

Juin 2018



L'ERGONOMIE ET LA RÉALITÉ AUGMENTÉE ADAPTÉES AUX BESOINS MILITAIRES

**OPPORTUNITÉS TECHNOLOGIQUES,
OPÉRATIONNELLES ET CULTURELLES
(NOUVELLES GÉNÉRATIONS DE COMBATTANTS)**

LCL Arnaud PLANIOL

Chercheur sociologie des forces armées

É T U D E S



L'ERGONOMIE ET LA RÉALITÉ AUGMENTÉE ADAPTÉES AUX BESOINS MILITAIRES

OPPORTUNITÉS TECHNOLOGIQUES,
OPÉRATIONNELLES ET CULTURELLES
(NOUVELLES GÉNÉRATIONS DE COMBATTANTS)

LCL Arnaud PLANIOL

Chercheur sociologie des forces armées

Pour citer cette étude

LCL Arnaud PLANIOL, *L'Ergonomie et la réalité augmentée adaptées aux besoins militaires. Opportunités technologiques, opérationnelles et culturelles (nouvelles générations de combattants)*, Études de l'IRSEM, 58, juin 2018.

Dépôt légal

ISSN : 2268-3194

ISBN : 978-2-11-151039-5

DERNIÈRES ÉTUDES DE L'IRSEM

57. *Du gel au dégel des pensions des anciens militaires subsahariens des armées françaises : histoire politique, combat juridique et difficultés actuelles*

Camille EVRARD

56. *Les Conséquences en termes de stabilité des interventions militaires étrangères dans le monde arabe*

Flavien BOURRAT

55. *Implication de la Chine dans le secteur des transports en Europe centrale et orientale : forme, réalisations et limites*

Agatha KRATZ

54. *L'Industrie de Défense japonaise, renaissance et innovation*

Océane ZUBELDIA et Marianne PÉRON-DOISE (dir.)

53. *Les Combattants et les anciens combattants du Donbass : profil social, poids militaire et influence politique*

Anna COLIN LEBEDEV

52. *Les États-Unis et la fin de la Grande stratégie ? Un bilan de la politique étrangère d'Obama*

Maud QUESSARD et Maya KANDEL (dir.)

51. *Faire la paix et construire l'État : les relations entre pouvoir central et périphéries sahéliennes au Niger et au Mali*

Yvan GUICHAOUA et Mathieu PELLERIN

50. *La Biélorussie après la crise ukrainienne : une prudente neutralité entre la Russie et l'Union européenne ?*

Ioulia SHUKAN

49. *Les Stratégies et les Pratiques d'influence de la Russie*

Céline MARANGÉ

48. *La Rupture stratégique*

LCL Olivier ENTRAYGUES

ÉQUIPE

Directeur

Jean-Baptiste JEANGÈNE VILMER

Directeur scientifique

Jean-Vincent HOLEINDRE

Secrétaire général

CRG1 (2S) Étienne VUILLERMET

Chef du soutien à la recherche

Caroline VERSTAPPEN

Éditrice

Chantal DUKERS

Assistante d'édition

Manon DONADILLE

Retrouvez l'IRSEM sur les réseaux sociaux :

@ <https://www.defense.gouv.fr/irsem>



@IRSEM1



AVERTISSEMENT : l'IRSEM a vocation à contribuer au débat public sur les questions de défense et de sécurité. Ses publications n'engagent que leurs auteurs et ne constituent en aucune manière une position officielle du ministère des Armées.

PRÉSENTATION DE L'IRSEM

L'Institut de recherche stratégique de l'École militaire (IRSEM), créé en 2009, est un institut de recherche rattaché à la Direction générale des relations internationales et de la stratégie (DGRIS) du ministère des Armées. Composé d'une quarantaine de personnes, civiles et militaires, sa mission principale est de renforcer la recherche française sur les questions de défense et de sécurité.

L'équipe de recherche est répartie en cinq domaines :

- Questions régionales Nord, qui traite de l'Europe, des États-Unis, de la Russie et de l'espace post-soviétique, de la Chine, du Japon et de la péninsule coréenne.
- Questions régionales Sud, qui traite de l'Afrique, du Moyen-Orient, du Golfe, du sous-continent indien, de l'Asie du Sud-Est et du Pacifique.
- Armement et économie de défense, qui s'intéresse aux questions économiques liées à la défense et aux questions stratégiques résultant des développements technologiques.
- Défense et société, qui examine le lien armées-nation, l'attitude de l'opinion publique vis-à-vis des questions de défense, et la sociologie de la violence, de la guerre et des forces armées.
- Pensée stratégique, qui étudie la conduite des conflits armés à tous les niveaux (stratégique, opératif, tactique).

En plus de conduire de la recherche interne (au profit du ministère) et externe (à destination de la communauté scientifique), l'IRSEM favorise l'émergence d'une nouvelle génération de chercheurs (la « relève stratégique ») en encadrant des doctorants dans un séminaire mensuel et en octroyant des allocations doctorales et postdoctorales. Les chercheurs de l'Institut contribuent aussi à l'enseignement militaire supérieur et, au travers de leurs publications, leur participation à des colloques et leur présence dans les médias, au débat public sur les questions de défense et de sécurité.

BIOGRAPHIE

Officier saint-cyrien, de l'arme du Train, le lieutenant-colonel Arnaud PLANIOL a une première partie de carrière opérationnelle en unité de circulation routière avec des opérations extérieures en Bosnie, au Sahara Occidental et à Haïti. Breveté de l'École de Guerre aux États-Unis, il occupe ensuite pendant trois ans les fonctions d'officier de liaison au sein d'un état-major logistique américain en Virginie. Ayant rejoint l'IRSEM à l'été 2014, ses travaux portent plus particulièrement sur les forces armées américaines, notamment pour tout ce qui concerne les questions de féminisation, de résilience et de leadership militaire. Titulaire d'un Master 2 en science politique, il est chevalier de la Légion d'honneur et de l'ordre national du Mérite.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	11
--------------------	----

I. L'ERGONOMIE ET LA RÉALITÉ AUGMENTÉE : PRÉSENTATION ET DONNÉES

CONTEXTUELLES	13
1. Ergonomie et facteur humain.....	13
<i>Une discipline scientifique qui a trouvé sa place</i>	<i>13</i>
<i>L'ergonomie dans les armées.....</i>	<i>16</i>
2. La réalité augmentée	18
<i>Une technologie émergente</i>	<i>18</i>
<i>Les éléments technologiques indispensables à la réalité augmentée</i>	<i>20</i>
<i>Un marché potentiel énorme en voie de consolidation</i>	<i>24</i>
<i>Un marché caractérisé par une forte concurrence technologique</i>	<i>29</i>

II. DOMAINES D'UTILISATION POSSIBLES

DE LA RÉALITÉ AUGMENTÉE.....	31
1. Le secteur de la vente : la réalité augmentée, source d'amélioration de la productivité et des conditions de travail	31
2. Le secteur de la logistique : gain de productivité et réduction du risque d'erreur humaine	32
3. Le secteur médical : télémedecine et opérations moins invasives ..	32
4. Le secteur de l'éducation : renforcement du côté pratique de la formation et de la motivation des élèves	33
5. La maintenance aéronautique : la RA, une technologie gage de meilleure sécurité.....	34
6. Interventions dans des milieux à risque	35
7. La réalité augmentée, une technologie de pointe pour les armées	36
<i>La simulation</i>	<i>36</i>
<i>Améliorer l'appréciation de situation</i>	<i>37</i>
<i>L'entraînement.....</i>	<i>38</i>

III. UNE TECHNOLOGIE PROMETTEUSE

POUR LES ARMÉES SOUS RÉSERVE DE LA PRISE EN COMPTE

DE CONSÉQUENCES PRÉVISIBLES ET D'UN CERTAIN NOMBRE DE RISQUES	41
1. Une révolution à venir	41
2. Les défis de concevoir un système de RA pour les armées	42

3. Une technologie disruptive, avec quelles conséquences pour les armées ?	43
4. Quel impact pour les armées ?	45
<i>En termes de doctrine et de formation</i>	45
<i>En termes de recrutement</i>	45
<i>En termes éthiques et juridiques</i>	46
<i>En termes de conception des équipements</i>	46
5. Une technologie prometteuse avec des risques associés non négligeables	47
<i>Des risques psychologiques</i>	47
<i>Perte d'autonomie et surcharge informationnelle</i>	48
<i>Des risques sociologiques</i>	49
<i>La question de la sécurité des réseaux</i>	50
CONCLUSION	51
ANNEXE 1	53
BIBLIOGRAPHIE INDICATIVE	55

INTRODUCTION

Depuis les temps les plus anciens, l'homme cherche inlassablement à repousser ses limites physiques. Or, nous assistons aujourd'hui à une augmentation croissante, voire exponentielle des capacités technologiques, qui permettent désormais d'entrevoir des possibilités qui n'étaient encore que des rêves il y a quelques années. Nous évoluons ainsi désormais dans un environnement pervasif¹, dans lequel nous oublions de plus en plus la présence des objets technologiques communicants qui nous entourent, ceux-ci devenant une véritable extension de nous-même. Cette dynamique technologique s'inscrit de manière plus générale dans un « mouvement historique de complexification des systèmes communicants », l'homme créant des machines afin de l'aider, de suppléer ou d'augmenter ses capacités à agir et à penser².

Dans ce contexte, on nous annonce donc aujourd'hui une véritable révolution, celle des technologies des réalités augmentée, virtuelle ou mixte, qui devrait être supérieure en intensité à ce qu'a pu représenter à l'époque l'arrivée de l'ordinateur personnel et des smartphones. Source d'enjeux industriels et financiers très importants, cette révolution, aux fortes capacités disruptives, ne devrait épargner aucun secteur d'activité et les armées s'intéressent donc très sérieusement aux applications possibles dans leur domaine d'emploi. Il semble en effet impératif pour elles de suivre et d'anticiper les grandes tendances, actuelles et futures, de ces technologies, afin de pouvoir garder l'avance capacitaire nécessaire pour demeurer un acteur qui compte. Les armées ne peuvent pas se permettre d'être à la traîne sur des sujets innovants comme la réalité augmentée.

S'intégrant de manière plus générale dans les recherches sur l'augmentation du soldat, la réalité augmentée, qui permet d'insérer en

1. Le terme « pervasif » « qualifie un processus ou un objet technologique qui diffuse à travers un ensemble social ou culturel ». « Un environnement pervasif est constitué d'objets technologiques communicants, qui se reconnaissent, se localisent, s'organisent en réseaux ad hoc, et ceci sans action particulière de l'utilisateur. L'utilisateur ignore ou oublie leur présence, et s'en sert pourtant comme d'un prolongement naturel de lui-même » (Bernard Claverie *et al.*, « Pervasion, transparence et cognition augmentée », *Revue des interactions humaines médiatisées*, vol. 10, n° 2, p. 86).

2. B. Claverie *et al.*, « Pervasion, transparence et cognition augmentée », art. cité, p. 85.

temps réel des informations virtuelles dans un environnement réel, présente une multitude de possibilités intéressantes en termes de mobilité, de protection, d'aptitude au combat et de travail collaboratif. Il ne faut cependant pas oublier que concevoir un système de réalité augmentée est extrêmement complexe, et ce d'autant plus que ce système sera utilisé dans un contexte opérationnel, par nature chaotique et imprévisible. L'ergonomie, qui a le double objectif de promouvoir la productivité et le bien-être au travail grâce à une meilleure compréhension de l'interaction homme-machine, prend donc ici toute son importance, si on ne veut pas créer des systèmes en oubliant les hommes et les femmes qui les utilisent. Les ergonomes ont donc toute leur place dans le processus de conception de systèmes qui relient « des hommes qui agissent selon des procédures dans des contextes opérationnels très contraignants en vue de produire des effets déterminés³ ».

L'arrivée de ces nouvelles technologies représente un défi certain. Si les jeunes générations semblent faire montre de capacités et d'aptitudes particulières quant à la prise en compte et la mise en œuvre de ces nouvelles technologies, celles-ci génèrent néanmoins certains risques et des conséquences qu'il faut pouvoir anticiper. Les armées devraient en effet être amenées à évoluer dans certains domaines comme le recrutement, la formation et l'entraînement, mais aussi éventuellement la manière de faire la guerre.

