un enjeu crucial pour les forces terrestres dans la perspective du combat de haute intensité au XXI<sup>e</sup> siècle. L'armée de Terre en est parfaitement consciente et a déjà appréhendé son importance à travers le programme Scorpion et le développement de l'info-valorisation. Les programmes en cours devraient permettre de conserver un avantage compétitif en matière de capacité opérationnelle, à condition que cet effort d'innovation et de recherche soit financé correctement dans les prochaines lois de programmation militaire. L'essentiel est de ne pas perdre ce temps d'avance dans la course à l'appropriation des machines par les forces terrestres car, comme le soulignait le général MacArthur : « Les batailles perdues se résument en deux mots : trop tard<sup>39</sup> ».

---

39. Cité par le CEMAT lors de son discours de clôture de la journée de la robotique aéroterrestre le 10 juin 2021.



27 rue de la Procession 75740 Paris cedex 15 – France

---

[Ifri.org](http://Ifri.org)