

La réalité augmentée : quels apports et quelles conséquences pour l'Armée de l'Air ?

Livrable n°4 – Rapport final

EMAA/BPLANS

4 octobre 2018



Point de contact CEIS :

Axel Dyèvre

Directeur Associé

CEIS

Tour Montparnasse – 33, avenue du Maine – BP 36

75 755 Paris Cedex 15

Tél : +33 (0)1 45 55 00 20

Fax : 01 45 55 00 60

adyevre@ceis.eu

TABLE DES MATIERES

1	RAPPEL - OBJECTIFS DE L'ETUDE	5
2	SYNTHESE GENERALE	6
2.1	La réalité augmentée : Un outil de visualisation de l'information pour le C2AIR	7
2.2	Un outil d'efficacité opérationnelle pour l'Armée de l'Air	9
2.3	Perspectives d'usages pour l'Armée de l'Air	10
3	RECOMMANDATIONS	13
3.1	Axe 1 – Anticiper l'emploi de la réalité augmentée par l'Armée de l'air	13
3.2	Axe 2 - Penser les enjeux liés à l'emploi de la réalité augmentée pour le C2 AIR	14
4	LIEN ENTRE C2 ET REALITE AUGMENTEE	17
4.1	Un outil de visualisation de l'information pour la chaine de décision du C2 Air	17
4.2	La RA nécessite <i>a priori</i> un choix sur l'information à visualiser	19
4.3	Simplifier la visualisation de l'information dépend de l'ergonomie de la RA	20
4.4	Enjeux de visualisation de l'information par fonction clés du C2 Air	20
5	LES APPORTS POSSIBLES DE LA RA PAR FONCTION DU C2 AIR	23
5.1	Les apports potentiels de la RA pour l'anticipation et la Planification	24
5.2	Les apports potentiels de la RA pour la Conduite	26
5.2.1	Observation	26
5.2.2	Orientation	27
5.2.3	Décision	29
5.2.4	Action	29
5.3	Les apports potentiels de la RA pour le RETEX	33
6	ETAT DES LIEUX ET ENJEUX TECHNOLOGIQUES DE LA REALITE AUGMENTEE	34
6.1	Points clés	34
6.2	Contexte	35
6.2.1	Définition	35
6.2.2	Environnement technologique	38
6.3	Tendances technologiques et principaux enjeux	39
6.3.1	La réalité, une technologie de plus en plus « transparente » et simplifiée	40

6.3.2	L'interface d'affichage, premier enjeu d'une RA plus intégrée	40
6.3.3	Convergence entre réalité augmentée et intelligence artificielle	44
6.3.4	Élargissement du périmètre d'interaction avec le numérique.....	45
6.3.5	Activités des principaux centres académiques positionnés sur la RA.....	46
7	PANORAMA DES USAGES DE LA REALITE AUGMENTEE.....	50
7.1	Panorama des applications civiles	50
7.1.1	Synthèse des applications identifiées	51
7.1.2	Transport aérien	54
7.1.3	Drones.....	58
7.1.4	Journalisme et médias	59
7.1.5	Cartographie et topographie.....	61
7.2	Panorama des applications militaires	64
7.2.1	Synthèse	64
7.2.2	Le soldat augmenté : vision, communication et progression augmentées.....	66
7.2.3	Véhicules et plateformes : connaissance de l'environnement immédiat.....	68
7.2.4	Entraînement et formation : réalisme accru de la simulation et immersion	68
7.2.5	Planification et conduite des opérations.....	69

1 RAPPEL - OBJECTIFS DE L'ETUDE

Besoin exprimé par l'EMAA	<p>Dans le cadre de la réflexion sur le Système de Combat Aérien Futur (SCAF), l'Armée de l'Air cherche à identifier les technologies innovantes permettant d'améliorer la performance et la réalisation de ses missions.</p> <p>Parmi les domaines identifiés, les technologies de Réalité Augmentée (RA) pourraient avoir un impact important sur le Commandement et de la Conduite des opérations aériennes (C2 Air) futures.</p>
Objectif de la mission	<p>Cette étude a pour objectif de dresser un état des lieux prospectif des technologies et des usages de la RA d'intérêt pour le Commandement et la Conduite des opérations aériennes futures, à l'horizon 2030.</p> <p>Elle permettra aussi d'analyser les opportunités et les conséquences de leurs usages sur les missions, les capacités et les modes d'action de l'Armée de l'Air.</p>
Résultat escompté	<p>Donner à l'EMAA une vision globale du développement des technologies de RA à l'horizon 2030.</p> <p>Formuler des propositions concrètes d'actions pouvant être mises en œuvre à court et moyen terme pour permettre à l'Armée de l'Air de tirer le meilleur parti du potentiel de la RA pour ses missions.</p>

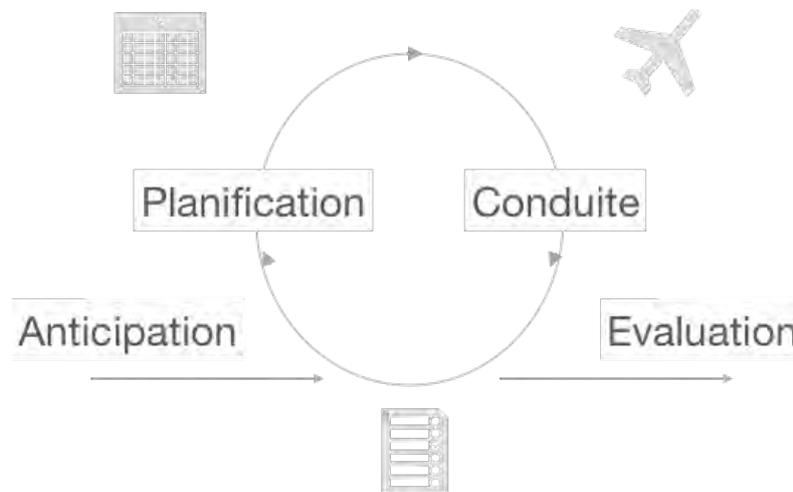
2 SYNTHÈSE GÉNÉRALE

Plus-values de la RA pour l'Armée de l'air	Risques d'usage pour l'Armée de l'air
<ul style="list-style-type: none"> • Réactivité : Afficher, visualiser et intégrer l'information de manière rapide, épurée et pertinente • Complétude : Améliorer l'intégration informationnelle pour la conduite des opérations (lien avec big data et IA) • Adaptabilité : générer et calibrer l'information en contexte et en fonction de l'environnement réel • Simplicité : utiliser les mêmes moyens en préparation et en conduite 	<ul style="list-style-type: none"> • Perdre le temps de construction du raisonnement laissé au cerveau lors des phases de planification et de prise de décision • Confronter le cerveau à des informations virtuelles perçues comme réelles, ce qui augmente l'exposition aux biais cognitifs • Accentuer le risque d'écrasement des chaînes de commandement • Être en incapacité de distinguer la réalité de l'augmenté, avec des conséquences légales, morales et éthiques • Utiliser des dispositifs de RA en conditions contraintes (connexion, chaleur, humidité...) et savoir fonctionner sans (mode dégradé)
Conclusions principales	Recommandations
<ul style="list-style-type: none"> • Se préparer à une évolution très rapide des usages dans les 3 à 5 prochaines années • Appréhender la réalité augmentée comme un outil de visualisation et non d'analyse <i>per se</i> • Placer la réflexion sur l'ergonomie au cœur des enjeux d'usage et d'adoption de la RA • Prendre en compte les effets cognitifs et les risques technologiques associés (cyber / mode dégradé) • Privilégier les technologies standards aux solutions ad hoc, le domaine étant largement tirée par le civil et les géants du numérique 	<ul style="list-style-type: none"> • Mettre en place un observatoire des technologies, usages et concepts d'emploi de la RA • Conduire des expérimentations en boucles courtes à partir d'exemples d'usages identifiés au cours de l'étude • Privilégier dans un premier temps les usages dans les phases « froides » du C2 Air pour monter en compétences « sans risque » dans un contexte pré-opérationnel • Associer ces expérimentations à des évaluations cognitives, physiologiques et psychologiques sur les conséquences de l'usage de ces technologies

2.1 LA RÉALITÉ AUGMENTÉE : UN OUTIL DE VISUALISATION DE L'INFORMATION POUR LE C2AIR

La finalité du C2 est « *d'engager et de manœuvrer des capacités d'action militaires* »¹. Réunissant « *une structure de commandement, une organisation, des processus, et des moyens humains et techniques* »². Cette définition rassemble les aspects ayant trait à la chaîne décisionnelle en tant que telle ainsi que son mode de fonctionnement.

Afin de décrire le fonctionnement et le déroulement du Commandement et de la Conduite des opérations aériennes (C2 Air), il est possible de distinguer 4 temps : l'anticipation, la planification, la conduite et l'évaluation. Ces 4 phases forment un cycle qui pourrait être représentée de la manière suivante :



Le C2 Air est une chaîne de prises de décision qui reçoit, émet et analyse un ensemble d'informations pour concevoir, diriger puis évaluer les opérations militaires aériennes. Le C2 Air est donc notamment une succession de processus cognitifs³ visant à saisir, stocker et traiter l'information.

Les volumes d'informations convergeant vers les centres de commandement sont croissants et issus d'une diversité de capteurs et de moyens interconnectés. Le commandement des opérations aériennes requiert et reposera dès lors de plus en plus sur des capacités accrues d'intégration de ces données et informations.

¹ DAA-3.3_COA(2017), Commandement des opérations aériennes, 7 novembre 2017

² Le C2 français de défense aérienne : un outil forgé dans la durée ; Aubout, Mickaël ; Droit, Yohan ; Marçais, Marie-Madeleine ; Morin, Tony ; Les cahiers de la revue de défense nationale ; 2013 ; p.17

³ Les processus cognitifs regroupent l'ensemble des processus élaborés par un système pour analyser des informations et mettre en place l'action adéquate pour y répondre (<https://sante-medecine.journaldesfemmes.fr/faq/36745-processus-cognitifs-definition>)

Ce qui rend nécessaire d'améliorer l'intégration informationnelle au sein de la chaîne de décisions du C2 Air.

La réalité augmentée (RA) est une technologie qui sert à représenter l'information en la simplifiant. Un dispositif de RA a pour vocation de transformer et/ou présenter une information de manière à diminuer l'effort cognitif nécessaire pour y accéder, la conceptualiser et la contextualiser.

Pour les missions du C2 Air, la RA offre donc l'opportunité de diminuer l'effort cognitif nécessaire pour visualiser puis traiter les informations utiles au commandement des opérations aériennes.

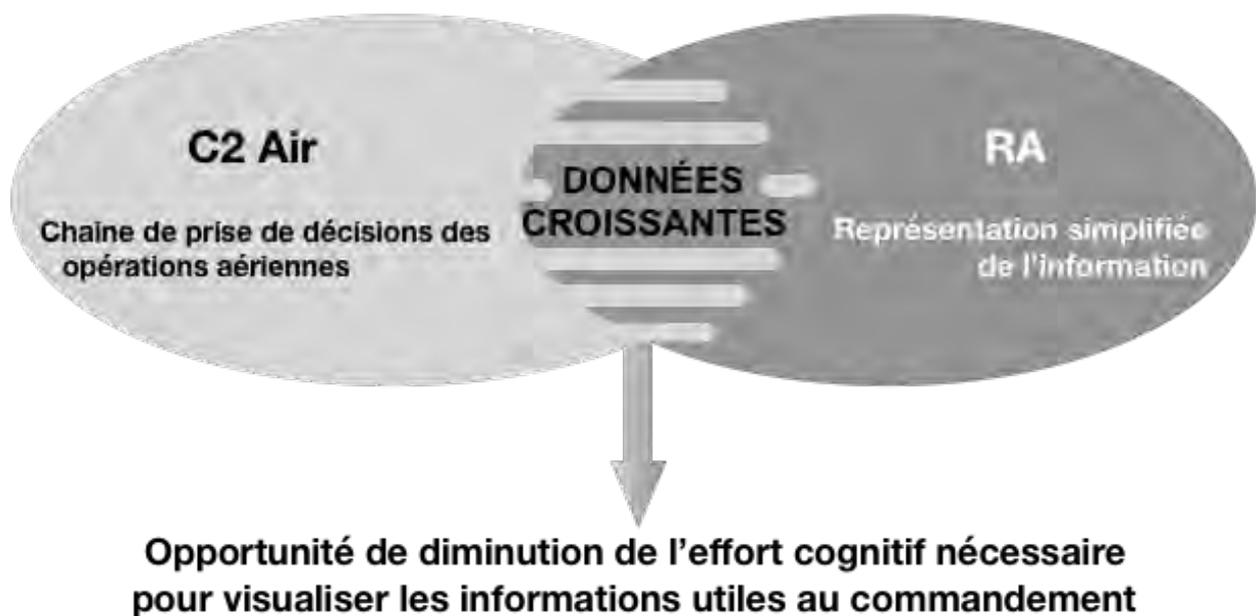


Figure 1 - Représentation du lien entre RA et C2 Air

Si la RA peut s'étendre à d'autres sens, notamment l'ouïe (sons) et le toucher (retours haptiques) dans le contexte de l'analyse des opportunités d'usages de la RA pour le C2 Air, le domaine de la réalité augmentée visuelle semble le plus pertinent à explorer à ce stade pour deux raisons principales :

- La plupart des applications et usages actuels identifiés se concentrent sur l'augmentation de la vue ;
- 80% à 90% de l'information perçue par le cerveau humain provient de la vision⁴.

⁴ <https://master-iesc-angers.com/la-realite-augmentee-enjeu-de-la-prochaine-revolution-industrielle/>

2.2 UN OUTIL D'EFFICACITE OPERATIONNELLE POUR L'ARMEE DE L'AIR

Un outil de visualisation de l'information plus que d'analyse

Les usages et expérimentations identifiés dans les domaines d'intérêts pour l'Armée de l'air (le transport aérien et l'aéronautique, les drones, le journalisme et les métiers de l'information, la navigation et la topographie) montrent l'intérêt qu'il peut y avoir à superposer, en temps réel, la réalité physique et des éléments calculés et générés par un système informatique, pour :

- Mieux conceptualiser l'information affichée en 3D, en temps réel et géo-localisée
- Adopter différents angles de vue et perspectives sur une information
- Accéder de manière plus intuitive à l'information
- Interagir en temps réel avec le numérique

L'essor actuel de la RA coïncide avec celui de l'intelligence artificielle (IA) à laquelle elle est fortement liée. A cet égard, il est important d'appréhender la RA comme un outil de visualisation voire de synthèse de l'information et non pas d'analyse comme peut l'être l'IA.

Cette distinction fait de l'IA une technologie au caractère davantage dimensionnant pour l'Armée de l'air : elle permet la maîtrise de l'information sur toute sa chaîne de valeur, depuis la collecte des données jusque à la sélection de l'information utile. La RA, pour sa part, est et restera le prolongement et interviendra « en bout de chaîne » pour permettre une meilleure visualisation des données exploitées.

Un facteur d'amélioration des capacités individuelles pour permettre au cerveau de s'adapter au « déluge informationnel » et rapprocher les acteurs

Dans les Armées, les expérimentations étudiées concernent majoritairement le fantassin et l'échelon tactique, notamment grâce à des dispositifs *head-mounted* (ou HMD) tels que les lunettes, la visière ou le monocle. Dans le domaine aérien, les applications opérationnelles visent essentiellement à ce jour à améliorer les systèmes d'affichage tête haute des pilotes en exploitant la RA.

Ces exemples militaires, comme ceux issus du monde civil, montrent que la RA est avant tout un outil tactique améliorant les capacités individuelles d'un opérateur ; notamment dans un contexte de flux exponentiels d'informations à assimiler.

Pour la planification et la conduite des opérations aériennes, l'utilisation de la RA est encore limitée voire inexistante. Les usages possibles et expérimentations en cours – dont certains ont notamment été présentés lors du séminaire final de l'étude - se concentrent sur l'opportunité de mieux partager les informations au niveau du commandement lors de la planification ou de l'évaluation (briefing ou débriefing virtuel et à distance).