Fruit d'une commande passée par le Centre interarmées de concepts, de doctrines et d'expérimentations (CICDE), cette étude n'a pas vocation à être exhaustive. Elle vise à faire un point de situation sur l'ergonomie et la réalité augmentée afin de voir quelles opportunités ou risques cela peut représenter pour le combattant futur. Dans un premier temps, nous précisons le cadre de cette étude en définissant la façon dont nous entendons les notions d'ergonomie et de réalité augmentée. Par la suite, nous nous intéresserons aux principaux domaines d'utilisation, civils et militaires, de cette technologie. Enfin, nous analyserons les conséquences possibles de l'introduction de la réalité augmentée dans les armées ainsi que les risques potentiellement entraînés par celle-ci.

3. Christian Colas *et al.*, « Ergonomie en milieu militaire », in *Ergonomie – Travail, conception, santé*, Octarès, 2017, p. 18.

I. L'ERGONOMIE ET LA RÉALITÉ AUGMENTÉE :

PRÉSENTATION ET DONNÉES CONTEXTUELLES

1. ERGONOMIE ET FACTEUR HUMAIN

Une discipline scientifique qui a trouvé sa place

L'ergonomie est une discipline scientifique qui a pour objectif de développer une compréhension de l'interaction des hommes avec d'autres éléments de système⁴. Le terme « ergonomie » vient du grec *Ergon* (travail) et *nomos* (loi). Il est utilisé pour la première fois en 1857 par Wojciech Jastrzebowski, auteur polonais, qui publie le premier « Précis d'ergonomie » qui sera faiblement diffusé. La définition de cette discipline a beaucoup évolué depuis cette époque, et plus particulièrement ces cinquante dernières années, ce domaine étant devenu de plus en plus incontournable en ce qui concerne la résolution des problèmes, le design, la fonctionnalité et la planification des produits et de services innovants. Le terme « ergonomie » réapparaît dans les années 1940 grâce au psychologue K.F.H. Murrell afin de « désigner l'étude interdisciplinaire des activités humaines, pratiquée pendant la Seconde Guerre mondiale, en vue d'accroître l'efficacité des combattants, des matériels et des systèmes militaires⁵ ».

À partir de cette époque, elle devient réellement une discipline scientifique, car on comprend désormais que la plupart des personnes ne sont pas capables d'utiliser un équipement à son potentiel maximal lorsque celui-ci devient trop complexe. L'objectif étant d'améliorer à la fois la productivité et le confort de l'utilisateur, l'ergonomie a commencé alors à s'intéresser aux apports possibles de la physiologie au travail, de la biomécanique et de l'anthropométrie⁶.

Le terme d'*Human factors* est plutôt employé aux États-Unis, alors que le terme « ergonomie » est plus utilisé en Europe. Si les deux

4. André Liem, *Les Contours de l'intervention en ergonomie prospective : analyse comparative de l'ergonomie prospective et du design stratégique dans 12 études de cas*, thèse de doctorat en ergonomie, Université de Lorraine, 2015, p. 25.

5. Chr. Colas et al., « Ergonomie en milieu militaire », in *Ergonomie – Travail, conception, santé*, op. cit., p. 6.

6. A. Liem, *Les Contours de l'intervention en ergonomie prospective...*, op. cit., p. 27.

termes sont désormais largement interchangeables, il faut cependant noter quelques nuances de fond. Le facteur humain étudierait plus les champs cognitifs de la discipline (perception, mémoire, etc.) alors que l'ergonomie s'occuperait plus particulièrement des aspects physiques, comme la configuration du poste de travail, la lumière, la chaleur, le bruit, etc.

Désormais, l'ergonomie contemporaine a le double objectif de promouvoir à la fois la productivité et le bien-être, pour tout ce qui concerne les conditions de travail. On prend donc désormais en compte la nature des interactions hommes-artefacts mais aussi celles entre les personnes, les équipements et leur environnement. En général complexe, ce dernier est constitué des environnements physique (« les choses »), organisationnel (« la façon dont les activités sont organisées et contrôlées ») et social (les autres personnes et leur culture)⁷.

On peut classifier l'ergonomie selon quatre clés de lecture. La première d'entre elles est le domaine ; on fait alors la distinction entre ergonomie de produit (*Product ergonomics*) et ergonomie industrielle (*Industrial ergonomics*). Comme son nom le laisse entendre, l'ergonomie de produit traite de l'interaction des personnes avec les produits, les systèmes et les procédures. Son objectif est de s'assurer que les designs tirent le meilleur parti des forces et des capacités des utilisateurs pour minimiser les effets de leurs limitations. On doit donc prendre en compte des aspects psychologiques, biomécaniques et cognitifs⁸. Pour sa part, l'ergonomie industrielle analyse les informations à propos des personnes, des tâches qu'elles ont à accomplir, des équipements et de leur poste de travail.

La deuxième clé de lecture dépend du type d'intervention. Celles-ci peuvent être de trois ordres : on parle alors d'ergonomies corrective, préventive ou prospective. La première a pour objet de développer des modifications afin de corriger des objets déjà existants, et cela afin d'en améliorer l'usage. Elle est donc réactive et ponctuelle. L'ergonomie préventive (ou de conception) s'occupe en revanche d'objets qui n'existent pas encore, en vue d'en garantir la bonne performance et d'assurer le bien-être des opérateurs. Enfin, l'ergonomie prospective, qui est quant à elle en train d'émerger, aurait pour but d'anticiper ou

7. *Ibid.*, p. 28.

8. *Ibid.*, p. 29.

de construire « les futurs besoins, usages et comportements », de même que de créer de futurs procédés, produits et services⁹. Elle a pour caractéristique d'être multidisciplinaire dans les activités qu'elle va engendrer : « analyse de contextes, prospection de besoins, usages et comportements, production de nouveaux artefacts, analyses compétitives, de marchés, de brevets, de coût bénéfice, de risques, gestion de projet... »¹⁰.

La troisième clé de lecture possible dépend du niveau auquel l'analyse ergonomique est menée. On parle alors de micro, meso et macro-ergonomie¹¹. La dernière façon de classer l'ergonomie est en fonction de sa spécialisation. On parle d'ergonomies physique, cognitive et organisationnelle. La première traite surtout d'anatomie humaine, de caractéristiques anthropométriques, physiologiques et biomécaniques. L'ergonomie cognitive, pour sa part, se focalise sur les processus mentaux tels que la perception, la mémoire, la manière de traiter l'information, le raisonnement et la réponse motrice associée. L'ergonomie organisationnelle, de façon identique à la macro-ergonomie, s'intéresse à la manière dont les structures organisationnelles, les politiques et les procédures peuvent être optimisées¹².

Tableau 1

Classification des différents types d'ergonomie en fonction du domaine, du type et du niveau d'intervention ainsi que de la spécialisation (Liem, 2015 : 29)

Domaine	Ergonomie de produit		Ergonomie industrielle
Intervention	Ergonomie corrective	Ergonomie de conception	Ergonomie prospective
Niveau	Micro-ergonomie	Meso-ergonomie	Macro-ergonomie
Spécialisation	Ergonomie physique	Ergonomie cognitive	Ergonomie organisationnelle

9. Éric Brangier, Jean-Marc Robert, « L'ergonomie prospective : fondements et enjeux », *Le Travail humain*, vol. 77, 2014, p. 4.

10. Pour plus de détails, se reporter au tableau de comparaison entre l'ergonomie corrective, de conception et prospective en annexe 1.

11. A. Liem, *Les Contours de l'intervention en ergonomie prospective...*, op. cit., p. 31.

12. *Ibid.*, p. 32.

L'ergonomie dans les armées

Avant toute chose, il faut préciser qu'il n'existe pas une ergonomie militaire, distincte de son corollaire civil ; leur finalité est en effet la même. En revanche, un certain nombre de particularités liées au monde militaire ont pu laisser penser un temps qu'il serait impossible de développer l'ergonomie dans les armées, comme par exemple le contexte institutionnel étatique (« la guerre est une affaire d'État »), le souci d'uniformité des armées ainsi que leurs effectifs importants et enfin la difficulté intrinsèque de traiter d'ergonomie au combat¹³.

Néanmoins, l'ergonomie dans les armées françaises a su construire sa légitimité au cours des dernières décennies. En effet, en dépit des multiples réformes qu'ont connues les armées françaises depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale, nous pouvons constater que cette discipline a pu se développer dans les armées autour, d'une part, de la conception des matériels et, d'autre part, de la protection des personnels. On a donc vu progressivement des ergonomes être recrutés dans les effectifs du Service de santé des armées (SSA) et de la Délégation, puis Direction générale de l'armement (DGA).

Derrière cette dichotomie assez simple, entre d'un côté le combat et de l'autre la protection, se cache néanmoins un clivage éthique que l'ergonome enjambe¹⁴. Les compétences du SSA ne peuvent en effet, en aucun cas, être utilisées pour rendre plus efficaces des matériels destinés à tuer. Ce service a donc, au contraire, focalisé ses recherches sur la protection des combattants et des populations. À l'inverse, il est du ressort de la DGA de concevoir et d'évaluer des équipements létaux. L'ergonome, quant à lui, doit à la fois garder à l'esprit le souci de protection de la personne et l'efficacité des systèmes d'armes.

En France, les armées ont été à l'initiative de nombreux projets de recherche concernant l'amélioration des conditions de vie en milieux extrêmes (haute altitude, grandes profondeurs maritimes, grands froids...) ¹⁵. Certains organismes du ministère des Armées, et plus particulièrement du SSA et de la DGA, ont donc pu développer à cette occasion certaines compétences dans le domaine de l'ergonomie. Dans le

13. Chr. Colas *et al.*, « Ergonomie en milieu militaire », in *Ergonomie – Travail, conception, santé*, *op. cit.*

14. *Ibid.*, p. 2.

15. *Ibid.*, p. 3.

cas du SSA, du fait des diverses réorganisations de ces dernières décennies, plusieurs de ces instituts ou centres de recherche ont disparu¹⁶ et ces compétences se trouvent désormais regroupées au sein de l'Institut de recherche biomédicale des armées (IRBA) de Brétigny-sur-Orge. Pour la DGA, les équipes se trouvent désormais réparties entre quatre organismes : « DGA techniques terrestres à Angers et Bourges, DGA techniques navales à Toulon et Brest, DGA maîtrise de l'information à Rennes et DGA ingénierie des projets en Île-de-France¹⁷ ».

Le développement de l'ergonomie dans les armées françaises n'a cependant pas été chose facile, même si celles-ci pouvaient sembler à la pointe de cette discipline dans les années 1960. Le *Traité d'ergonomie militaire* du médecin général Marot était en effet à cette époque l'un des seuls ouvrages d'ergonomie disponible en français. Malgré cela, deux difficultés majeures ont rendu difficile le développement de l'ergonomie dans les armées : les questions du recrutement, du statut des ergonomes et la reconnaissance institutionnelle de cette discipline. Le premier obstacle fut en effet de réussir à recruter des ergonomes dans une institution militaire qui ne prévoyait pas de poste pour eux. Les premiers recrutements eurent donc lieu de manière détournée et ce n'est que peu à peu, de manière le plus souvent opportune que les ergonomes purent investir la place et faire montre de leur utilité. « L'offre et la demande en ergonomie au sein des armées se sont ainsi progressivement constituées¹⁸ ».

En ce qui concerne la reconnaissance de cette discipline au sein des armées, il fallut attendre le milieu des années 1990. Cela fut rendu possible par les retours d'expérience des matériels les plus anciens et par le travail de fond accompli notamment dans les instituts et centres de recherche du SSA. L'institution militaire comprit alors tout l'intérêt que pouvait avoir cette discipline, qu'elle regroupa sous l'appellation de facteur humain.

Désormais, la nécessité de disposer d'une compétence ergonomique dans les armées est complètement intégrée, et cela afin de pouvoir répondre aux nouvelles exigences opérationnelles, de façon efficace et

16. Institut de médecine aérospatiale du service de santé des armées (IMASSA) de Brétigny-sur-Orge, Institut de médecine navale du service de santé des armées (IMNSSA) de Toulon, Centre de recherches du service de santé des armées (CRSSA) de Grenoble.

