

Augmentation des performances humaines avec les nouvelles technologies : Quelles implications pour la défense et la sécurité ?

Sous la présidence de Jean Didier Vincent

Professeur émérite des universités

Membre de l'Académie des sciences et de l'Académie de médecine

Membres :

Arnaud de la Lance : DGA/SASF- Architecte capacitaire santé et défense NRBC

Bernadette Bensaude-Vincent : Professeur des universités, Philosophie des sciences, Université Paris 10

Eric Gaffet : CNRS Belfort- Directeur de Recherches, domaine nanotechnologies

Louis Laurent : ANR (puis Campus du plateau de Saclay) - Physicien

Michel Detilleux : Médecin des hôpitaux, Cochin, Professeur des universités Paris Descartes

Michel Peres : DGA/DET- Ingénieur d'études, domaine sciences de l'homme

Régis Guillemaud : CEA Leti-Minatec- Chef du laboratoire Electronique et Système pour la Santé

Virginie Tournay : CNRS- Institut d'Etudes Politiques- Grenoble- Chargée de recherches

Xavier Bigard : CRSSA- Médecin-chercheur du Service de Santé des Armées, Professeur agrégé Val-de-Grâce, titulaire de la chaire de recherche appliquée aux armées

Yann Perrot : CEA-List- Chef du Laboratoire de Robotique Interactive

Rapporteur : **Agnès Colin** : IRSEM- Chargée d'études

Edition Mars 2010

AVERTISSEMENT

Les membres du club s'expriment en leur nom propre. Leurs propos ne sauraient engager, ni l'IRSEM, ni la DGA, ni le ministère de la défense, ni aucun des organismes auxquels ils sont rattachés. Le présent rapport final est une synthèse aussi consensuelle que possible de l'ensemble des idées et opinions exprimées par les membres.

Les idées, opinions ou recommandations formulées dans le présent rapport ne sauraient en aucun cas être considérées comme l'expression d'une position officielle.

REMERCIEMENTS

Le président du club et l'IRSEM tiennent à remercier vivement les experts extérieurs, tout particulièrement le Pr Alim Benabid (Professeur de médecine, directeur du projet Clinatéc) ainsi que Brice Laurent (chercheur en sociologie à l'école des Mines)) et les membres du club (Louis Laurent, Régis Guillemaud, Yann Perrot, Eric Gaffet, Xavier Bigard, Bernadette Bensaude-Vincent), qui ont accepté au cours de nos réunions de faire un point de situation sur leur domaine d'expertise en lien avec le sujet à traiter.

Une mention particulière de remerciements est adressée à Louis Laurent pour son implication dans la construction de ce document.

RÉSUMÉ

Le CHEAr puis l'IRSEM a animé durant une année un club de réflexion et de recherche sur la problématique de l'augmentation artificielle des performances humaines, à des fins militaires. Cette réflexion est suscitée par l'essor des nouvelles technologies (nanotechnologies – biotechnologies– techniques de l'information et de la communication– sciences cognitives et neurosciences), qui donne lieu à des avancées en matière de réparation de l'homme en médecine.

La faisabilité de l'augmentation des capacités opérationnelles des personnels (voire leur optimisation) et les conséquences associées, constitue un axe de recherche qui suscite l'intérêt et pose un certain nombre de questions.

La démarche a consisté à proposer un regard prospectif à la fois technique, applicatif pour les usages défense, éthique voire philosophique sur les limites d'utilisation de ces nouvelles technologies.

En faisant se rencontrer des chercheurs du domaine de la recherche universitaire, de l'industrie, et de la défense, ce groupe de travail a permis de fournir une réflexion croisée en vue de préciser ce que l'on peut attendre des recherches actuelles et à venir sur les nouvelles technologies au regard des problèmes éthiques d'utilisation chez l'homme. On peut résumer les conclusions du club de la manière suivante :

- Pour la défense, ces nouvelles techniques ouvrent des perspectives pour le combattant d'améliorer ses capacités d'adaptation à l'environnement militaire, d'augmenter ses performances et son efficacité mais aussi d'être "réparé" en cas de nécessité. Mais ces techniques peuvent aussi constituer, de nouvelles menaces pour le combattant.
- Elles soulèvent la question de l'augmentation artificielle de performances pour disposer d'un "supercombattant". D'un point de vue technique, il semble que les progrès les plus significatifs se situent dans deux voies : l'une concerne les technologies de l'information et de la communication, les interfaces, la robotique et l'autre, l'usage de nouvelles molécules dopantes (ou vectorisation de molécules efficaces) grâce aux nanobiotechnologies qui peuvent agir directement sur la physiologie de l'homme.
- Toutefois, le passage de l'homme réparé ("rétabli dans son fonctionnement nominal") à celui de l'homme modifié ("fonctionnement hors norme") est loin d'être acquis, même si ce domaine stimule l'imagination.
- À l'instar des préoccupations de la société civile autour de l'augmentation des performances sportives (par le dopage, la chirurgie amélioratrice, etc.), les questions associées ne sont pas uniquement de nature technique. Elles suscitent de nombreuses réflexions éthiques et juridiques autour des règles d'utilisation de ces nouvelles technologies.
- Du point de vue éthique, l'utilisation des nouvelles technologies à des fins non thérapeutiques pose, en effet, de nouvelles interrogations sur le respect des valeurs morales et sur la santé des personnes. Il a été constaté qu'il n'existe pas de cadre législatif ni réglementaire, ni même de cadre normatif, adapté aux questions d'amélioration de l'individu. Cela est dû au fait que dans le monde médical, seules les applications thérapeutiques sont considérées.

Le club suggère de capitaliser toutes les réflexions et interrogations sur cette problématique, par la création de deux entités au sein de la défense correspondantes à des finalités et des modes de fonctionnement différents :

- une cellule de veille qui pourrait établir à échéance régulière un point de situation sur les perspectives scientifiques, techniques et opérationnelles dans le domaine de la réparation et de l'augmentation de l'homme. Elle s'attacherait à identifier les avantages, les menaces que pourraient engendrer ces nouvelles possibilités pour l'homme dans son intégrité et pour la société.
- une structure destinée à alimenter la réflexion au sein des instances étatiques. Elle aurait en particulier pour mission de mieux cerner d'un point de vue éthique et juridique, les applications à visée non thérapeutique.

Ces questions peuvent être abordées d'autant plus sereinement compte tenu des délais prévisibles importants qui nous séparent des éventuelles disponibilités en opérations. De telles entités devraient ainsi réunir, dans un cadre de réflexions ouvertes, des militaires des différentes armées, des scientifiques, des juristes, des médecins, civils et militaires.

1 – Introduction

Depuis quelques années, de nouveaux domaines technologiques sont en plein essor, dans un contexte historique où la science et la technologie sont étroitement liées. Parmi ces domaines, les nanotechnologies, les biotechnologies et les sciences du vivant, les techniques de l'information et de la communication, les sciences de la cognition et les neurosciences permettent d'envisager des solutions thérapeutiques pour "la réparation" de l'homme mais aussi des améliorations dans divers secteurs comme les interfaces hommes machines.

Par ailleurs, on évoque souvent la convergence des technologies mentionnées ci-dessus qui permettrait potentiellement d'améliorer la santé de l'homme mais aussi d'augmenter ses performances. Ce courant de recherche est désigné, aux USA, par l'acronyme NBIC (pour Nanotechnologies, Biotechnologies, technologies de l'Information et sciences Cognitives). Cette convergence se manifeste par la mise au point d'implants, de prothèses, d'exosquelettes et de nanobots⁽¹⁾ permettant la délivrance de médicaments et aussi de complexes interfaces cerveaux-machines.

Ces techniques ont un intérêt certain dans le domaine médical.

Différentes instances définissent les usages à venir de ces technologies comme une voie possible d'amélioration des performances de l'être humain. Ainsi, la National Science Foundation américaine a publié en 2002 (1), un rapport emblématique : " Technologies convergentes pour améliorer les performances humaines" qui traitait de la question. Ce rapport vise à l'unification des sciences et à l'accroissement des performances humaines grâce à des effets de synergie entre les quatre composantes N,B,I,C. L'amélioration des performances humaines deviendrait possible par l'intégration de ces technologies.

Il existe aussi des déclinaisons concrètes de ce discours. Ainsi, ce sujet donne lieu à des recherches (exemples connus des travaux menés par la Darpa (agence américaine pour les projets de recherche avancée de défense) sur les exosquelettes pour renforcer la capacité du soldat à porter des charges lourdes, sur des interfaces entre le système nerveux et la machine, ou sur des substances spécifiques visant à améliorer les capacités cognitives.

Pour la défense, ces nouvelles techniques fournissent la possibilité de transformer les aptitudes du combattant (afin d'améliorer ses capacités d'adaptation à l'environnement militaire), de "l'augmenter" (en augmentant ses capacités, ses performances et son efficacité) mais aussi de le "réparer" en cas de nécessité. Elles soulèvent la question de l'amélioration artificielle de performances pour disposer d'un "supercombattant". Est-ce envisageable et suivant quelles échéances calendaires ? Comment peut-on anticiper et encadrer les conséquences de l'usage de ces technologies ? À l'instar des préoccupations de la société civile autour du dopage par exemple, les questions associées à ces améliorations ne sont pas uniquement de nature technique. L'augmentation des capacités opérationnelles des personnels (voire leur optimisation) suscite des questions éthiques et juridiques autour des règles d'utilisation de nouvelles molécules pharmacologiques.

Si on se penche sur l'univers des possibles, à long terme, ce sujet donne lieu à des questionnements de nature plus philosophique ou éthique. Par exemple, l'homme augmenté peut apparaître comme une injustice, puisque le principe d'égalité est violé (risque de domination). À l'inverse, dans des situations de haute dangerosité, le recours à des moyens artificiels d'amélioration des performances pourrait apparaître comme nécessaire afin de limiter les risques pris par l'individu.

(1) Contraction de nanorobots.