Ce partage d'informations pourrait également se faire, en phase de conduite, entre le commandement et les différentes plateformes et forces en opération afin d'améliorer le suivi et le partage de la situation opérationnelle, en superposant par exemple des informations géo-localisées avec des cartes.

A l'avenir, il pourrait également être envisagé d'équiper les officiers traitants au sein d'un centre de commandement de dispositifs facilitant la synthèse d'informations issues des différentes sources ainsi que la collaboration avec les forces déployées voire avec des experts à distance (par exemple pour l'analyse d'imagerie).

2.3 PERSPECTIVES D'USAGES POUR L'ARMEE DE L'AIR

Usages et plus-values identifiés

De plus en plus d'expérimentations ciblées de la réalité augmentée (RA) apparaissent dans un grand nombre de secteurs, notamment grâce au smartphone qui est désormais le vecteur principal de développement de la RA. Le panorama des applications, certes encore peu nombreuses, de la RA a permis de caractériser les principales plus-values de cette technologies pour l'Armée de l'air :

- **Réactivité** : Afficher, visualiser et intégrer l'information de manière rapide, épurée et pertinente
- **Complétude** : Améliorer l'intégration informationnelle pour la conduite des opérations (lien avec big data et IA)
- **Adaptabilité** : générer et calibrer l'information en contexte et en fonction de l'environnement réel
- **Simplicité** : utiliser les mêmes moyens en préparation et en conduite

Le tableau ci-après présente de manière synthétique les principales applications identifiées.

Usage	Valeurs-ajoutées
Plane Finder 3D : suivi des vols en affichant, en vue 3D, les avions survolant l'espace aérien et leurs données de vol.	<ul style="list-style-type: none"> - Visualisation de théâtres d'opérations - Surveillance de l'espace aérien - Visualisation de trajectoires de vol
Aero Glass : Prototype de lunettes de pilotage en RA offrant une vision à 360° où s'affichent en fonction du champ visuel du pilote : données de vol, itinéraire, délimitations des pistes d'atterrissage, etc.	<ul style="list-style-type: none"> - Pilotage dans des conditions de visibilité réduite (nuit, brouillard, etc.) - Accès à l'information simplifié et lié au champ de vision - Accès à une information enrichie et actualisée

<p>AirCraft : Application permettant l'insertion de blocs virtuels dans les images filmées par la caméra du drone.</p>	<p>Augmentation d'environnement de vol :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Entraînement sans risque de collision avec des obstacles réels - Possibilité d'incruster des avions virtuels ou autre.
<p>Rapid Imaging software : Incrustation d'éléments sur le flux vidéo du drone en fonction de l'environnement filmé : routes, infrastructures, personnes, etc.</p>	<p>Amélioration du pilotage et de la connaissance situationnelle.</p>
<p>Simulation de vol : Application permettant de piloter un drone numérique en utilisant des lunettes RA et des manettes.</p>	<p>Entraînement sans moyens lourds et peu coûteux car reposant sur un drone virtuel.</p>
<p>Augmen.tv : application d'augmentation des programmes télévisés « hors écran » en y ajoutant de l'information contextuelle.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Identification de contenu - Valorisation des informations diffusées
<p>New York Times : application permettant de visualiser en 3D les personnes, lieux et autres éléments contenus dans un article papier.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Enrichissement de documents papiers / de contenu éditorial. - Interaction avec l'information. - Conceptualisation et contextualisation accrue de l'information par des objets 3D.
<p>PaintSpace AR : application permettant d'annoter virtuellement un environnement réel et d'y incruster des médias.</p>	<p>Augmentation de l'environnement de travail en y plaçant des contenus numériques virtuels (cartes, photos, notes, etc.)</p>
<p>Augmented Reality Sandbox : projection vidéo permettant de recréer des univers animés sur des volumes et de combiner bac à sable réel et numérique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Projection d'une carte topographique. - Interaction et modification en temps réel.
<p>Mountain AR : application permettant d'afficher le nom des sommets visibles sur l'écran du téléphone.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Reconstitution et paramétrage d'un panorama depuis un point donné - Calcul des distances.
<p>Eyes3Shut 3D Interactive Table : système d'interaction avec des contenus numériques 3D sur table tactile.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Travail collaboratif sur des objets partagés (cartes, modèles 3D etc.) - Visualisation enrichie

Nombre de ces applications utilisent également la **virtualité augmentée** qui permet d'enrichir des flux vidéo et photo en y incrustant des graphiques et objets virtuels. Si cette technologie n'est pas nouvelle (par exemple présente à la télévision avec la météo), elle s'améliore et évolue au contact de la RA. Elle présente un important vecteur de développement de la RA.

La virtualité augmentée présente de nombreux intérêts pour des organisations comme l'Armée de l'Air qui, dans ses missions de planification et de conduite des opérations, reposent de plus en plus sur l'exploitation de vidéos et d'images accédées à travers des écrans.

Défis et perspectives

L'amélioration des outils de réalité augmentée passera avant tout par l'amélioration des interfaces de réalité augmentée, aujourd'hui principal goulot d'étranglement de la RA. En effet, la partie matérielle est encore dans une phase de maturation, ce dont témoigne l'intérêt suscité par les lunettes de réalité augmentée, considérées actuellement comme l'interface qui permettra à la RA de réaliser son plein potentiel. A l'horizon des 5 à 10 prochaines années, des lentilles devraient permettre de franchir une nouvelle étape dans cette direction.

En termes d'usages, les progrès dans ce domaine permettront de manière toujours plus réaliste d'ajouter en temps réel et en contexte des couches virtuelles puis de « simuler de manière réaliste » – c'est à dire en « trompant » parfaitement notre cerveau - des interactions entre environnements virtuels et physiques.

Dans le contexte de la transformation digitale, cette simplification de l'interaction avec l'information numérique pourra s'appuyer sur un nombre croissant de données et trouvera des usages dans l'ensemble des modes d'action et fonctions d'une organisation telle que l'Armée de l'air.

3 RECOMMANDATIONS

3.1 AXE 1 – ANTICIPER L'EMPLOI DE LA REALITE AUGMENTEE PAR L'ARMEE DE L'AIR

Préconisation d'action n°1 : mettre en place un observatoire des technologies, usages et concepts d'emploi de la RA

Il est nécessaire de se préparer à une évolution très rapide des usages de la RA dans les 3 à 5 prochaines années. Les innovations technologiques survenues au cours des derniers mois et la multiplication actuelle des applications destinées au grand public et à l'industrie montrent que cette technologie arrive à maturité et connaîtra un nombre croissant d'usages très concrets à court (1 à 2 ans) et moyen (3 à 5 ans) termes.

Ce contexte nécessite de passer de la seule réflexion sur les tendances et les dynamiques à l'œuvre dans le domaine pour adopter une posture de suivi actif des usages concrets dont le rythme d'apparition s'accélère.

Par ailleurs, ces innovations technologiques mais également d'usage arrivent et continueront d'arriver du monde civil. D'une part parce que le civil tire la course technologique dans ce domaine avec des moyens sans commune mesure avec ceux de la défense – la somme des dépenses de R&D des seuls 5 GAFAM⁵ était de 70 milliards de dollars en 2017⁶ - et d'autre part parce que la généralisation de la RA au grand public et aux entreprises multiplie les opportunités d'usages, la base d'utilisateurs et les retours d'expérience.

Préconisation d'action n°2 : conduire des expérimentations à partir des exemples d'usages identifiés au cours de l'étude

Anticiper et préparer l'emploi de la RA au sein de la réalité augmentée passe également par le lancement et l'évaluation d'expérimentations à même de valider la valeur-ajoutée d'usages possibles de cette technologie.

Ces expérimentations permettront également de réfléchir à la manière adéquate d'intégrer ce type de technologies au sein des Armées tout en s'adaptant aux cycles courts d'évolution du numérique grâce à une approche itérative et en boucles courtes entre utilisateurs et développeurs de solutions.

⁵ Google – Amazon – Facebook – Apple - Microsoft

⁶ <https://www.frenchweb.fr/numbers-combien-les-gafam-ont-ils-depense-en-rd-en-2017/321907>

L'étude a permis d'identifier un certain nombre de sujets d'expérimentations possibles, notamment au cours du séminaire de travail final :

- **Briefing de missions à distance** mêlant réalité augmentée et virtuelle : l'objectif étant ici de valider la valeur-ajoutée d'outils de RA et de VR permettant de s'affranchir des séparations physiques pour recréer virtuellement des salles de réunions rassemblant des acteurs réels présents en différents lieux.
- **Préparation et planification de missions** pour laquelle la projection et l'interaction avec des hologrammes pourrait faciliter – en mode collaboratif – la reconnaissance d'itinéraires ou l'identification de cibles.
- **L'amélioration du lien C2-théâtre**, grâce à la combinaison entre des moyens déployés et équipés d'un dispositif de RA et un accès aux informations remontées pour les officiers au sein du C2, virtuellement et à distance. L'objectif étant pour les personnes au sein du C2 de mieux visualiser la situation sur le terrain soit en ré-exploitant les données envoyées par les moyens de théâtre soit en suivant ces moyens déployés, le cas échéant avec leurs flux vidéo en temps réel.

La définition d'expérimentations pourra s'appuyer sur une identification préalable de « **situations spécifiques de visualisation de l'information** » propres à chaque phase de la planification et du commandement des opérations aériennes. Une fois ces situations et enjeux de visualisation identifiées, il s'agira de mettre en place des expérimentations permettant de valider – grâce à des protocoles d'évaluation – la valeur-ajoutée d'un dispositif de RA pour faciliter la visualisation de l'information et diminuer les efforts et le temps nécessaire pour accéder à l'information.

3.2 AXE 2 - PENSER LES ENJEUX LIES A L'EMPLOI DE LA REALITE AUGMENTEE POUR LE C2 AIR

Préconisation d'action n°3 : Associer ces expérimentations à des évaluations cognitives, physiologiques et psychologiques sur les conséquences de l'usage de la RA

Le but de la réalité augmentée est de présenter une information épurée et plus facilement assimilable, libérant ainsi de l'espace cognitif.

Pourtant, cette étude – et notamment la phase de réflexion sur les conséquences des usages de la réalité augmentée – a mis en exergue les nombreuses incertitudes voire les doutes quant à la possibilité de la réalité de simplifier une situation visuelle. La crainte étant au contraire de voir l'environnement visuel et donc la charge cognitive de l'utilisateur être complexifiée.

Cette réalité souligne le rôle essentiel que joue et jouera à l'avenir l'ergonomie dans l'adoption de la réalité augmentée. Par ergonomie, il faut entendre :

- **L'ergonomie virtuelle** qui doit permettre de présenter le plus simplement possible la bonne information, au bon format et au bon moment afin de décharger les capacités limitées de notre cerveau de certaines tâches.

- **L'ergonomie cognitive** pour être en mesure de filtrer la bonne information tout en prenant en compte les conséquences de l'effet de « tromperie du cerveau » causé par l'augmentation du réel par le virtuel de manière justement hyper réaliste.

Les dispositifs de RA placent également les opérateurs dans un nouveau contexte de travail, avec de nombreux risques physiologiques associés tels que la fatigue ou la perte de repères spatio-temporels.

La RA crée également un nouveau contexte d'interaction avec le numérique : il est nécessaire de maîtriser un nouveau mode d'interaction avec le numérique, l'opérateur ne disposant souvent plus ni d'écran ni de manettes, clavier ou souris.

Les protocoles d'évaluation des expérimentations et des premiers usages de la réalité augmentée doivent ainsi s'accompagner de protocoles d'évaluation des conséquences cognitives, physiologiques et psychologiques de ces technologies sur ses utilisateurs. Ce qui permettra en retour de comprendre la meilleure manière de les exploiter et de s'y former.

Par ailleurs, cet enjeu de simplicité devra également être pris en compte lors de la conception et de l'intégration de solutions de RA au sein des Armées : la réflexion sur l'ergonomie doit permettre d'éviter la sur-spécification pour se concentrer sur l'effet recherché.

Préconisation d'action n°4 : Privilégier les usages dans les phases « froides » du C2 Air pour monter en compétences « sans risque » dans un contexte pré-opérationnel

Au-delà des enjeux cognitifs, la réalité augmentée soulève de nombreuses questions en termes de doctrine d'emploi et de risques technologiques associés :

- **Doctrine d'emploi** : le recours aux outils de RA risque de remettre en question le principe selon lequel « le terrain commande » et souligne la nécessité de définir des règles d'emploi permettant d'exploiter tout le potentiel de la RA tout en évitant les « effets de bord » réels.

La RA permet une plus grande proximité « visuelle » et une interaction plus directe entre le théâtre et les plateformes et les plateformes d'une part et les centre de commandement d'autre part. Dans ce contexte, deux risques principaux apparaissent :

- La paralysie dans l'exercice du commandement. Pour le décideur au sein d'un C2 désormais habitué à être alimenté par un flux continu d'informations, la tentation d'attendre toujours plus d'informations pour agir est grande.
- Le micro-management et l'entrisme qui verrait le niveau stratégique écraser le niveau opératif pour communiquer et diriger directement les forces déployées. Un risque qui n'est pas propre à la RA mais aux nouveaux outils d'information et de communication.

Si l'accès immédiat et plus simple à une meilleure information est plus-value essentielle de la RA, il faut savoir l'utiliser à bon escient.

- **Risques technologiques** : la RA renvoie aux enjeux de connectivité, d'interopérabilité, de sécurité et au fonctionnement en « mode dégradé »

La RA sous-tend trois préalables techniques nécessaires pour être mise en œuvre :

- La capacité des réseaux militaires à disposer du débit nécessaire pour faire circuler cette multiplicité de flux vidéo
- Le décloisonnement et l'interopérabilité des systèmes d'informations
- La disponibilité des données

Par ailleurs, l'Armée de l'air doit être en mesure d'opérer, et de décider dans un cas extrême de neutralisation des nouvelles technologies. Elle doit donc continuer à apprendre à travailler en mode dégradé et dans un environnement nécessairement contraint par la capacité des tuyaux et les exigences de sécurité.

Dans cette perspective, mettre en œuvre des usages de la RA dans les phases froides et au sein des centres de commandement des opérations aériennes devrait permettre :

- De s'affranchir, dans un premier temps, de certaines de ces contraintes techniques puis d'y répondre progressivement ;
- De s'approprier progressivement ces technologies et de monter en compétences en évitant les risques d'un usage lors de missions plus critiques ;
- De définir les conditions d'emploi adaptées de ces technologies dans le contexte des opérations aériennes.

4 LIEN ENTRE C2 ET REALITE AUGMENTEE

4.1 UN OUTIL DE VISUALISATION DE L'INFORMATION POUR LA CHAINE DE DÉCISION DU C2 AIR

La finalité du C2 est « *d'engager et de manœuvrer des capacités d'action militaires* »⁷. Réunissant « *une structure de commandement, une organisation, des processus, et des moyens humains et techniques* »⁸. Le C2 Air est ainsi une chaîne de prise de décision qui analyse un ensemble d'informations pour concevoir, diriger puis évaluer les opérations militaires aériennes. Le C2 Air est donc une succession de processus cognitifs⁹ visant à saisir, stocker et traiter l'information.

Or, les volumes d'informations convergeant vers les centres de commandement sont croissants. Le commandement des opérations aériennes requiert et reposera de plus en plus sur des capacités accrues d'intégration des informations issues d'un nombre croissant de capteurs et de moyens interconnectés. Ce qui rend nécessaire d'améliorer l'intégration informationnelle au sein de la chaîne de décision du C2 Air.

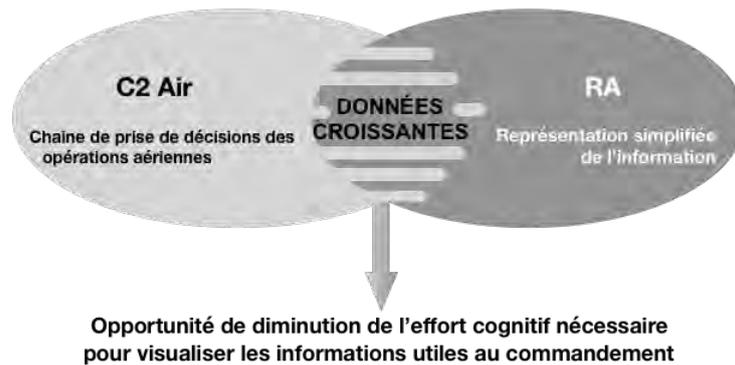
La RA est une technologie qui sert à représenter l'information en la simplifiant. Un dispositif de RA doit permettre de transformer une information de manière à diminuer l'effort cognitif nécessaire pour y accéder, la conceptualiser et la contextualiser.