17. Chr. Colas *et al.*, « Ergonomie en milieu militaire », in *Ergonomie – Travail, conception, santé*, *op. cit.*, p. 4.

18. *Ibid.*, p. 4.

optimale. Il faut cependant s'assurer de la pérennisation de ces compétences et capacités, à un moment où la tendance de fond au ministère est à la réduction des effectifs et à un recours à l'externalisation. Cela est d'autant plus important que les équipements à concevoir sont des « systèmes sociotechniques » de plus en plus complexes, qui agrègent trois composantes d'égale importance, les hommes, les technologies et les procédures. Les ergonomes ont donc toute leur place dans le processus de conception de systèmes qui relie « des hommes qui agissent selon des procédures dans des contextes opérationnels très contraignants en vue de produire des effets déterminés¹⁹ ».

Désormais, on parle beaucoup d'ergonomie prospective du fait des contextes économique, social, scientifique et technologique actuels. L'époque contemporaine est en effet marquée par une forte compétition mondiale dans de très nombreux domaines, avec comme conséquence l'émergence d'une économie globale fondée sur l'innovation technologique. Innover devient un impératif de survie si l'on veut pouvoir rester dans la compétition et poursuivre son développement. Cette prise de conscience donne donc à l'ergonomie prospective un intérêt stratégique, auquel les dirigeants d'entreprise sont de plus en plus sensibles²⁰. La même logique s'applique aux armées et la prospective ergonomique paraît tout à fait appropriée dans le cas des systèmes à longue durée de vie, comme par exemple ceux utilisés dans les forces. En revanche, un certain nombre de limites doivent encore être dépassées afin de pouvoir adapter les concepts, méthodes et outils à ces systèmes à longue durée de vie²¹.

2. LA RÉALITÉ AUGMENTÉE

Une technologie émergente

Il n'existe toujours pas aujourd'hui de définition unique, partagée par la communauté scientifique, de la réalité augmentée (RA). Néanmoins, on pourrait définir la RA « comme une vue directe ou indi-

19. *Ibid.*, p. 18.

20. E. Brangier, J.-M. Robert, « L'ergonomie prospective : fondements et enjeux », art. cité, p. 14.

21. Jean-René Ruault *et al.*, « Adaptation de l'ergonomie prospective aux systèmes à longue durée de vie », *Le Travail humain*, vol. 77, 2014.

recte en temps réel d'un environnement physique réel qui a été amélioré/augmenté en lui rajoutant des informations virtuelles générées par ordinateur²² ». En superposant sur la réalité des objets virtuels, la réalité augmentée vise donc à améliorer la perception de l'environnement afin de faciliter les interactions que l'on peut avoir avec celui-ci.

Les prémices de la réalité augmentée sont à chercher dans les années 1950 lorsque Morton Heilig, un cinéaste, a l'idée de créer le Sensorama, afin de faire entrer le public dans son film en faisant appel aux cinq sens. Par la suite, un certain nombre de projets vont poursuivre sur cette idée d'une réalité augmentée ; le premier dispositif HMD (*Head Mounted Display*) est créé en 1966 par Ivan Sutherland, puis Myron Krueger invente le *Videoplace* en 1975, première pièce qui permet d'interagir avec des objets virtuels. Il faudra attendre 1992 pour que le terme de réalité augmentée (RA) soit créé par Tom Caudell et David Mizell, deux ingénieurs de chez Boeing. Deux ans plus tard, Paul Milgram et Fumio Kishino définissent leur continuum de la réalité-virtualité, comme étant ce continuum qui s'étend de l'environnement réel au virtuel. Pour sa part, la RA se trouve située plus proche de la réalité.

Figure 1

Continuum Réalité-Virtualité de Milgram (Dazenièrre, 2014 : 27)

Comme le souligne Thomas Dazenièrre dans sa thèse, la réalité augmentée apparaît en fait plus comme un concept que comme une technologie, du fait de la multiplicité des usages possibles, qui varient en fonction du contexte.

22. Julie Carmigniani *et al.*, « Augmented Reality Technologies, Systems and Applications », *Multimed Tools Appl*, 51, 2011, p. 342.

Les éléments technologiques indispensables à la réalité augmentée

Quatre éléments sont nécessaires afin de pouvoir utiliser de la RA : le restituteur, le dispositif d'entrée, le dispositif de recalage et un ordinateur²³.

1) Il existe quatre grands types de restituteur :

- Le *Head Mounted Display* (HMD) est un dispositif porté sur la tête ou sur un casque. Il permet de fusionner les deux images, réelle et virtuelle, de l'environnement observé par l'utilisateur (voir figures 2 et 3). Le HMD peut être soit un système de vidéo (*video-see-through-VST*), dans lequel est restituée la scène filmée avec un ajout d'éléments virtuels, soit un système optique (*optical-see-through-OST*), où les informations sont ajoutées sur une surface transparente. On a aussi le choix entre des dispositifs monoculaires ou binoculaires. Chaque système a ses avantages et ses inconvénients²⁴.

- Le *Hand Held Display* (HHD) : ce type de dispositif, qui est grand public, tient dans la main de l'utilisateur (voir figure 4). Il y a trois types de dispositifs actuellement de ce genre : les smartphones, les PDA et les tablettes.

Figure 2

Principe et utilisation d'un restituteur OST (Dazenièr, 2014 : 18)

23. *Ibid.*, p. 346.

24. *Ibid.*, p. 349.

Figure 3

Principe et utilisation d'un restituteur VST (Dazenière, 2014 : 19)

Figure 4

**Principe et utilisation d'un HHD et exemple d'utilisation sur smartphone
(Dazenière, 2014 : 19)**

Figure 5

Principe et utilisation d'un HUD (Dazenière, 2014 : 20)

Figure 6

Principe d'un MBD (Dazenière, 2014 : 20)

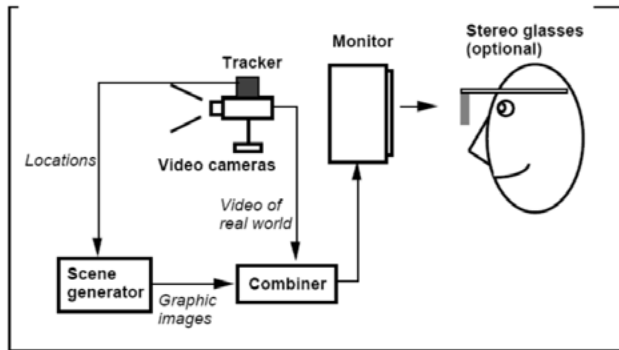


Figure 7

Exemple de bureau du futur (Raskar et al., 1998) et projection sur un véhicule (Dazenière, 2014 : 20)

- Les *Head-Up Display* (HUD) : les éléments virtuels sont projetés sur une surface semi-transparente (cockpit, pare-brise) située dans le champ visuel de l'utilisateur (voir figure 5). Ce système est notamment utilisé dans l'aéronautique et dans les voitures haut de gamme.
- Les *Monitor-Based Displays* (MBD) : l'utilisateur perçoit le monde réel ainsi que les éléments virtuels qui ont été ajoutés sur un écran. On a l'option d'utiliser des lunettes stéréoscopiques (voir figure 6).
- La *Spatially Augmented Reality* (SAR) : la SAR utilise des projecteurs vidéo, des éléments optiques, des hologrammes afin de projeter

des informations graphiques directement sur l'environnement réel, sans dispositif intermédiaire (voir figure 7).

2) **Les dispositifs d'entrée** : il existe de nombreux dispositifs pour les systèmes de RA. On trouve par exemple des gants, des bracelets connectés (*wristbands*). Le moyen utilisé dépend principalement du type d'application utilisée. Par exemple, si l'utilisateur a besoin de ses mains, on choisira alors un dispositif en ce sens.

3) **Les dispositifs de recalage** : afin de pouvoir transposer des éléments virtuels sur l'environnement réel, un système de RA doit disposer d'un système de recalage performant. Cela nécessite de connaître en permanence la position exacte de l'utilisateur dans le monde physique et de savoir aussi dans quelle direction il regarde. Ce recalage doit pouvoir se faire en temps réel dans les six degrés de liberté²⁵. C'est en particulier sur ce point technique que les verrous existent encore même si d'énormes progrès ont eu lieu. Ces dispositifs sont des caméras numériques et/ou des senseurs optiques, des dispositifs GPS, des accéléromètres, des compas, des senseurs sans fil... Chaque technologie fournit un degré de précision plus ou moins grand²⁶.

4) **Les ordinateurs** : la RA nécessite des processeurs puissants et une grande capacité de mémoire RAM afin de pouvoir traiter les images vidéo. Il est à noter que la croissance exponentielle des performances des composants électroniques sur le plan de la consommation énergétique, de la vitesse et de la capacité d'intégration permet une miniaturisation de plus en plus importante de ces dispositifs, ce qui permet entre autres une plus grande mobilité. Les smartphones de dernière génération permettent désormais de faire des choses qui auraient nécessité des PC il y a encore quelques années.

L'un des aspects les plus importants de la réalité augmentée est de développer un système permettant une interaction intuitive entre l'utilisateur et le contenu virtuel des applications. Il existe quatre prin-

25. Les trois dimensions (longitude, latitude et altitude) et les trois rotations (tangage, roulis et lacet).

26. Thomas Dazenière, *Application d'une nouvelle taxonomie à la conception et l'évaluation ergonomique de systèmes de réalité augmentée pour le fantassin*, thèse de doctorat en ergonomie, Université de Lorraine, 2014, p. 22.

cipaux types d'interaction qui ont lieu au travers d'interfaces tangibles, collaboratives, hybrides et enfin multimodales.

Figure 8

Illustration système Sixth Sense (Dazenière, 2014 : 15)

Dans le cas des interfaces tangibles, on a une interaction directe avec le monde réel au travers d'objets physiques réels et d'outils. C'est par exemple le cas des applications VOMAR et TaPuMa²⁷. En ce qui concerne les interfaces collaboratives, on utilise plusieurs dispositifs afin d'intégrer des activités collaboratives à distance. C'est le cas avec le Studierstube²⁸. Pour les interfaces hybrides, on a un assortiment d'interfaces différentes mais complémentaires qui permettent d'interagir au moyen d'un grand nombre de dispositifs, ce qui permet une certaine souplesse d'utilisation et une plus grande marge de manœuvre. Enfin, dans le cas des interfaces multimodales, plus récentes, celles-ci combinent à la fois l'utilisation d'objets réels avec un certain nombre d'attitudes/comportements au travers de la parole, le toucher, les gestes de la main ou le regard. C'est par exemple le cas de *Sixth Sense* développé par le *Massachusetts Institute of Technology* (voir figure 8).

Un marché potentiel énorme en voie de consolidation

Selon un certain nombre d'études, il existerait un marché potentiel énorme en réalité virtuelle (RV) et en réalité augmentée (RA), même si

27. J. Carmigniani *et al.*, « Augmented Reality Technologies, Systems and Applications », art. cité, p. 351.

28. *Ibid.*, p. 351.

ce dernier n'est encore pour l'instant que balbutiant. Il suffit pour cela de voir l'évolution technologique récente en la matière ainsi que les investissements en cours. Plus la technologie avance et se démocratise, plus les prix baissent et de nouveaux marchés apparaissent. Plusieurs études prospectives de marché anticipent ainsi une révolution proche, identique en termes de portée à celle que l'on a pu connaître avec la généralisation du PC et du smartphone. Ce qui n'était encore que pure science-fiction il y a seulement quelques années serait en passe de devenir une réalité, largement répandue et utilisée.