Avec le projet d'imiter la nature, voire de la surpasser, le "programme NBIC" accentue la confusion entre le naturel et l'artificiel, et redéfinit le socle de nos valeurs culturelles. Pour certains, en explorant les virtualités d'un humain "augmenté", c'est également le devenir de l'espèce humaine dans sa forme biologique qui est questionné par cette convergence technologique. Ces anticipations rejoignent tout un ensemble de réflexions autour de l'avenir de l'espèce humaine, de son éventuel dépassement qui sont au cœur de doctrines philosophiques telles que le transhumanisme ⁽²⁾.

Un club de réflexion sur l'utilisation des nouvelles technologies pour la défense a été constitué par la DGA/CHEAr en décembre 2008 (compte tenu de la restructuration du CHEAr, c'est au sein de l'IRSEM que ces travaux se sont poursuivis et ont été finalisés). Il lui a été demandé de traiter des enjeux et des problématiques spécifiques à la question de l'amélioration artificielle des performances humaines pour la défense. Il s'agissait :

- de dresser un panorama des recherches autour des nouvelles technologies qui visent à améliorer les performances humaines. Un certain nombre de recherches sont menées sur le concept de " l'homme réparé " avec pour certaines, déjà, des réalisations et des essais cliniques ainsi que des applications possibles pour la défense. Ces questions sont abordées dans les sections deux et trois ;
- d'examiner les implications éthiques et sociétales liées aux concrétisations et aux opportunités des nouvelles technologies. Ces questions sont abordées dans la section 4.

Cette synthèse a pour vocation de proposer un état des réflexions et des questionnements suscités par cette problématique afin de nourrir les travaux de prospective du ministère de la défense. Une conclusion, avec quelques remarques et suggestions à retenir, est proposée à la section 5.

2 - Technologies convergentes pour l'amélioration des performances humaines

2-1 - Regard historique

Considérer l'impact des nouvelles technologies en matière de défense passe par des extrapolations sur les progrès de la science et des technologies. Une autre manière de procéder consiste à jeter un regard sur l'histoire pour analyser de quelle manière technologie et domaine militaire ont interagi dans le passé. Aussi, avant de proposer un panorama des technologies disponibles pour disposer d'un homme "augmenté", il est utile de retracer dans les grandes lignes, les incidences de la réappropriation des technologies par l'homme. Dès qu'une technologie a été disponible, des groupes s'en sont emparés pour acquérir la suprématie sur d'autres groupes. Cela a commencé avec la pierre taillée puis s'est prolongé jusqu'aux armes modernes en passant par la poudre, introduite en Europe au milieu du XIII^{ème} siècle. Au vingtième siècle, trois types d'armes symbolisent souvent l'apport de la science :

- l'arme chimique, mise en œuvre au moment de l'essor de la chimie pendant la Première Guerre mondiale,
- l'arme biologique. Celle-ci a été utilisée de manière empirique depuis des siècles, puis mieux appréhendée au dix-neuvième siècle avec la découverte du lien entre les germes et les maladies infectieuses. Elle a fait l'objet de programmes de grande envergure après la Seconde Guerre mondiale,

⁽²⁾ Le transhumanisme pourrait se définir comme un courant de pensée contemporaine qui se préoccupe de l'avenir de l'espèce humaine. Les transhumanistes sont des idéologues qui visent au dépassement de l'espèce humaine, qu'ils considèrent comme imparfaite, pour une cyber-humanité. Il s'agit de créer des "humains augmentés" et il vise à rapprocher l'homme de l'immortalité. La convergence NBIC constitue l'outil de base du transhumanisme. Ce sujet est détaillé à l'annexe 1, tiré de la conférence de J.D. Vincent, le 5 mars 2009, Cahiers du CHEAr.

- l'arme nucléaire développée pendant la Seconde Guerre mondiale, peu après la découverte de la réaction en chaîne.

D'autres innovations technologiques ont marqué l'histoire des conflits du vingtième siècle, comme le radar, les télécommunications, les moyens de transports modernes, le traitement de l'information.

L'introduction des innovations technologiques dans les armées présente des traits communs conduisant à une réflexion éthique :

- **La constitution d'un déséquilibre momentané** des rapports de forces. Ces innovations visent, au début, à donner la supériorité aux armées qui les adoptent, en termes de capacité offensive et de confort du combattant (sécurité, mobilité, accès à l'information...). Souvent aussi, il s'agit juste de ne pas rester en retrait par rapport à l'autre camp que l'on sait capable de développer des nouvelles armes, donc de prendre le dessus. La plupart du temps, cette supériorité ne dure pas et on évolue vers une nouvelle situation d'équilibre.
- **L'absence de contrôle possible de l'appropriation.** Les nouvelles technologies ne sont pas uniquement destinées aux armées riches et bien équipées. Adoptées par des individus ou des petits groupes, elles peuvent devenir encore plus redoutables. On peut citer les kamikazes, les attentats suicides, l'usage d'armes chimiques ou biologiques (la secte Aoum a essayé les deux dans les années 1990). Ce phénomène est devenu d'autant plus significatif que beaucoup de conflits évoluent vers des confrontations entre des forces inégales, avec des implications éthiques elles aussi très disparates (conflits asymétriques).
- **Les usages.** L'expérience montre qu'il est en pratique très difficile de contrôler la mise en œuvre de la technologie lorsqu'on a pris conscience de la nécessité de limiter son usage ou de l'interdire. Cela peut concerner les armes de destruction massive mais aussi les armes à feu. Les déboires ont commencé avec l'arbalète jugée non éthique (au moins pour les combats entre chrétiens) et interdite sans succès par le deuxième concile de Latran. Ils se sont poursuivis au vingtième siècle avec les traités d'interdiction sur les armes chimiques, biologiques ou nucléaires. Une nouvelle notion est apparue : la barrière à l'entrée, c'est-à-dire la difficulté pour un État ou un groupe de disposer de ces nouvelles technologies. Cette barrière, variable dans le temps, dépend de facteurs tels que l'investissement technologique pour leur fabrication, leur disponibilité quelque part dans le monde, la capacité d'instrumentation, les possibilités de détection.

L'introduction et la diffusion des innovations technologiques à des fins militaires suscitent des préoccupations sociétales plus ou moins fortes, suivant le type d'innovation considéré et le contexte historique dans lequel elle s'insère. Ces préoccupations sont directement induites par le caractère "innovant", c'est-à-dire par tout dispositif susceptible d'apporter une valeur ajoutée à la puissance des armées. Quant à elles, les technologies destinées à augmenter plus spécifiquement les performances du combattant renvoient en outre à des questionnements sociétaux particuliers qu'il convient ici d'explicitier. On peut se risquer à quelques considérations sur ce qui se passerait si ces techniques se répandaient :

- la plupart des domaines scientifiques concernés (pharmacologie, neurosciences, robotique, systèmes d'information) sont des domaines duaux (civils militaires). La supériorité des armées pourrait être ainsi corrélée au budget dont elles disposent ;
- on peut craindre que ces technologies intéressent aussi les armées non régulières. Lorsqu'il s'agit de techniques concernant directement l'individu (implants, substances chimiques), celles-ci pourraient être jugées inacceptables pour des armées régulières (risques pour la santé à moyen long terme, effets secondaires, douleur, irréversibilité) mais utilisées par des groupes paramilitaires ;

- si ces techniques étaient disponibles, la recherche militaire serait sans doute intéressée, mais pas exclusivement. L'augmentation des performances peut aussi concerner divers corps de métiers, les sportifs, voire la population en général. Force est de constater que durant ces 20-30 dernières années, c'est le monde sportif qui a constitué le champ d'application le plus commun et le plus répandu de substances pharmacologiques détournées de leurs indications premières au profit des patients. L'usage qui est actuellement fait de médicaments variés, classés comme substances dopantes, démontre bien que les progrès technologiques trouvent spontanément leur champ d'application dans le monde civil. La justification de tels détournements d'usage est extrêmement variable et repose sur des besoins professionnels, financiers ou médiatiques (tout particulièrement pour le monde sportif).

Il est donc probable qu'une partie de ces techniques diffuse largement dans le monde civil, éventuellement de manière illégale, avec des effets secondaires graves. Pour les militaires, se posent deux questions : la confrontation avec des groupes utilisant ces techniques, et l'utilisation illégale de tels procédés au sein des forces armées.

Il serait donc erroné de penser que ces technologies émergentes, pouvant modifier le combattant, conduiraient à une armée aux capacités technologiques accrues face à des forces conventionnelles qui seraient dépassées. En effet, ces techniques peuvent faire également émerger de nouvelles menaces.

Enfin, un dernier point mérite d'être souligné, il s'agit de la parenté entre l'amélioration des performances du militaire et celles du sportif. Depuis l'aube des temps, les guerres et les compétitions sportives ont cohabité, avec dans les deux cas un souci d'optimiser les performances par la sélection des compétiteurs, leur nutrition et leur entraînement. D'autre part, les progrès de la pharmacologie et de la chirurgie conduisent des sportifs à faire appel à des substances, voire à des interventions chirurgicales ⁽³⁾ pour améliorer leur score. Ces pratiques sont réglementées en raison de leur caractère dangereux, mais aussi parce que la norme qui définit une compétition sportive équitable est l'absence d'amélioration par la technologie. Le problème est qu'il n'existe pas à l'heure actuelle d'équivalent dans le domaine militaire.