Pour les missions du C2 Air, la RA offre donc l'opportunité de diminuer l'effort cognitif nécessaire pour visualiser puis traiter les informations utiles au commandement des opérations aériennes.

⁷ DAA-3.3_COA(2017), Commandement des opérations aériennes, 7 novembre 2017

⁸ Le C2 français de défense aérienne : un outil forgé dans la durée ; Aubout, Mickaël ; Droit, Yohan ; Marçais, Marie-Madeleine ; Morin, Tony ; Les cahiers de la revue de défense nationale ; 2013 ; p.17

⁹ Les processus cognitifs regroupent l'ensemble des processus élaborés par un système pour analyser des informations et mettre en place l'action adéquate pour y répondre (<https://sante-medecine.journaldesfemmes.fr/faq/36745-processus-cognitifs-definition>)



Dans le contexte du C2 Air, c'est surtout le domaine de la RA visuelle qui semble pertinent à explorer pour deux raisons principales :

- La plupart des applications et usages actuels identifiés se concentrent sur l'augmentation de la vue ;
- 80% à 90% de l'information perçue par le cerveau humain provient de la vision¹⁰.

Lorsque l'on visualise l'information, deux facteurs sont à prendre en compte :

- La **charge cognitive** qui est l'énergie mentale dépensée pour décrypter et conceptualiser une information. Par exemple, lire une carte consiste à lire des symboles et des mots pour en comprendre le sens, ce qui permettra ensuite d'imaginer la procédure à suivre pour s'orienter.
- La **distance cognitive** qui consiste à combler l'écart entre le support d'une information et l'utilisation de cette information dans le monde réel. Par exemple, la lecture d'une carte nécessite de mettre en relation les données cartographiques avec l'environnement réel pour ensuite s'orienter.

La RA vise à diminuer cette charge et cette distance cognitives en intégrant dans le champ visuel des informations facilement assimilables, d'une façon qui demande peu d'interprétation et peu de recours à la mémoire.

La planification et le commandement des opérations aériennes comportent des **situations particulières de visualisation de l'information**. Une fois ces situations de visualisation identifiées, il s'agira de mettre en place les dispositifs de RA pertinents afin de diminuer les efforts et le temps nécessaire pour percevoir l'information puis l'intégrer dans le cadre plus large de la mission.

¹⁰ <https://master-iesc-angers.com/la-realite-augmentee-enjeu-de-la-prochaine-revolution-industrielle/>

4.2 LA RA NECESSITE A PRIORI UN CHOIX SUR L'INFORMATION A VISUALISER

La RA étant avant tout un outil de visualisation, son utilisation nécessite au préalable un travail de tri et de sélection de l'information pertinente. Il existe ainsi un lien croissant entre la RA et l'intelligence artificielle (IA) :

- L'IA fournit une capacité de traitement, de tri et de sélection préalable de l'information pertinente ;
- La RA permet ensuite de représenter, de visualiser et d'intégrer cette information de manière simplifiée.

Pour envisager le recours à des dispositifs de RA pour le C2 Air, trois questions doivent être préalablement posées :

- De quelles informations dispose-t-on ?
- Quelles informations veut-on représenter ?
- Dans quels objectifs ?

En répondant à ces questions, le décideur visualisera de manière claire et précise l'information la plus utile. Ce qui permettra également de soustraire les informations non pertinentes.

Le développement actuel des dispositifs de guidage GPS utilisant la RA pour les voitures permet d'illustrer cette problématique :

- Les modèles de GPS classiques ont tendance à compliquer la lisibilité des informations de navigation en affichant une grande quantité d'informations contingentes (nom des rues adjacentes, informations de trafic, nom des lieux et des commerces etc.)
- Les dispositifs GPS utilisant la RA affichent l'information utile en superposition du réel, ce qui conduit à s'affranchir des données contingentes et augmente la visibilité de l'information utile.



A gauche, un modèle actuel de GPS Tom Tom. A droite, le système de visée tête haute (HUD) Continental.

4.3 SIMPLIFIER LA VISUALISATION DE L'INFORMATION DEPEND DE L'ERGONOMIE DE LA RA

La prise en compte de l'ergonomie¹¹ doit être placée au cœur de la réflexion sur l'utilisation de la RA comme outil d'aide à la visualisation de l'information pour le C2 Air.

Dans le civil, l'essor actuel de la RA souligne l'importance de cette exigence d'ergonomie pour assurer l'efficacité et donc l'adoption des dispositifs de RA. Elle est de plus en plus mise en avant pour les interfaces : les masques et lunettes cherchent à être toujours plus légers et « naturels ».

La question de l'ergonomie va toutefois au-delà des seuls aspects matériels. Ses enjeux s'étendent à la manière de visualiser et représenter l'information. Pour la RA, elle doit permettre – avant même de se préoccuper du confort et de la facilité d'usage d'un dispositif de RA – d'analyser les situations de représentation et de visualisation des informations pour définir comment simplifier leur intégration dans l'environnement de l'utilisateur. Ce qui passe avant tout par l'identification des mécanismes cognitifs mis en œuvre pour interpréter et intégrer une information visuelle. Des mécanismes sur lesquels le dispositif de RA pourra ensuite jouer pour améliorer cette représentation de l'information.

Ces éléments rejoignent la tendance de la RA identifiée lors de la phase de panorama : parce que l'ergonomie est la condition clé de son utilisation, cette technologie deviendra de plus en plus transparente. Elle disparaîtra progressivement aux yeux de l'utilisateur pour devenir totalement intégrée à l'environnement numérique et réel.

4.4 ENJEUX DE VISUALISATION DE L'INFORMATION PAR FONCTION CLES DU C2 AIR

Pour chacune des fonctions identifiées au sein du C2 Air, le tableau ci-après propose des problématiques liées en termes de visualisation de l'information.

Temps	Fonctions correspondantes	Enjeu en termes de visualisation de l'information

¹¹ L'ergonomie vise à « élaborer, avec le concours de diverses disciplines scientifiques qui la composent, un corps de connaissances qui doit aboutir à une meilleure adaptation des moyens technologiques de production et des milieux de travail et de vie » - Association Internationale d'Ergonomie - <http://www.peps-ergonomie-grenoble.com/ergonomie-cest-quoi>

Planification		
	Surveillance de l'environnement	Représenter et partager les informations issues des différents capteurs radars et systèmes d'informations
	Formation & entraînement	Créer des environnements réalistes et crédibles Appuyer la capacité de mise en situation
	Planification d'anticipation	Réaliser un effort d'abstraction et de conceptualisation pour anticiper les situations sur les terrains
Conduite		
Observation	Recueillir de l'information sur nos propres forces	Représenter les informations issues des différents capteurs et systèmes d'informations Contextualiser et assimiler l'information dans le tempo des opérations
	Recueillir de l'information sur l'ennemi	
	Recueillir de l'information de contexte (médias, opinion publique)	
	Recueillir de l'information sur les conditions météo	
	Recueillir de l'information sur le terrain	

Orientation	Filtrer l'information	Voir l'information la plus utile à la prise de décision
	Trier l'information sélectionnée	Contextualiser l'information
	Synthétiser l'information	Simplifier la représentation de l'information
	Rappeler / rechercher l'information	Lier importance de l'information et représentation visuelle de l'information
	Créer des hypothèses	Réaliser un effort d'abstraction et de conceptualisation pour apprécier la situation globale sur le terrain
	Évaluer des hypothèses	

	Sélectionner des hypothèses	
--	-----------------------------	--

Décision	Évaluer des hypothèses d'emploi	Réaliser un effort d'abstraction et de conceptualisation pour apprécier la situation sur le terrain
	Choisir une hypothèse d'emploi	

Action (Exécution)	Planifier les opérations en fonction de l'option retenue	Adopter une approche collaborative et partager l'information entre les différentes fonctions (forces opérationnelles, logistiques, renseignement, etc.)
	Planifier la logistique	
	Mettre en œuvre la logistique	
	Créer des scénarios de génération de forces	
	Transmettre les ordres	Partager l'information
		Assurer l'intégrité de l'information
	Mettre en œuvre des effecteurs	Communiquer avec les différentes plateformes et échelons
	S'adapter à la situation sur le terrain	Fusionner les informations issues des différents niveaux
Vérifier l'exécution des ordres	Comprendre l'information remontée du terrain	

RETEX

	Analyser et améliorer les performances humaines	Améliorer les capacités d'immersion réaliste dans des situations passées
	Analyser et améliorer les performances matérielles	
	Analyser et améliorer la qualité des processus	Améliorer les capacités de (re)mise en situation
	Diffuser les enseignements	

5 LES APPORTS POSSIBLES DE LA RA PAR FONCTION DU C2 AIR

L'identification d'apports possibles de la RA pour les différentes fonctions du commandement des opérations nécessite donc d'identifier des situations particulières au cours desquelles des informations sont visualisées par les décideurs et les différents opérateurs au sein des postes de commandement, voire des plateformes de C2.

La phase d'analyse et de définition des principales fonctions du C2 Air présentée en partie 4 a permis d'amorcer ce travail d'identification.

Pour chaque temps du C2 Air – la planification, la conduite et le RETEX – les tableaux ci-après proposent quelques situations particulières du commandement des opérations au cours desquels la visualisation des informations est un élément prépondérant.

Afin de faciliter la mise en relation des fonctions du C2 Air avec les valeurs-ajoutées de la RA, 3 types d'applications principales de la RA peuvent être distinguées :

1. Les applications de visualisation



2. Les applications insérant des informations sur les flux vidéo



3. Les applications visant à créer une expérience immersive



5.1 LES APPORTS POTENTIELS DE LA RA POUR L'ANTICIPATION ET LA PLANIFICATION

N°	Fonction C2	Situations spécifiques « C2 Air » de visualisation de l'information	Apports potentiels de la RA
1	Surveillance de l'environnement	<p>Surveillance de l'espace aérien</p> <p>Surveillance de l'espace (COSMOS)</p> <p>Surveillance du cyberspace</p> <p>Police du Ciel</p> <p>Mise en place de dispositifs particuliers de sûreté aérienne</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Au sein des postes de commandement, identifier et « tagger » des contenus sur des flux vidéo en superposition des informations affichées à l'écran. • Représenter des informations descriptives complexes (trajectographie, météorologie, données radars ou optiques) relatives à la situation spatiale et/ou aérienne issues des capteurs à l'attention des décideurs • Identifier les aéronefs interceptés et afficher les données sur leur identité, armement, trajectoire, etc. • Annoter l'information visuelle (photos, vidéos) recueillie par les plateformes (aéronefs) et devant être partagée avec les centres de commandement : armement, configuration de l'aéronef, etc. • Représenter visuellement les bulles de protection aérienne • Ajouter des animations en RA aux notes de renseignement (lieux, armements, personnes, etc.)

2	Formation et entraînement	Pilotage des aéronefs	<ul style="list-style-type: none"> • Augmenter le réalisme et la crédibilité des outils de simulation grâce une meilleure immersion visuelle • Simuler des environnements de vols complexes (obstacles, zones, etc.) • Augmenter virtuellement des environnements de vol pour limiter les risques de dommage matériels • Réaliser l'entraînement initial au pilotage sans moyens lourds reposant sur des drones virtuels
3	Planification d'anticipation	Exercices (jeux sérieux)	<ul style="list-style-type: none"> • Visualiser un grand nombre scénarios, environnements et situations possibles • Augmenter le réalisme et la crédibilité des situations planifiées grâce une meilleure immersion visuelle

5.2 LES APPORTS POTENTIELS DE LA RA POUR LA CONDUITE

5.2.1 Observation

N°	Fonction C2	Situations spécifiques « C2 Air » de visualisation de l'information	Apport potentiel de la RA en exploitant ces données
1	Recueillir de l'information sur nos propres forces		<ul style="list-style-type: none"> • Insérer (tags) des données disponibles sur les forces et les matériels en superposition sur des flux vidéo et/ou cartes
2	Recueillir de l'information sur l'ennemi	Drones et avions d'observation Exploitation des données radar et des données satellites Notes et produits de renseignement	<ul style="list-style-type: none"> • Représenter les données complexes issues des différents capteurs (radars, imagerie satellite, optique, etc.) • Insérer des données contextuelles capteurs (tags) directement en superposition sur les flux vidéo issus des différents capteurs • Ajouter des animations en RA aux notes de renseignement
3	Recueillir de l'information de contexte (médias, opinion publique etc)		<ul style="list-style-type: none"> • Intégrer les données de contexte issues des différents canaux médiatiques (par exemple sous forme d'alerte)

4	Recueillir de l'information sur les conditions météo	Exploitation des données satellites et issues de tiers parties	<ul style="list-style-type: none"> • Reconnaissance d'image couplée à de la RA (tag, suggestion de liens, etc.) • Afficher des données topographiques ou météo en RA à partir de cartes papier • Insérer des données contextuelles sur des flux vidéo
5	Recueillir de l'information sur le terrain	Appréciation de la situation globale sur le terrain	
6	Détecter des signaux de l'environnement		

5.2.2 Orientation

N°	Fonction C2	Situations spécifiques « C2 Air » de visualisation de l'information	Apport potentiel de la RA en exploitant ces données
1	Filtrer l'information – radars, capteurs, images, guerre électronique	Apprécier la situation globale sur le terrain	<ul style="list-style-type: none"> • Représenter visuellement les données remontées par les capteurs pour en faciliter la compréhension • Fusionner au sein d'un même champ visuel des informations de différents formats (vidéo, photo, texte, etc.)
2	Trier l'information sélectionnée		<ul style="list-style-type: none"> • Représenter visuellement l'importance de l'information (code couleur, symboles, etc.)
3	Synthétiser l'information		N.A.

4	Rappeler/ Rechercher de l'information		<ul style="list-style-type: none"> Lier une information nouvelle et ancienne (<i>chaining</i>) à l'instar de ce qui se fait pour la maintenance (superpositions de cartes)
5	Représenter de l'information	Informations retenues lors des phases de filtrage, tri et synthèse des données	<ul style="list-style-type: none"> Identifier et « tagger » des contenus sur des flux vidéo « hors écran » Ajouter des filtres virtuels sur les flux vidéo Disposer d'un poste de commandement virtuel dans lequel créer, disposer et interagir avec des contenus virtuels, en fonction du besoin Travailler de manière collaborative sur des cartes partagées (tables numériques)
6	Créer des hypothèses	Données retenues lors des phases de filtrage, tri et synthèse	N.A.
7	Évaluer des hypothèses	Données retenues lors des phases de filtrage, tri et synthèse	N.A.
8	Sélectionner des hypothèses	Données retenues lors des phases de filtrage, tri et synthèse	N.A.

5.2.3 Décision

N°	Fonction C2	Situations spécifiques « C2 Air » de visualisation de l'information	Apport potentiel de la RA en exploitant ces données
1	Évaluer des hypothèses d'emploi	Hypothèses d'emploi évaluées en termes de risques et d'opportunités	<ul style="list-style-type: none"> Visualiser les hypothèses d'emploi et leurs différents paramètres avec des codes couleurs ou symboles spécifiques en fonction de leur pertinence
2	Choisir une hypothèse d'emploi	N.A.	N.A.