Une étude de Goldman Sachs de 2016²⁹ prévoit ainsi trois scénarios en ce qui concerne le futur de la RV et de la RA. Le scénario de base, médian, anticipe des revenus sur le marché de ces technologies aux alentours de 80 milliards de dollars³⁰ (45 milliards pour le hardware et 35 milliards pour le software) en 2025. Si ce scénario prévoit une amélioration de la technologie, celle-ci reste encore limitée en raison de problèmes liés à la mobilité et à la durée de vie des batteries. Un deuxième scénario, plus optimiste, prévoit un marché de 182 milliards de dollars (110 milliards de dollars en matériels et 72 milliards de dollars en logiciels). Ce scénario envisage donc l'explosion des usages de la RV et de la RA, cette dernière technologie passant d'une logique de niche à une diffusion de masse. Enfin, dans un troisième et dernier scénario, Goldman Sachs prévoit de manière plus pessimiste un marché plus réduit, de l'ordre de 23 milliards de dollars (15 milliards de dollars en équipements et 8 milliards de dollars en logiciels), du fait de contraintes technologiques ou juridiques non encore résolues, comme par exemple dans les domaines de la latence, de la sécurité des données et du respect de la vie privée.

Dans la même étude de marché, Goldman Sachs entrevoit neuf secteurs principaux dans lesquels la technologie RV et RA pourrait se développer : les jeux vidéo, les événements en direct, la vidéo, la santé, l'immobilier, l'éducation, l'ingénierie et la défense. Si en son temps le développement du PC fut porté par les entreprises et celui du smartphone par les consommateurs, Goldman Sachs anticipe que

29. *Virtual and Augmented Reality-Understanding the Race for the next Computing Platform*, Rapport de Goldman Sachs, 13/01/2016.

30. À titre de comparaison, en 2016, le marché des notebooks représentait 111 milliards de dollars, celui des ordinateurs de bureau 62 milliards de dollars et enfin celui des consoles de jeux vidéo, 14 milliards de dollars.

ces deux acteurs, entreprises et consommateurs, vont avoir un rôle conjoint à jouer dans le développement et la diffusion en masse de ces technologies. Ils estiment ainsi, dans leur scénario médian, qu'en 2025 les revenus liés aux technologies RV et RA seront portées à 60 % par les consommateurs et 40 % par les entreprises et le secteur public.

Les premiers marchés qui semblent devoir être les plus prometteurs en termes de RV et de RA seraient l'immobilier, la vente et la santé. Il est à noter que cette technologie aurait d'ailleurs une capacité disruptive, en obligeant ces secteurs à revoir leur modèle économique. Le marché de l'immobilier de luxe commence ainsi à faire visiter des biens en réalité virtuelle, avec un impact anticipé sur le marché des commissions. Certaines grandes enseignes de vente, comme Lowes aux États-Unis, mettent à disposition de leurs clients des *Holorooms* dans lesquels ceux-ci peuvent anticiper l'effet de leurs travaux de rénovation dans un monde virtuel. Le monde médical commence pour sa part à expérimenter la technologie RA, ce qui les amène à s'affranchir de certains outils médicaux, qui aujourd'hui génèrent un marché de 16 milliards de dollars. On peut donc penser que les années à venir vont être marquées par des changements profonds dans ces différents secteurs du fait de l'arrivée de ces technologies.

Néanmoins, Goldman Sachs entrevoit un certain nombre d'obstacles et de défis à relever avant que ces technologies puissent se développer en masse, comme par exemple la question de l'amélioration de l'expérience utilisateur, celles de l'acceptation de la technologie et du dépassement des contraintes techniques actuelles (*cyber sickness*, faible mobilité actuelle), ainsi que le nécessaire développement du contenu et des applications. Un certain nombre d'entreprises et de consommateurs sont en effet assez hésitants à acheter des équipements, qui sont encore très chers, alors qu'il existe encore peu de contenu et d'applications disponibles. À l'inverse, les développeurs hésitent à investir dans les contenus et applications alors que le marché potentiel est encore très réduit.

Pour sa part, Digi-Capital estime que le marché combiné de la réalité virtuelle et de la réalité augmentée pourrait dépasser les 118 milliards de dollars en 2021, répartis comme suit, 93 milliards de dollars pour la RA contre 25 milliards de dollars pour le marché de la réalité

virtuelle³¹. Dans son étude, Digi-Capital définit cinq conditions de succès nécessaires pour que le marché de la réalité augmentée puisse se développer : 1) un appareil révolutionnaire (comme le fut par exemple l'iPhone) ; 2) une durée de batterie importante (24 heures) ; 3) la connectivité mobile ; 4) du contenu, ce qui implique de disposer d'un écosystème d'applications florissant ; 5) un financement croisé des équipements par les grandes entreprises du secteur. Ce sont d'après eux les conditions *sine qua non* de la dynamisation du marché de la RA. Selon la même étude, le grand public devrait avoir accès à cette technologie grâce aux premiers smartphones équipés de réalité augmentée ; leur commercialisation devrait avoir lieu en 2018. En revanche, les lunettes de réalité augmentée devraient pour l'instant rester cantonnées à un marché d'entreprises.

Il est en effet à noter que pour la RA le marché professionnel devrait être, au moins dans un premier temps, le plus porteur car il permet d'éviter les nombreux débats et polémiques liés à la question du respect de la vie privée, du fait de l'utilisation permanente de caméras et d'appareils photos, comme on avait pu le constater lors de la sortie grand public des *Google Glass*. Ainsi, en 2025, d'après le cabinet de conseil Forrester Research, 14,4 millions d'ouvriers américains devraient être équipés de lunettes intelligentes (*Google Glass* ou casque *HoloLens*) contre 400 000 aujourd'hui ; les grandes entreprises devraient dépenser 3,6 milliards de dollars (3,4 milliards d'euros) en casques de réalité augmentée, alors qu'elles n'y ont consacré que 6 millions de dollars (5,6 millions d'euros) en 2016. Dans le même ordre d'idées, si on regarde le marché international de l'imagerie 3D, celui-ci ne pesait que 4,9 milliards de dollars (4,6 milliards d'euros) en 2015. D'après le cabinet d'études indien Markets and Markets, ce marché devrait exploser dans les années qui viennent pour atteindre 16,6 milliards de dollars (15,5 milliards d'euros) en 2020³².

En s'intéressant plus précisément à l'année en cours, on peut constater une forte progression des investissements en RA et RV au cours du second trimestre 2017. Les entreprises du secteur ont ainsi levé plus de 800 millions de dollars de fonds sur la période, ce qui représente

31. <https://viuz.com/2017/01/31/etude-le-marche-potentiel-de-lar-realite-augmentee-superieur-a-la-vr-realite-virtuelle/> (consulté le 04/12/2017).

32. Sara Castellanos, « Réalité augmentée. Les hologrammes s'invitent à l'usine », *Courrier international*, 2017.

un record depuis 2011 et les premiers chiffres disponibles, selon Digi-Capital. Cela marquerait donc une reprise des investissements après un ralentissement avec deux exercices consécutifs orientés à la baisse.

Graphique 1

Investissements en RA et RV (2001-2017)³³

Selon le rapport de Digi-Capital, près de 90 % des financements concerneraient le secteur de la vidéo, des jeux, des périphériques, des lunettes intelligentes et enfin pour une grosse moitié des sociétés purement technologiques, à savoir des entreprises travaillant à l'amélioration des technologies nécessaires au développement de la RA et de la RV. Ces financements ont pour objectif d'améliorer la résolution, la captation des mouvements et la précision des contenus, etc. Les secteurs d'activités comme l'éducation, le commerce, la santé, la publicité, bien qu'actifs, seraient pour l'instant encore très minoritaires. En outre, les tendances des deux derniers trimestres (Q4 2016 et Q1 2017) semblaient indiquer un ciblage plus serré des investissements, les sommes investies étaient individuellement plus importantes mais destinées à un nombre plus restreint d'acteurs. On note aussi la

33. <https://www.realite-virtuelle.com/investissements-en-ar-et-vr-hausse-q2-1307> (consulté le 04/12/2017).

présence de plus en plus appuyée des géants des nouvelles technologies comme Facebook, Google, Apple, HP et Microsoft³⁴.

Une autre technologie émergente, la réalité mixte, ayant pour but de combler l'écart qui existe entre la réalité augmentée et la réalité virtuelle, doit aussi faire l'objet d'une veille attentive ; elle pourrait en effet concerner un marché potentiel de 6,8 milliards de dollars en 2024 selon une étude menée par Grand View Research³⁵.

Un marché caractérisé par une forte concurrence technologique

On assiste à une très forte concurrence technologique dans les domaines de la RA et de la RV. Si en réalité augmentée Microsoft a pris aujourd'hui une certaine avance avec son HoloLens, le marché de la réalité augmentée ne lui est cependant pas acquis pour autant. Ainsi, en janvier 2017, l'entreprise ODG annonçait deux nouvelles paires de lunettes baptisées R8 et R9, qui s'adressent à la fois au marché professionnel et grand public. Lenovo pour sa part annonçait aussi des lunettes connectées à réalité augmentée pour les professionnels. Les choses vont vite dans ce secteur d'activité ; la concurrence est rude et peut imposer des changements de stratégie aussi soudains que brutaux. Ainsi, lors de la *Worldwide Developers Conference 2017*, Apple a présenté le kit de développement ARKit dédié à la réalité augmentée. Google qui, pour sa part, travaillait depuis trois ans sur un projet analogue, baptisé Tango, a finalement annoncé le 29 août 2017 l'abandon de la plate-forme Tango, au profit d'une approche identique à celle d'Apple, en présentant ARCore, un kit de développement logiciel qui a pour but de démocratiser la réalité augmentée sur Android³⁶.

Les grands noms du secteur se lancent donc dans le développement de ces technologies, afin de les démocratiser. Apple aurait ainsi fait de la réalité augmentée son prochain pari technologique. Tim Cook, PDG d'Apple, y verrait un potentiel identique à ce que l'on a connu

34. <https://www.realite-virtuelle.com/investissements-en-ar-et-vr-hausse-q2-1307> (consulté le 04/12/2017).

35. <http://itrmobiles.com/articles/168289/lemergence-de-la-realite-mixte-un-marche-estime-a-68-milliards-de-dollars-en-2024.html> (consulté le 04/12/2017).

36. <https://www.usine-digitale.fr/article/realite-augmentee-en-reponse-a-apple-google-annonce-arcore-et-arrete-tango.N580743> (consulté le 04/12/2017).

avec l'arrivée du smartphone. Pour lui, dans un futur proche, tout un chacun sera amené à avoir « des expériences de réalité augmentée chaque jour. Ce sera presque aussi naturel que manger trois repas par jour. Cela deviendra une partie de vous ». L'entreprise y consacrerait le travail de plusieurs centaines d'ingénieurs afin de pouvoir rendre rapidement accessible cette technologie au plus grand nombre. Ils seraient ainsi en train de développer une paire de lunettes connectées³⁷.

On assiste aussi actuellement à un sursaut des investissements ciblés sur la création de contenus. Merge VR a ainsi établi un fond d'investissement de 1 million de dollars afin d'encourager la communauté des développeurs à créer des applications pour la RA et la RV. Cette entreprise a en effet développé des lunettes VR compatibles avec les iPhone et les appareils sous Android. La question est désormais de disposer d'applications permettant de profiter à plein de cette technologie. Cette entreprise lancera prochainement un nouveau produit, le Merge Cube, qui devrait permettre de tenir et d'interagir avec des hologrammes.

37. <https://www.silicon.fr/pari-techno-apple-realite-augmentee-171661.html?infby=5a251e21671db84d178b498b> (consulté le 04/12/2017).

II. DOMAINES D'UTILISATION POSSIBLES DE LA RÉALITÉ AUGMENTÉE

De manière générale, les technologies immersives s'avèreraient être plus adaptées au secteur industriel et manufacturier qu'à celui des particuliers ; cela serait le cas pour les réalités augmentée et mixte³⁸. La RA étant avant tout un concept plus qu'une technologie, il existe donc une multitude de contextes d'application possibles, quel que soit le type d'environnement, que l'on soit en intérieur ou à l'extérieur, en statique ou en dynamique³⁹. En voici quelques exemples.