2-2 - Un panorama des possibles

Il faut souligner tout d'abord l'absence de cadre normatif pour définir ce qu'on appelle "modifier, réparer et surtout augmenter les performances de l'individu". Les raisons proviennent de :

- La difficulté à définir un état de référence que l'on dépasserait⁽⁴⁾ par un procédé quelconque, tant est importante la variabilité entre les individus, et d'un individu d'un jour à l'autre. Un exemple simple, tiré des questionnements relatifs à la lutte antidopage, est l'hématocrite (taux de globules rouges dans le sang) qui peut être modifié par des moyens pharmacologiques (injections d'EPO), naturels (exposition à l'altitude) mais qui varie aussi d'un individu à l'autre.
- La difficulté à situer la frontière entre le naturel et l'artificiel. Comment définir une telle limite ? Par exemple à partir de quand, un entraînement ou une alimentation optimisés cessent-ils d'être naturels ? Cette frontière est aussi difficile à définir dès lors qu'un individu augmente sa Production d'EPO par une exposition en altitude simulée (en chambre à hypoxie [déficit d'oxygène]) ou par injection de substance pharmacologique (EPOrh).
- La question de l'individu qui subit une intervention pour être soigné, cette intervention s'inscrit-elle dans le cadre des améliorations ? C'est le cas de la mise en place de prothèses

⁽³⁾ On peut citer le cas de sportifs qui font améliorer leur acuité visuelle par traitement laser, ou du remplacement de ligaments distendus, remplacés par des biomatériaux avec des indications chirurgicales parfois discutables.

⁽⁴⁾ Difficulté que l'on retrouve dans le terme de santé. On le définit souvent négativement par « absence de pathologie ».

ligamentaires à titre "préventif". Un débat similaire a entouré la requête d'un athlète porteur d'une prothèse bilatérale de jambe, à concourir dans les compétitions pour « valides » (Oscar Pistorius). À la suite de multiples débats, les instances sportives internationales ont reconnu que la conception et la structure de ses prothèses de jambes lui apportaient un avantage biomécanique à la course, par rapport à l'ensemble des sportifs valides concourant dans la même discipline.

À ce jour, les avancées médicales sont susceptibles d'amener des solutions pour suppléer, voire augmenter des fonctions somatopsychiques comme :

- les performances physiques, par l'entraînement adapté, mais aussi par l'utilisation détournée de substances aux effets ergogènes [dopage (utilisation de substances interdites) ou conduites dopantes (besoin impérieux à utiliser des substances non obligatoirement référencées sur une liste de produits interdits)], ou par des prothèses,
- les fonctions psychologiques : l'attention et l'éveil par les amphétamines et le modafinil, les capacités mnésiques par l'entraînement et les amphétamines, mais aussi l'amélioration de la résistance aux émotions violentes, aux traumatismes psychiques, à la fatigue mentale par différentes substances pharmacologiques.

Le développement des nanotechnologies conduit déjà à certaines améliorations pour la situation du combattant et l'armement (voir annexe 2). D'autres découvertes viendront, notamment celles tirées par l'essor des nanobiotechnologies.

Suivant le cas, il peut s'agir d'une augmentation temporaire (exemple d'un médicament très ciblé, à effet de courte durée) ou d'effets à long terme voire irréversibles (implants, chirurgie, thérapie génique).

Où en est-on vraiment sur le plan des avancées technologiques ? On peut résumer la situation suivant deux types d'approche :

Première approche : par les sciences du vivant

- **Les interfaces avec le système nerveux.** Les possibilités d'intervention sur le système nerveux sont désormais multiples, que ce soit avec des implants ou des neuroprothèses. Par exemple :
 - Les nouvelles technologies permettent, grâce à des implants de restaurer un sens (implant cochléaire) ou plus généralement de pallier un mauvais "fonctionnement" de l'organisme (implants variés).
 - Des dispositifs implantés dans le cerveau permettent, dès aujourd'hui, à des patients atteints de la maladie de Parkinson de réduire les tremblements associés à la maladie par une stimulation électrique cérébrale sur les structures cérébrales impliquées.
 - Des développements sont en cours pour permettre à des patients paralysés d'interagir avec leur environnement grâce à des interfaces cerveaux-machines. Il est possible d'imaginer à moyen terme la généralisation de commandes de bras robotisé.

Il s'agit de travaux menés qui visent à améliorer l'état du patient. En France, un certain nombre d'équipes médicales sont en pointe sur le sujet.

Des progrès sont attendus par :

- L'introduction des nanotechnologies qui permettraient de développer des implants plus performants (miniaturisation, calcul embarqué, amélioration du couplage entre les électrodes et les tissus grâce à une nano-structuration des interfaces).
- Une plus grande compréhension du déroulement des processus cérébraux grâce aux perspectives d'évolution des techniques actuelles utilisées pour l'imagerie fonctionnelle cérébrale. Des recherches sont en cours sur l'exploration des mécanismes cérébraux qui sous-tendent la mémoire, les pensées, les émotions, les comportements (3).

Les applications militaires envisageables sont de divers ordres :

- Des interfaces branchées directement sur le système nerveux pour réaliser des interfaces de commande, voire la modification de la perception et de l'intégration de la notion de danger. C'est un usage potentiellement efficace pour le combattant, mais indéniablement dangereux pour l'organisme. L'utilisation reste très difficilement envisageable pour l'instant, il faudrait que ces implantations soient moins contraignantes à réaliser et sans effets secondaires sur l'organisme pour une application chez l'homme.
 - Une meilleure compréhension des mécanismes cérébraux d'apprentissage pour optimiser la réalisation de tâches ou de comportements.
 - Des interfaces non intrusives avec le système nerveux. Dans le cadre des interfaces hommes systèmes, à l'instar du concept des neuroprothèses développé pour des besoins médicaux, l'activité magnéto-encéphalographique et électro-encéphalographique pourrait être utilisée comme un mécanisme d'acquisition de signaux pour piloter directement des systèmes ou des sous-systèmes technologiques (système de pilotage aéronef, de visée ...) permettant éventuellement un temps de réaction significativement diminué, voire une optimisation de l'action. Des applications existent également dans le domaine civil (par exemple dans le domaine du jeu vidéo).
- **Médicaments - "Molécules dopantes"**. Les progrès dans les nanobiotechnologies (comme évoqués dans l'annexe 2) ouvriront aussi la voie à de nouvelles molécules dopantes, à des implants ou à des nanosystèmes (vecteurs de médicaments), qui pourront augmenter les performances physiques, mentales et modifier le comportement humain.

Mais bien avant l'arrivée des nanobiotechnologies dans l'industrie pharmaceutique, on prévoit des évolutions remarquables dans les développements pharmacologiques qui pourront donner lieu à une dérive d'utilisation de "l'Homme réparé" à "l'Homme augmenté". L'utilisation de telles substances est largement connue et très médiatisée en milieu sportif, et d'autres milieux socioprofessionnels sont aussi largement concernés. Actuellement, les molécules utilisées ont des indications bien identifiées, comme l'augmentation de la masse musculaire, du transport de l'oxygène, etc. ; cependant, pour nombre d'entre elles, les effets attendus n'ont été que rarement démontrés.

Les progrès considérables réalisés ces dernières années dans la compréhension des mécanismes moléculaires des grandes pathologies ont permis d'envisager des thérapies plus ciblées, agissant directement sur des protéines régulatrices intracellulaires. C'est le cas d'activateurs sélectifs de certains facteurs de transcription, petites protéines impliquées dans le contrôle de la transcription de gènes-cibles. Le développement de telles molécules est justifié par leurs effets très ciblés sur des acteurs moléculaires intracellulaires, et par la réduction d'effets secondaires indésirables.

De nombreuses molécules actuellement à l'essai ont d'ores et déjà démontré leurs effets sur la transcription de gènes qui jouent un rôle déterminant pour les performances physiques. À titre d'exemple, on peut citer les activateurs de facteurs de transcription de la famille des " peroxisome proliferator activated receptor " (PPAR). Une forme particulière de ces facteurs de transcription, PPAR δ , permet d'augmenter le flux d'utilisation des acides gras par le muscle et les substances activatrices de PPAR δ sont naturellement devenues des candidats à l'amélioration des performances en endurance (exercices physiques de très longue durée). Des essais très démonstratifs ont été réalisés sur modèles animaux, au cours desquels on a montré qu'associée à un entraînement en endurance, l'administration d'un agoniste de PPAR δ (molécule qui active cette protéine) permettait de doubler les performances physiques. Ces molécules sont destinées à la réhabilitation de patients présentant des maladies métaboliques, mais leur détournement à l'homme sain dans un but d'amélioration des performances est à craindre à très court terme.

Il existe bien d'autres molécules à l'étude, susceptibles d'être utilisées chez l'homme sain à des fins d'amélioration des performances physiques. Sans être exhaustif on peut citer les activateurs de systèmes enzymatiques régulateurs du métabolisme énergétique musculaire comme " l'AMP-activated protein kinase " (AMPK), ou des molécules actuellement en développement, agissant comme stabilisateurs de la sous-unité β du complexe HIF (" hypoxia-inducible factor "), facteur de transcription impliqué dans la régulation de la transcription du gène codant l'érythropoïétine (EPO). Ces molécules, qui ne découlent pas directement de nouvelles technologies, mais qui sont le fruit des connaissances les plus récentes dans le domaine de la biologie cellulaire, présenteront dans un avenir à déterminer, un risque réel de détournement de leur utilisation du patient à l'homme sain, avec pour seule finalité, l'amélioration des performances physiques.

- **Le dopage génétique**

Les progrès considérables réalisés dans ce domaine permettent d'envisager, dans un avenir encore impossible à évaluer, de modifier le génome qui s'exprime dans certains tissus et ainsi les caractéristiques physiologiques (et psychologiques) de sujets sains. Les techniques qui permettent d'induire ces modifications du niveau d'expression de gènes cibles impliqués dans le niveau de performances physiques sont encore en cours de développement sur de petits modèles animaux et restent du domaine d'un futur possible, bien qu'incertain, pour des raisons techniques ou d'éthique scientifique. Certains gènes cibles peuvent être considérés comme des candidats potentiels à ces manipulations ; ils sont impliqués soit dans les performances au cours d'activités de longue durée type marathon (performances en endurance) (gènes codant des facteurs de transcription ou de croissance impliqués dans la multiplication des mitochondries, dans la croissance des vaisseaux musculaires, etc.), soit dans les performances en force (gènes codant des facteurs impliqués dans le contrôle de la masse musculaire, tel que la myostatine, etc.).

