



Les missiles hypersoniques, une technologie militaire de rupture ?

Par **Joseph Henrotin**, rédacteur en chef de *Défense & Sécurité Internationale*.

La missilerie hypersonique a, depuis quelques années, le vent en poupe. Que ce soit dans les débats en relations internationales, en études stratégiques ou même en ingénierie, elle est souvent présentée comme un game changer causant une rupture dans les équilibres militaires.

Les fondamentaux techniques

Un missile est qualifié d'hypersonique lorsqu'il remplit deux conditions. La première est sa vitesse, supérieure à Mach 5 (plus de 6 000 km/h). La deuxième est sa manœuvrabilité, le missile ou sa charge ayant une trajectoire plus ou moins imprévisible dans sa progression vers l'objectif. Cette caractéristique de manœuvrabilité distingue un engin hypersonique de missiles à longue portée plus classiques, qui peuvent certes atteindre et dépasser les Mach 5, mais dont la trajectoire est balistique ou quasi balistique. Cette manœuvrabilité rend plus complexe une tentative d'interception. Il existe deux grandes catégories de systèmes hypersoniques :

- le planeur (HGV — *Hypersonic glide vehicle*), propulsé par un booster qui lui confère son énergie. Une fois largué à haute altitude, il « surfe » sur les hautes couches de l'atmosphère, réduisant la prédictibilité de sa trajectoire ;
- le missile de croisière (HCM — *Hypersonic cruise missile*), également propulsé par un booster, qui lui confère une vitesse permettant ensuite de lancer un statoréacteur classique (*ramjet*) ou supersonique (*scramjet*) assurant ensuite une propulsion continue. S'il évolue également à relative haute altitude, le missile de croisière est aérobie.

Comme souvent lorsqu'il est question de systèmes techniquement avancés, les vertus « révolutionnaires » de l'objet sont souvent exagérées ; tout comme la finalité opérationnelle d'une innovation peut, paradoxalement, être mal comprise. En réalité, les systèmes hypersoniques — qu'il s'agisse des planeurs ou des missiles de croisière (voir l'encadré 1) — ne sont que les produits d'une continuité. Les missiles balistiques et de croisière n'ont rien de neuf, mais il faut constater que les systèmes destinés à les intercepter ont connu des évolutions importantes ces vingt dernières années. C'est dans ce cadre qu'un missile hypersonique est intéressant : ce qui le distingue des engins classiques est une trajectoire imprévisible pour les systèmes de défense. En cela, le terme « hypersonique » est partiellement trompeur : s'il fait intrinsèquement référence au facteur vitesse (ce qui est parfois vrai), son avantage se trouve ailleurs.

Des systèmes manœuvrants certes, mais pour quelles finalités ?

Les premiers systèmes qui apparaissent sont liés à la dissuasion nucléaire. La Russie et la Chine travaillent ainsi rapidement sur des planeurs afin de contrer le système antimissile américain mis en place depuis les années 2000. Pour Moscou et Pékin, les systèmes hypersoniques sont une manière de réassurer la dissuasion, qui dépend de la certitude que les frappes nucléaires atteignent effectivement leur cible. Au demeurant, plusieurs États s'engagent également dans cette voie : pour la France, le futur missile *ASN4G*, qui va

remplacer les missiles *ASMP-A* de l'armée de l'air et de l'espace, doit accroître la probabilité d'une frappe. Une deuxième fonction des systèmes hypersoniques est la frappe conventionnelle sur des cibles à haute valeur ajoutée. De ce point de vue, ces systèmes ouvrent des opportunités opératives et tactiques. On peut très bien imaginer des frappes de *DF-17* chinois sur les batteries antimissiles taiwanaises, « ouvrant la porte » à des missiles balistiques non hypersoniques — et donc moins coûteux — qui traiterait ensuite une série de cibles qui ne pourront plus être défendues. Dans le cas des programmes américains ou japonais cette fois, il s'agit de pouvoir « brusquer » le tempo opérationnel, en traitant une cible dès sa détection, en prenant appui sur la portée et la vitesse des systèmes hypersoniques. Une troisième fonction est le combat antinavire. La Russie a été la première à s'engager sur cette voie avec le missile *3M22 Zircon*, un missile de croisière hypersonique (HCM) d'une portée estimée de 800 à 1 000 km et qui pourrait atteindre Mach 7 ou 8. Tiré depuis des bâtiments de surface ou des sous-marins, ses fonctions sont en réalité plus diversifiées. D'une part, ses essais ont démontré qu'il pouvait être utilisé contre des cibles statiques au sol et doté d'une charge nucléaire ou conventionnelle d'autre part. La Chine développe également des systèmes de frappe antinavires, et les États-Unis se dirigent eux aussi vers cette option.