1. LE SECTEUR DE LA VENTE : LA RÉALITÉ AUGMENTÉE, SOURCE D'AMÉLIORATION DE LA PRODUCTIVITÉ ET DES CONDITIONS DE TRAVAIL

De nombreuses sociétés s'intéressent à ces technologies, et en particulier à l'utilisation de lunettes RA dans le cadre professionnel, afin d'améliorer la productivité mais aussi les conditions de travail de leurs employés. Comme nous l'avons indiqué précédemment, ces technologies vont même jusqu'à transformer les processus industriels en entreprise. C'est par exemple le cas de l'Allemand ThyssenKrupp⁴⁰, qui a développé en collaboration avec Microsoft, sur la base des HoloLens, une application dédiée à la conception de monte-escaliers. Ses employés envoyés sur le terrain sont désormais équipés de lunettes de réalité mixte (RM) avec pour conséquence immédiate des temps de livraison divisés par quatre. Alors que depuis vingt ans, ThyssenKrupp utilisait les mêmes techniques de travail à savoir repérage, récolte manuelle des dimensions, production et installation, l'arrivée des Microsoft HoloLens a modifié ce process en le raccourcissant, grâce aux fonctionnalités de la réalité mixte. Cette technologie permet de prendre des mesures en un temps record, de valider les plans et d'en-

38. Si la réalité augmentée permet d'insérer en temps réel des informations virtuelles dans un environnement réel, la réalité mixte pousse le concept encore plus loin en permettant à l'utilisateur d'interagir avec les éléments virtuels intégrés.

39. Th. Dazenière, *Application d'une nouvelle taxonomie à la conception et l'évaluation ergonomique de systèmes de réalité augmentée pour le fantassin*, op. cit., p. 16.

40. <https://www.goglasses.fr/realite-augmentee/microsoft-hololens-realite-mixte-transformation-digitale-thyssenkrupp> (consulté le 04/12/2017).

voyer instantanément les données aux équipes de fabrication, ce qui réduit *de facto* le temps de livraison par quatre et contribue aussi à l'amélioration de l'expérience client, qui peut désormais prévisualiser son monte-escalier en réalité mixte. On peut voir ici tout le potentiel et les avantages de cette technologie dans le secteur industriel : gain de temps, productivité et conditions de travail améliorées, coûts financiers réduits.

2. LE SECTEUR DE LA LOGISTIQUE : GAIN DE PRODUCTIVITÉ ET RÉDUCTION DU RISQUE D'ERREUR HUMAINE

Le secteur de la logistique n'est pas en reste et s'intéresse aussi aux opportunités que laissent présager les technologies RV et RA. C'est par exemple le cas de la société Geodis qui expérimente une solution de réalité augmentée baptisée *Pick-By-Vision* mise au point par la société Picavi sur la base de lunettes connectées. Celles-ci fournissent aux préparateurs de commandes l'ensemble des informations nécessaires (mode de chargement à prévoir, nombre d'articles et leurs emplacements, images des produits, lieu de stockage avant expédition) puis permettent de valider automatiquement la commande une fois celle-ci préparée. Geodis espère ainsi réduire le risque d'erreurs humaines, pouvoir former plus rapidement ses nouveaux employés, notamment lors de pics d'activité et, du coup, améliorer sa productivité avec un gain estimé de 12 %⁴¹.

3. LE SECTEUR MÉDICAL : TÉLÉMÉDECINE ET OPÉRATIONS MOINS INVASIVES

Un autre champ d'application prometteur de la technologie RA est la médecine, avec là aussi une infinité de possibilités, limitées par la seule imagination des développeurs et des médecins. Grâce à des visualisations en 3D des organes, les chirurgiens pourront ainsi simu-

41. <http://www.voxlog.fr/actualite/2387/geodis-experimente-les-lunettes-connectees> (consulté le 04/12/2017).

ler des opérations en utilisant une réplique exacte de l'organe de leur patient, qui réagira en temps réel aux gestes du chirurgien et transmettra en retour des sensations à ses mains⁴².

L'un des axes de recherche concerne aussi l'utilisation de la technologie RA afin de rendre les opérations moins invasives, en permettant au chirurgien équipé de lunettes spéciales de voir l'intérieur du corps sans forcément avoir à pratiquer de larges incisions, ce qui réduit d'autant les gestes médicaux et les risques d'infection qui y sont liés⁴³. Une autre possibilité, utile pour les armées dans le cas de blessés en opérations, serait de pouvoir faire appel à distance à des spécialistes restés en métropole. Ceux-ci pourraient ainsi guider à distance le chirurgien présent sur le territoire grâce à un dispositif de réalité augmentée.

Si les opportunités offertes semblent particulièrement intéressantes pour le domaine de la santé, un certain nombre d'obstacles existent encore dus aux limitations technologiques actuelles en termes de retour haptique par exemple, aux questions de respect du secret médical et de la vie privée des patients et enfin à la nécessité de former l'ensemble du personnel médical à ces nouveaux outils qui vont engendrer de nouvelles pratiques.

4. LE SECTEUR DE L'ÉDUCATION : RENFORCEMENT DU CÔTÉ PRATIQUE DE LA FORMATION ET DE LA MOTIVATION DES ÉLÈVES

Si cela fait déjà plusieurs années que l'on réfléchit à la manière d'utiliser ces technologies dans le monde de l'éducation, il existe encore un certain nombre d'obstacles à lever comme la difficulté d'intégrer ces technologies aux méthodes d'apprentissage traditionnelles, les coûts de développement et d'entretien de ces systèmes, sans parler de la résistance au changement et plus particulièrement aux nouvelles technologies.

Cela étant dit, une fois de plus les applications possibles semblent illimitées, la RA pouvant être utilisée dans de nombreuses matières, comme par exemple l'astronomie (l'application *Sky Map* de Google),

42. <https://www.latribune.fr/technos-medias/informatique/20100408trib000496561/la-realite-augmentee-au-service-de-la-medecine.html> (consulté le 04/12/2017).

43. <http://www.atlantico.fr/atlantico-light/chirurgie-suivez-operation-en-realite-augmentee-en-direct-internet-3245473.html> (consulté le 08/12/2017).

en chimie, en biologie (pour l'étude anatomique des organes du corps), en mathématiques, en géométrie et en physique. Plusieurs recherches démontrent que le fait d'utiliser des techniques de réalités augmentée et virtuelle dans une salle de classe, quel que soit le niveau, permettrait d'augmenter la motivation des élèves à apprendre. Ces technologies renforceraient en effet le côté pratique de l'enseignement en permettant à l'élève de voir ou d'interagir avec l'objet étudié⁴⁴. Les jeunes générations, habituées dès leur plus jeune âge à la présence d'objets connectés dans leur environnement quotidien, semblent particulièrement réceptifs à ce genre d'apprentissage.

5. LA MAINTENANCE AÉRONAUTIQUE : LA RA, UNE TECHNOLOGIE GAGNEUSE POUR LA MEILLEURE SÉCURITÉ

Les applications de réalités augmentée et mixte commencent aussi à montrer tout leur potentiel dans le secteur de la maintenance aéronautique. Des clés de serrage connectées, couplées à un casque HoloLens, permettent au mécanicien d'avoir en temps réel des indications sur le niveau de serrage, tout en ayant un rappel sur les consignes de sécurité. Cela permet ainsi d'éviter toute fausse manipulation, source potentielle d'accident. Un autre intérêt est de pouvoir collecter de manière systématique un ensemble d'informations (numéro de série, nom de l'opérateur, date et durée d'intervention) dans des environnements de plus en plus régulés où le suivi est devenu la norme⁴⁵.

Dans le même ordre d'idée, les mécaniciens de chez Dassault Aviation utilisent HoloLens, l'ordinateur holographique autonome de Microsoft, pour les aider dans certaines opérations de maintenance des avions Rafale et Falcon. HoloLens leur fournit une vision de l'avion, enrichie d'éléments numériques, ce qui contribue à l'amélioration des performances des opérateurs, de leur productivité et par conséquent de la disponibilité des avions. Dans le futur, ce concept a pour vocation à se décliner à toutes les étapes du cycle de vie d'un avion, de la

44. Lee Kangdon, « Augmented reality in Education and Training », *TechTrends*, 2012.

45. <https://www.usine-digitale.fr/article/bourget-2017-ptc-veut-seduire-le-secteur-aeronautique-avec-de-la-realite-augmentee-et-de-l-iiot.N554888> (consulté le 04/12/2017).

conception (création collaborative multi-métiers) à la maintenance, en passant par la fabrication. Cette technologie est d'ores et déjà utilisée dans l'apprentissage des mécaniciens, ce qui permet d'accélérer le processus de formation. L'intégration d'une telle technologie semble aussi avoir pour conséquence de transformer les processus métiers mais aussi la prise de décision opérationnelle.

Dans ce secteur, Dassault n'est pas le seul à avoir compris l'utilité de ces nouvelles technologies. Le groupe Safran utilise ainsi la réalité augmentée dans son usine de montage des moteurs d'avions LEAP afin d'en garantir la qualité et de réduire les marges d'erreur. Des écrans tactiles et des rétroprojecteurs assistent les opérateurs dans le montage complexe des pièces⁴⁶.

Pour leur part, les mécaniciens de Boeing utilisent des *Google Glass* dans le cadre de l'assemblage des circuits complexes des câbles électriques des avions. Depuis qu'ils utilisent ce système de « réalité assistée », le constructeur aurait

réduit le temps de production de 25 % et considérablement diminué le risque d'erreur⁴⁷ ».

Ces technologies ne concernent pas que le secteur aéronautique. Le constructeur Naval Group (ex-DCNS) réfléchit à l'utilisation de casques HoloLens dans le cadre des opérations d'installation de la tuyauterie dans ses navires, afin de réduire le nombre d'erreurs humaines, source de baisse de la productivité.

6. INTERVENTIONS DANS DES MILIEUX À RISQUE

Un certain nombre d'industriels dont les opérateurs doivent intervenir dans des milieux à risque réfléchissent aussi à l'utilisation possible des technologies RV et RA dans leur secteur d'activité. C'est par

46. http://www.voxlog.fr/dossier/43_2/melanger-reel-et-virtuel (consulté le 04/12/2017).

47. S. Castellanos, « Réalité augmentée. Les hologrammes s'invitent à l'usine », art. cité.

exemple le cas d'Areva⁴⁸, spécialiste français du nucléaire civil, qui cherche à utiliser la réalité augmentée (casque HoloLens) afin d'aider ses techniciens à mener des interventions potentiellement très délicates, en temps limité, avec peu d'outils, dans un environnement à haut risque, comme par exemple dans le cas d'opérations de maintenance des cuves des réacteurs de centrales nucléaires. Cela n'est pas sans poser d'importants défis ergonomiques et techniques. En effet, la technologie, qui doit impérativement être fiable et stable, doit faciliter la tâche de l'opérateur et ne surtout pas la compliquer, vu que l'opération est déjà par elle-même stressante.

7. LA RÉALITÉ AUGMENTÉE, UNE TECHNOLOGIE DE POINTE POUR LES ARMÉES

Le domaine de la Défense n'est pas en reste et de nombreuses armées dans le monde cherchent à profiter des avancées technologiques des réalités augmentée et virtuelle pour donner l'avantage à leurs soldats face aux ennemis qu'ils auront à combattre, en leur permettant de conserver l'initiative et en leur garantissant la supériorité tactique.

La simulation

L'un des champs d'application de ces nouvelles technologies dans les armées est la simulation. Ainsi, les armées américaines, et en particulier le Marine Corps, conduisent un certain nombre d'expérimentations sur des technologies liées à la RA et développées par l'Office of Naval Research. C'est par exemple le cas de l'*Interactive Tactical Decision Game* (ITDG)⁴⁹ qui est une application qui permet aux Marines de planifier leurs missions et de conduire des exercices de simulation au niveau tactique, en utilisant le casque de réalité augmentée HoloLens. L'objectif de cet outil est, d'une part, d'entraîner les soldats à la prise de décision rapide, en lui donnant la possibilité de participer à une multitude de missions simulées dans la sécurité d'une salle de classe, mais aussi, d'autre part, de servir d'outil de retour d'expérience

48. <https://www.realite-virtuelle.com/areva-realite-augmentee-securite-nucleaire-0307> (consulté le 04/12/2017).

49. <https://i-hls.com/archives/74234> (consulté le 04/12/2017).

en permettant au soldat de revenir *a posteriori* sur ce qu'il a fait lors de l'exercice.