5.2.4 Action

N°	Fonction C2	Situations spécifiques « C2 Air » de visualisation de l'information	Apport potentiel de la RA
1	Planifier les opérations en fonction des choix faits	Analyse de la mission confiée Production des plans d'opérations et directives	<ul style="list-style-type: none"> Recourir à des bacs à sable augmentés pour visualiser en 3D des théâtres voire les plans d'opérations Représenter en 3D les données complexes (graphes, chiffres, etc.)
2	Planifier la logistique		
3	Mettre en œuvre la logistique		

4	Créer des scénarios de génération de forces	N.A.	N.A.
5	Transmettre les ordres	<p>Transmissions des directives (Air Task Order)</p> <p>Briefings des équipages</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Organiser des réunions de travail virtuelles par hologramme, pour faciliter le travail collaboratif • Ajouter aux directives des animations en RA pour faciliter l'assimilation de l'information • Représenter en 3D et projeter les environnements des missions
6	Développer des scénarios de génération des forces	Scénarios de génération de forces	N.A.

7	Mettre en œuvre des effecteurs	Contrôle de l'espace aérien	<ul style="list-style-type: none"> • Insérer des données contextuelles sur les flux vidéo des écrans radars • Compléter virtuellement des environnements en conditions météorologiques dégradées pour aider le contrôle aérien • Afficher les données sur l'aéronef dans le champ de vision du contrôleur (altitude, caps, vitesse, distances, etc.) pour faciliter le contrôle d'approche et le guidage • Afficher les données relatives au circuit d'approche et/ou d'attente • Reconstituer et paramétrer un panorama depuis un point d'observation (JTAC) • Calculer et évaluer les distances (JTAC)
		Contrôle aérien avancé (JTAC)	
		Identification, localisation et traitement des cibles	<ul style="list-style-type: none"> • Représenter sous forme d'hologrammes les cibles pour améliorer leur assimilation par les officiers C2 et les pilotes • Afficher dans le champ de vision les informations sur les cibles (coordonnées GPS, nature, distance, etc.) • Partager et « mettre en réseau » les champs de vision des différents acteurs • Visualiser les informations sur les cibles remontées vers les officiers traitants au sein des postes de C2 (écrans augmentés, fusions des sources d'informations, etc.)

7	Mettre en œuvre des effecteurs	Pilotage	<ul style="list-style-type: none"> • Lors de la check-list, insérer des éléments virtuels pour concentrer le regard et l'attention du pilote vers les endroits pertinents • Afficher des éléments de navigation (ex : pistes) lors des phases de décollage et d'atterrissage en conditions de visibilité réduite • Afficher l'information en fonction du champ de vision du pilote pour lutter contre la surcharge visuelle et cognitive • Afficher les procédures d'urgences dans le champ visuel • Afficher les ordres et leur suivi • Faciliter la navigation aérienne grâce à des expérience de RA persistante (limites de l'espace aérien) • Faciliter la géolocalisation grâce à l'environnement physique (étoile, soleil, terrains, etc.)
8	Vérifier l'exécution des ordres	Suivi des ordres Changements dans le Air Task Order	<ul style="list-style-type: none"> • Représenter visuellement l'information remontée depuis le terrain opérationnel vers le commandement • Disposer d'une vision globale de la situation tactique • Valider les informations remontées en les représentant visuellement

5.3 LES APPORTS POTENTIELS DE LA RA POUR LE RETEX

N°	Fonction C2	Situations spécifiques « C2 Air » de visualisation de l'information	Apport potentiel de la RA
1	Analyser et améliorer les performances des hommes	Comptes rendus de missions Débriefings	<ul style="list-style-type: none"> • Rendre les contenus interactifs et dynamiques grâce à des animations en RA • Visualiser en 3D les trajectoires suivies, les itinéraires, les données de vols, les effets atteints, etc. lors des phases de débriefings • Faciliter le travail collaboratif lors des phases de débriefings grâce à des moyens de communication et de visualisation en RA (téléprésence, partage de supports 3D, etc.)
2	Analyser et améliorer les performances des matériels	« Boîtes noires » Comptes rendus à temps Comptes rendus d'exercice Comptes rendus d'opportunité	
3	Analyser et améliorer la qualité des processus	Comptes rendus à temps Comptes rendus d'exercice Comptes rendus d'opportunité	
4	Diffuser les enseignements		

6 ETAT DES LIEUX ET ENJEUX TECHNOLOGIQUES DE LA REALITE AUGMENTEE

6.1 POINTS CLES

- Un marché en forte croissance – 2017 : \$ 9,1 Mds ; 2018 : \$ 17,8 Mds (IDC)
 - Une multiplication des casques de réalité augmentée disponibles et l'apparition des premiers prototypes de lunettes grand public
 - Plus de 1500 millions d'applications intégreront la réalité augmentée en 2018 et près de 5000 millions en 2022¹².
 - La réalité augmentée apporte à ces applications : une vision en 3D et géo-localisée de l'information en temps réel, un accès plus intuitif à l'information, différents angles de vue et perspectives sur une information et une capacité accrue d'interaction avec l'information.
 - À l'heure actuelle, le smartphone est le vecteur qui permet l'essor de la RA à travers des expérimentations ciblées grâce aux outils dédiés de développement d'applications.
 - Du point de vue des usages comme des technologies de la RA, le principal défi est de lier toujours plus étroitement environnement physique et numérique, de manière transparente et invisible pour l'utilisateur. Ce qui passera avant tout par l'amélioration des interfaces de réalité augmentée, aujourd'hui principal goulot d'étranglement de la RA.
 - L'essor récent de la RA coïncide avec celui de l'intelligence artificielle (IA), ces deux technologies convergent notamment dans le domaine de la reconnaissance d'images pour : analyse d'une l'image et ajout temps réel de couches virtuelles calibrées en fonction de l'environnement physique.
 - Les progrès réalisés dans la réalité augmentée sonore et l'haptique (science du toucher) montrent comment la réalité augmentée a vocation à augmenter l'ensemble des sens au contact de l'univers numérique.
 - Les travaux des centres de recherche privés et académiques illustrent les grands défis de la réalité augmentée : intégration des multiples capteurs, reconnaissance d'images, réalisme de l'affichage (en extérieur), ergonomie des interfaces, interfaces homme-machine.
-

¹² <https://www.dotcominfoway.com/blog/infographic-future-of-mobile-app-development-2018>

6.2 CONTEXTE

6.2.1 Définition

Si l'on prend une définition courante comme celle donnée par Wikipédia, la **réalité augmentée (RA)** est « la superposition de la réalité et d'éléments (sons, images 2D, 3D, vidéos, etc.) calculés par un système informatique en temps réel ». En d'autres termes, la RA enrichit la réalité au lieu de la remplacer, par opposition à la réalité virtuelle.

La réalité augmentée s'appuie sur 2 principes de base :

- La **prise en compte de l'environnement réel** qui servira de support à l'ajout virtuel.
- Le **caractère interactif et donc en temps réel**, un aspect pour lequel la multiplication des objets et dispositifs connectés contribue fortement à l'essor de la RA en permettant une remontée et une exploitation continues des données.

On distingue généralement 4 paliers de réalité augmentée qui s'accompagne chacun d'un niveau technologique de plus en plus poussé :

- 1) **Récupérer l'information** : Le QR code qui, à partir d'une image en 2D et via une application de lecture d'image, permet d'accéder à une base de données virtuelle en vue de récupérer l'information.
- 2) **Transformer une image** : ce niveau de RA s'appuie sur le repère dans une image (un marqueur) servant de déclencheur afin de développer des informations virtuelles liées à cette image. Par exemple dès 2014 des bornes numériques permettaient, en magasin, de visualiser l'intérieur d'une boîte de jeu Lego sans l'ouvrir.
- 3) **Superposer des objets virtuels avec la réalité** : ce niveau nécessite des logiciels de *tracking* et s'appuie sur des marqueurs réels qui permettent de faire le lien avec la base de données. Le contenu désiré est ensuite téléchargé pour apparaître sur un écran en superposition de l'image réelle.
- 4) **Simuler des interactions avec l'environnement** : ce dernier niveau de RA abandonne les marqueurs pour analyser l'image directement et définir ses caractéristiques (contours, profondeur, etc...). La reconnaissance d'environnement permet ensuite d'ajouter des couches virtuelles de manière à simuler une interaction avec l'environnement.

C'est aujourd'hui le quatrième niveau qui est le plus connu de la réalité augmentée et le plus abouti dans la mesure où il contient le degré le plus complexe d'interaction entre le réel et le virtuel. Cependant les usages de la réalité augmentée combinent souvent plusieurs niveaux d'augmentation.

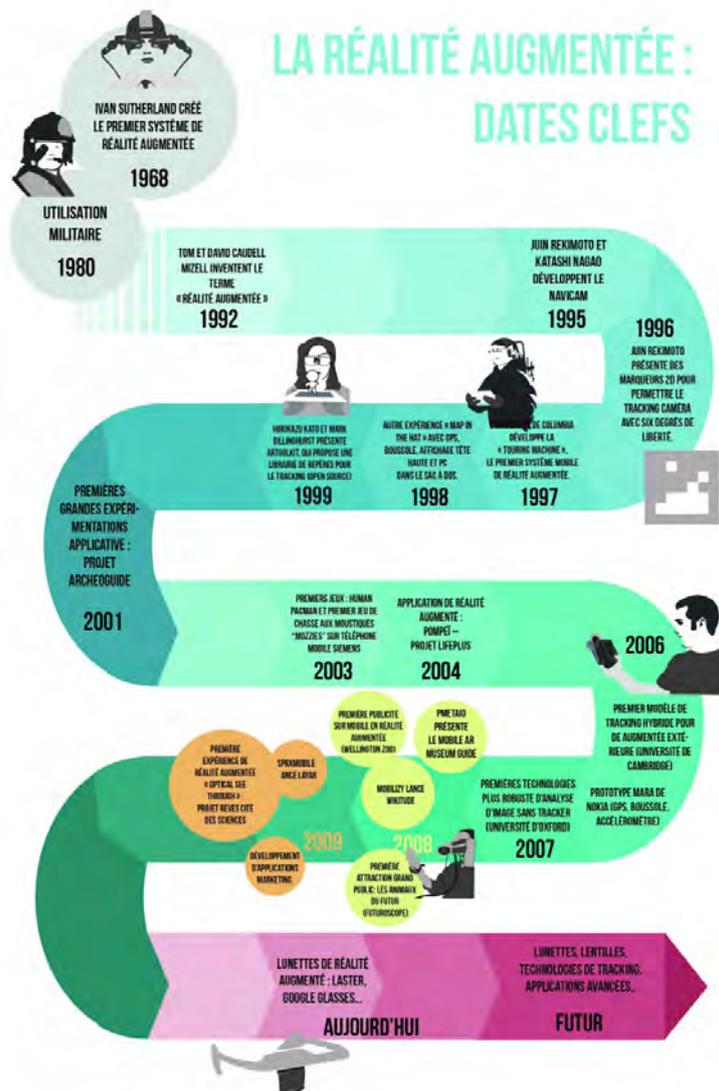


Figure 2 - Source : Manon Boschard et Lucas Zapata (2014)

Comme le montre le schéma ci-dessus, depuis la première technologie de RA créée en 1968 par l'ingénieur informatique américain Ivan Sutherland, « un casque à vision transparente », les applications et les technologies de la RA ont considérablement évoluées. Les interfaces ont été simplifiées, la détection de l'environnement physique s'est améliorée grâce aux progrès des caméras (plans horizontaux, plans verticaux, surfaces irrégulières, etc.) et les capteurs de tous types se sont multipliés augmentant le réalisme de l'incrustation des éléments numériques.

Entre 2010 et 2016, la réalité augmentée a concentré des investissements estimés à \$2,48 milliard¹³ et toutes les études récentes indiquent que ces investissements augmenteront dans

¹³ Augmented Reality Market Report, 2016, Woodside Capital Partners

les prochaines années ; le domaine de la réalité augmentée attirant d'ailleurs de plus en plus d'intérêt et de financement que celui de la réalité virtuelle.

Certaines limites et contraintes ont longtemps (et pour certaines continuent) de freiner le développement et la généralisation de la réalité augmentée. Elles s'expliquent notamment par un dilemme :

- Les développeurs d'applications et de contenus pour la RA sont prudents en termes d'investissements tant qu'ils ne disposent pas de terminaux estimés « stables » ;
- Les utilisateurs, grand public et entreprises, hésitent à acquérir des matériels de RA sans un choix enrichi de contenu et d'applications.

Pourtant, ce dilemme pourrait être dépassé au regard des récentes évolutions. En effet, alors que la réalité augmentée est généralement associée aux casques et lunettes de RA, les terminaux mobiles tirent les récentes évolutions dans le domaine.

Ce que n'avaient visiblement pas anticipé les auteurs de la chronologie ci-dessus (figure 1) : les smartphones et tablettes de grands acteurs du numérique tels qu'Apple et Google (Android) sont désormais les supports privilégiés de nombreuses applications de RA via leurs kits de développement d'applications dédiés ARKit et ARCore.



Figure 3 – Un changement de paradigme à l'origine d'un nouvel essor pour la RA ?

Aux côtés de spécialistes du domaine, en particulier dans l'industrie, l'effort technologique et financier à l'égard de ces applications est désormais principalement porté par les GAFAM (Google, Apple, Facebook, Amazon et Microsoft).

Si les supports matériels (smartphone, tablettes et lunettes) sont principalement développés par des grands groupes, de nombreuses start-ups et PME se positionnent désormais sur la création d'applications et usages innovants de RA.

Lancé en juillet 2017, ARKit proposerait près de 2000 applications de réalité augmentée un peu plus de six mois après, qui témoignent des progrès techniques réalisés et de l'intérêt suscité par la RA. Si ce sont les domaines du divertissement et des multimédias¹⁴ qui semblent concentrer, pour l'instant la plupart de ces applications (47%), des usages utiles et intéressants commencent à apparaître.

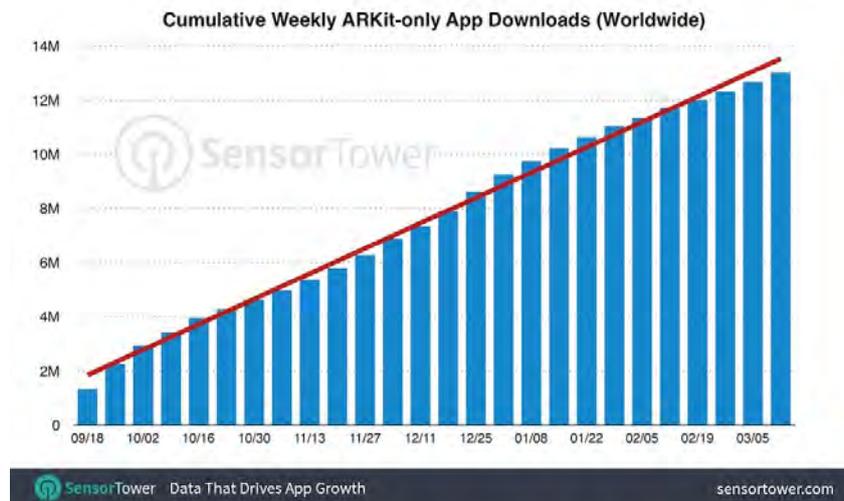


Figure 4 - Téléchargements cumulatifs hebdomadaires d'applications utilisant ARKit entre septembre 2017 et mars 2018

Autre facteur accélérant l'essor de la RA : la multiplication et l'amélioration rapide des capteurs utilisés tels que le GPS, la boussole, le gyroscope, les différentes caméras, le thermomètre, compteur de vitesse, etc. permettant de localiser l'utilisateur mais également de remonter toujours plus d'informations pouvant être exploitées pour enrichir l'expérience de RA.

6.2.2 Environnement technologique

Les principes de prise en compte de l'environnement réel et d'interaction en temps réel définissant la RA reposent sur des technologies :

- De **reconnaissance d'images** afin d'ajouter des couches virtuelles de manière à simuler une interaction avec l'environnement

¹⁴ 30% de jeux vidéo, 12% utilitaire (aménagement, etc.), 13% divertissement et 8% éducatif.

- De **tracking** afin de localiser en temps réel et dans l'espace les images, objets, visages, etc.
- De **modélisation 3D** afin de générer du contenu virtuel 3D, vidéo, etc.
- **D'affichage** afin de pouvoir combiner des images et des environnements numériques et réels.
- **D'interaction** afin de pouvoir interagir en temps réel et dans l'espace.