Deuxième approche : par la technologie

Une autre approche consiste à considérer parmi les nouvelles technologies, celles qui peuvent être utilisables pour la défense.

- **Les nanotechnologies.** Leurs retombées en terme d'usage militaire peuvent être de trois types (selon Jürgen Altmann (4), physicien allemand à l'université de Dortmund) :
 - miniaturisation, allégement, accroissement de la résistance des équipements,
 - utilisation de nouveaux matériaux nano structurés,
 - amélioration des fonctions de certains systèmes de l'organisme, déterminants pour les performances, par hybridation, implants, puces et prothèses.

En termes de performance, ces différentes applications permettraient de :

- restaurer un « mauvais » fonctionnement de l'organisme,
- augmenter/optimiser les performances physiques du soldat (par des implants, des textiles camouflant, des exosquelettes, des prothèses, des médicaments/dopage,...),
- augmenter/optimiser les performances cognitives du soldat (stocker et analyser plus d'informations),
- l'aider à supporter des situations (augmenter la résilience),
- suivre l'état de santé des soldats,
- déclencher des alertes en cas d'agression ou de mort, de contre-mesures à visée curative,
- perfectionner les contre-mesures actives ou passives vis-à-vis des armes chimiques et biologiques, et se protéger des effets des rayonnements, ionisants et non-ionisants.

- **La mécatronique.** Une application directe est l'exosquelette (ou orthèse, c'est-à-dire un dispositif robotique qui longe le corps humain comme une sorte de squelette externe permettant de démultiplier les capacités physiques de l'homme). Les recherches dans ce domaine, portent sur le développement de dispositifs d'assistance pour les membres inférieurs, qui permettraient d'augmenter la capacité de déplacement et de port de charges⁽⁵⁾. La première application est l'assistance au port de charges par le fantassin mais d'autres usages sont envisageables comme l'assistance au port des blessés sur un champ de bataille ou en logistique pour le port de matériel ou d'armement. Un autre domaine d'usage des robots exosquelettes est la réparation de l'être humain avec des produits existants pour la rééducation de la marche (société Hocoma). Il y a de nombreux travaux de laboratoire sur la rééducation et/ou l'assistance du membre supérieur avec une perspective de résultats à court terme. Enfin, ces mêmes technologies pourront être utilisées pour la réalisation de prothèses actives permettant de recréer des fonctions motrices pour une personne amputée.

Un objectif à long terme pourrait être de disposer d'une armure légère et autoréparable mais à ce jour, il y a encore de nombreux verrous technologiques, au niveau des architectures, de l'interaction entre l'homme et la machine, de l'énergie embarquée....

À des échéances beaucoup plus lointaines, on peut évoquer des technologies de rupture concernant l'augmentation des capacités humaines. C'est le cas des améliorations génétiques, de la biologie synthétique et de divers dispositifs étroitement couplés au vivant. Le but est la transformation, la réparation, ou l'amélioration des performances de l'individu voire de l'espèce, la suppléance à certaines défaillances ou vulnérabilités et le contrôle de certains de ses comportements. Ces avancées techniques et scientifiques pourraient aussi permettre à l'homme de prendre un jour le contrôle de sa destinée biologique. C'est ce qu'affirment les transhumanistes. Partant du postulat que la nature humaine est imparfaite (et qu'elle n'est pas inaltérable), ils souhaitent utiliser les technologies convergentes disponibles pour créer un homme augmenté et le conduire vers une post humanité où la maladie et la mort n'existeront plus.

Au final, notons en conclusion de ce paragraphe sur ce panorama des possibles, l'existence de réalisations spectaculaires qui associent les nouvelles technologies et les progrès de la médecine (techniques d'imagerie, diagnostic, stimulateur cardiaque, conception de médicaments...). Toutefois, selon les experts, soigner l'homme n'est pas l'augmenter. Pallier les effets d'une maladie revient à essayer de compenser un déficit pour rétablir un état de normalité propre à l'individu dans lequel le reste de l'organisme est "en phase". Augmenter l'homme, au-delà de ce que permettent l'éducation et l'entraînement, sous-entend s'écarter de la normalité, c'est-à-dire viser des conditions de fonctionnement pour lesquels l'organisme n'est pas fait. Aussi, une question se pose : cette augmentation constitue t-elle une amélioration?

3 - Finalités pour la défense

Les finalités militaires des nouvelles technologies s'adressent à différentes échelles de l'organisation de la défense :

- la sécurité du combattant et du groupe,
- la limitation, par la prévention et le monitoring, des risques d'échec d'une mission ou de la conduite d'une opération,
- la recherche d'une supériorité militaire.

Il est difficile à ce jour de percevoir tous les tenants et aboutissants des techniques qui pourraient conduire à long terme à des super combattants. Tous les possibles ne sont pas souhaitables. La fascination pour la technologie ne doit pas faire pas oublier le besoin et le respect du combattant.

⁽⁵⁾ Pour imager toutes les potentialités d'un exosquelette pour le combattant, soulignons la vidéo de la société Lockheed Martin, site web <http://www.lockheedmartin.com/products/hulc>, sur leur projet baptisé Hulc, prototype industriel issu des démonstrateurs, résultats des projets lancés par la Darpa au début des années 2000.

Du point de vue militaire, l'utilisation de ces technologies de renforcement de l'homme pourrait se justifier par l'avantage acquis sur l'adversaire et par la réduction des risques encourus par les personnels.

Sans rechercher à faire une liste exhaustive des ruptures que pourraient provoquer les progrès en nano – bio – technologies sur les performances humaines, il peut être plus utile d'identifier les domaines où les effets seraient les plus significatifs :

- la réalisation d'une mission opérationnelle dans un contexte potentiellement agressif et particulièrement éprouvant pour le personnel que ce soit au plan physique, intellectuel ou émotionnel : atteintes des limites d'une part de résistance à l'inconfort, à la fatigue et aux agressions physiques et psychiques, et exigences de performances en termes de rapidité d'analyse de situation, de prise de décision et de capacités physiques (rapidité, adresse, puissance, endurance).
- la préparation, la formation et l'entraînement avant la mission, pour les phases de repos et de récupération entre deux missions ou encore pour la réparation et la réhabilitation du personnel après la ou les missions.

De manière synthétique, pour les applications militaires, les domaines de ruptures, d'un point de vue opérationnel, pourraient se résumer ainsi (sans autre objectif que d'illustrer la réflexion) :

- Gains de délais avant et après la mission :
 - Délai d'apprentissage raccourci grâce à une assimilation augmentée dans les domaines de la connaissance de l'emploi d'armes, de langues, de culture, d'usages.
 - Raccourcissement des délais de préparation physique spécifique ; le gain peut être envisagé à la fois dans la vitesse de progression à l'entraînement et dans la qualité de l'état d'entraînement obtenu à terme.
 - Délai de repos raccourci par une récupération énergétique rapide, reposant sur une amélioration de la vitesse de resynthèse des réserves énergétiques, récupération du statut énergétique de base, etc.
 - Aide à la récupération des traumatismes psychiques, en vitesse et qualité.
 - Qualité des réparations de tissus lésés et vitesse de guérison.
- Augmentation des performances intellectuelles pendant la mission et résistance à la fatigue mentale avec un maintien des performances intellectuelles.
- Augmentation des performances physiques pendant les missions : amélioration des capacités d'emport de charges, de la vitesse de déplacement, des capacités à se déplacer rapidement et avec souplesse. De plus, avec l'amélioration des capacités de récupération, c'est l'augmentation de la résistance (à la fatigue, à la douleur, aux traumatismes psychiques) pendant les phases de combat qui est attendue.
- Aide à la décision par des systèmes de réalité augmentée : apport d'informations variées, leur synthèse, nouvelles interfaces hommes-machines.

Au final, de vrais progrès avec le développement de ces nouvelles technologies pourraient augmenter les capacités opérationnelles du combattant.

4 – Perspective éthique sur l'utilisation des nouvelles technologies

4-1 - Pourquoi des questions éthiques ?

Le concept d'augmentation de l'humain grâce aux techniques à usage non thérapeutique n'est pas nouveau. Que l'on songe simplement à la chirurgie esthétique ou au dopage. Toutefois, les nouvelles technologies issues de la recherche dans le domaine des nanobiotechnologies, leur convergence avec les technologies de l'information et les sciences cognitives, appliquées à la

modification de l'homme, présentent des caractéristiques spécifiques qui ouvrent le champ à de nouvelles interrogations :

- Les bionanotechnologies et neurotechnologies changent "la finalité" des technologies qui visaient essentiellement l'aménagement du milieu pour l'adapter aux humains. Il s'agit plutôt désormais de transformer l'humain pour augmenter ses performances et le rendre adaptable à tous les milieux. Les questions d'éthique existaient auparavant, mais les progrès de la science et des techniques changent l'ampleur de la question. Le débat éthique prend de plus en plus d'importance et ouvre le champ à de nouvelles interrogations sur le respect des valeurs morales ou politiques comme sur le futur de l'espèce humaine.
- Les nanotechnologies entraînent des risques potentiels pour la santé et l'environnement qui sont à l'heure actuelle difficiles à maîtriser et même à définir. Des travaux de recherche sont en cours en toxicologie dans la communauté scientifique. Ils ne permettent pas pour l'instant de lever les incertitudes. Dans une telle situation le principe de précaution s'impose.
- Enfin, si l'exploration des possibles peut être enthousiasmante et porteuse d'espoirs, elle soulève néanmoins une question fondamentale : tous les possibles sont-ils souhaitables ?