Pour sa part, l'US Army s'est donné pour objectif de disposer de moyens de simulation, faisant appel aux technologies RV et RA, afin d'entraîner ses soldats à intervenir dans des environnements complexes, qui seraient trop compliqués, trop dangereux et trop chers de reproduire en réel. L'idée est donc à terme de mettre cette technologie à disposition de chaque soldat de la force opérationnelle terrestre. Si, dans un premier temps, le cœur de cible est le soldat fantassin, rien n'empêchera dans un second temps d'adapter cette technologie pour les soldats embarqués ou les équipages d'hélicoptères. Quoi qu'il en soit, cela devra cependant se faire à un prix raisonnable et en respectant un certain nombre de contraintes. Il faudra en effet que l'équipement fourni soit léger et confortable afin que le soldat en arrive à l'oublier mais aussi que les images générées soient suffisamment réalistes pour donner envie au soldat de l'utiliser. L'un des plus gros défis est en effet de rendre l'expérience RA réaliste, en créant par exemple des personnes et des machines évoluant parmi des personnes réelles, selon un procédé appelé « occlusion dynamique ». L'US Army prévoit ainsi une maturité de cette technologie à la fin 2020, avec dans la foulée une phase d'expérimentation opérationnelle. Comme on peut le constater, ces technologies évoluent très vite et deviennent de plus en plus abordables.

Améliorer l'appréciation de situation

De la même façon, l'US Army⁵⁰ est aussi en train de développer le système *Tactical Augmented Reality* (TAR), fondé sur des lunettes RA, avec l'ambition d'améliorer l'appréciation de la situation tactique (*situational awareness*) du soldat, en lui fournissant des informations contextualisées comme la localisation des alliés et des ennemis, et en identifiant la position précise du soldat sur le terrain.

50. https://www.army.mil/article/188088/heads_up_display_to_give_soldiers_improved_situational_awareness (consulté le 04/12/2017).

Les lunettes TAR pourraient, en outre, être dotées de fonctionnalités complémentaires, en se connectant par exemple à la caméra thermique placée sur l'arme du soldat. L'objectif serait ainsi de faciliter l'accès aux informations pertinentes, en combinant et fusionnant les données générées par plusieurs équipements, ce qui permettrait ensuite de partager ces informations ou images avec les autres soldats de son unité et donc de gagner en connaissance de l'environnement tactique. Tout ceci n'en est encore pour l'instant qu'au stade du développement.

L'entraînement

Utiliser les technologies RV et RA dans le cadre de l'entraînement militaire n'est pas chose facile, tant d'un point de vue technique que pédagogique, mais c'est ce que s'efforce de faire l'US Navy par exemple avec les systèmes GunnAR et IVSE.

Pour le premier, elle a ainsi collaboré avec Daqri, une entreprise spécialisée dans le développement de casques de chantier utilisant la réalité augmentée, afin de développer un prototype de casque RA nommé l'*Unified Gunnery System Augmented Reality* (GunnAR)⁵¹. L'objectif est d'améliorer la précision et la vitesse de tir des marins, notamment grâce à une analyse du terrain et une identification visuelle des cibles.

Pour le second système, la société Cubic a développé pour la marine américaine un programme innovant de formation pour les marins des nouveaux bâtiments de surface LCS (*Littoral Combat Ship*)⁵². L'IVSE

51. <https://www.goglasses.fr/realite-augmentee/casque-militaire-ar-armee> (consulté le 04/12/2017).

52. <https://www.cubic.com/News/Blog/Articles/ArticleType/ArticleView/ArticleID/1809> (consulté le 04/12/2017).

(*Immersive Virtual Shipboard Environment*) immerge les marins formés dans un environnement virtuel 3-D réaliste dans lequel ils doivent accomplir les mêmes tâches qu'ils auraient à faire dans le monde réel. Ils travaillent désormais à améliorer le réalisme de cet environnement, en faisant intervenir les autres sens comme l'odorat ou le toucher (technologie haptique).

Si les recherches se focalisent aujourd'hui surtout sur le fantassin, il ne faut pas perdre de vue les autres domaines, moins directement opérationnels, où des systèmes de RA ou de réalité mixte pourraient être utilisés : maintenance des systèmes d'armes, gestion des stocks mais aussi le recrutement, la formation, etc. Dans le cas du soutien médical, on peut imaginer, par exemple, de mettre en place des capteurs physiologiques sur le soldat afin de suivre en temps réel ses constantes vitales et pouvoir déclencher au plus tôt une évacuation sanitaire. On peut aussi entrevoir dans un contexte d'opération extérieure de pouvoir faire appel à distance aux meilleurs spécialistes, restés en métropole et conseillant le chirurgien qui, sur le terrain, conduit l'opération. On peut aussi anticiper des applications dans le domaine de la traduction, avec une technologie couplant la RA et le traitement automatique du langage. Cela permettrait ainsi aux soldats de se rendre moins dépendants de traducteurs locaux à l'allégeance parfois incertaine. Les évolutions récentes (réseau de neurones, prémices d'IA, augmentation des capacités de calcul, etc.) rendent cela désormais largement envisageable.

III. UNE TECHNOLOGIE PROMETTEUSE POUR LES ARMÉES SOUS RÉSERVE DE LA PRISE EN COMPTE DE CONSÉQUENCES PRÉVISIBLES ET D'UN CERTAIN NOMBRE DE RISQUES

1. UNE RÉVOLUTION À VENIR

On nous annonce aujourd'hui, grâce aux technologies de réalités augmentée et virtuelle, une révolution d'ampleur, comparable voire supérieure en intensité et en capacité disruptive à l'arrivée de l'ordinateur personnel et des smartphones. Les limitations technologiques, qui encore récemment bridaient le développement de la RA et de la RV, sautent peu à peu, les unes après les autres, dans un mouvement d'accélération technologique. La prochaine étape, qui a déjà débuté avec notamment les lunettes HoloLens⁵³ de Microsoft, devrait être celle de la réalité mixte. En effet, si la réalité augmentée permet d'insérer en temps réel des informations virtuelles dans un environnement réel, la réalité mixte pousse le concept encore plus loin en permettant à l'utilisateur d'interagir avec les éléments virtuels intégrés. Il semblerait que nous disposions d'ores et déjà de l'ensemble des technologies nécessaires à la fusion de ces réalités ; il ne resterait donc plus qu'à passer à la phase d'industrialisation. Ce défi a été bien compris par les grands acteurs du secteur, qui multiplient les investissements et qui mènent une compétition féroce pour être les premiers à capter ce marché et à imposer leur norme.

La question n'est donc pas de savoir si ces technologies RV et RA vont percer mais plutôt quand elles le feront. On peut d'ores et déjà percevoir les possibilités multiples que celles-ci offrent. D'ici quelques années, « on pourrait ainsi imaginer un monde sans écrans et sans commandes de contrôle sur les machines. Les informations pertinentes s'afficheront directement sur nos appareils en fonction

53. Plus léger qu'un casque de réalité virtuelle, le Microsoft HoloLens permet de conserver une certaine mobilité. Ciblait aujourd'hui principalement le marché professionnel, il est déjà utilisé ou expérimenté par de nombreuses entreprises comme par exemple ThyssenKrupp Ascenseurs, Airbus, Saab, Audi, Volvo, ou encore la NASA.

de nos besoins, puisque chacun portera sur soi l'interface utilisateur ultime, celle qui se sera enfin adaptée à l'homme et non l'inverse⁵⁴ ».

2. LES DÉFIS DE CONCEVOIR UN SYSTÈME DE RA POUR LES ARMÉES

Face à l'engouement suscité par ces technologies, les armées ne sont pas en reste et réfléchissent sérieusement à leur champ d'application dans le domaine militaire, dans un cadre avant tout opérationnel, afin d'améliorer, par exemple, l'appréciation de la situation tactique du soldat (direction de l'objectif, présence de forces amies ou ennemies, accès aux images de caméras ou senseurs déportés, etc.). Dans un contexte opérationnel, la technologie RA doit idéalement permettre au soldat de prendre l'avantage en termes de mobilité, de protection et d'aptitude au combat, tout en améliorant sa capacité à travailler de manière collaborative. Si la plupart des recherches se focalisent ainsi actuellement sur des applications destinées au soldat à pied opérant dans un environnement urbain⁵⁵, d'autres domaines de recherche concernent cependant aussi les avions et les véhicules blindés⁵⁶.

Même si l'on assiste aujourd'hui à une accélération significative des recherches et des avancées dans le domaine de la réalité augmentée, cette technologie n'en est cependant encore qu'à ses balbutiements. Elle présente, sans nul doute, une myriade de possibilités intéressantes, mais il ne faut cependant pas oublier que concevoir un système de réalité augmentée est extrêmement complexe, et ce d'autant plus que ce système sera utilisé dans un contexte opérationnel, avec des contraintes d'environnement propres à ce cadre d'emploi très particulier.

La première de ces contraintes concerne le niveau de stress particulièrement élevé dans lequel un utilisateur militaire va potentiellement se trouver au moment d'utiliser cette technologie. Cela a pour conséquence de diminuer d'autant son seuil de tolérance à toute surcharge

54. <https://www.usine-digitale.fr/editorial/realite-virtuelle-et-augmentee-d-ou-part-on-et-ou-va-t-on.N494629> (consulté le 06/12/2017).

55. Michael Karlsson, *Challenges of Designing Augmented Reality for Military Use*, Institutionen för informatik, 2015, p. 27.

56. Projet ISAS (Intelligent Situational Awareness System) mené par Hägglunds (Karlsson, 2015 : 29), branche suédoise de la société BAE Systems, en vue de doter les équipages de véhicules blindés de solutions RA.

cognitive. Un système de réalité augmentée mal conçu pourrait avoir des effets inverses à ceux escomptés et rendre donc plus compliquée la tâche du soldat.

Par ailleurs, dans un contexte opérationnel, le système de RA va être utilisé sur un champ de bataille par nature chaotique, où l'imprévisibilité est de rigueur. Il faut donc être idéalement en mesure de concevoir un système flexible, modulaire et durable, capable de s'adapter et même d'apprendre. L'arrivée annoncée dans les années à venir de l'intelligence artificielle rendra cela sans doute possible mais ce n'est pas encore le cas aujourd'hui.

Un autre élément à prendre en compte est celui de la diversité des profils des soldats qui composent les forces. Tous n'ont pas ainsi la même appétence pour les technologies numériques. Si les armées ont un impératif de jeunesse, elles ont néanmoins dans leurs rangs du personnel de générations plus anciennes, qui ont pu avoir une exposition moindre aux nouvelles technologies. Toute la gageure est donc de pouvoir concevoir un système de RA qui apporte une plus-value au combattant, en termes d'informations fournies et de facilitation de la mission, tout en pouvant être utilisé par tous. Il est donc important que le système proposé soit simple et intuitif à mettre en œuvre. Le gain opérationnel, l'avantage tactique fournis doivent être évidents et compris par tous.

Toutes ces contraintes rendent donc d'autant plus nécessaire la participation des ergonomes à la conception de ces systèmes complexes. Il est en effet impératif de bien comprendre quels sont les besoins de l'utilisateur afin d'éviter tout décalage entre le besoin terrain et la solution proposée. Ce problème récurrent de la conception de tout matériel ou équipement militaire est ici accru par la complexité des systèmes sociotechniques envisagés.

3. UNE TECHNOLOGIE DISRUPTIVE, AVEC QUELLES CONSÉQUENCES POUR LES ARMÉES ?

L'introduction récente de la technologie RA dans certains secteurs d'activité civils fait montre de la capacité disruptive de cette technologie sur les habitudes de travail ainsi que sur les process. Par conséquent, il est primordial, avant d'introduire cette technologie dans les

armées, de bien réfléchir au bien-fondé de celle-ci, à ce qu'elle peut apporter sur le plan opérationnel et sur les conséquences qui pourraient en découler. Les réponses à toutes ces questions ne vont pas de soi et nécessitent d'adopter une approche pragmatique et raisonnée.