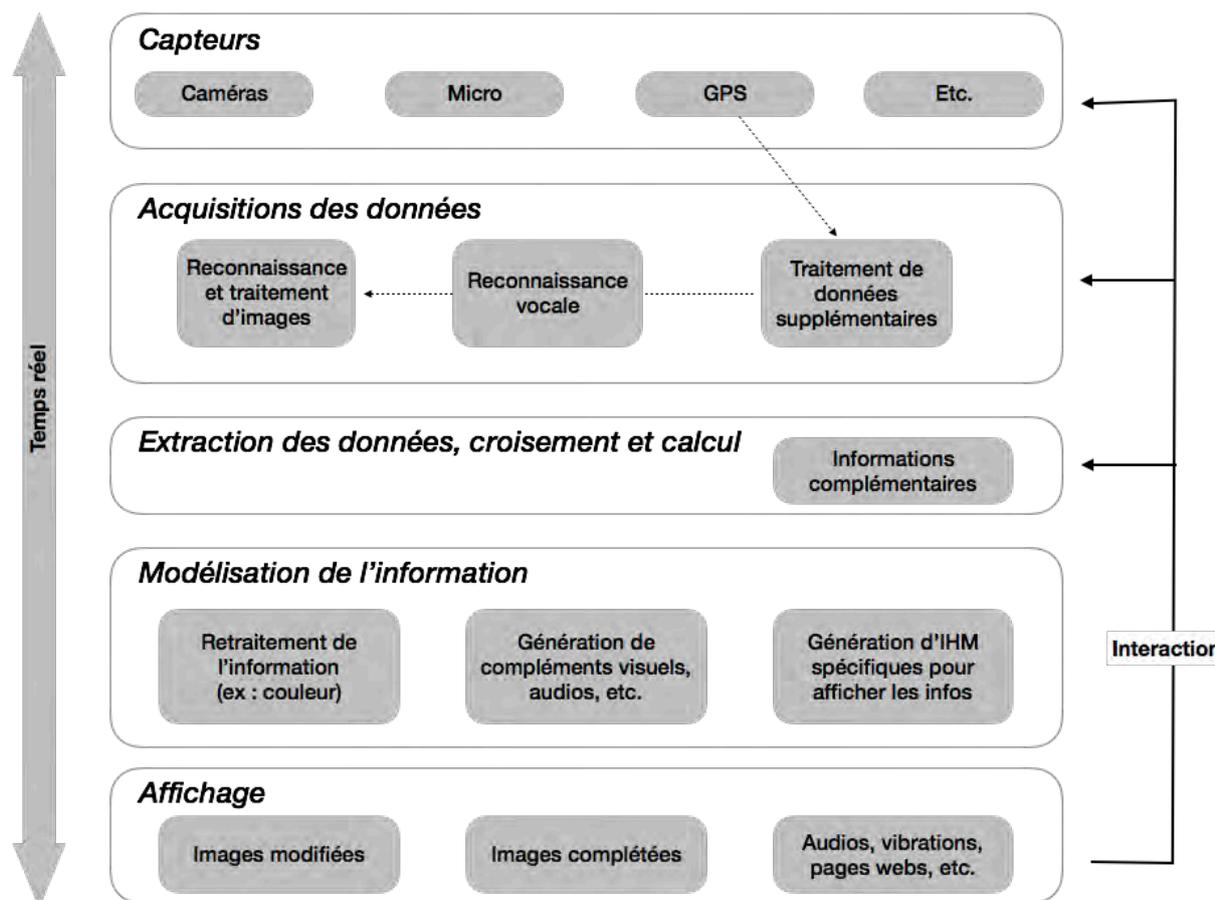


Figure 5 - Aperçu de l'architecture de la RA (source : CEIS)

6.3 TENDANCES TECHNOLOGIQUES ET PRINCIPAUX ENJEUX

La démocratisation à venir de la RA évoquée ci-dessus promet de multiplier et d'améliorer les technologies et les usages de la réalité augmentée. Elle apporte d'ores et déjà des réponses à quelques-uns des principaux défis techniques de la réalité augmentée : technologies d'affichage, prise en compte du temps-réel, calibrage de l'environnement réel.

6.3.1 La réalité, une technologie de plus en plus « transparente » et simplifiée

L'essor que connaît actuellement la réalité augmentée avec les smartphones illustre le mouvement de simplification de cette technologie : depuis les capteurs jusqu'à l'affichage, l'ensemble de l'architecture tient dans un terminal de poche.

À terme, il est probable que **les technologies de réalité augmentée seront de plus en plus liées, de manière transparente**, avec l'environnement numérique. En effet, la raison d'être et l'objectif de la réalité augmentée est de créer des environnements où l'univers numérique se mêle de plus en plus « naturellement » et intuitivement au monde réel.

C'est d'ailleurs ce que défendait en février 2018 Bob Metcalfe, Professeur à l'université du Texas et inventeur de la liaison Ethernet, en disant que la réalité augmentée disparaîtra progressivement pour devenir totalement intégrée à notre environnement numérique et réel.

Du point de vue des **applications et des usages**, la tendance ira également vers plus d'intuitivité : diminution ou une simplification de l'intervention humaine pour contrôler, ajuster et interagir avec le système, représentation de plus en plus adéquate et contextualisée de l'information.

La réalité augmentée joue ainsi un rôle d'accélérateur dans la convergence entre monde numérique et monde physique. Plusieurs facteurs y participeront, au premier rang desquels se trouve l'amélioration des interfaces.

6.3.2 L'interface d'affichage, premier enjeu d'une RA plus intégrée

L'interface apparaît aujourd'hui comme le principal goulot d'étranglement de la réalité augmentée : la partie matérielle et en particulier les casques et lunettes de réalité augmentée sont encore dans une phase de maturation. Clay Bavor, le responsable de la vision VR/AR de Google, reconnaît ainsi que l'industrie numérique devra multiplier les percées technologiques pour miniaturiser les écrans et les composants indispensables au développement d'interfaces légères.

L'amélioration des interfaces devrait ainsi être le premier facteur qui contribuera à la simplification et à la transparence de la réalité augmentée.

Dans cette perspective, le fort intérêt suscité par les masques et lunettes de RA ne doit pas faire oublier les autres interfaces possibles, pour certaines d'ores et déjà opérationnelles et pour d'autres « futuristes » sur lesquelles seuls des centres de recherche se penchent à l'heure actuelle.

Type d'affichage	Interface	Exemple	Mise en pratique
« En main »	Téléphone, tablette, etc.		Actuelle (Grand public)
Affichage tête haute	Pare-brise	 Conduite automobile	Actuelle
« Montée sur tête »	Masque, lunette, monocle, casque, etc.	 Expert Téléportation	Actuelle (Sphère professionnelle)
Projetée (hologramme)	Vidéoprojecteurs, caméras, ordinateurs, Lampes, etc.	 Hololamp	Actuelle
Rétinal (projetée)	Lunettes	 Intel VAUNT	+ 3 ans ¹⁵
Rétinal (superposée)	Lentilles de contact		10 à 15 ans ¹⁶

¹⁵ Source : Mark Billinghurst, Director at HIT Lab NZ, Beyond Reality (2027): The Future of Virtual and Augmented Reality : <https://www.slideshare.net/marknb00/beyond-reality-2027-the-future-of-virtual-and-augmented-reality>, Août 2017

¹⁶ Idem.

« En main »

À l'heure actuelle, le smartphone est le vecteur qui permet l'essor de la RA : il présente le triple avantage d'être un terminal mobile, universellement répandu et disposant d'une très grande capacité de calcul. Mais cette interface reste problématique : manipuler et pointer son téléphone de la sorte n'est pas quelque chose « d'intuitif » ni de « naturel ». Elle a également le désavantage d'occuper au moins une des mains de l'utilisateur. Ce qui peut laisser penser que certaines des autres interfaces (lunette et lentilles) présentées dans le tableau ci-dessus accéléreront leur développement dans les prochaines années.

Il est également possible de penser que dans les 10 à 15 prochaines années le smartphone restera au cœur de l'environnement numérique et qu'il sera connectée à une seconde interface dédiée à la réalité augmentée, lunettes ou lentille par exemple. Ce qui permettra de disposer de la capacité de stockage et de calcul du smartphone tout en envisageant la possibilité de désactiver l'interface de RA qui peut être jugée intrusive dans certain contexte et tout en conservant l'ensemble des fonctionnalités d'un smartphone.

Affichage tête haute (HUD)

Trouvant son origine dans l'aviation militaire, l'affichage tête haute (*Head-up display* – HUD) diffère de la réalité augmentée dans la mesure où les informations affichées – dans le cas d'un pilote de chasse, l'altitude, la piste ou encore la vitesse – ne sont pas directement reliées ni affichées en fonction des objets dans le champ de vision du pilote.

Avec la réalité augmentée, la technologie HUD peut désormais afficher des objets en 3D et des informations relatives à ces objets en fonction de ce qu'identifient les capteurs. Ces informations sont présentées indépendamment du point fixé par le conducteur ou le pilote, à travers un pare-brise ou, dans le cas des voitures, une partie du pare-brise.

« Montée sur tête » (HMD)

Dans la sphère professionnelle, notamment l'industrie lourde, la logistique et la construction, des casques et lunettes robustes de RA sont déjà présents depuis plusieurs années (sociétés Microsoft, Epson, Daqri, ODG, etc.) et ont trouvé des usages. Ces usages professionnels se développent dans de plus en plus de secteurs d'activité et les projections prévoient une baisse des coûts des casques, estimés à 5 à 10% annuellement. En effet, une partie des composants HMDs ressemblent à ceux des smartphones (capteurs mouvements, displays, processeurs, connexion sans fil, etc.), tandis que d'autres sont propres à la RV/RA (lentilles 3D, système de monitoring de position)¹⁷.

¹⁷ <https://www.usinenouvelle.com/article/decollage-en-vue-du-marche-des-realites-virtuelle-et-augmentee.N637088>

Les casques de réalité augmentée se multiplient et les plus-values de leurs usages professionnels se confirment : formation, expertise à distance, lectures d'instruction en mains libres, réalisation de maquettes, cartographie, opérations de maintenance et d'ingénierie de précision, etc¹⁸. Pourtant, leurs prix restent élevés, un casque HoloLens professionnel coûtant environ 5000 euros aujourd'hui. Ce qui rend difficile d'envisager une adoption générale à court terme, dans de nombreux domaines d'activités et par le grand public. D'autant plus que ces interfaces sont lourdes et peu ergonomiques.

L'innovation technologique dans le domaine des HUD se concentre sur le développement d'interfaces légères, principalement des lunettes, qui amélioreront l'ergonomie et devraient permettre de toucher un public d'utilisateurs élargi au grand public. En mars 2018, la société Vuzix, fabricant de technologies numériques mobiles pour les professionnels, a ainsi annoncé la sortie prochaine de lunettes de réalité augmentée grand public dont l'allure se rapproche des lunettes classiques. Retenant l'échec des GoogleGlass grand public qui misaient sur l'aspect technologique plutôt que sur la discrétion de l'interface, ces lunettes recherchent à avoir l'apparence simple ou du moins modulable de lunettes classiques.

Cependant, une fois que des lunettes de réalité augmentée ergonomiques, adaptées aux usages de la RA et socialement acceptées auront été conçues, un obstacle demeurera : convaincre de l'intérêt de porter des lunettes, objets aujourd'hui portés par contrainte pour remédier à un handicap visuel.

Affichage rétinale superposé et projeté

Afin de remédier à cette limite, les lentilles de contact sont aujourd'hui la principale alternative envisagée. Elles font également l'objet de nombreux travaux de recherche qui visent à y intégrer des systèmes d'affichage. Ces recherches semblent pour l'instant être encore restreintes aux laboratoires et aucun prototype n'a encore été dévoilé. Quelques étapes significatives ont cependant été franchies récemment. Ainsi, en 2016, l'Université d'Australie-Méridionale a réalisé la « preuve de concept » d'un revêtement transparent et biocompatible capable de conduire l'électricité, ouvrant la possibilité de concevoir des circuits électriques pour alimenter des écrans miniaturisés

En plus des grands industriels de l'électronique, les acteurs du monde médical s'y intéressent : le développement d'éventuelles lentilles de RA a en effet de fortes synergies avec les recherches pour tenter de faire des lentilles de contact des outils de diagnostic médical ou de correction de la vue

Pour Mark Billingham, Directeur du HIT Lab NZ, un laboratoire universitaire parmi les leaders mondiaux dans le domaine de la réalité augmentée, il faudra attendre 10 à 15 ans pour voir les premiers systèmes de lentilles de RA être mis au point et adoptés.

¹⁸ <https://www.vrfocus.com/2018/03/report-shows-continuing-application-growth-in-ar/>

Pourtant, en février 2018, la société Intel a dévoilé Vaunt, un prototype de lunettes connectées. D'allure très classique, elles peuvent passer complètement inaperçues. Au-delà de ce choix esthétique, ces lunettes font le choix d'un affichage rétinale projeté : elles sont équipées d'une diode laser de faible intensité capable de projeter du texte monochrome directement sur la rétine et d'un réflecteur holographique pour l'affichage sur les verres des lunettes.

6.3.3 Convergence entre réalité augmentée et intelligence artificielle

La réalité augmentée est née en 1956. Pourtant, son récent essor coïncide avec celui de l'intelligence artificielle et plus particulièrement des technologies de reconnaissance d'image qui permettent d'analyser l'image directement et d'ajouter en temps réel des couches virtuelles prenant en compte l'environnement physique.

Les développements récents sur les terminaux mobiles ont placé la caméra « intelligente » au cœur de la réalité augmentée. Désormais, de plus en plus d'applications visent à exploiter les capacités de reconnaissance d'images et/ou d'environnements pour superposer une couche virtuelle informative sur un texte, lieu ou tout autre objet physique capturé dans le champ de vision de la caméra.

Les exemples d'applications grand public telles que *Magic Plan* et *LiveMap* permettent de réaliser des mesures et une cartographie instantanée – d'une salle dans le cas de *Magic Plan* et d'un lieu depuis un drone dans le cas de *LiveMap* – et illustrent ce rapprochement entre RA et IA. Ces deux applications ajoutent aux senseurs (caméras) des fonctionnalités de réalité augmentée qui leur permettent de mieux capter ou mesurer l'environnement physique puis de représenter les données captées par les senseurs au fur et à mesure qu'elles sont récoltées, notamment en permettant une cartographie instantanée.

Autre exemple, le service Google Lens a été annoncé en mars 2018 pour permettre d'analyser une image pour en tirer des informations qui seront affichées à l'écran en temps réel¹⁹.

Les progrès actuels dans le domaine de l'intelligence artificielle auront de plus en plus d'implications sur la réalité augmentée, notamment dans le domaine de la compréhension située du langage ou « Grounded Language Understanding », qui permettront prochainement, par exemple, de recevoir en temps réel sur son interface de réalité augmentée des informations sur les objets et les personnes présentes dans le champ de vision. Un service qui se rapproche de la fonctionnalité, encore basique, de RA de l'application GoogleTranslate qui permet de superposer à un texte capté par le smartphone, sa traduction dans la langue désirée directement sur le texte original.

¹⁹ <http://www.rtl.fr/actu/futur/google-lens-la-camera-intelligente-arrive-sur-smartphones-android-7792528716>

Cette convergence entre IA et RA accélèrera le phénomène d'une RA de plus en plus intégrée. Illustration récente, le dernier smartphone de Samsung, le Galaxy S9, intègre l'assistant numérique Bixby qui utilise la réalité augmentée et des technologies d'IA pour fournir des informations sur l'environnement d'un utilisateur en superposition de l'environnement réel pour certaines fonctionnalités classiques du téléphone : traduction, géolocalisation, informations sur des aliments consommés, etc. La réalité augmentée, alliée à la reconnaissance de forme, pourrait ainsi être utilisée dans beaucoup de domaines.