4-2 - Réflexions sur les aspects éthiques

Dans le domaine civil, la recherche de ces nouvelles technologies d'amélioration des performances humaines doit être faite en parallèle avec le développement de réflexions sur les aspects psychologiques, éthiques et philosophiques mis en jeu. Plusieurs comités d'éthique se sont ainsi prononcés sur ce type de sujet :

- Le Comité d'éthique du Centre national de la recherche scientifique ⁽⁶⁾ (Comets, CNRS) a pris, en 2004, l'initiative d'étudier les enjeux éthiques des nanosciences et des nanotechnologies - en les plaçant dans un triple contexte : scientifique, politique (globalisation et compétition) et social (un public exigeant et critique à l'égard de l'expertise scientifique). Un avis détaillé et argumenté a été publié en octobre 2006 ⁽⁵⁾. Il vise en premier lieu à sensibiliser la communauté des chercheurs, mais il est rédigé de manière à intéresser le grand public. En particulier, il appelle à s'interroger sur le type de rapports que l'on souhaite instaurer entre trois pôles fondamentaux de notre civilisation que sont : la nature, la technique et la culture, ce qui revient à poser des questions d'ordre politique. Ce rapport propose une éthique comme expérience collective. L'objectif des recommandations est moins de développer une recherche éthiquement correcte, à travers une série de normes ou d'interdits à respecter, que de développer une vigilance éthique par une série de mesures destinées à encourager la réflexion sur les valeurs et les fins de la recherche. Le rapport recommande entre autres d'instaurer des "espaces éthiques" dans les laboratoires.
- Le Conseil Consultatif National d'Éthique (CCNE) ⁽⁷⁾ a rédigé un rapport en 2006. Il propose une tout autre approche de l'éthique. Il s'interroge spécifiquement sur les problèmes éthiques liés aux applications dans le domaine de la santé et au respect de la personne. Il souligne comme le rapport du Comets, la tension entre volonté de contrôle et désir d'émergence qui anime les nanotechnologies. Le rapport du CCNE déplore les phénomènes de "hype" c'est à dire la surenchère des promesses d'applications révolutionnaires tandis qu'il ne s'agit en rien d'une révolution scientifique. Il s'agit donc de régler le problème du « risque de déconnexion entre le discours et la réalité ». En conséquence, le rapport recommande la « diffusion de la culture scientifique, technologique et industrielle dans le domaine des nanosciences et nanotechnologies ».

⁶ <http://www.cnrs.fr/fr/organisme/ethique/comets/index.htm>

⁷ <http://www.ccne-ethique.fr/>

⁸ http://www.europarl.europa.eu/stoa/default_en.htm

- Au niveau de la Commission européenne, le groupe d'éthique de la science et des nouvelles technologies a rendu le 16 mars 2005 un avis sur les aspects éthiques des implants TIC dans le corps humain (6). Cet avis dresse un inventaire des usages potentiels des implants électroniques humains et formule une série de recommandations sur des mesures de précaution et soulève de nombreux aspects relatifs à la dignité et à l'intégrité du corps humain. On peut également citer une réflexion récente de l'office d'évaluation des options scientifiques et technologiques du parlement européen (STOA)⁽⁸⁾ publiée en mai 2009 (7).

Ce rapport entre autres recommande la création d'une entité européenne chargée du suivi du sujet. Celle-ci pourrait définir un cadre normatif autour des techniques d'amélioration de l'homme, cadre nécessaire à la prise de décision (quelle recherche, quel cadre réglementaire).

Imaginons qu'une technologie permettant une augmentation significative de l'individu devienne disponible. Cela serait-il éthiquement souhaitable ? Répondre à cette question suppose de prendre en compte certains facteurs qui dépendent des valeurs de la population⁽⁹⁾

Ces facteurs peuvent être :

- les risques associés à ces pratiques⁽¹⁰⁾, et son caractère de réversibilité,
- l'inégalité que cette augmentation pourrait induire entre individus,
- le caractère non obligatoire de cette augmentation,
- la remise en cause de la notion du mérite, par le caractère dévalorisant de capacités acquises sans effort (comparée à la souffrance de l'entraînement) ou de loyauté (dans une compétition que l'on gagne par des moyens artificiels).

On ne peut manquer de faire le rapprochement avec la chirurgie esthétique et les pratiques en milieu sportif. Ces quelques questions laissent entrevoir la nécessité de définir un cadre normatif, permettant d'évaluer les techniques qui pourraient être utilisées.

4-3 - Le cas des applications militaires

Étant donné qu'aucun cadre réglementaire n'existe pour encadrer les pratiques d'augmentation de l'humain dans le domaine militaire, le problème est étroitement lié au contexte opérationnel :

- situation de temps de paix pour laquelle la loi s'applique,
- situation de crise lors de laquelle des troupes interviennent dans un pays tiers,
- situation de guerre ou de conflits ouverts correspondant à un état d'exception.

De plus, dans beaucoup de conflits modernes, il n'y a pas que des combattants d'armées régulières mais aussi des combattants sous contrat⁽¹¹⁾.

Une réglementation efficace devrait pouvoir concerner et être appliquée aux armées régulières et à tous les combattants au sens large.

Le soldat lors de son engagement s'en remet à sa hiérarchie⁽¹²⁾. Il abandonne en cela une certaine part de sa liberté d'agir en toutes circonstances. On doit toutefois souligner que ceci ne doit pas être assimilé à l'absence de comptes à rendre. La hiérarchie est responsable⁽¹³⁾ et doit se conformer au cadre réglementaire. De plus, compte tenu de la "judiciarisation" croissante de la société, quelle que soit la situation, un préjudice subi par un combattant est susceptible d'avoir des suites judiciaires comme c'est le cas dans un accident du travail classique.

Le cadre réglementaire n'est pas le seul élément à prendre en compte. Un autre élément régulateur est l'adoption par l'armée de règles éthiques. Les applications défense utilisant les nouvelles technologies impliquent en effet différents niveaux de questionnement éthique. À cet égard, la recommandation est ferme : en France, un militaire est une personne à qui on ne peut imposer une quelconque forme de dopage qui peut présenter des effets adverses pour la santé. C'est ainsi que le Service de santé des armées s'oppose à tout comportement ou toute action susceptible de nuire à

⁹ On peut souligner que le mythe du super héros semble bien plus ancré dans la culture américaine que dans l'europpéenne et que ces deux continents ont pris des positions relativement différentes en matière d'amélioration de l'être humain.

¹⁰ Que l'on songe simplement au cas de la vaccination contre le virus H1N1 et les débats qu'elle suscite.

¹¹ Un rapport du congrès américain de Mars 2009 estime que 57 % des forces engagées en Afghanistan seraient des mercenaires de sociétés privées, http://www.acq.osd.mil/log/PS/p_vault/5A_august_3rd_qtr_2009.doc

¹² On peut noter au passage que cela n'entraîne pas nécessairement une situation plus dangereuse que dans le monde civil. On peut citer le cas du modafinil (médicament utilisé pour maintenir l'éveil). Il a été décidé de ne pas l'utiliser dans les armées notamment pour des raisons d'efficacité opérationnelle non complètement avérée et peut être de risque, en termes d'image en comparant ce type de produit à des produits dopants.

¹³ Voir par exemple le questionnement du parlement sur l'impact sanitaire réel chez les vétérans de la guerre du Golfe des armes utilisées durant l'opération Daguet (<http://www.assemblee-nationale.fr/rap-reso/r2598.as>) où l'on évoque les risques associés à des traitements préventifs appliqués aux combattants

la santé du militaire. Même si les critères évoqués en milieu civil s'appliquent strictement pour le temps de paix, leur sens peut être fort différent en cas de conflit armé. Par exemple :

- le risque d'effets secondaires dus à l'amélioration des performances du combattant doit être mis en balance avec la réduction des risques qu'il encourt sur le champ de bataille (éventuellement face à un adversaire qui pourrait opter pour une technologie d'augmentation). Il faut toutefois prendre en compte la survenue de conséquences inattendues à une telle situation. Par exemple, on peut redouter que l'amélioration d'un combattant (par exemple une protection renforcée ou le fait de savoir qu'il peut être "réparé") puisse le conduire à prendre plus de risques. D'autre part, la comparaison risque/bénéfice n'est pas toujours aisée car à l'échelle d'un groupe, les interactions entre les individus amènent certains à tirer bénéfice de l'augmentation de performances des autres ; par ailleurs, il est aussi important de considérer que la performance du groupe dépend étroitement de la performance de chaque individu.
- lorsqu'il s'agit de personnels exposés à des milieux extrêmes, comment faire face à une action à la frontière entre thérapeutique et non thérapeutique, comme c'est le cas de l'action thérapeutique compensatoire (par exemple maintenir les normes endocriniennes physiologiques en situation de performance mettant à l'épreuve l'organisme) ? Il est rappelé que cette question n'a de sens qu'en cas de conflit armé. Dans ces circonstances d'exposition aux conditions extrêmes pendant le temps de paix (ou en dehors de tout risque vital pour le groupe), le maintien des performances du combattant ne peut être attendu que par le développement de réponses adaptatives physiologiques à l'entraînement, en l'absence de toute substance pharmacologique ou moyen physique.

Certes, le droit et certains codes de bonnes pratiques de l'Institut de recherche biomédicale des armées (IRBA) ⁽¹⁴⁾ apportent des éclairages sur la question des finalités assignées aux technologies augmentatives et sur leur degré d'intervention (au niveau du combattant, du groupe, suivant la situation du contexte opérationnel, situation du temps de paix ou de conflit).