La première question à se poser est tout d'abord celle du bien-fondé de l'introduction de cette technologie dans les forces. Comme le rappelle Didier Danet, « le progrès technique est toujours porteur de mythes et de fantasmes⁵⁷ ». S'il est important de chercher à augmenter la capacité de réaction et de compréhension de l'environnement dans lequel le soldat évolue, il faut cependant éviter de tomber dans la surenchère technologique ; il faut se positionner au-delà d'un effet de mode qui voudrait que l'on fasse de la réalité augmentée pour en faire. Il existe depuis toujours une sorte de fascination technologique qui peut avoir pour conséquence de faire oublier ce que ces innovations peuvent faire perdre en termes de performance. Quels sont les besoins réels des armées et que va apporter concrètement l'introduction de la réalité augmentée ? Tout l'enjeu est ici de déterminer le juste besoin. Il faut « exploiter la technologie pour ce qu'elle nous apportera de mieux et ne pas tout en attendre⁵⁸ ».

Une autre question à se poser est de savoir à quel niveau d'intégration cette technologie va être utilisée dans les forces. Concrètement, qui va être doté de cette technologie ? On peut en effet légitimement réfléchir à la pertinence de doter tous les soldats de systèmes de réalité augmentée, à la fois pour une question d'efficacité mais aussi plus simplement de coût. À quel niveau tactique doit-on intégrer cette technologie ? L'utilisation opérationnelle de systèmes de réalité augmentée ne serait-elle pas plutôt réservée à des équipes spécialisées ? On serait alors sur une utilisation sur des segments de niche plutôt qu'une utilisation de masse.

Enfin, il faut se poser la question du rapport coût/efficacité d'investir dans ces technologies, en prenant en compte le gain attendu, le coût global mais aussi la maintenabilité du système. Sur ce point, il faut garder à l'esprit le paradoxe de la reine rouge : « plus le soldat est

57. Didier Danet, « L'institution militaire face au défi de l'homme augmenté », *DSI*, Hors série n° 45, 2016, p. 98.

58. Emmanuel Gardinetti, « Mieux informés, allégés et mieux équipés, de l'imagination à l'emploi », *DSI*, Hors série n° 45, 2016, p. 59.

équipé, spécialisé et entraîné, plus le combat lui est “facilité”, plus la résistance parvient à s’adapter par des actions hors du combat, et plus, au bilan final, les résultats s’effacent⁵⁹ ».

4. QUEL IMPACT POUR LES ARMÉES ?

En termes de doctrine et de formation

En ce qui concerne les conséquences de l’utilisation de la réalité augmentée dans les armées, une réflexion doit être menée sur l’impact prévisible de l’introduction de cette technologie en termes de doctrine et de formation. Cela est d’autant plus important à prendre en compte que cette technologie a déjà démontré une forte capacité disruptive, comme on peut le constater dans les entreprises qui l’expérimentent déjà. On peut ainsi penser que les modes opératoires des unités pourraient changer suite à l’introduction d’équipements utilisant cette technologie, ce qui modifierait donc la doctrine mais aussi potentiellement les structures des unités et donc l’organisation des armées. Par ailleurs, on peut estimer que des équipements individuels de RA, s’ils sont généralisés, nécessiteront beaucoup d’entraînement au niveau individuel, dans un premier temps, puis au niveau collectif, de la part des unités, afin que celles-ci maîtrisent ces technologies et soient opérationnelles. Tous ces éléments engendreraient un surcoût financier non négligeable.

En termes de recrutement

L’introduction de la RA dans les armées aura certainement aussi des conséquences sur les procédures et critères de recrutement. Dans le cas du fantassin, par exemple, faudra-t-il continuer à sélectionner ceux et celles qui font montre des meilleures capacités psycho-physiques comme aujourd’hui ou plutôt ceux qui seraient les plus adaptables à l’utilisation de ces nouvelles technologies ? « Le soldat de demain devra inévitablement avoir une appétence encore accrue à l’usage des NTIC en maîtrisant

59. Patrick Clervoy, « Le paradoxe de la reine rouge », *DSI*, Hors série n° 45, 2016, p. 83.

ses fondamentaux⁶⁰ ». Cela implique donc tout un travail en amont de définition de nouveaux critères et de tests.

En termes éthiques et juridiques

L'introduction de la réalité augmentée dans les forces soulève aussi un certain nombre d'interrogations sur les plans éthique et juridique. L'impact sur l'*ethos* du guerrier pourrait ne pas être neutre. Cette augmentation technologique des capacités de perception, d'acquisition des cibles à distance, de protection, pourrait en réaction engendrer une perception asymétrique du risque sacrificiel. Est-il en effet honorable de se battre contre un ennemi qui ne dispose pas des mêmes augmentations ? Chez l'utilisateur de ces technologies, tout cela crée donc des facteurs potentiels de fragilité psychique, sur lesquels il est impératif de réfléchir par anticipation, afin de protéger l'équilibre psychosocial des soldats. L'augmentation technologique du soldat représente « une rupture identitaire et relationnelle encore largement sous-évaluée⁶¹ ». L'armée de Terre, par exemple, devrait être ainsi confrontée dans les années à venir aux mêmes problématiques et risques psychosociaux que ceux que l'on peut rencontrer aujourd'hui chez les pilotes de drones armés. Tout cela doit donc être anticipé.

En termes de conception des équipements

Une autre conséquence possible de l'introduction de cette technologie dans les armées pourrait être de remettre en cause le processus d'élaboration des équipements tels qu'on le connaît aujourd'hui. En effet, alors qu'on assiste à une accélération du cycle des innovations technologiques, le schéma de développement des équipements dans les armées, qui nécessite du temps et des investissements colossaux, pourrait paraître en décalage avec la réalité des marchés futurs. Par conséquent, doit-on conserver le même modèle industriel ou doit-on faire plutôt le choix d'acheter des équipements *low cost* que l'on

60. E. Gardinetti, « Mieux informés, allégés et mieux équipés, de l'imagination à l'emploi », art. cité, p. 61.

61. Chr. Colas *et al.*, « Ergonomie en milieu militaire », in *Ergonomie – Travail, conception, santé*, op. cit., p. 24.

change régulièrement ? La réponse ne va pas de soi et mérite au minimum qu'on se pose la question. Ce problème pourrait trouver éventuellement sa solution grâce à l'adoption et la mise en application de l'ergonomie prospective⁶².

5. UNE TECHNOLOGIE PROMETTEUSE AVEC DES RISQUES ASSOCIÉS NON NÉGLIGEABLES

Pour le monde de la défense, ces nouvelles technologies « ouvrent des perspectives pour le combattant d'améliorer ses capacités d'adaptation à l'environnement militaire, d'augmenter ses performances et son efficacité⁶³ ». Ces technologies de RA et RV s'inscrivent dans le mouvement d'augmentation du soldat, sur les plans physiques, psychologiques et communicationnels. Cependant, un certain nombre de risques non négligeables sont à prendre en compte.

Des risques psychologiques

Le premier risque serait de considérer ce soldat comme « le simple utilisateur professionnel d'un système d'armement très sophistiqué ». Le soldat devient acteur et sujet de cette technologie pervasive, à qui il délègue une partie de sa pensée grâce à l'extraordinaire expansion électronique actuelle. Toute la question est de savoir quand l'homme deviendra le maillon faible de ce système⁶⁴. Le risque, à terme, est de voir la machine prendre le pas sur l'homme ou la femme qui l'utilise et donc que l'on en oublie le soldat qui se sert du système.

Alors que la technologie RA a pour vocation sur le plan opérationnel de faciliter le travail collaboratif, un autre risque psychologique est paradoxalement celui d'accroître l'isolement du soldat. En effet, cette couche technologique, qui s'insère entre le monde réel et le soldat, peut créer un effet de tunnelisation de l'attention. Tout un chacun peut en faire l'expérience dans sa vie quotidienne. En effet, vous pouvez

62. J.-R. Ruault *et al.*, « Adaptation de l'ergonomie prospective aux systèmes à longue durée de vie », art. cité.

63. *Laboratoire de l'IRSEM*, n° 2, 2010, « Augmentation des performances humaines avec les nouvelles technologies », Rapport final.

64. B. Claverie, « Pervasion, transparence et cognition augmentée », art. cité, p. 97.

aujourd'hui prendre des transports en commun bondés mais être totalement isolé de vos voisins, déconnecté de ce qui se passe autour de vous, car totalement absorbé par l'écran de votre smartphone. Dans le même ordre d'idées, un autre risque non négligeable concerne la confiance aveugle que l'utilisateur risque d'avoir dans la technologie, sans prendre en compte la notion d'incertitude liée au champ de bataille, sans se poser de questions ni remettre en cause des informations qui sembleraient incohérentes en temps normal. Cela peut alors créer un phénomène de distanciation de l'environnement dans lequel on évolue, avec dans les cas les plus extrêmes un risque de sentiment d'invulnérabilité.

Perte d'autonomie et surcharge informationnelle

Un autre danger est celui de rendre le soldat moins autonome. En effet, si cette technologie facilite le travail de l'utilisateur, elle le rend aussi dépendant vis-à-vis d'elle. « Le soldat augmenté perd une part de sa rusticité et de ses capacités d'initiative. Il est piégé par les protocoles [...]. Il devient captif de contraintes d'autant plus étroites que son matériel est sophistiqué⁶⁵ ». La technologie peut aussi devenir un véritable frein au développement de l'autonomie du soldat dans sa capacité à acquérir de nouvelles compétences propres. En outre, que se passe-t-il si la technologie faillit ?

Par ailleurs, le soldat contemporain doit, dans un environnement de plus en plus numérisé, faire face à une charge cognitive croissante du fait de la complexification et de la multiplication des systèmes d'armes⁶⁶. La réalité augmentée, si elle joue bien son rôle d'agrégateur de technologies, pourra soulager le soldat sur ce point. Cela étant précisé, ces technologies n'étendent cependant les capacités du soldat que si celui-ci est en mesure de les exploiter. Comme les médecins en chef Frédéric Canini et Marion Trousselard le rappellent, ces extensions technologiques « sont autant d'occasions de perturber l'interaction habituelle de l'homme avec son environnement, c'est-à-dire

65. P. Clervoy, « Le paradoxe de la reine rouge », art. cité, p. 82.

66. Jean-Michel Le Masson, « Le soldat augmenté est avant tout un homme », *DSI*, Hors série n° 45, 2016, p. 75.

autant de risques de surcharge mentale et conflits sensoriels⁶⁷ ». Les performances psychomotrices et cognitives d'un individu intensément stressé ont tendance à se dégrader, ce qui a pour conséquences une « réduction de la capacité d'attention et de la mémoire de travail », « une diminution des mémoires sémantique et épisodique » et enfin l'altération de « la flexibilité mentale et la prise de décision⁶⁸ ». La surcharge informationnelle peut avoir pour conséquence d'entraver le processus de prise de décision⁶⁹. Il est donc impératif de concevoir des systèmes de réalité augmentée qui diminueront la charge cognitive du soldat. « Chaque information ajoutée devra avoir été optimisée (choix, règles, et forme d'affichage, cinématique...) et cela ne pourra reposer que sur des analyses d'activités et des travaux d'ergonomie méthodiques⁷⁰ ».

Des risques sociologiques

Même si ces technologies sont actuellement à la mode, un frein important à ne pas sous-estimer est celui de l'acceptation de la technologie, tant aux niveaux individuel et collectif qu'institutionnel. Il est en effet indispensable que les armées, d'une part, et les utilisateurs, d'autre part, acceptent cette technologie. Cela ne pourra être le cas que si le système proposé est facile d'utilisation, qu'il devient une extension de l'équipement actuel, jusqu'à ce que l'opérateur en oublie qu'il le porte, et qu'il apporte une véritable plus-value opérationnelle. Dans le cas contraire, cette technologie sera taxée de gadget et mise de côté. C'est pour cela qu'il y a un important travail à faire sur la qualité et la présentation de l'information. Une fois de plus, les ergonomes ont ici tout leur rôle à jouer.

Dans le même ordre d'idées, il est impératif d'anticiper une résistance au changement suscitée par la peur inconsciente de perdre son savoir-faire ou de modifier des habitudes de travail anciennes. Cet aspect ne doit surtout pas être sous-estimé car on nous annonce bien,

67. Frédéric Canini, Marion Trousselard, « Le stress, acteur oublié de l'extension capacitaire » *DSI*, Hors série n° 45, 2016, p. 66.

68. *Ibid.*, p. 67.