6.3.4 Élargissement du périmètre d'interaction avec le numérique

La réflexion sur la réalité augmentée est souvent biaisée par l'intérêt considérable donné à la possibilité d'augmenter l'information visuelle. Au risque de passer à côté de la véritable transformation qui s'opère avec la réalité augmentée : la réalité augmentée peut être une extension de l'ensemble des sens, et ce de plusieurs manières. La RA joue en effet plus largement sur notre perception, laquelle ne se limite pas à la vision et s'étend à tous nos sens. Cette extension des principes de la réalité augmentée visuelle à nos différents sens renforce l'immersion dans la réalité « mixte » à la convergence entre RA et monde physique

Des applications d'ores et déjà utilisées illustrent cet enrichissement de nos différents sens par des informations ou stimuli de différentes natures :

- **AR sonore** : l'entreprise d'électronique BOSE a mis au point le prototype d'une paire de lunettes qui permettra de diffuser des informations audio contextuelles à travers une sortie audio intégrée aux lunettes, et grâce à des capteurs analysant les mouvements de tête et un accès aux données GPS du smartphone. Les premières applications avancées sont la possibilité de recevoir des informations de guidage ou encore la traduction audio instantanée d'indications et de panneaux en langues étrangères. De simples amplificateurs sélectifs en fréquence, on passe ainsi à de véritables outils de réalité augmentée, capables de réagir en fonction des bruits extérieurs, et sans doute, à moyen terme, de fournir des services d'interprétations multilingues.
- **AR tactile** : l'haptique (science du toucher) est déjà utilisée au quotidien pour faciliter l'interaction humaine avec l'univers numérique ; par exemple dans notre mode d'interaction avec les écrans tactiles de nos téléphones portables ou lorsque nous recevons un message ou un appel, via une vibration. Avec la réalité augmentée, les champs d'applications de l'haptique seront de plus en plus étendus : aujourd'hui, les consignes de guidage GPS peuvent être transmises par les vibrations d'une montre connectée, demain les modalités d'interaction avec le numérique par le toucher s'étendront à d'autres besoins en information.

Ces augmentations sonores et haptiques présentent de nombreux avantages très concrets : elles offrent des alternatives lorsqu'il n'est pas possible de regarder un écran (conduite / pilotage) mais également pour simuler et appréhender différentes textures.

6.3.5 Activités des principaux centres académiques positionnés sur la RA

Ce rapide panorama de la recherche scientifique se concentre sur la recherche appliquée exclut les industriels qui sont les premiers acteurs du domaine mais qui ont déjà été traités dans les parties précédentes.

Principaux acteurs de la recherche scientifique

France		
Organisme	Principales thématiques de recherche	Principaux partenaires
INRIA	Équipe MAGRIT ²⁰ : Calcul séquentiel et en temps réel du point de vue, modélisation 3D, fusion d'informations	CNRS Université de Lorraine GE Healthcare
	Équipe POTIOC ²¹ : interaction homme-machine, immersion et engagement de l'utilisateur	Université de Bordeaux CNRS Airbus, Immersion
CEA	CEA-List : gestion des flux d'information en cybersécurité ²² , prototype de lunette RA ²³ , haptique ²⁴	Diota
	CEA-Leti : démonstrateur de micro-écrans (DiamonDisplay) ultra lumineux pour une RA « en plein jour » (lunettes grand public, pilotage automobile, aéronautique, etc.) ²⁵	StretchSense (capteurs)
États-Unis		
MIT Media Lab ²⁶	CityScope Andorra : visualisation d'une ville en RA et en temps réel pour simuler les conséquences d'interventions.	Bose Escher Reality

²⁰ <https://www.inria.fr/equipes/magrit>

²¹ <https://www.inria.fr/equipes/potioc>

²² <http://www.cea-tech.fr/cea-tech/Pages/en-regions/pfa-controle-surveillance-systemes-information.aspx>

²³ <http://www.cea-tech.fr/cea-tech/Pages/actualites/News/des-lunettes-de-realite-augmentee-a-l-etat-de-l-art-usine-du-futur.aspx>

²⁴ <http://www-list.cea.fr/medias/toute-l-actualite/2018/362-25-janvier-2018-ecrans-tactiles-des-impulsions-localisees-pour-un-retour-haptique-plus-precis>

²⁵ <http://www.leti-cea.fr/cea-tech/leti/Pages/innovation-industrielle/Demonstrateurs/diamondisplay.aspx>

²⁶ (<https://www.media.mit.edu/research/?filter=everything&tag=augmented-reality>)

Université d'Auckland	RA appliquée à la communication (téléconférences,)	N.A.
Nouvelle-Zélande		
HIT Lab NZ ²⁷	Technologies de visualisation, tracking et d'interaction pour la RA. Applications dans le domaine des télécommunications, l'information géospatiale, la construction	Fraunhofer, Atos, Trimble
University of Auckland ²⁸	Utilisation de la RA pour les télé-conférences	N.A.
Royaume-Uni		
Imperial College London MSK ²⁹ Lab	Recherches sur les possibilités d'utilisation de la RA en chirurgie pendant l'opération et pour la formation	N.A.
Université de Manchester	Applications dans la santé, médias, culture, tourisme ³⁰	Samsung Conférence annuelle « Augmented Reality and Virtual Reality »
Allemagne		
Université Technique de Munich	Utilisation de la RA pour les opérations mini invasives, HDM pour les chirurgiens ³¹ .	N.A.
Fraunhofer	Applications dans la santé, éducation, industrie (maintenance, assemblage), loisirs ³² .	N.A.
Université de Freiburg - Translational Neurotechnology Lab	RA et VR pour contrôler un bras robotique grâce à un électroencéphalogramme ³³ .	N.A.
Japon		

²⁷ <https://www.hitlabnz.org/index.php/research/augmented-reality/>

²⁸ <https://www.auckland.ac.nz/en/about/news-events-and-notice/news/news-2018/02/world-leader-in-augmented-reality-joins-university.html>

²⁹ <http://www.imperial.ac.uk/msk-lab/research/surgical-technology/augmented-and-virtual-reality/>

³⁰ <https://www2.mmu.ac.uk/creativear/conferences/2017-augmented-and-virtual-reality-conference-2017/>

³¹ <https://www.in.tum.de/en/research/research-highlights/augmented-reality-in-medicine/>

³² <https://www.igd.fraunhofer.de/en/competences/technologies/virtual-augmented-reality>

³³ <https://www.ieeg.uni-freiburg.de/research/VR-AR>

Nara Institute of Science and Technology	Interactive Media design Lab : réalité augmentée centrée sur les applications « en main » (handheld) ³⁴ .et l'étude des interactions homme-machine pour l'entraînement sportif, la création 3D et l'éducation.	N.A.
--	---	------

Principaux enjeux identifiés

Affichage de l'information	Défis de la RA en extérieur qui peuvent gêner la perception et altérer le réalisme : lumière, surfaces irrégulières, soleil et température principalement
	Divergence entre l'information incrustée et la vision humaine normale
	Interactions Homme-Machine (IHM)
Interfaces	Poids, taille et batterie (autonomie de 2 heures pour un casque Hololens)
	Complexité d'usage
	Fragilité
	Acceptabilité sociale
Tracking et interactions	Synchronisation en temps réel des deux environnements selon les mouvements utilisateurs
Modélisation	Connectivité mobile : nécessité d'une bonne connexion si le module nécessaire pour créer l'augmentation n'est pas stocké dans le terminal. Exemple : un casque HOLOLENS peut être utilisé en autonomie, ce qui affecte cependant la qualité des images.
Usage et ergonomie	Réduction du champ de vision (seulement 20 / 30° avec des lunettes Hololens)
	Mains libres
	Coupure partielle avec l'environnement extérieur

³⁴ <http://imd.naist.jp/research/>

	Surcharge cognitive
	Distinction entre le réel et l'augmenté

7 PANORAMA DES USAGES DE LA REALITE AUGMENTEE

7.1 PANORAMA DES APPLICATIONS CIVILES

Le panorama ci-après s'est plus particulièrement concentré sur les secteurs d'activité suivants :

- Le transport aérien et l'aéronautique
- Les drones
- Le journalisme et les métiers de l'information
- La navigation et la topographie

Ces secteurs ne sont pas tous les débouchés, actuels ou prévisibles, les plus importants de la réalité augmentée. Ils présentent cependant des similarités avec les métiers et missions de l'Armée de l'Air et les fonctions du C2 Air.

7.1.1 Synthèse des applications identifiées

Secteur	Produit	Valeurs-ajoutées
Aviation	Strip'TIC : Prototype combinant les versions papiers et numériques des strips ³⁵ pour faciliter le travail des contrôleurs aériens dans la gestion de l'information.	<ul style="list-style-type: none"> - Harmonisation et fusion instantanées d'éléments papiers et virtuels. - Accès et manipulation d'objets numériques. - Reconnaissance d'écriture manuscrite
	Tour de contrôle augmentée : Tour de contrôle aérienne à Londres équipée de caméras HD et d'écrans panoramiques diffusant en direct les flux vidéo, sur lesquels se superposent données de vol, informations radar, etc.	<ul style="list-style-type: none"> - Affichage et diffusion d'informations diverses sur un même support - Contrôle aérien en conditions météorologiques dégradées
	Aero Glass : Prototype de lunettes de pilotage en RA offrant une vision à 360° où s'affichent en fonction du	<ul style="list-style-type: none"> - Pilotage dans des conditions de visibilité réduite (nuit, brouillard, etc.)

³⁵ Le strip qui signifie "bande" en anglais est l'un des outils de base des contrôleurs aériens. Il s'agit en fait d'une bande de papier semi-rigide sur laquelle sont marquées toutes les informations relatives à un vol

	champ visuel du pilote : données de vol, itinéraire, délimitations des pistes d'atterrissage, etc.	<ul style="list-style-type: none"> - Accès à l'information simplifié et lié au champ de vision - Accès à une information enrichie et actualisée
Drone	AirCraft : Application permettant l'insertion de blocs virtuels dans les images filmées par la caméra du drone.	<p>Augmentation d'environnement de vol :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Entrainement sans risque de collision avec des obstacles réels - Possibilité d'incruster des avions virtuels ou autre.
	Rapid Imaging software : Incrustation d'éléments sur le flux vidéo du drone en fonction de l'environnement filmé : routes, infrastructures, personnes, etc.	Amélioration du pilotage et de la connaissance situationnelle.
	Insitu : Utilisation combinée d'un drone avec des lunettes de RA par des pompiers pour des interventions : représentation du feu sous forme d'hologrammes.	Meilleure connaissance et suivi de la situation sur le terrain.
	Simulation de vol : Application permettant de piloter un drone numérique en utilisant des lunettes RA et des manettes.	Entrainement sans moyens lourds et peu coûteux car reposant sur un drone virtuel.
Journalisme et communication	Augmen.tv : application d'augmentation des programmes télévisés « hors écran » en y ajoutant de l'information contextuelle	<ul style="list-style-type: none"> - Identification de contenu - Valorisation des informations diffusées

	<p>New York Times : application permettant de visualiser en 3D les personnes, lieux et autres éléments contenus dans un article papier.</p>	<p>Enrichissement de documents papiers et de contenu éditorial.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Interaction avec l'information. - Conceptualisation et contextualisation accrue de l'info par des objets 3D.
	<p>PaintSpace AR : application permettant d'annoter en RA un environnement réel via l'écran et d'incruster des médias liés dans cet environnement.</p>	<p>Augmentation de l'environnement de travail augmentés en annotant le monde physique et y en plaçant des contenus numériques virtuels (cartes, photos, notes, etc.)</p>
Topographie et cartographie	<p>Augmented Reality Sandbox : technologie de projection vidéo permettant de recréer des univers animés sur des volumes et de combiner bac à sable réel et numérique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Projection d'une carte topographique. - Interaction et modification en temps réel.
	<p>Mountain AR : application permettant d'afficher le nom des sommets visibles sur l'écran du téléphone</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Reconstitution et paramétrage d'un panorama depuis un point donné - Calcul des distances.
	<p>Google Map : applications exploitant les données de géolocalisation pour créer des usages et des expériences en RA</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Navigation et suivi d'itinéraire en réalité augmentée - Reconstitution et maquettes d'environnements urbains
	<p>Eyes3Shut 3D Interactive Table : système d'interaction avec des contenus numériques 3D sur table tactile</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Travail collaboratif sur des objets partagés (cartes, modèles 3D etc.) - Visualisation enrichie

7.1.2 Transport aérien

Valeurs-ajoutés identifiées

- Afficher dans le champ visuel du pilote - en temps réel et en fonction des objets ou directions regardés - des informations utiles au pilotage
 - Améliorer la connaissance situationnelle
 - Faciliter le contrôle aérien et le pilotage en conditions météorologiques dégradées
 - Identifier et suivre des aéronefs dans l'espace aérien
 - Visualiser un plan de vol et des itinéraires projetés en 3D
-

Pilotage

La réalité augmentée s'impose progressivement dans les cockpits d'appareils civils. La société Elbit systems propose ainsi un système de vision augmentée, ClearVision Enhanced Flight Vision System (EFVS), destiné aux compagnies aériennes. L'association de capteurs placés dans le nez de l'avion et des lunettes SKYLENS permet au pilote de visualiser les données de vol ainsi qu'une image nettoyée de la piste, ce qui permet d'atterrir dans des conditions dégradées (brouillard, nuages)³⁶.

Destinée à l'aviation de tourisme, le projet Aero Glass, a développé un prototype de lunettes utilisant la réalité augmentée afin de fournir aux pilotes une vision à 360°. Diverses informations sont délivrées à travers les lunettes : données de vol mais aussi trajet de l'avion, délimitations des pistes d'atterrissage, etc. Les lunettes détectent les mouvements de tête du pilote, et ajustent l'orientation des informations affichées en fonction³⁷. Au-delà de l'usage qui est fait de la réalité augmentée, le cas d'Aéro Glass est intéressant : la start-up, par manque de financement, a dû déposer le bilan début 2018, invoquant notamment le manque de maturité du secteur de l'aviation pour une technologie innovante telle que des lunettes de pilotage en RA. Une autre raison, au moins, explique également cet échec : l'apparition d'application sur terminaux mobiles (smartphones et tablettes) d'applications à l'intention des pilotes d'avion.

³⁶ <http://www.4erevolution.com/aviation-civile-realite-augmentee/>

³⁷ <http://glass.aero>

Ainsi, la dernière version de l'application d'aviation « FlyQ EFB³⁸ » intègre un mode de vision en réalité augmentée qu'il est recommandé d'activer pour l'atterrissage et en conditions de vol difficiles (nuit ou brouillard). Avec son terminal, il est possible de pointer une direction pour afficher puis exploiter – en fonction de la direction – des informations d'aide au pilotage et de navigation. Une fonctionnalité permet également d'afficher le radar de l'avion sur l'écran et de mettre à jour les informations, toujours en fonction de la direction pointée. Sur l'écran, les données affichées sont par exemple, les directions et localisations des aéroports. Les fonctionnalités permettent alors d'accéder à plus d'informations en « tapant » sur un aéroport pour lequel s'afficheront des informations sur les conditions météo, les pistes, la distance, etc. Le mode RA veillera également à ne pas surcharger le champs de vision en diminuant, par exemple, les informations relatives aux aéroports les plus éloignés. Il est également possible de conserver et d'archiver les informations les plus intéressantes en utilisant l'appareil photo du terminal.

Contrôle aérien

Dans le domaine du contrôle aérien, une des problématiques rencontrées est le temps conséquent passé par les contrôleurs à vérifier les affichages, chercher et mettre à jour l'information plutôt qu'à suivre la situation à travers la vitre ou l'écran de la tour de contrôle

La Direction de la technique et de l'innovation de la Direction des services de la navigation aérienne (DSNA-DTI) et l'École Nationale de l'Aviation Civile (ENAC) ont développé le prototype d'une dalle multi-touch utilisant un stylet numérique et de la RA, dans le cadre du projet Strip'TIC (Stripping Tangible Interface for Controllers)³⁹. Il permet de faciliter le travail des contrôleurs aériens qui disposent de versions papiers ou numériques identiques des strips et peuvent ainsi accéder et manipuler plus facilement l'information qu'ils contiennent.

Des solutions d'ores et déjà opérationnelles comme celles de la société MYSCRIPT basées sur des outils de reconnaissance d'écriture manuscrite (texte et forme) permettent à son utilisateur d'écrire ou d'annoter manuellement un texte, une carte ou un graphique via un écran tactile ou directement sur un visuel projeté sur un mur.