Une arme miracle ?

Les systèmes hypersoniques, dans leurs types et leurs fonctions, connaissent clairement une prolifération à travers le monde, ce qui en fait un marqueur de

Photo ci-contre : Le 1^{er} octobre 2019, lors du défilé marquant le 70^e anniversaire de la République populaire de Chine, des véhicules militaires transportent pour la première fois des missiles hypersoniques DF-17. Muni d'un transporteur furtif et capable de frapper une cible à 7 000 km/heure, ce missile serait prioritairement conçu pour pénétrer la coque renforcée des navires de guerre tels que les porte-avions. (© AFP/Greg Baker)

puissance technologique. Le tableau ci-contre ne rend pas compte des efforts de recherche conduits en Grande-Bretagne et en Australie ni du deuxième programme hypersonique français, en l'occurrence de démonstration technologique, le VMAX. Mais l'hypersonique constitue-t-il une panacée, sorte « d'arme miracle » ? Il faut sans doute se méfier d'une telle vision. En ce qui concerne la frappe nucléaire, ces systèmes apportent clairement des avantages en termes d'assurance de la frappe, mais ce ne sont pas quelques planeurs hypersoniques qui changeront profondément la donne pour des États disposant déjà de plusieurs centaines (voire de milliers) de têtes nucléaires — soit bien plus que le nombre possible d'intercepteurs en service. En ce qui concerne les frappes conventionnelles, contre des cibles terrestres ou navales, la réponse est encore plus nuancée. L'efficacité des missiles hypersoniques va certes dépendre de leur degré de maturation technique, mais surtout de facteurs autrement plus complexes, tant techniquement que militairement. Frapper un navire de guerre à 1 000 km impose de disposer d'un réseau de capteurs autre que celui du navire ou du sous-marin lanceur, ainsi que de systèmes de traitement de l'information adaptés. Or, cela implique des systèmes complexes et coûteux : avions de patrouille maritime et / ou satellites radar de reconnaissance océanique, liaisons satellitaires sécurisées et postes de commandement interarmées fonctionnels. Au regard de ces seuls critères, l'aptitude du missile russe *Zircon* à être engagé dans des scénarios antinavires peut être remise en question — du moins à l'heure actuelle. Cette question de l'environnement militaire dans lequel va s'insérer un système hypersonique est tout aussi importante pour les engins de frappe terrestre. Dans le cas américain, les différents systèmes en cours de développement vont être utilisés dans une vision dite « multidomaine ». Un scénario d'utilisation pourrait voir le pilote d'un appareil de combat ou de drone commander le lancement d'un missile — depuis une batterie au sol, un autre avion ou un bâtiment de la marine — de manière à ce que la frappe se produise quelques minutes plus tard. Arriver à ce résultat impose

Les systèmes hypersoniques opérationnels ou en cours de développement (à l'exclusion des démonstrateurs)

(Pays, date de 1^{er} essai réussi)