Toutefois, en France, la problématique de l'éthique des nouvelles technologies n'est actuellement abordée que pour les utilisations thérapeutiques. La refonte de la loi de bioéthique de 2004 définit un cadre d'application pour les applications thérapeutiques. Mais pour l'utilisation de dispositifs à des fins d'amélioration non thérapeutiques, rien n'est prévu pour l'instant dans la révision des lois de bioéthique. Comme le militaire doit respecter les mêmes lois de bioéthique que le civil, force est de constater qu'il n'existe pas actuellement de cadre législatif ni réglementaire pour traiter ce sujet. Certes, le droit et certains codes de bonnes pratiques des instituts de recherche apportent des éclairages sur la question des finalités assignées aux technologies augmentatives et sur leur degré

¹⁴ Dans le domaine des facteurs humains, les grandes orientations de recherche de l'IRBA sont clairement affichées, connues et diffusées. Toutes les recherches développées sont soumises à accord des comités de protection des personnes. Par ailleurs, des discussions sur l'éthique en recherche biomédicale de défense sont régulièrement engagées par les chercheurs, au sein d'une cellule de réflexion éthique.

d'intervention (au niveau du combattant, du groupe, suivant le contexte opérationnel (situation temps de paix ou conflit). En transposant les pratiques du monde médical, on peut se poser les questions suivantes :

- **Peut-on appliquer le principe du consentement éclairé en invoquant le libre consentement du combattant ?** Est-ce que son engagement dans la défense implique *ipso facto* un libre consentement à recevoir des dispositifs matériels (par exemple implants électroniques humains) ou chimiques visant à améliorer ses performances ? Des recommandations ont été formulées pour mettre en œuvre des principes tels que la dignité humaine ou encore l'intégrité du corps humain (avis cité ci-dessus, du groupe d'éthique de la science et des nouvelles technologies sur les aspects éthiques des implants TIC dans le corps humain). Par ailleurs, le principe du consentement éclairé doit être respecté, sauf dans certaines situations déjà identifiées comme la vaccination, la chimioprophylaxie (administration d'une substance chimique pour empêcher l'apparition d'une maladie ou de ses manifestations), pour l'intérêt individuel, mais aussi, et surtout collectif. Cependant, des situations plus complexes émergent pour lesquelles, au nom de la sécurité collective, le libre consentement à la prise de substances améliorant les performances pourrait être remise en cause ; c'est le cas de petits groupes opérant dans le cadre d'opérations spéciales pour lesquels la réussite de la mission est intimement dépendante de l'ensemble du groupe.
- **Quelle information donner aux combattants concernant les incertitudes et les risques encourus ?** En effet, l'acceptabilité d'une modification peut dépendre de ses effets attendus : est-elle douloureuse, a-t-elle des effets secondaires ? Quels sont les avantages perçus par le combattant ? (ce qui est très variable en fonction de la culture et du contexte), est-ce une technologie répandue y compris dans le civil ? Des propositions ont été formulées visant à aborder ces questions d'impacts de la manière la plus ouverte et la plus transparente possible. On insiste sur la nécessité d'assurer :
 - une information objective sur l'état des connaissances des effets de différentes méthodes d'amélioration des performances. La justesse des informations nécessite le développement de recherches associé à une veille scientifique du meilleur niveau. Cette démarche d'amélioration des connaissances est incontournable à la transmission d'une information juste aux décideurs militaires ;
 - un suivi strict de l'état de santé des soldats en temps réel et de créer des bases de données de suivis médicaux de terrain, au cours des opérations militaires à haute dangerosité ;
 - la justesse des informations médicales et scientifiques fournies aux militaires. Cela conditionne la possibilité de lutter notamment contre l'utilisation "sauvage" non contrôlée de substances pouvant augmenter l'activité musculaire ou de psychotropes. De telles situations dont il est difficile d'évaluer l'étendue, mais dont on peut logiquement penser qu'elles sont loin d'être rares, sont très dangereuses à long terme pour l'efficacité opérationnelle des troupes. Elles imposent : 1) le développement de recherches de haut niveau (nécessaires à la qualité des informations), 2) la prise en compte de besoins réels de terrain dans des situations à risque, 3) l'implication des cadres militaires dans les réflexions éthiques menées par les scientifiques et les médecins.
- **Quelle information donner aux combattants concernant la réversibilité des effets attendus ?** Les informations à donner doivent être les plus justes possibles, compte tenu de l'état des connaissances scientifiques actuelles. Toute conséquence irréversible à l'application d'une technique d'amélioration des performances ne peut être acceptée pour des raisons éthiques. C'est ainsi que toutes les manipulations géniques qui sont irréversibles sont inacceptables dans ce contexte.

5 – Conclusion

Au final, nous avons vu que la progression des connaissances dans des domaines de ruptures tels que la santé, les technologies de l'information et de la communication, les nanosciences, peut conduire à des applications nouvelles pour l'augmentation des performances humaines.

Ces possibilités concernent aussi bien le monde civil que le monde militaire.

Les nouvelles technologies (nano-bio-info-neuro technologies) permettent des réparations de l'être humain dans le cadre médical.

Toutefois, le passage entre l'homme réparé (" rétabli dans son fonctionnement nominal ") à celui de l'homme modifié (" fonctionnement hors normes ") est loin d'être acquis, même si ce domaine stimule l'imagination. De même, la limite entre l'homme réparé et l'homme modifié est loin d'être fixée.

Le développement de ces nouvelles technologies soulève des questions éthiques que différentes institutions ont déjà abordées, au niveau national mais aussi au niveau européen, comme nous l'avons signalé précédemment.

Dans certains milieux comme le milieu sportif, ces questions sont aussi d'actualité et justifient la mise en place de règlements internationaux et de moyens de contrôle des méthodes d'amélioration des performances.

Par ailleurs, même s'il était établi que l'augmentation de l'homme puisse dans certains cas et dans certaines conditions apparaître souhaitable, elle soulève un certain nombre de questions : Ces innovations technologiques seront-elles accessibles à tous ? Qui décidera de la frontière entre réparation, augmentation et amélioration ? Comment arbitrer entre soigner, améliorer/ optimiser les performances ? Ces nouvelles technologies vont-elles changer la nature des conflits ? Les différents États adopteront-ils des attitudes similaires ou leur diversité culturelle mènera-t-elle à des divergences ?

Il n'existe pas de cadre législatif et réglementaire, ni même de cadre normatif, adaptés aux questions d'amélioration de l'individu si ce n'est à travers la mise en danger d'autrui. Cela est dû au fait que l'augmentation de l'homme n'est pas d'actualité du point de vue technique. Seules les applications médicales sont considérées car actuellement disponibles (et même en plein essor).

Les applications militaires soulèvent des interrogations spécifiques. En effet, au respect des lois nationales de bioéthique, devrait s'ajouter une réglementation interne propre aux usages de ces technologies pour le combattant, à l'instar des règlements antidopage dans le monde sportif.

C'est le Service de santé des armées qui est l'instance de contrôle sur les risques afférents aux technologies, puisque garant du maintien de l'état de santé des militaires. En ce sens, il paraît important de mieux favoriser au sein de la défense une prise de conscience sur les potentialités et les incertitudes relatives à ces technologies. Enfin, n'oublions pas que ces technologies peuvent apparaître comme de nouvelles opportunités pour les combattants, mais aussi comme de nouvelles menaces provenant de groupes "non-contrôlés" utilisant de telles techniques.

Le club a perçu une forte sensibilité des acteurs concernés sur le sujet de l'impact des nouvelles technologies sur le combattant, notamment celles qui permettraient la réparation et l'augmentation de l'homme. En France, il n'existe pas de structure interministérielle pour contrôler ou réguler leurs usages.

Il suggère donc de capitaliser toutes les réflexions et interrogations sur cette problématique par la création de deux entités correspondantes à des finalités et des modes de fonctionnement différents :

- une cellule de veille qui pourrait aussi établir à échéance régulière un point de situation sur les perspectives scientifiques, techniques et opérationnelles dans le domaine de la réparation et de l'augmentation de l'homme. Elle s'attacherait à identifier les avantages, les menaces que pourraient engendrer ces nouvelles possibilités pour l'homme dans son intégrité et pour la société.
- une structure destinée à alimenter la réflexion au sein des instances étatiques. Elle aurait en particulier pour mission de mieux cerner d'un point de vue éthique et juridique, les applications à visée non thérapeutique.

Ces questions peuvent être abordées d'autant plus sereinement compte tenu des délais prévisibles importants qui nous séparent des éventuelles disponibilités en opérations. De telles entités devraient ainsi réunir, dans un cadre de réflexions ouvertes, des militaires des différentes armées, des scientifiques, des juristes, des médecins, civils et militaires.

En conclusion, le président et les membres du club espèrent que ces réflexions, interrogations et la suggestion de quelques recommandations permettront de nourrir les travaux de prospective de cette problématique émergente. Puissent-elles être reprises par d'autres instances étatiques pour susciter le débat et poursuivre les discussions engagées sur ce sujet prospectif et dual, certes d'intérêt pour la communauté militaire, mais qui génère à ce jour, et encore visiblement pour bon nombre d'années, des points durs scientifiques et des questionnements éthiques et philosophiques.

Références

(1) M. Roco et William Sims Bainbridge, eds *Converging Technologies for Improving Human Performance Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science* NSF/DOC-sponsored report National Science Foundation June 2002 Airlington, Virginia. Sur la convergence, voir également le rapport effectué pour la Commission européenne par un groupe d'experts de haut niveau : *Converging Technologies-Shaping the future of European Societies* (rapporteur A. Nordmann, 2004).

(2) site web du CHEAr, dans le cadre de rendez- vous du CHEAr, la conférence de Jean-Didier Vincent sur le transhumanisme.

(3) OPECST- site web Sénat-CR Audition publique 26/03/08, Exploration du cerveau, Neurosciences : Avancées scientifiques, Enjeux éthiques.

(4) Jürgen Altmann (2006), *Military technology: potential applications and preventive arms control*, Editions Routledge, Londres and New York, 2006.

Et voir l'analyse de cet ouvrage fait par Louis Laurent sur le site web: VIVANT: De l'usage militaire des nanotechnologies.

(5) www.cnrs.fr/fr/presentation/ethique/comets
Avis du comité d'éthique du CNRS (Comets) du 12/10/06

(6) www.europa.eu/european-groups-ethics

(7) www.europarl.europa.eu/stoa/publications/studies/stoa2007-13_en.pdf

ANNEXE 1 : Le transhumanisme

Extraits de la conférence de J.D. Vincent, le 5 mars 2009, cahiers du CHEAr.

