

Etat de l'art sur la réalité augmentée en rapport avec les compétences industrielles de l'Arc jurassien franco-suisse

Go Smart Frames - 20 avril 2020

Pierre Rossel / Denis Larrue

Résumé

Cette analyse de l'état de l'art sur la réalité augmentée en rapport avec l'avenir des compétences industrielles de l'Arc jurassien franco-suisse a pour origine une réflexion sur l'intérêt pour cette région de miser sur les lunettes dites intelligentes et à travers cette option technologique et économique de favoriser l'innovation et l'emploi grâce à la complémentarité des savoir-faire transfrontaliers.

Ce postulat n'a pas tenu la distance. L'évolution des technologies digitales est marquée par un Internet des Objets omni-présent, par toujours davantage de puissance de traitement numérique, de production et d'exploitation de données, et aussi par l'essor de l'intelligence artificielle. Dans cette croissance multiforme des performances, on assiste par ailleurs à une domination considérable des acteurs américains et asiatiques. C'est ce contexte qui fait que désormais, le problème du rôle, de l'avenir et des marchés dans lesquels les savoir-faire industriels régionaux peuvent avoir leur place se pose de façon complètement différente.

Ce rapport propose, pour tous ceux qui souhaitent s'adapter aux changements suggérés par l'ère digitale, un re-profilage systémique tourné vers les compétences qui dans les années 2020 feront la différence, et pour ceux qui souhaitent expérimenter et trouver les marchés les plus adéquats pour leurs applications, une orientation vers des pistes de travail concrètes.

Table des matières	Pages
1. Introduction	2
2. La lunetterie à l'ère de la réalité augmentée	3
3. La vision augmentée	10
4. Les environnements augmentés	14
5. Les marchés	16
6. Les enseignements stratégiques de Go Smart Frames	22

1. Introduction

Le présent document vise à dresser un état de l'art pour ce qui est de la Réalité augmentée, tout d'abord de façon générale, par rapport à l'évolution des technologies et des marchés s'y rapportant dans le monde, mais aussi de façon plus spécifique, en relation étroite avec les compétences industrielles de l'Arc jurassien franco-suisse, notamment dans les domaines de la lunetterie et des microtechniques. Nous avons aussi élargi cette focale à quelques autres expertises transversales comme le design, le traitement de l'image, la modélisation ou encore la gamification, qui semblent à première vue étrangères à ces compétences industrielles, mais qui en raison de la nature fortement innovante de la réalité augmentée pour de très nombreux secteurs d'activité, sont en réalité devenus des savoir-faire de soutien essentiels.

Initialement élaboré dans le cadre du projet transfrontalier Interreg V « Go Smart Frames », comme un des livrables-clés de ce projet¹, cet état de l'art a été reconfiguré ici pour permettre à tout un chacun, même sans lien avec ce contexte institutionnel ou régional, de pouvoir bénéficier des informations, réflexions et références figurant dans les pages qui suivent.

Ce qui est délivré ici est une vision évaluative, dynamique, à jour pour ce qui est des avancées technologiques, et potentiellement utile pour tous les domaines d'activités et marchés susceptibles de faire usage de la réalité augmentée sous ses diverses formes. Elle prend par ailleurs en compte aussi bien les innovations les plus marquantes, les tendances économiques, politiques et socio-culturelles pertinentes pour leur avenir, que les controverses et l'anticipation des risques.

Il s'agit d'un générique dans le sens où, sur cette base, différents types de produits ou services de conseil peuvent être élaborés à destination des décideurs publics ou privés.

Le projet qui a servi de laboratoire pour nourrir nos observations et réflexions, Go Smart Frames, traite d'un paysage très rapidement changeant et si l'on pense aux avancées technologiques de l'Internet des Objets, de l'intelligence artificielle, du « data analytics » et des capacités de traitement et de communication ayant marqué ces dix dernières années, il est assez logique que tant l'approche, le périmètre que le but de cette étude de l'état de l'art aient également dû évoluer. En fait, c'est cette valeur ajoutée nous aimerions souligner : l'aptitude à rendre compte d'environnements non seulement changeants mais très dynamiques, localement et globalement. Le monde qui change au fur et à mesure qu'on l'observe.

Ce document est divisé en cinq parties.