Type de charge	Planeurs (HGV) (1)	Missiles de croisière (HCM) (1)
Nucléaire	<i>Avangard</i> (Russie, 2014) <i>KN-X ?</i> (Corée du Nord, 2021) <i>DF-X</i> (Chine, 2021)	<i>Zircon</i> (Russie, 2019) <i>AS4NG</i> (France)
Conventionnelle	<i>DF-17</i> (Chine, 2014) <i>Kinzhal</i> (Russie, 2017)* <i>YJ-21</i> (Chine, 2022) <i>LRHW</i> (États-Unis, 2020) <i>IRCPS</i> (États-Unis) <i>AGM-183 ARRW</i> (États-Unis, 2022) <i>HVGP</i> (Japon)	<i>DF-100</i> (Chine, 2018)** <i>Zircon</i> (Russie, 2019) <i>HAWC</i> (États-Unis, 2022) <i>HACM</i> (États-Unis) <i>HALO</i> (États-Unis) <i>BrahMos-II</i> (Inde/Russie) <i>HCM</i> (Japon) <i>Hycore</i> (Corée du Sud)

(1) Voir encadré p. 84. *Sa qualité hypersonique est débattue. Sa manœuvrabilité pourrait être réduite.

**Sa qualité hypersonique est débattue. Le missile pourrait évoluer dans le haut supersonique.

certes de disposer de missiles, mais surtout de liaisons de données, d'un système de commandement doté d'une intelligence artificielle qui décidera que c'est tel missile de telle batterie qui sera lancé ou encore de personnel formé à une doctrine n'existant pas encore.

Tout cela ne va pas de soi, de sorte que si les États-Unis affichent un certain retard dans leurs essais de missiles, d'autres États sont bien moins avancés qu'eux en ce qui concerne le cadre technique, procédurier et doctrinal dans lequel les capacités seront mises en œuvre. Au-delà, plusieurs États travaillent déjà à des systèmes de défense contre les systèmes hypersoniques.

Les missiles hypersoniques vont-ils changer quelque chose à l'art de la guerre ? D'un côté, on peut se dire qu'ils ne vont pas remplacer d'autres capacités, mais plutôt les compléter : l'innovation militaire procède par additivité car jamais un missile n'a remplacé un combattant. D'un autre côté, on peut également se dire que les zones de bataille vont se dilater et le combat se complexifier. Mais n'était-ce déjà pas le cas le jour où un premier hominidé a essayé une sagaie ?

Joseph Henrotin



Pour aller plus loin

Joseph Henrotin, « Armes hypersoniques : quels enjeux pour les armées ? », Briefings de l'IFRI, juin 2021 (<https://bit.ly/35f1S84>)

Photo ci-contre : Destiné à la marine russe, le missile *Zircon* peut atteindre la vitesse de Mach-8 et être mis en service aussi bien par une plateforme de surface que par un sous-marin nucléaire lanceur de missiles de croisière. Fin 2021, le président russe déclarait au sujet des essais menés avec le missile hypersonique *Zircon* qu'ils constituaient « un grand événement » et « une avancée substantielle » capable d'améliorer significativement les capacités de défense du pays. Le premier test d'un missile *Zircon* a été effectué en janvier 2020 depuis la frégate *Amiral Gorchkov* (ici en photo) dans la mer de Barents, en ciblant un terrain militaire à plus de 500 km de distance. (© Mil.ru)

Le soldat augmenté

Par **Gérard de Boisboissel**, directeur de l'observatoire « Enjeux des nouvelles technologies pour les Forces » du Centre de recherche de l'Académie militaire de Saint-Cyr Coëtquidan (CRcC).

Depuis l'aube de l'humanité, le métier de soldat est très probablement celui le plus exposé aux agressions, qu'elles soient physiques ou psychologiques, pouvant mener jusqu'à la mort. Se battant pour une cause qui se veut légitime (Nation, Foi, soutien à un peuple opprimé), ce dernier risque sa vie pour des intérêts qui lui sont supérieurs.

Aussi, pour préserver sa survie et faciliter sa victoire au combat, les Armées ont toujours au cours de l'histoire voulu augmenter les performances du soldat, que ce soit par un équipement meilleur que celui son adversaire, par un entraînement et une formation poussée et régulière, par une organisation optimale du groupe ou de l'unité de combat, ou enfin par la prise de substances. Ce qui reste toujours vrai de nos jours, hormis pour le dernier point : le plus entraîné, le mieux équipé, sera le plus performant et aura donc plus de chances de vaincre.