69. J.-M. Le Masson, « Le soldat augmenté est avant tout un homme », art. cité, p. 77.

70. E. Gardinetti, « Mieux informés, allégés et mieux équipés, de l'imagination à l'emploi », art. cité, p. 60.

avec l'intégration de ces technologies, une révolution des habitudes et process. On peut sur ce point se rappeler les mouvements de résistance que les pays occidentaux ont pu connaître lors de la révolution industrielle au XIX^e siècle, du fait de la disparition annoncée de nombreux métiers et procédures.

La question de la sécurité des réseaux

Le recours à des technologies modernes sophistiquées et connectées pose de plus en plus la question des risques de piratage. Le risque de brouillage des communications, voire d'intrusion sur le réseau, avec tous les risques qui en découlent, n'est en effet pas neutre. Il faut donc faire attention à ne pas créer des systèmes de systèmes, ce qui risquerait en cas de faille de sécurité de compromettre l'ensemble du réseau. Il faut à l'inverse compartimenter les systèmes afin d'éviter toute contamination numérique. Enfin, sur un autre plan, cette contrainte de prise en compte des risques de piratage implique une « maîtrise hertzienne » du théâtre d'opérations sur lequel on s'engage⁷¹.

71. Gérard de Boisboissel, « Le soldat augmenté, un soldat informé, allégé et mieux équipé », *DSI*, Hors série n° 45, 2016, p. 57.

CONCLUSION

Si l'homme a toujours cherché à améliorer les capacités du soldat, on assiste actuellement à une accélération de ce mouvement et l'on est passé en quelques années d'une logique de simple amélioration à celle d'une véritable augmentation du soldat. C'est dans ce contexte que les armées s'intéressent à la réalité augmentée. Quel que soit le domaine considéré, civil ou militaire, les promesses de cette technologie semblent, pour l'instant, uniquement limitées par l'imagination des développeurs et le montant des investissements consentis.

On nous annonce donc aujourd'hui une révolution d'ampleur, comparable voire supérieure, à ce qu'a pu être à l'époque l'arrivée de l'ordinateur personnel et des smartphones. On pressent d'ailleurs toute la capacité disruptive de cette technologie, en termes d'habitudes de travail et de process, dans les secteurs industriels qui l'expérimentent déjà. Cette révolution ne devrait pas épargner les armées, qui s'intéressent aux applications opérationnelles de cette technologie, en termes d'aptitude au combat, de mobilité, de protection et de travail collaboratif.

Les équipements de réalité augmentée seront des systèmes socio-techniques très complexes, qui n'apporteront une plus-value opérationnelle que s'ils agissent en tant que véritable agrégateur des technologies déjà existantes. Ils doivent donc être simples d'utilisation, en devenant *de facto* une véritable extension du soldat contemporain, contribuant à diminuer la surcharge informationnelle à laquelle celui-ci est de plus en plus confronté. Cela implique donc de concevoir des systèmes qui simplifient les informations et les organisent de façon intuitive. C'est à ce titre que les ergonomes doivent prendre toute leur part à la conception de ces matériels en y étant associés le plus en amont possible. Sur ce point, il paraît d'ailleurs intéressant pour les armées de s'intéresser au concept novateur d'ergonomie prospective.

Si l'introduction de cette technologie apparaît comme source d'opportunités pour les armées, il ne faut pas néanmoins en oublier les conséquences ainsi que les risques potentiels non négligeables qui y sont liés. Il est ainsi impératif pour les armées de ne pas simplement avoir une vision technique de cette question mais de bien anticiper l'impact psychosociologique de l'introduction de cette technologie sur les hommes et les femmes qui vont les utiliser ainsi que sur

les conséquences éventuelles sur les structures organisationnelles. L'introduction de cette nouvelle technologie nécessitera une phase de transition afin que les structures et les personnes s'adaptent à de nouveaux savoir-faire et modes opératoires. Si cela ne devrait pas poser de problèmes aux jeunes générations qui auront évolué dès leur plus jeune âge dans un environnement pervasif, cela pourrait s'avérer plus compliqué pour les autres.

Enfin, l'État ne doit pas sous-estimer les enjeux industriels et financiers qui entrent aussi en ligne de compte sur cette question. Les grands noms du secteur l'ont bien compris et l'on assiste actuellement à un renforcement significatif des investissements sur les technologies de réalités augmentée et virtuelle. Dans l'état actuel des choses, du fait du manque de maturité des marchés potentiels et des investissements initiaux à consentir, il faudra sûrement, au moins dans un premier temps, que les armées adaptent des technologies développées dans le milieu civil, utilisant au maximum des technologies sur étagères, les adaptant à leur besoin propre, limitant au strict nécessaire le développement de technologies en interne.

Pour conclure, nous percevons donc bien aujourd'hui les signes avant-coureurs de cette révolution annoncée. Alors que nous assistons déjà à une multiplication des découvertes technologiques dans ce secteur, tout cela devrait encore s'accélérer avec l'arrivée de l'intelligence artificielle qui devrait permettre un meilleur traitement des images et la fusion de données complexes, ce qui permettra alors de libérer tout le potentiel de cette technologie.

ANNEXE 1

Comparaison entre l'ergonomie corrective, de conception et prospective selon une première liste de critères⁷².

Critères	Ergonomie corrective	Ergonomie de conception	Ergonomie prospective
Temporalité	Passé et présent.	Présent et futur immédiat.	Futur immédiat et lointain.
Disciplines clés associées	Ingénierie, psychologie, physiologie, biomécanique, médecine.	<i>Idem</i> au précédent + design, informatique, sociologie, ethnographie.	<i>Idem</i> aux deux précédents + prospective, démographie, marketing, gestion.
Méthodes typiques	Analyse de tâches, des erreurs, des dysfonctionnements.	Scénarios, simulation, prototypage, test utilisateurs.	<i>Idem</i> au précédent + créativité, veille technologique.
Place du facteur humain	À récupérer dans les situations à améliorer.	À intégrer dans la conception.	À mettre au service de la création.
Potentiel d'innovation	De faible à moyen, selon la situation à corriger.	De moyen à fort, selon la demande initiale et les moyens.	Fort selon les besoins à satisfaire et les moyens.
Design, émotions esthétiques	Pas abordés à l'origine, de plus en plus pris en compte.	De plus en plus pris en compte.	Pris en compte.
Statut de l'intervention	Réactive au départ. Proactive pour rechercher des solutions.	Réactive au départ. Proactive pour faire de la conception.	Proactive pour initier et créer.
Domaines d'application	Travail industriel au début, tous les domaines de la vie.	Tous les domaines de la vie.	<i>Idem</i> au précédent.
Activités-types	Diagnostic, modifications, réaménagement.	Conception, développement, aménagement.	Prospection, création, innovation.
Production de richesse	Provient de la réduction des coûts contre-productifs.	Provient de l'anticipation et de l'optimisation de la performance humaine et technique.	Provient de l'échelle d'usage du produit et des brevets.

72. E. Brangier, J.-M. Robert, « L'ergonomie prospective : fondements et enjeux », art. cité, p. 3.

BIBLIOGRAPHIE INDICATIVE

- ALMARRI Hamda Binghubash, JURIC Radmila, *Modern Information Overload*, 2014.
- ANASTASSOVA M. et al., « L'ergonomie de la réalité augmentée pour l'apprentissage : une revue », *Le Travail humain*, vol. 70, 2007, p. 97-125.
- Aspects éthiques et sociaux des nouvelles technologies de défense*, Ingénieurs et scientifiques de France (IESF), 2015.
- AZUMA Ronald, « A Survey of Augmented Reality », *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6, 1997, p. 355-85.
- BRANGIER Éric, ROBERT Jean-Marc, « L'ergonomie prospective : fondements et enjeux », *Le Travail humain*, vol. 77, 2014, p. 1-20.
- BOISBOISSEL Gérard de, « Le soldat augmenté, un soldat informé, allégé et mieux équipé », *DSI*, Hors série n° 45, 2016, p. 54-57.
- CANINI Frédéric, TROUSSELDAR Marion, « Le stress, acteur oublié de l'extension capacitaire » *DSI*, Hors série n° 45, 2016, p. 66-69.
- CARMIGNIANI Julie, FURHT Borko, *Augmented Reality: An Overview*, 2011.
- CARMIGNIANI J. et al., « Augmented Reality Technologies, Systems and Applications », *Multimed Tools Appl*, 51, 2011, p. 341-77.
- CASTELLANOS Sara, « Réalité augmentée. Les hologrammes s'invitent à l'usine », *Courrier international*, 2017.
- CLAVERIE Bernard et al., « Pervasion, transparence et cognition augmentée », *Revue des interactions humaines médiatisées*, vol. 10, n° 2, 2009.
- CLERVOY Patrick, « Le paradoxe de la reine rouge », *DSI*, Hors série n° 45, 2016, p. 81-83.
- COLAS Christian et al., « Ergonomie en milieu militaire », in *Ergonomie – Travail, conception, santé*, Octarès, 2017.
- COLAS Christian, MARTINEZ Laurent-Melchior, « Le soldat augmenté : exemples de répercussions psychologiques », *DSI*, Hors série n° 45, 2016, p. 22-25.
- DANET Didier, « L'institution militaire face au défi de l'homme augmenté », *DSI*, Hors série n° 45, 2016, p. 96-98.
- DAZENIÈRE Thomas, *Application d'une nouvelle taxonomie à la conception et l'évaluation ergonomique de systèmes de réalité augmentée pour le fantassin*, thèse de doctorat en ergonomie, Université de Lorraine, 2014.
- État des lieux du marché de la réalité virtuelle*, Conseil supérieur de l'audiovisuel, juillet 2016.
- FALZON Pierre, « Ergonomie, conception et développement », *Conférence introductive*, 2005.
- GARDINETTI Emmanuel, « Mieux informés, allégés et mieux équipés, de l'imagination à l'emploi », *DSI*, Hors série n° 45, 2016, p. 58-62.
- KANGDON Lee, « Augmented reality in Education and Training », *TechTrends*, 2012.
- KARLSSON Michael, *Challenges of Designing Augmented Reality for Military Use*, Institutionen för informatik, 2015.

- KENNY Ryan J., *Augmented Reality at the Tactical and Operational Levels of War*, US Naval War College, 2015.
- LE MASSON Jean-Michel, « Le soldat augmenté est avant tout un homme », *DSI*, Hors série n° 45, 2016, p. 74-77.
- LIEM André, « Toward Prospective Reasoning in Design: An Essay on Relationships among Designers' Reasoning, Business Strategies, and Innovation », *Le Travail humain*, vol. 77, 2014, p. 91-102.
- LIEM André, *Les Contours de l'intervention en ergonomie prospective : analyse comparative de l'ergonomie prospective et du design stratégique dans 12 études de cas*, thèse de doctorat en ergonomie, Université de Lorraine, 2015.
- MANNING Alex *et al.*, « Better Learning Though Augmented Reality: AR in the Classroom » *Anthos*, vol. 4, n° 2, 2012.
- RUULT Jean-René *et al.*, « Adaptation de l'ergonomie prospective aux systèmes à longue durée de vie », *Le Travail humain*, vol. 77, 2014, p. 257-80.
- Virtual and Augmented Reality-Understanding the Race for the next Computing Platform*, Rapport de Goldman Sachs, 13/01/2016.

L'ERGONOMIE ET LA RÉALITÉ AUGMENTÉE ADAPTÉES AUX BESOINS MILITAIRES

OPPORTUNITÉS TECHNOLOGIQUES,
OPÉRATIONNELLES ET CULTURELLES
(NOUVELLES GÉNÉRATIONS DE COMBATTANTS)

LCL Arnaud PLANIOL

Fruit d'une commande passée par le Centre interarmées de concepts, de doctrines et d'expérimentations (CICDE), cette étude, qui n'a pas vocation à être exhaustive, vise à faire un point de situation sur l'ergonomie et la réalité augmentée, sous l'angle des opportunités ou risques que cela peut représenter pour le combattant futur.

Après avoir défini les notions d'ergonomie et de réalité augmentée, elle s'intéresse aux principaux domaines d'utilisation, civils et militaires, de cette technologie que l'on nous présente comme révolutionnaire et disruptive, avant d'analyser les conséquences possibles de l'introduction de la réalité augmentée dans les armées ainsi que les risques potentiellement entraînés par celle-ci.

É T U D E S