Le projet transhumaniste

Le transhumanisme pourrait se définir de manière large comme "un courant de pensée contemporaine qui se préoccupe de l'avenir de l'espèce humaine". L'espèce humaine ne se réduit pas ici à l'humanité. Il est possible qu'elle persiste tout en ayant perdu toute humanité, ce qui constitue d'ailleurs une issue possible du transhumanisme. L'espèce humaine, comme toutes les espèces, évolue et est exposée à la sélection naturelle. Elle pourrait donc être guidée au cours des prochains stades de son évolution. En explorant les virtualités d'un meilleur avenir, porté par les technosciences, le concept de l'amélioration a succédé à celui de réparation.

Selon les adeptes du transhumanisme, des possibilités très précises vont s'ouvrir grâce au développement des biotechnologies. Dès lors, il serait possible de fabriquer des robots à partir d'ADN ou de molécules autorépliquables. Ainsi, des objets auraient la possibilité de se reproduire, de s'assembler, de penser grâce à des micro-ordinateurs injectés à l'intérieur des organismes. L'Homme du futur aurait probablement une durée de vie prolongée et serait peut être débarrassé des gènes de la mort grâce au clonage. Il aurait été sélectionné sur la base de la performance des gamètes qui auront servi à le fabriquer. Voilà comment nous pourrions assister à une sorte d'amélioration progressive de l'être humain. Il y aurait également tous ces êtres que l'on appelle les "nanobots", petits organites qui pourraient devenir des soldats, en renfort de soldats humains ou post-humains. Ils auraient potentiellement des capacités intellectuelles très importantes. Certains envisagent même la création d'un cerveau collectif, rendue possible par les technologies de l'information et de la communication.

Transhumanisme, nature et religion

Les transhumanistes sont des idéologues qui visent au dépassement de l'espèce humaine, qu'ils considèrent comme imparfaite, par une cyber-humanité. Il s'agit de créer des "humains augmentés". Cette conception remet en cause la définition traditionnelle de la médecine, basée depuis Francis Bacon sur la notion de réparation, de soulagement. Le transhumanisme est beaucoup plus ambitieux. On aspire non seulement à empêcher l'homme d'être malade, mais également à le rendre incassable, immortel. Le rêve des transhumanistes est donc celui de l'immortalité pour une créature, produit du génie de l'Homme. Nous ne sommes donc plus, avec les transhumanistes, dans le cadre de la *natura naturans* de Descartes, mais dans celui du *per artem artefact*, c'est-à-dire une nature qui serait le produit de la créature elle-même, l'Homme cessant d'être créature pour devenir créateur.

De nombreux obstacles vont pourtant se dresser contre ce projet sur le plan religieux, le projet transhumaniste étant accusé de nier l'existence de Dieu. Ce qui limitait, y compris jusqu'à Kant, les manipulations sur l'Homme, résidait en effet dans l'existence d'une transcendance. Toucher à l'homme revenait à toucher à l'image de Dieu. Ce projet nécessite donc un retournement des présupposés religieux, en tout cas si l'on veut conserver l'idée d'un Dieu. Certains *leaders* du transhumanisme ont cependant à cœur de réconcilier transhumanisme et religion. Le Créateur se serait désintéressé de sa créature et celle-ci, imparfaite, se serait vue assigner la mission d'équiper cet Homme des qualités nécessaires pour tendre vers la perfection. Ray Kurzweil, *leader* du courant transhumaniste et auteur des ouvrages *Humanité 2-0* et *Humanité 3-0*, propose à ce sujet, le concept de "singularité" qui pourrait se définir comme la possibilité pour l'homme de dépasser tout ce qui faisait de lui un être ordinaire pour devenir singulier. Cette amélioration ne survient plus sur un mode linéaire mais dû fait d'un passage de type exponentiel. C'est ainsi que l'on "dépasserait l'indépassable" et que l'on "rendrait possible l'impossible".

Les transhumanistes, bousculant les frontières de l'utopie, s'attaquent à la mort elle-même. Ils aspirent à la création d'une matière qui posséderait tous les caractères du vivant et se trouverait finalement dotée d'une vie artificielle. On retrouve ce postulat de la nouvelle science exposé par Vico dans son ouvrage intitulé *La science nouvelle*: « Verum et factum correntum », nous ne pouvons connaître pour vrai que ce que nous avons fait, la maîtrise de la vie doit nécessairement passer par la maîtrise de la mort. Ce qui pourrait sembler farfelu apparaît donc comme une nécessité logique des programmes transhumanistes.

Vers le "post-humain"

L'espèce humaine est unique en son genre, mais avec le transhumanisme qui va permettre d'améliorer cette espèce, l'espèce humaine est dépassée. Elle ne constitue plus une impasse. En outre, après une période de transition, le transhumanisme aboutirait à ce qui pourrait s'intituler le "post-humanisme", une nouvelle espèce immortelle d'immortels. Le "posthumain" sera le résultat d'un processus d'autotransformation de la matière vivante et de la volonté de créer des êtres vivants possédant les caractères de la vie. Cette mouvance implique donc de créer une nouvelle matière et de "penser l'impensable", c'est-à-dire d'inventer une nouvelle intelligence.

Elle est liée à l'amélioration des ordinateurs. Aujourd'hui, les ordinateurs vont très vite mais ne donnent pas tous les résultats escomptés, parce qu'ils procèdent de manière linéaire. Par opposition, le cerveau humain procède très lentement. La vitesse de l'afflux nerveux est de l'ordre du mètre par seconde, mais comme il dispose de milliards de milliards de connexions, ses possibilités sont très importantes. L'évolution contemporaine dépend notamment des ordinateurs quantiques ou des machines parallèles qui permettent de se rapprocher du mode de traitement du cerveau.

Le projet transhumaniste est le reflet d'un retournement fondamental. La créature devient créatrice. Le "post humain" est destiné à surmonter l'Homme. Günter Anders, mari d'Hannah Arendt, a d'ailleurs abordé ce retournement dans un livre sur la honte prométhéenne qu'il qualifie comme étant la « honte qui s'empare de l'homme devant l'humiliante qualité des choses qu'il fabrique lui-même » pour décrire l'époque actuelle. Ainsi, l'Homme fait face à un sentiment de honte, honte d'être devenu plutôt que d'avoir été fabriqué. Nous sommes le "produit d'un bricolage", notre vie biologique est toujours précaire. Avec le transhumanisme, c'est cette condition qui tend à être dépassée.

ANNEXE 2 : Un panorama sur les applications et potentialités des nanotechnologies pour l'armement

Nota : Ce panorama expose des idées présentées dans différents documents. Les applications envisagées dépassent parfois le cadre du sujet du club.

Il a le mérite d'être un outil de prospective (voir références bibliographiques en annexe) et recouvre des réalités variées allant de la réalisation possible à la science fiction.

1 - La détection et protection contre les agents NRBC et les explosifs

Pour les capteurs chimiques/biologiques, les nanotechnologies sont prometteuses pour la lutte NBC. Elles permettront à court terme, d'améliorer la sensibilité et la sélectivité des capteurs, la miniaturisation des systèmes de détection et la diminution des coûts de production. De tels capteurs développés à l'origine pour le militaire pourront également avoir des impacts dans le secteur de la protection civile.

2 - La liaison de données

Une évolution en cours est la généralisation de capteurs "communicants", c'est-à-dire de systèmes autonomes, capables de transmettre par ondes le résultat de leurs mesures. En pratique, une portée raisonnable demande des systèmes centimétriques mais il existe des voies de miniaturisation plus poussée vers des systèmes millimétriques, voire submillimétriques, contenant divers types de capteurs (sismiques, acoustiques, chimiques, de radiations) que l'on « saupoudrerait » sur le terrain par milliers. La portée radio de tels systèmes étant très faible, l'information se déplacerait de proche en proche ou serait lue à distance, par exemple à l'aide d'un laser.

Un autre domaine d'application de ces capteurs est le soldat lui-même. Différents systèmes localisés à la surface du corps, voire implantés, permettraient de suivre son état de santé voire de donner l'alerte ou déclencher des contre-mesures en cas d'agression.

3 - Les véhicules inhabités

L'impact que ces techniques pourraient avoir dans le domaine spatial ne paraît pas anecdotique avec par exemple la possibilité de réaliser des microsattelites d'une dizaine de grammes, éventuellement associés en essaim. Ils pourraient être mis en orbite par des fusées de taille modérée lancées à partir d'un avion. Ces satellites seraient capables de détection, pourraient inspecter ou réparer d'autres satellites, mais aussi constituer des armes anti satellites ⁽¹⁵⁾.

Les missiles deviendront plus petits grâce à l'allègement des structures et à la plus forte puissance des propulseurs, mais également par l'augmentation de la précision de la trajectoire ; les systèmes d'orientation pourraient être intégrés même pour des munitions très petites.

Les véhicules seraient plus légers, plus puissants et surtout autonomes qu'ils soient terrestres, marins ou aériens (surveillance, logistique, attaque). Au sein de ces véhicules, est attendue la mise en oeuvre généralisée des systèmes autonomes (la Darpa envisage plus de 30 % de véhicules autonomes dès 2015, cf. robots, baptisés « BigDogs » que l'armée américaine a décidé de tester en Afganistan).

Des microrobots de taille inférieure à 5 millimètres voire submillimétriques pourraient voir le jour. Divers modes de déplacements pourraient être envisagés (flagelle, pattes, ondulations, vent, ...), mais aussi transportés par des projectiles ou des véhicules plus gros. De tels robots serviraient avant tout à des opérations de surveillance, mais pourraient être aussi utilisés comme armes ou moyens de sabotage, soit en mode isolé, soit en essaim.

¹⁵ On peut toutefois émettre quelques interrogations. Comment ces microsattelites pourraient gérer leur énergie ? Leur dimension ne me semble pas compatible avec des transmissions.