Mais c'est aussi souvent dans le temps long que se forment les victoires. Les conflits s'éternisent, et les soldats soumis à une exigence d'efficacité dans la durée.

Or, de nouvelles perspectives inédites de renforcement des capacités humaines apparaissent aujourd'hui, tant sur le plan physique que psychologique, au travers de nouvelles technologies, notamment les NBIC (nanotechnologies, biotechnologies, informatique et sciences cognitives). Elles pourraient permettre de renforcer et d'accroître encore ses capacités, voire de dépasser les limites actuelles de la condition du combattant par l'incorporation de technologies amélioratives ou par des moyens faisant corps avec lui.

Le CRcC Saint-Cyr a publié en 2017 avec la *Revue Défense Nationale* une définition de l'augmentation du combattant : « Le soldat augmenté est un soldat dont les capacités sont augmentées, stimulées ou créées dans le but de renforcer son efficacité opérationnelle. Ces augmentations peuvent aller de la modification physiologique, ou d'un changement d'état psychologique, à l'utilisation de moyens qui, faisant corps avec lui, assurent la continuité de l'amélioration de ses capacités corporelles sensorielles, physiques ou cognitives. »

L'augmentation est une action ayant pour objectif de rendre le soldat plus efficient (a) en opération :

- en renforçant ses capacités psycho-cérébrales (intellectuelles, mentales, psychologiques, cognitives) et/ou physiques, ou en lui permettant d'en acquérir de nouvelles ;

- par des moyens faisant corps avec lui à effet d'augmentation des performances humaines ;

- par des apports pharmacologiques non thérapeutiques, des implantations statiques ou dynamiques (nanomatériaux, prothèses) ou de la thérapie génique sur sa physiologie ;

de manière courte ou prolongée, voire irréversible, sous réserve d'en maîtriser les effets.

Un complément de classification souvent mentionné porte sur deux critères des effets de l'augmentation. Elle peut être : a) non invasive en prenant la forme d'un équipement porté par le combattant mais que l'on peut aisément retirer ; b) invasive pour le corps humain mais réversible, comme la pharmacologie dont les effets sont limités dans le temps, ou bien la pose d'implants sous-cutanés ; et enfin c) invasive et irréversible, catégorie d'augmentations qui ont des effets sur le corps durables dans le temps.

Cela n'est pas sans poser de fortes questions éthiques. Tout d'abord, les augmentations du combattant ne répondant pas à un besoin initial de soin, elles sont donc non thérapeutiques. De plus, elles peuvent propulser l'individu au-delà de ses limites propres, en lui permettant de dépasser ce qui semble être la normalité : la nyctalopie [faculté de voir dans la pénombre], par exemple, permet d'acquérir une capacité que ne possède pas l'Homme.

Aussi faut-il avant tout se poser la question de l'utilité de ces augmentations : en vue de quoi, et quand ?

Cette question n'est pas simple, car la finalité des augmentations peut correspondre à de multiples besoins. Nous en listerons ici quatre :

- mieux percevoir l'environnement tactique afin de prendre les décisions optimales et éviter des erreurs de jugement en situations complexes ;

- rester alerte, résister à la fatigue, améliorer puis conserver dans la durée ses réflexes et ses automatismes de combattant. Ceci afin de durer physiquement et mentalement, pour rester opérationnel et réduire le danger ;

- maîtriser ses émotions, notamment le stress et la peur qui peuvent paralyser au combat ;

- mieux associer le soldat aux équipements qu'il a à sa disposition via des interfaces Homme/Machine enrichissant leur interaction et optimisant leur usage. Comme par exemple avec le « *brain control* », dont certaines études prédisent l'usage pour le contrôle de systèmes par la pensée (avec des capteurs d'ondes cérébrales invasives ou non). Le *brain control* semble cependant extrêmement futuriste, voire dangereux, car comprendre le cerveau humain est complexe, voire impossible (qui pourra décrire la pensée humaine ?).