³⁸ <https://www.seattleavionics.com/FlyQEFB.aspx>

³⁹ <http://striptic.fr>



Figure 6 - Reconnaissance d'écriture manuscrite (Myscript)

Dans de nombreux aéroports, le recours à des caméras et des technologies vidéo de plus en plus sophistiquées convergent à travers des projets de « tours de contrôle augmenté ». Ainsi, la société SAAB construit une nouvelle tour de contrôle à Londres qui sera équipée de caméras HD et 360°⁴⁰. Quatorze écrans panoramiques diffuseront en direct les images capturées par les caméras, sur lesquelles seront superposées les données de vol et informations radar des appareils. Les informations sur les vols sont ainsi plus facilement accessibles, et délivrées sur le même support, permettant ainsi une prise de décision plus rapide. Avec ce type de solutions, il est possible :

- D'afficher des informations sur les flux vidéo ; par exemple, les avions sont « tagués » avec leur code d'identification, leur altitude ou encore leur vitesse. Ce qui permet une identification plus rapide pour les contrôleurs.
- De voir et suivre le trafic en conditions de faible visibilité ou nocturnes.

Corollaires de ce type de projets, des solutions telles que le démonstrateur VR « Remote Tower » de Thales, utilisera lui la VR afin de pouvoir contrôler le trafic aérien de pistes qui ne sont pas dans le champs de vision des contrôleurs⁴¹.

Les innovations en matière de contrôle aériens devraient à l'avenir se multiplier, à travers des initiatives telles que le Sky Centre Lab de Thales ou le programme européen Single European Sky Air traffic Management and Research (SESAR), qui rassemble tous les grands acteurs européens de l'aviation et finance des projets dont découlent par exemple le démonstrateur VR de Thales. Le projet RETINA (Resilient Synthetic Vision for Advances Control Tower Air Navigation Service Provision), qui fait partie du programme SESAR, a ainsi conduit des tests qui ont mis en évidence les bénéfices de l'utilisation de la RA dans le contrôle aérien : augmentation de la connaissance situationnelle, amélioration des contrôle lors de conditions météorologiques dégradées etc.⁴².

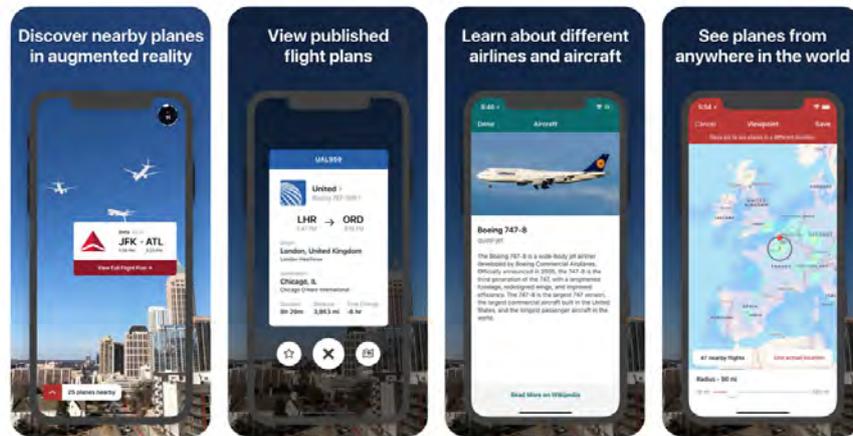
⁴⁰ <https://www.goglasses.fr/realite-augmentee/controle-traffic-aerien-ar>

⁴¹ <https://www.industrie-techno.com/la-realite-virtuelle-au-service-du-controle-aerien.48243>

⁴² <http://www.aviationtoday.com/2017/12/12/tests-validate-sesar-augmented-reality-tech-air-traffic-controllers/>

Par ailleurs, des applications destinées au grand public et pouvant trouver des usages pertinents dans le domaine du contrôle aérien apparaissent :

- AR Planes, qui fournit de multiples informations sur les avions qui sont dans le champs de capture de la caméra (qu'ils soient visibles ou non) d'un iPhone⁴³.



- Plane Finder 3D permet de suivre des vols en affichant, en vue 3D, les avions qui survolent actuellement l'espace aérien. Il est ainsi possible de suivre le trafic aérien dans le monde et de rechercher un vol précis pour savoir où il se trouve, accéder au numéro de vol ou à des données relatives au vol : destination, compagnie aérienne, trajectoire en vue 3D, etc.



Autres domaines d'applications

⁴³ <https://www.calstephens.tech/blog/announcing-ar-planes>

L'usage le plus répandu de la RA dans le domaine aérien reste dans la conception, la production et la maintenance. Safran utilise ainsi la RA afin de faciliter l'installation de câblages ou détecter des défauts sur les systèmes électriques lors d'opérations de maintenance⁴⁴. Airbus a de son côté mis en place l'application Mira (Mixed reality application) afin de faciliter le travail de ses techniciens lors de la pose de supports de ses très gros porteurs⁴⁵. Dans les deux cas, le technicien est guidé dans ses opérations grâce à la diffusion sur ses lunettes des maquettes numériques des éléments sur lesquels il intervient. Ce procédé permet d'augmenter considérablement la rapidité et la précision des opérations.

7.1.3 Drones

Dans le domaine des drones civils, ou de loisir, la RA est surtout utilisée afin d'améliorer l'expérience des pilotes de drones. Les dernières innovations dans ce domaine consistent ainsi en l'incrustation d'objets ou de formes sur les images capturées par les drones, et diffusés soit sur des lunettes RA portées par le pilote soit sur une tablette/un smartphone. Le projet SARA (Sysveo Augmented Reality for Architecture) permet ainsi d'incruster des objets/formes pré-crées en RA via la caméra du drone⁴⁶. Le concept est jugé particulièrement utile pour les domaines de la construction et de l'architecture.



L'application AirCraft de Drone Base permet l'augmentation de l'environnement de vol : l'utilisateur peut insérer des blocs de couleur dans les images filmées par la caméra du drone. Cette application s'utilise sur téléphone ou tablette⁴⁷. Les pilotes peuvent ainsi s'entraîner à manœuvrer sans risque de collision avec des obstacles.

⁴⁴ <http://www.aeronevstv.com/fr/industrie/recherche-innovation-aeronautiques/3947-safran-utilise-la-realite-augmentee-pour-son-activite-cablage.html>

⁴⁵ <https://www.usinenouvelle.com/article/airbus-la-realite-augmentee-dans-l-atelier.N251188>

⁴⁶ <http://www.sysveo.fr/applications/drone-realite-augmentee/>

⁴⁷ <https://www.dronebase.com/ar>

Autres applications pouvant trouver des usages pour l'entraînement au pilotage : Dronetopolis AR et AR Airplanes⁴⁸ qui permettent de piloter un drone ou un avion virtuel dans un environnement réel. Les commandes s'affichent à l'écran, permettant de faire monter, tourner, descendre le drone virtuel.

La combinaison des drones et de la RA montre aussi son potentiel dans le domaine de la protection civile et la gestion des catastrophes naturelles. La société Rapid Imaging Software a ainsi développé un drone équipé de caméras 3D, dont les images sont augmentées d'informations telles que la position des routes (lors d'inondations par exemple), de personnes en danger, etc.⁴⁹. Insitu combine pour sa part son ScanEagle avec des lunettes HoloLens, pour une utilisation par des pompiers. Le drone fournit ainsi des images infrarouges, et le feu peut être représenté en hologramme à partir des informations collectées par le drone⁵⁰.

7.1.4 Journalisme et médias

Valeurs-ajoutés identifiées

- Explorer des environnements en 3D avec des informations contextuelles
- Créer des environnements de travail augmentés en annotant le monde physique et en plaçant des contenus numériques virtuels (cartes, photos, notes, etc.) dans son champ de travail
- Enrichir et prolonger un contenu en l'animant sur un document papier
- Afficher des informations contextuelles sur un flux vidéo
- Suggérer des contenus en lien avec le contenu affiché et permettre une recherche « augmentée de l'information
- Apporter une compréhension plus rapide et plus tangible des éléments (objets, lieux, chiffres, etc.) nécessaire pour contextualiser et conceptualiser l'information.
- Réduire l'information papier

Par ce que l'information est au cœur du journalisme, la réalité augmentée trouve des débouchés naturels dans ce domaine où les applications de RA se multiplient, notamment

⁴⁸ <http://www.iphon.fr/post/video-appli-pilotage-drone-ar-arkit-iphone-Dronetopolis-889257>

⁴⁹ <https://www.suasnews.com/2016/10/drones-augmented-reality-powerful-tools-disaster-strikes/>

⁵⁰ <https://www.airspacemag.com/articles/drones-augment-reality-180961874/>

depuis le lancement des outils ARKit et ARCore. Par ailleurs, l'information est de plus en plus créée et disponible en format numérique, ce qui, là aussi, encourage l'augmentation de l'information et facilite les ponts entre les différents formats (texte, vidéo, audio, image, 3D).

À la télévision, la réalité augmentée est depuis longtemps utilisée, mais plutôt sous la forme de la « **virtualité augmentée** », lors de la présentation de la météo ou dans le sport où la majorité des studios télé utilisent des graphiques pour analyser des phases de jeu⁵¹. Ces programmes télévisés proposent des fonctions de type réalité augmentée à travers l'incrustation d'objets virtuels.

C'est notamment le cas de l'émission Canal Football Club qui fait par exemple apparaître des graphiques virtuels présentant des statistiques et informations diverses (joueurs, performances, classements, etc.)⁵²



Au-delà des effets vidéo incrustés, ces usages de la réalité augmentée à la télévision et, plus largement, sur des flux vidéo permettent d'une part de mieux capter et faire passer l'information utile. Mais également de calculer et d'intégrer des données très poussées, en multipliant notamment les angles de vue pour une situation donnée⁵³.

Application mobile également appliquée à la télévision, **Augmen.tv** peut reconnaître des programmes de télévision et les augmenter. Cela permet, par exemple, d'interagir en direct avec un programme télé en identifiant le contenu et en enrichissant les informations diffusées.

Désormais, de plus en plus de journaux - papiers comme digitaux - disposent désormais de fonctionnalités en réalité augmentée. Ces applications permettent aux lecteurs de visualiser

⁵¹ <http://sportmagazine.levif.be/sport/la-realite-augmentee-est-devenue-indispensable-pour-les-chaines/article-normal-806117.html>

⁵² <http://www.newscaststudio.com/2018/01/29/canal-football-augmented-reality/>

⁵³ <https://www.deltacast.com/products/virtual-view>

en 3D des personnes, des lieux et d'autres éléments contenus dans un article. Si cette fonctionnalité n'est pas nouvelle, elle devient bien plus simple à mettre en œuvre et réaliste avec les progrès récents de la RA. Dans un contexte de diversification des formats de contenus - et notamment le recours de plus en plus fréquent à la vidéo, la réalité augmentée permet de mêler écrit, vidéo et audio de manière très intuitive pour le « lecteur ».

Dans le domaine de la communication, certaines sociétés imaginent ainsi la publication de communiqués de presse intégrant un composant en réalité augmentée afin de détailler un lieu, un objet ou un produit.

Des applications grands public permettent également d'imaginer des usages intéressants de la RA : par exemple, Paint Space AR⁵⁴ propose de dessiner en réalité augmentée dans l'environnement physique avec la possibilité d'ajouter plusieurs types de médias (vidéos, photos, audio, notes etc.) comme support ou à inclure dans le décor. Ce qui permet d'imaginer la création et l'interaction avec un environnement de travail enrichi par différents contenus et pouvant être facilement partagé.

Enfin, tous ces exemples d'applications montrent comment la réalité augmentée – en simplifiant l'accès, l'interaction et le partage d'informations numériques multi-formats – permet de s'affranchir des contraintes et de limites des contenus au format papier.

7.1.5 Cartographie et topographie

Valeurs-ajoutées identifiées

- Superposer des informations interactives et géo-référencées sur des lieux ou objets d'intérêts
 - Visualiser des itinéraires effectués ou reconnaître des itinéraires futurs en 3D
 - Visualiser le panorama augmenté d'un lieu
 - Aide à la navigation, cartographie itinéraire en réalité augmentée
 - Observer les étoiles et se repérer
 - Diminuer l'effort mental lors de l'interprétation de plans
-

⁵⁴ <http://www.iphon.fr/post/paint-space-ar-dessin-realite-augmentee-app-iphone-ipad-889730>

La notion de réalité augmentée peut s'appliquer à toutes les applications capables de fournir à son utilisateur une information pertinente par rapport à l'analyse de son environnement proche, en exploitant notamment ses données de géolocalisation. Ce qui fait de la topographie - science qui permet la mesure puis la représentation sur un plan ou une carte des formes et détails visibles sur le terrain – un débouché naturel de la réalité augmentée.

Dans ce domaine, les applications de cartographie et de calcul d'itinéraire en voiture ou à pied utilisant des systèmes d'information géographiques (SIG) sont de plus en plus nombreuses. Ainsi, le service de cartographie de Google propose désormais l'accès en temps réel aux données de Google Map afin de créer des usages et des expériences autour de lieux réels. Compte tenu du nombre massif et exponentiel de données que possède Google (itinéraires, hôtels, fontaines, etc.), les possibilités sont quasi infinies⁵⁵.

Les applications grand public sont d'ailleurs nombreuses dans des secteurs tels que le sport, la navigation et le tourisme :

- Réalisée par la start-up ICM Soft, l'application en RA du journal l'Indépendant permet de découvrir, via **Google Earth**, le relief d'un itinéraire proposé dans le journal⁵⁶.
- **Peak AR et Mountain AR** permettent de regarder le paysage à travers l'écran d'un smartphone et d'afficher le nom des sommets ainsi que des données contextuelles telles que l'altitude et la distance depuis le point de vue.
- Ce type d'applications existe également pour augmenter des paysages et panorama urbains⁵⁷
- **Sky Guide** est une application d'observation des étoiles qui dispose d'un mode réalité augmentée pour faciliter l'identification géo-localisée des différentes étoiles. Il suffit de pointer le ciel avec son smartphone pour voir apparaître le nom de l'étoile ou la forme d'une constellation.
- L'application **Fitness AR** permet de visualiser en réalité augmentée sur une carte 3D, ses courses à pied et parcours en vélo. La tranche de carte présente le relief et le chemin parcouru, et reste visible en suspension face à soi dans le monde réel.

⁵⁵ <https://www.goglasses.fr/realite-augmentee/google-maps-api-realite-augmentee>

⁵⁶ <http://www.strategies.fr/actualites/medias/4005637W/un-terrain-de-jeu-augmente-pour-les-medias.html>

⁵⁷ <https://dentreality.com/toolkit/>



Figure 7 - Visualisation d'itinéraire via l'application Fitness AR

Dans le domaine de la sécurité en France, le projet *Descartes* (Dispositif d'exploitation des systèmes de cartographie appliqué aux ressources terrestres engagées sur des services) de la DCCRS (Direction centrale des CRS) vise à traiter et fournir de la manière la plus automatisée et intuitive possible les informations recueillies par les unités et le centre de commandement. Un SIG, développé par GeoConcept, est intégré à la plateforme C2 et permet l'utilisation d'un fond de carte renseigné avec des visualisations 2D et 3D, ainsi que la géolocalisation et le suivi en temps réel des véhicules d'intervention, en déplacement ou sur site. Divers supports dont des lunettes à réalité augmentée seront intégrées au projet⁵⁸.

Pour la visualisation cartographique augmentée, des sociétés telles que Eyes3Shut⁵⁹ en France, propose des tables numériques qui sont en fait intégralement tactiles, permettant le travail collaboratif et interactif.

D'autres applications sont envisageables, notamment le concept du bac à sable à réalité augmentée a développé en 2012 par le chercheur Oliver Kreylos de l'université de Californie (UC), Davis aux États-Unis. Le bac à sable fonctionne avec une caméra Kinect, un projecteur et avec un ordinateur pour gérer l'affichage topographique du bac à sable. Depuis, de nombreuses Sandbox ont été reproduites à travers le monde.