4 - Sources d'énergie

Dans le secteur des mini et micro batteries et des piles à combustible, les nanotechnologies permettront un allègement et une miniaturisation des sources d'énergie tout en augmentant leur autonomie. Les nanotechnologies pourront également avoir une incidence au niveau de l'intégration de la source d'énergie dans le système combattant. Les perspectives de commercialisation de ces sources d'énergie à base de nanotechnologies promettent d'être à court et moyen termes (deux à trois ans pour les batteries ; cinq à huit ans pour les piles à combustible).

Enfin, les cellules photovoltaïques organiques (5,9 % de rendement actuellement en juillet 2009) pourront vraisemblablement être utilisées comme source énergétique d'appoint mais après de longs développements (dix ans) et à condition d'améliorer leur rendement et leur durée de vie. Ces cellules photovoltaïques pourraient dès lors être directement intégrées dans l'uniforme du combattant.

5 - Autonomie (puissance calcul)

Dans le domaine des technologies de l'information, l'industrie de l'électronique va produire ces vingt prochaines années des circuits de plus en plus performants en termes de puissance de calcul, et cela à un rythme soutenu. On peut imaginer que naîtront de petits calculateurs de la puissance d'un ordinateur de bureau actuel, mais enformés dans des centimètres cubes voire des millimètres cubes. Ces calculateurs pourraient alors se généraliser pour les systèmes portés par le fantassin, mais aussi dans les munitions de petite taille qui pourraient ainsi acquérir des capacités de guidage accrues.

De même, cette évolution contribue déjà à la prolifération de capteurs autonomes capables de calculer et de communiquer sans fil (RFID). La miniaturisation rencontre toutefois, des limites, par exemple, lorsqu'il s'agit de communiquer à une distance utile, des antennes et des sources de puissance de taille centimétrique, deviennent nécessaires.

L'apparition de petits écrans plats et souples, peu gourmands en énergie permettrait en outre de réaliser de nombreux systèmes de visualisation de l'information.

Au-delà de cette évolution « classique », des systèmes d'information d'un genre nouveau pourraient se développer et permettre l'accroissement des puissances de calcul ou des capacités de stockage de l'information : nouveaux composants fondés sur le magnétisme. Par exemple, des mémoires magnétiques qui ne s'effacent pas lorsqu'on coupe le courant, donc des ordinateurs instantanément prêts à l'allumage ; des systèmes optiques assurant des transferts rapides avec des débits qui se mesureraient en téraoctets (mille milliards de bits) par seconde, des systèmes à basse consommation et des mémoires moléculaires avec des densités d'information dix mille fois supérieures à celles des circuits actuels.

Parallèlement, l'augmentation des puissances de calcul et des moyens de communication conduit au développement de nouveaux logiciels. Ils peuvent concerner des simulations de champs de bataille virtuels à des fins d'entraînement ou d'analyse stratégique, mais aussi la gestion de la logistique. D'autres perspectives qui semblent à portée, sont la capacité des machines à communiquer en langage naturel, et aussi avec des systèmes de traduction automatique.

6 - Apport opérationnel

Le futur combattant disposera de multiples capteurs et dispositifs d'assistance qui le rendront moins vulnérable et plus efficace. Tous ces travaux n'aboutiront pas nécessairement à des systèmes utiles à des fins militaires, en particulier en raison des limitations en puissance, en autonomie, et en charge utile des microsystèmes. Mais les possibilités sont nombreuses et variées : tenues « intelligentes » capables d'interagir avec le corps du soldat, de changer d'apparence et offrant une perception accrue des agressions extérieures, une meilleure protection, voire quelques soins médicaux (compression de plaie, attelle en cas de fracture, injection de médicaments).

Plus de 15 000 soldats ont subi des blessures graves sur le champ de bataille en Irak et en Afghanistan. Bon nombre de ces blessures ont endommagé les tissus et organes, voire occasionné la perte de membres. L'armée américaine investit dans la recherche « Nanotechnologies » afin de développer des thérapies cliniques permettant de rétablir des fonctions (prothèses intelligentes, peau artificielles, etc.).

Dans le domaine des matériaux et systèmes mécaniques, des additifs nanométriques sont utilisés pour améliorer les propriétés des matériaux, par exemple pour répondre à des contraintes variées (les rendre peu inflammables, imperméables, conducteurs de l'électricité). La résistance mécanique des matériaux est ainsi accrue : composites à base de nanotubes de carbone ou des alliages métalliques nano structurés permettant de réaliser des structures plus légères ou plus résistantes.

Pour la défense, un domaine d'utilisation privilégié est le blindage. L'évolution la plus forte se fera dans le domaine des protections contre les projectiles légers (gilets pare-balle), les nanomatériaux n'ayant que peu d'efficacité contre des projectiles lourds. De même des matériaux améliorés peuvent avoir un impact sur les armes, qu'il s'agisse de projectiles plus pénétrants mais aussi de substituts aux métaux rendant les armes plus difficilement détectables.

Un dernier domaine d'application est celui des matériaux « intelligents », éventuellement inspirés du vivant ; ils pourraient se déformer, exercer une force, s'adapter, par exemple modifier leurs propriétés optiques dans le but de réaliser des camouflages. Des systèmes sophistiqués contenant de nombreux moteurs miniatures (bio-inspirés, matériaux simulant des muscles, moteurs électrostatiques, etc.) donnent déjà lieu à des premiers prototypes comme le nanodrone Libellule, développé sous contrat de recherche de la DGA par la société SilMach.

Dans le secteur des textiles, les nanotechnologies permettront l'obtention de textiles fonctionnels utilisables à court ou moyen terme pour la fabrication de l'uniforme du combattant comme des textiles antibactériens/anti-UV/antichimiques, des vêtements résistants aux impacts ou à la déchirure, des textiles faisant barrière aux rayonnements électromagnétiques. À plus long terme, les nanotechnologies pourront être utilisées pour développer une nouvelle génération de textiles intelligents, reconfigurables et s'adaptant à l'environnement, incorporant des capteurs et le système de gestion électronique.

Pour les matériaux énergétiques (explosifs, propulsion), il deviendrait possible de réaliser des milieux dans lesquels les échanges d'énergie sont optimisés par des mélanges intimes de carburant et comburant, des puissances programmables, des molécules « sur mesure ».

De plus, les nanotechnologies pourraient conduire à divers nouveaux types d'armes chimiques et biologiques ciblant des organes spécifiques ou agissent de manière sélective sur un certain modèle génétique ou de protéines.

Références de l'Annexe

Site nanowerk : Nanotechnology for chemical and biological for defense Margaret E. Kosal (2009) Springer - ISBN 978-1-4419-0061-6 – DOI

26th Science Army Conference (1 au 4 Decembre 2008) Transformational Army / Science and Technology Harnessing Disruptive S&T for the Soldier - <http://www.asc2008.com>

The Human Quest for Enhancement Summary Report of an Invitational Workshop Convened by the Scientific Freedom, Responsibility and Law Program American Association for the Advancement of Science June 1-2, 2006 -Author: Enita A. Williams- Edited by: Mark S. Frankel

Nanotechnologies : « Quels enjeux industriels, militaires et géostratégiques »
Alain De Neve (2006) Les Cahiers du RMES – Volume III, numéro 1, été 2006, pp 157 – 200
[http://www.rmes.be/les Cahiers du RMES 5.pdf](http://www.rmes.be/les_Cahiers_du_RMES_5.pdf)

“Nanotechnology, innovation opportunities for tomorrow’s defence”. Frank Simonis & Steven Schilthuizen. March 2006, TNO Science & Industry

“Military Nanotechnology: Potential Applications and Preventive Arms Control” J. Altmann, Abingdon / New York: Routledge, 2006

“Nanotechnology and Preventive Arms Control” J. Altmann, DSF Forschung n° 3, Osnabrück : DSF, 2005

“Anticipating Military Nanotechnology” J. Altmann, M. Gubrud, IEEE Technology and Society Magazine, 23(4), 33-40, Winter 2004

“Military Uses of Nanotechnology: Perspectives and Concerns” J. Altmann, Security Dialogue, 35 (1) 61-79, March 2004

“Nanotechnology: Future military environmental health considerations” Jerome C. Glenn Technological Forecasting & Social Change 73 (2006) 128-37

“Converging Technologies for human enhancement – a new wave increasing the contingency of the condition humana” Armin Grunwald. Pre-Print: 03.09.2007 –G. Banse, A. Grunwald, I. Hronszky, G. Nelson (eds.): Assessing Societal Implications of Converging Technological Development. Berlin: edition sigma (in print)

“Converging Technologies for Improving Human Performance (NANOTECHNOLOGY, BIOTECHNOLOGY, INFORMATION TECHNOLOGY AND COGNITIVE SCIENCE”) NSF/DOC – sponsored report Edited by Mihail C. Roco and William Sims Bainbridge, National Science Foundation – June 2002 http://wtec.org/ConvergingTechnologies1/NBIC_report.pdf

“Managing Nano – Bio Info Cogno innovations: Converging technologies in society” Edited by William Sims Bainbridge National Science Foundation* and Mihail C. Roco National Science Foundation* National Science and Technology Council’s Subcommittee on Nanoscale Science, Engineering, and Technology 2005

[http://www.wtec.org/Converging Technologies/3/NBIC3 report.pdf](http://www.wtec.org/Converging_Technologies/3/NBIC3_report.pdf)

“Defense Nanotechnology Research and Development Program”

April 26, 2007 – Department of Defense – Director, Defense Research and Engineering

WTEC Panel Report on International Assessment of research and development in Brain computer interfaces – Final Report October 2007

Theodore W. Berger (Chair), John K. Chapin, Greg A. Gerhardt, Dennis J. MCFarland, José C. Principe, Walid V. Soussou, Dawn M. Taylor, Patrick A. Tresco

<http://www.wtec.org/bci/BCI-finalreport-10oct2007-lowres.pdf>

WTEC Panel on International assessment of research and development in Robotics – Final Report January 2006

George Bekey (Panel Chair), Robert Ambrose, Vijay Kumar, Art Sanderson, Brian Wilcox, Yuan Zheng

<http://www.wtec.org/robotics/report/screen-robotics-final-report-highres.pdf>