De plus, pour une décision militaire, il convient très souvent d'inhiber les réactions du « système 1 » (celui de l'intuition rapide) pour laisser la place au « système 2 » (celui de la raison) (2) tel que décrit par Daniel Kahneman afin de prendre du recul et éviter des réactions non maîtrisées aux conséquences critiques. Cependant, l'objectif premier reste le même : la réussite de la mission, en réduisant au maximum le risque pour ses propres hommes, tout en respectant l'adversaire ainsi que les règles du droit international.

Dès lors, certains garde-fous doivent impérativement être mis en œuvre, notamment pour empêcher l'usage de techniques d'augmentation :

- si celles-ci affectent la responsabilité du combattant en le désinhibant ou en lui faisant perdre ses capacités de jugement ;

- si elles altèrent le respect de l'adversaire et déshumanisent le combat en inhibant l'empathie des soldats. Nous pouvons prendre l'exemple des guerriers vikings berserkers qui, selon certains auteurs (3), utilisaient des hallucinogènes avant le combat. Ou bien plus récemment les combattants de Daech ou de Boko Haram, drogués au Captagon avant chaque raid ou attentat, un stimulant du système nerveux hautement addictif aux propriétés psychoactives euphorisantes mais qui inhibe toute empathie.

Il convient également d'éviter que les soldats ne deviennent des combattants augmentés sans en être informés. Ce qui implique de leur demander un consentement éclairé et que toute augmentation doit être précédée d'une autorisation médicale avec connaissance des effets, directs voire indésirables, et donc une autorisation du Service de Santé des Armées.

Après cette approche quelque peu théorique, tentons maintenant de prendre quelques exemples pour rendre vivants nos propos. Ainsi, dans la catégorie des équipements portés par le combattant qui augmentent ses performances (4), et par définition non invasifs, nous pouvons trouver :

- les exosquelettes, qui décuplent la force des membres inférieurs ou supérieurs. Ils sont de deux types : passifs (principalement des ressorts, mais sans moteurs) ou actifs (motorisés et s'adaptant à la morphologie et aux mouvements de chaque individu, notamment grâce à une intelligence artificielle embarquée). Cette technologie aura besoin de plusieurs années encore pour être vraiment opérationnelle, et l'usage des exosquelettes actifs sera probablement réservé à certaines tâches comme le ravitaillement ou la logistique, la diversité et la complexité des mouvements au combat restant très difficiles à appréhender pour une machine, sans parler de l'autonomie énergétique ;

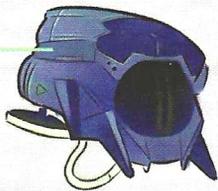
- des vêtements intégrant des capteurs physiologiques de l'individu, ou bien des matériaux sensibles aux interactions physiques mécaniques pour détecter des impacts ou déterminer des commandes par pression, ou bien encore intégrant des circuits électroniques pour les rendre connectés ou intelligents ;

- des casques à réalité augmentée et concentrant la restitution visuelle de toutes les informations gérées à son niveau (échanges voix, données, vidéo), de son armement, des objets tactiques connectés ainsi que des services connectés dédiés à sa spécialité.

En parallèle, dans la catégorie des augmentations invasives, nous avons :

- les substances et les drogues, réversibles mais avec de potentiels effets secondaires plus ou moins durables, dont le plus problématique est une accoutumance ou une dépendance à la substance. Le Service de Santé des Armées (SSA) a de nos jours une approche de la pharmacologie extrêmement prudente (5). Selon lui, les stratégies pharmacologiques ont des limites, et repousser une échéance physiologique que le corps