⁵⁸ <https://fr.calameo.com/read/0005581159f5e895e1a2c>

⁵⁹ <http://www.eyes3shut.com/3d-interactive-table>

7.2 PANORAMA DES APPLICATIONS MILITAIRES

7.2.1 Synthèse

Anticiper les évolutions technologiques et disposer des dernières innovations dans les domaines de l'armement, de l'entraînement ou des systèmes d'information et de communication est un enjeu majeur pour les forces armées.

Dans le domaine de la réalité augmentée et, plus largement, des technologies immersives, des programmes capacitaires et de recherche ont et continuent d'être menés par les Armées, dans les domaines maritime, terrestre et aérien. La RA est une des technologies étudiées, et ce depuis les premiers développements dans ce domaine (et celui de la réalité virtuelle) dès les années 1980 (cf. Figure n°1).

Plusieurs tendances sur les recherches et usages militaires de la réalité augmentée peuvent être identifiées :

- L'utilisation de la RA grâce à affichage HMD (lunettes, monocle), principalement pour le fantassin, fait l'objet de recherches depuis les années 1990, mais son utilisation en opérations ne s'est concrétisée véritablement qu'au cours des années 2010 grâce aux avancées technologiques dans le domaine (miniaturisation des équipements, améliorations des systèmes de vision optique notamment). Ces programmes se heurtent cependant à d'importants obstacles financiers et opérationnels : principalement l'autonomie, l'ergonomie et la limitation du champ visuel offert par le dispositif. Une des rares interfaces de vision augmentée pour le fantassin fut le « *Stryker Interoperable* », déployé en Irak en 2004 mais qui fut par la suite abandonné face aux contraintes opérationnelles et financières⁶⁰.
- Ces applications de vision augmentée concernent majoritairement le fantassin même si des applications dans le domaine aérien visent à améliorer les systèmes d'affichage tête haute traditionnels en exploitant les technologies de RA.
- Les solutions de RA proposées actuellement par les industriels (BAE Systems, Thales etc.) concernent principalement des affichages HMD ou des systèmes de capteurs pour véhicules permettant une vision à 360° et enrichie de l'environnement.
- La RA connaît davantage d'applications dans la conduite des opérations au niveau tactique (augmentation du soldat et des véhicules) ; l'usage de ces technologies pour la planification et la conduite des opérations à un niveau stratégique voire opératif restent balbutiantes.

⁶⁰<https://arstechnica.com/information-technology/2017/05/heads-up-augmented-reality-prepares-for-the-battlefield/>

- Pour la planification et la conduite des opérations, la RA vise surtout à partager avec le commandement les données captées et échangées sur le théâtre afin d'améliorer le suivi et le partage de la situation opérationnelle, en superposant notamment des informations géo-localisées avec des cartes.
- Les États-Unis sont le premier acteur dans le domaine de la recherche en réalité augmentée à application militaire, notamment à travers les nombreux projets financés par la DARPA.

RETEX étude JFX3 – DSTL (ministère de la Défense britannique)

Entre 2012 et 2014, le ministère de la Défense britannique a conduit le Joint Focus Experimentation 3 (JFX3)⁶¹ visant à (1) améliorer la compréhension des enjeux de la réalité augmentée et (2) étudier les plus-values opérationnelles d'applications de la RA dans les forces armées. Ce qui s'est fait notamment à travers des expérimentations *quick wins* reposant sur des technologies civiles COTS, notamment pour l'aide à la décision et l'entraînement. Les technologies de RA testées incluaient la RA : des jumelles (RA visuelle), une ceinture (haptique) et un système audio. Un véhicule a également été équipé de caméras extérieures pour tester un concept de véhicule « transparent ».

Les résultats de l'étude (qui s'est intéressée principalement au contexte terrestre et marin) et des expérimentations ont été publiés⁶² et offrent un RETEX de l'usage de la RA dans un contexte militaire. Les résultats ont montré que :

- Dans le domaine de la navigation, les routes utilisées via un procédé de RA étaient plus pertinentes que les routes déduites par les moyens usuels (de nuit comme de jour)
- Pour les alertes directionnelles, la radio était finalement la technique la plus adaptée
- Le « blindage transparent » générait une charge de travail plus grande, mais était très performant en termes de pertinence opérationnelle.

Les limites et contraintes observées :

- Alignement entre données virtuelles et monde réel : assez simpliste dans le monde des applications grand public, il doit être renforcé dans le monde de la défense
- La technologie coupe le sujet des alertes et signaux environnementaux qui l'entourent
- Immaturité des dispositifs visuels en regard des contraintes militaires
- Immaturité de l'intégration de la technologie dans un système de systèmes militaires
- Taille, robustesse, poids, pour le combattant individuel

⁶¹ Étude conduite dans le cadre du Dstl Synthetic Environment Tower of Excellence (SE Tower) qui visent à faire collaborer la Défense et le monde de la recherche sur des domaines de recherche communs.

⁶² <https://issuu.com/geospatialworld/docs/geoint-sep-oct-2014>

7.2.2 Le soldat augmenté : vision, communication et progression augmentées

Plusieurs pays ont mis en place des programmes d'augmentation du soldat d'infanterie, dans lesquels la réalité augmentée a une place centrale, en particulier avec l'utilisation de Head-mounted displays (HMD).

Le programme américain **Land Warrior Integrated Fighting System** (1989-2007) a ainsi testé un kit incluant un HMD affichant des données de communication et de navigation. Une version du Land Warrior, le « Stryker Interoperable » a été utilisé en Irak, malgré de nombreuses limitations techniques (prix, poids, performances).

Après son annulation en 2007, le programme est remplacé par le Ground Soldier System (GSS) puis par le programme Nett Warrior, qui se compose d'un monocle connecté à un appareil Android porté sur la poitrine⁶³.

La DARPA et le CERDEC (U.S Army Research, Development and Engineering Command's Communications-Electronics Research) sont des acteurs majeurs de ces programmes de modernisation. La DARPA a ainsi financé l'ARC4, une lunette de vision développée par la société Applied Research Associates qui s'intègre au casque militaire ou au système de contrôle d'armes, et permet au commandement de superposer des cartes, ou des informations de localisation⁶⁴.

Le CERDEC développe aussi avec l'Army Research Lab le système Tactical Augmented Reality (TAR), qui est constitué d'un casque et de lunettes de réalité augmentée permettant d'afficher une carte tactique afin de localiser les positions alliés et ennemis durant une opération militaire de jour comme de nuit⁶⁵.

Au Royaume-Uni, le programme **Future Integrated Soldier Technology** (FIST)⁶⁶ et, en Allemagne, le programme **Fantassin du Futur (Infanterist der Zukunft – IdZ)**⁶⁷ ont été respectivement lancés dans les années 1990 et en 2010. Ils étudient également l'utilisation de la réalité augmentée afin d'améliorer la connaissance situationnelle, la létalité et la survivabilité du soldat d'infanterie, à travers des systèmes HMD.

⁶³ <https://arstechnica.com/information-technology/2017/05/heads-up-augmented-reality-prepares-for-the-battlefield/>

⁶⁴ <https://www.ara.com/projects/arc4-heads-move-augmented-reality-technology>

⁶⁵ <https://arstechnica.com/information-technology/2017/05/heads-up-augmented-reality-prepares-for-the-battlefield/>

⁶⁶ <https://www.army-technology.com/projects/fist/>

⁶⁷ <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.125.3687&rep=rep1&type=pdf>

Au niveau de l'OTAN, l'usage de la réalité augmentée est étudié pour le soldat d'infanterie au sein du projet **Eye Catch**, lancé en 2014. Des lunettes de réalité augmentée sont connectées à un dispositif C2 porté par le soldat (appareil Android), qui lui transmettent des alertes (rapport d'IED etc.). Le système JocWatch sélectionne les informations à diffuser sur les lunettes⁶⁸. Un test en contexte opérationnel a été effectué en mai 2015⁶⁹.

Ces systèmes HMD sont mis au point par les grands industriels de la défense, comme BAE Systems dont le Q-Warrior, un appareil monoculaire léger, permet un affichage transparent, en couleur et en 3D⁷⁰.



Figure 8 - Système HMD Q-Warrior (BAE Systems)

Dans le domaine aérien, la réalité augmentée est par ailleurs exploitée par les Armées pour équiper ses pilotes d'avion ou d'hélicoptère. BAE systems a ainsi développé le casque Striker II, destiné aux pilotes d'avions ou d'hélicoptères et qui est équipé d'un dispositif de vision nocturne, d'une technologie de suivi 3D audio et de suivi de cibles, grâce à un système HMD sur la visière⁷¹. Le TopOwl *helmet mounted sight display* (HMSD) de Thales fournit lui des données de terrain en 3D au pilote d'un hélicoptère lorsque les conditions de visibilité sont dégradées⁷².

La Marine américaine a testé en juillet 2017 un système ayant pour but de faciliter la communication entre le marin manipulant les canons et l'officier de liaison donneur d'ordre. Le casque, produit par DAQRI est connecté à une tablette utilisée par l'officier pour déclencher ou arrêter les tirs. Diverses informations apparaissent sur la visière du casque⁷³.

⁶⁸<https://www.ncia.nato.int/NewsRoom/Pages/140523-Agency-demonstrates-potential-of-Google-Glass-technology-to-the-Italian-MoD.aspx>

⁶⁹ <https://www.ncia.nato.int/NewsRoom/Pages/150604-SEDA.aspx>

⁷⁰ <https://www.baesystems.com/en/product/qwarrior-helmet-mounted-display>

⁷¹ <https://www.baesystems.com/en/product/striker-ii-digital-helmet-mounted-display>

⁷² <https://www.shephardmedia.com/news/defence-helicopter/pas-2011-thales-unveils-topowl->

⁷³ <https://www.roadtovr.com/gunnar-live-fire-test-shows-ar-can-revolutionize-decades-old-combat-procedures/>

7.2.3 Véhicules et plateformes : connaissance de l'environnement immédiat

Les forces armées exploitent aussi les possibilités offertes par la réalité augmentée afin d'améliorer la connaissance situationnelle des opérateurs de plateformes et bâtiments.

Ainsi, dans le cadre du Dutch National Technology Project 'Advanced Vetrionics', TNO, ViNotion et Thales ont collaboré sur un démonstrateur permettant d'augmenter des images de vision nocturne en temps réel avec des images 3D. Un prototype de caméra détectant en temps-réel les changements de terrain autour du véhicule a été développé, en se basant sur l'analyse automatique d'image. Ce système pourrait notamment faciliter la détection d'IED⁷⁴.

Le concept de « véhicule transparent » repose sur la technologie de la réalité augmentée. Des capteurs situés à l'extérieur du véhicule transmettent les informations collectées aux opérateurs situés à l'intérieur, grâce à des lunettes/casques de réalité augmentée ou sur des écrans. Ce système permet une vision à 360 degrés, et les images (infrarouges, données géographiques, positions d'unités etc.) peuvent être augmentées. Ce concept a été testé par la société SEA dans le cadre du JFX3⁷⁵, et commercialisé par BAE Systems avec Battlview 360⁷⁶. Il s'adapte aussi aux bâtiments de la Marine, comme l'a montré le test par DCNS en décembre 2014 d'un démonstrateur dans le port de Toulon⁷⁷.

Dans le cadre du programme Ground X-Véhicule Technologies de la DARPA, la société Honeywell travaille sur un véhicule sans fenêtre, dont le conducteur s'oriente grâce à des pare-brise virtuels et à la réalité virtuelle et augmentée. Ces nouveaux pare-brise pourraient ainsi projeter à la fois des informations de direction mais également des données relatives à l'environnement du théâtre d'opération⁷⁸.

7.2.4 Entraînement et formation : réalisme accru de la simulation et immersion

Au côté de la réalité virtuelle, la réalité augmentée est de plus en plus utilisée par les forces armées pour l'entraînement des soldats. La RA offre en effet de nombreux avantages : complexification des scénarios, réduction des moyens à mettre en œuvre et des coûts, expérience immersive de mise en situation dans un environnement réel.

Le Bureau de recherche Naval (ONR) américain a ainsi testé en 2015 le *Augmented Immersive Team Trainer* (AITT). Composé d'un ordinateur, d'un programme, d'un bloc-piles et d'un

⁷⁴ http://www.academia.edu/25524598/Augmented_Reality_Studies_for_Armoured_Vehicles_in_The_Netherlands

⁷⁵ <https://www.geospatialworld.net/article/bringing-augmented-reality-systems-on-the-battlefield/>

⁷⁶ <https://www.baesystems.com/en/feature/cutting-edge-technology-so-soldiers-can-see-through-vehicles>

⁷⁷ <https://www.naval-group.com/wp-content/uploads/2014/12/20141210-projet-cp-sns-lutte-anti-piraterie-def.pdf>

⁷⁸ <https://www.honeywell.com/newsroom/pressreleases/2017/10/virtual-and-augmented-reality-technology-now-one-step-closer-to-the-battlefield>

système de visualisation monté sur casque (HMD), il projette aux militaires des scénarios d'entraînement immersifs et réalistes dans leur champ de vision⁷⁹.



Figure 9 - Augmented Immersive Team Trainer (AITT)

En Angleterre, le Centre for Defence Enterprise (CDE) a financé plusieurs projets exploitant la réalité augmentée : un logiciel de simulation combiné avec un casque de réalité augmentée et des techniques de suivi des mouvements de tête de la PME Close Air Solutions en 2016⁸⁰ et la même année une simulation pour l'entraînement à la recherche d'IED de la société Plextek⁸¹.

7.2.5 Planification et conduite des opérations

Les recherches effectuées sur la réalité augmentée portent aussi sur son utilité pour la planification des opérations. La RA a en effet le potentiel d'améliorer la visualisation du champ de bataille, que ce soit pour la préparation ou le contrôle des opérations.

Les chercheurs américains du NSRDEC (Natick Soldier Research, Development, and Engineering Center) testent ainsi l'utilisation par des soldats d'HoloLens pour visualiser des cartes 3D pendant la phase de préparation de mission⁸².

L'Armée de l'Air australienne a, pour sa part, développé en collaboration avec SAAB un démonstrateur de visualisation interactive 3D du champ de bataille, visible grâce à des

⁷⁹<https://defensesystems.com/articles/2015/09/08/onr-marines-aitt-augmented-reality-live-fire.aspx>

⁸⁰ <https://www.gov.uk/government/news/training-soldiers-using-an-augmented-reality-environment>

⁸¹ <https://www.gov.uk/government/news/agile-training-for-explosive-ordnance-search-teams>

⁸²<https://www.honeywell.com/newsroom/pressreleases/2017/10/virtual-and-augmented-reality-technology-now-one-step-closer-to-the-battlefield>

https://www.army.mil/article/185515/keeping_it_real_natick_scientists_investigating_augmented_reality_as_a_mission_planning_tool

HoloLens⁸³. Ce programme fait partie du plan JERICO, visant à moderniser l'armée de l'Air Australienne.

En Allemagne, le programme IdZ (cf. supra) étudie aussi l'utilisation de la réalité augmentée pour un Tactical Situation Display, ainsi qu'une Electronic Sandtable (EISa)⁸⁴.

La combinaison de la réalité augmentée et d'une caisse à sable est aussi étudiée par le US Army Research Laboratory (ARL). Il a développé en 2015 un système composé d'un projecteur, une caméra Kinect 3D, un ordinateur/une tablette et d'un bac à sable, appelé Augmented Reality Sandtable (ARES). Ce système permet de visualiser les caractéristiques topographiques d'une carte (dénivelés etc.), avec la possibilité d'ajouter les localisations d'unités ainsi que de bâtiments/véhicules visibles grâce à des lunettes et une application RA. Ce système utilise des solutions commerciales sur étagères (Microsoft Kinect), et a l'avantage d'être peu coûteux⁸⁵.



Figure 10 - Bac à sable augmentée ARES

⁸³ <http://jericho3d.com.au/magazine/mobile/index.html#p=35>

⁸⁴ <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.125.3687&rep=rep1&type=pdf>

⁸⁵ <http://www.arl.army.mil/arlreports/2015/ARL-SR-0340.pdf>

Fin de document