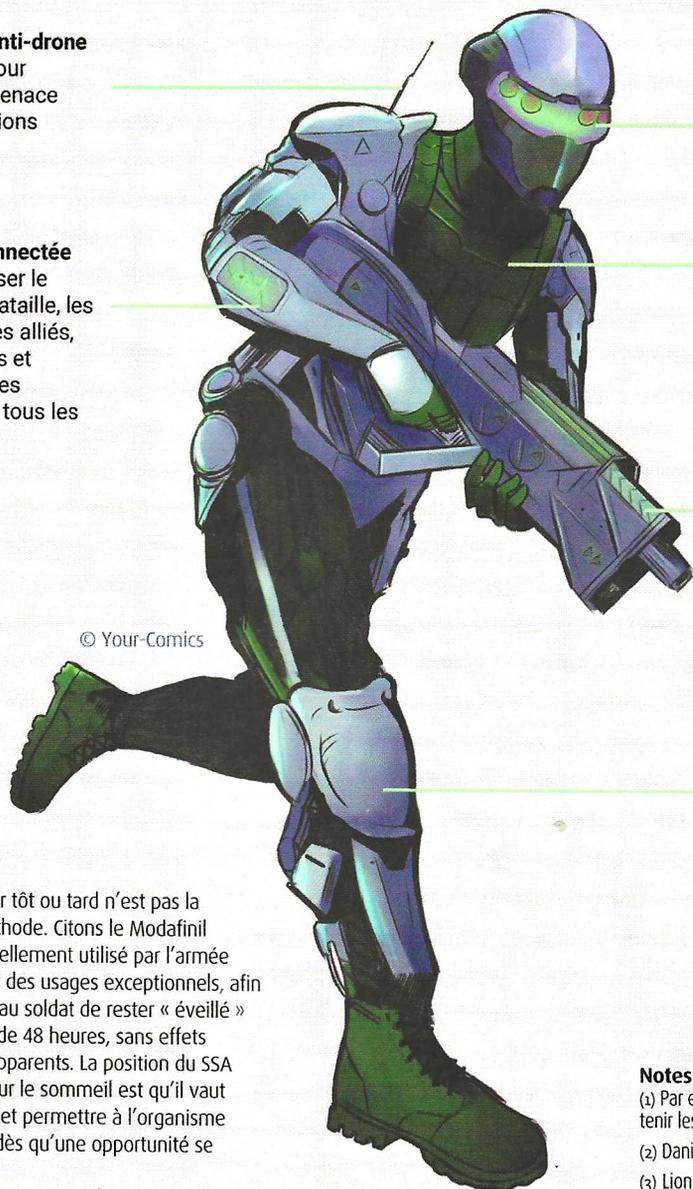
La section de combat d'infanterie intégrera des robots pour le soutien
(appui feu, logistique, évacuation sanitaire...)



Ci-dessous : Vue d'artiste d'un soldat du futur. Illustration créée pour *Émile Magazine* (Sciences Po) par Your-Comics.

Brouilleur anti-drone individuel pour réduire la menace des « munitions rodeuses »

Tablette connectée pour visualiser le champ de bataille, les positions des alliés, des ennemis et bénéficier des caméras de tous les véhicules.



© Your-Comics

Casque avec réalité augmentée et optiques variées

Armure pour protéger le soldat des tirs, des éclats et des brûlures.

Une arme connectée pour optimiser la visée et réduire les risques de dommages collatéraux.

Exo-squelette mécanique, pour augmenter les performances (force, vitesse, endurance).

deva assumer tôt ou tard n'est pas la meilleure méthode. Citons le Modafinil qui fut ponctuellement utilisé par l'armée française pour des usages exceptionnels, afin de permettre au soldat de rester « éveillé » pendant plus de 48 heures, sans effets secondaires apparents. La position du SSA de nos jours sur le sommeil est qu'il vaut mieux dormir et permettre à l'organisme de récupérer dès qu'une opportunité se présente ;

les implants : un exemple consisterait à incruster une puce biométrique cyberprotégée sous la peau de certains militaires afin d'assurer leur accès à des bâtiments protégés ou pour le verrouillage/déverrouillage de leurs postes de travail. Ceci se fait actuellement dans certaines entreprises civiles suédoises pour des facilités d'usage ;

l'anthropotechnie, irréversible, via une transformation de la nature même du corps humain pour donner aux fonctions physiologiques existantes une technicité supérieure. Un exemple pourrait être une puce greffée permettant d'augmenter la tonicité et la précision d'un geste ou une transformation méliorative irréversible de l'acuité visuelle ;

enfin, des biotechnologies via de nouvelles molécules bioactives à effet ciblé, ou agissant directement à la synthèse moléculaire ADN par modification du génome, par exemple grâce à des techniques de type ciseaux génétiques (CRISPR-cas9).

Possibilité ne veut pas dire acceptation. À l'initiative de Florence Parly, ministre des Armées de 2017 à 2022, le comité d'éthique de la Défense s'est réuni sur la question du soldat augmenté et a rendu un rapport en décembre 2020 qui définit 13 principes directeurs et 17 recommandations. Sans pour autant interdire les recherches à mener, ce rapport se veut empêcher les dérives possibles en replaçant la dignité humaine au centre de la réflexion.

Il en ressort que si les recherches peuvent être menées avec l'accompagnement du Service de Santé des Armées, on privilégiera le recours à des solutions externes et non invasives, plutôt qu'à des augmentations ayant un effet direct sur le corps humain. Avant toute considération d'augmentation, il convient de ne pas oublier que le corps humain étant naturellement borné par ses propres limites, il est essentiel que tout soldat se connaisse de sorte à pouvoir maîtriser son corps. Cette connaissance de ses capacités et de ses limites s'acquiert par des exercices pratiqués sur le terrain, en conditions difficiles et contraignantes (inconfort, fatigue, froid ou chaleur, faim, stress, etc.). Ces entraînements ont également pour vertu d'apprendre au combattant à se dépasser, à la fois par sa propre volonté, mais aussi (et surtout) par l'esprit de groupe qui anime son unité. Dans le même ordre d'idées, une étude menée en 2020 par Axel Augé et l'auteur de cet article a révélé de façon intéressante que plus un militaire a une expérience opérationnelle riche, moins il est enclin à considérer des moyens d'augmentation de ses capacités qui aient un effet direct sur son corps. On rappelle ainsi que le premier facteur de performance du combattant est une hygiène de vie correcte, basée sur un entraînement régulier, ainsi que l'usage personnalisé des techniques d'optimisation des ressources des forces armées (ORFA) pour la gestion des contraintes relatives au stress, au sommeil et à la motivation. *In fine*, toute augmentation du combattant doit se penser dans un cadre opérationnel, pour un intérêt général et non pas individuel, avec un accompagnement du corps médical, respectueux de l'individu et avec son consentement éclairé.

Gérard de Boisboissel

Notes

- (1) Par efficacité nous entendons ici l'efficacité opérationnelle, soit la capacité pour un individu d'obtenir les effets attendus pour réaliser sa mission. L'efficacité concourt à l'efficacité.
- (2) Daniel Kahneman, *Système 1 / Système 2 : les deux vitesses de la pensée*, Flammarion, 2012.
- (3) Lionel Lesaffre, Étienne Jouzier, Jean-Pierre Labouyrie, Alain Badoc, « Les champignons hallucinogènes à travers la philatélie », *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux*, 2009, p. 153.
- (4) Actuellement, le projet CENTURION de la DGA travaille sur les technologies innovantes pour accélérer l'innovation au profit du combattant débarqué.
- (5) L'usage de substances pharmacologiques est encadré par l'Instruction ministérielle 744 (IM 744).

Pour aller plus loin

- *Revue Défense Nationale*, « Le soldat augmenté », 2017 (<https://bit.ly/3qfdz0w>).
- « Le soldat augmenté : regards croisés sur l'augmentation des performances du soldat », Fondation pour l'innovation politique, 2019 (<https://bit.ly/3TM1zBA>).
- « Avis du comité d'éthique de la Défense portant sur le soldat augmenté », 2020 (<https://bit.ly/3THyuY5>).
- Axel Augé, Gérard de Boisboissel, « L'acceptabilité relative de l'augmentation technique des performances physico-cognitives du combattant. Enquête auprès des élèves-officiers et de leurs cadres aux Écoles de Saint-Cyr Coëtquidan », in *Tétralogiques*, n° 25, « La déconstruction du langage » (<https://bit.ly/3DAYR77>).