La première perspective présentée reste fidèle à la tradition qui a vu naître le concept et les projets qui lui ont été associés jusqu'ici : la lunette, avec l'émergence de dispositifs dits « smart » ou connectés. Le travail a consisté à mettre à jour l'état de l'art que nous avons finalisé pour le projet Smart Frames en 2015, avec les évolutions survenues depuis, au plan technologique, mais aussi dans une vision plus large des influences dominantes, impactant désormais ce domaine bien au-delà de l'industrie de la lunette.

¹ Cf. pour cela notre site web : www.gosmartframes.com

La deuxième perspective cherchera à faire l'inventaire des avancées technologiques et économiques qui structurent aujourd'hui le domaine plus large de la vision augmentée, sous ses différentes formes : augmentée, mixte et virtuelle.

La troisième perspective sera consacrée à la notion d'augmentation au sens le plus large et à ses instanciations écosystémiques : les environnements augmentés.

Cette triple mise en perspective nous permettra ensuite de revenir sur la situation de l'augmentation vue sous l'angle des marchés, en particulier les quatre que nous avons explorés dans Go Smart Frames (santé, sport, industrie et culture) et aussi quelques autres d'importance.

Nous terminerons cet état de l'art par la question des enseignements (qu'est-ce que tout cela nous apprend ?), pour l'espace territorial franco-suisse associé à ce projet Interreg et ses compétences industrielles (ou toute autre région similaire), avant d'esquisser des pistes pour le futur.

2. La lunetterie à l'ère de la réalité augmentée

Cinq ans après l'état de l'art sur les lunettes augmentées, connectées ou « smart » effectué dans le cadre du projet Smart Frames², il vaut en effet la peine de se demander ce qui a changé.

Rappelons qu'en 2015, nous avons déjà identifié une série de facteurs influençant le domaine de la lunette augmentée, au nombre desquels figuraient explicitement :

- L'évolution exponentielle des technologies de l'information et de la communication (TIC)
- Le partage d'informations en réseau (Facebook, Twitter, blogs, Youtube, selfies, ...)
- Les objets connectés/l'Internet des objets ou IoT): 20-50 milliards pour 2020?
- La mesure de soi («The Quantified Self») avec ses dispositifs et applications
- Le big data et ses algorithmes, toujours plus présents et invisibles
- L'émergence des pays asiatiques: de plus en plus d'utilisateurs recherchant ces objets technologiques

Cinq ans plus tard, ces différents processus, à travers leur effet conjugué, semblent avoir construit une situation nouvelle.

Alors que nous tentions, depuis 2012, de situer les lunettes augmentées dans une classification cohérente et ouverte de la lunetterie dans son ensemble, il apparaît désormais et de façon de plus en plus clairement, que les lunettes connectées, intelligentes ou augmentées n'évoluent pas ou plus sur la base de ce qui sert de référence à l'industrie de la lunette, à savoir les dispositifs de correction de la vue. Il s'agit plutôt d'une émanation des technologies digitales et plus spécifiquement du segment « wearables » de cet univers en pleine expansion. Dans cette logique, la forme lunette n'est qu'un support parmi d'autres. Autrement dit, ce ne sont pas des lunettes que l'on augmente, le plus souvent, mais des « wearables » mettant en action, entre autres (plusieurs systèmes pouvant être

² On trouvera ce rapport sur notre site web dans la rubrique Rapports et présentations », sous le titre : « Etat de l'art projet Smart Frames Sept 2015 ».

interconnectés) des objets de forme « lunette ». A ce titre, la lunette reste un « wearable » de prédilection de par son universalité territoriale, ethnique et transgénérationnelle, c'est le « kit main-libre » par excellence ; mais il fait partie d'une logique plus générale, celle de l'Internet des Objets.

En janvier 2020, nous avons tenu un workshop (GSF4) qui a permis de réunir un groupe de lunetiers ayant souvent déjà eu quelques expériences difficiles dans le domaine de ces lunettes dites intelligentes³, faisant ressortir, notamment la difficulté d'intégrer en amont les parties non lunetières. Celles-ci sont essentiellement informatiques et électroniques, supposant non seulement du logiciel mais des composants à intégrer et à fonctionnaliser (par exemple une carte électronique), de l'énergie à fournir (une source portable est alors peut-être nécessaire), des données à échanger, etc., impactant la forme, le poids et le confort de l'objet que l'on va porter sur le nez. Ce même workshop aura aussi permis de faire apparaître le dilemme du lunetier, qui sait, lui, comment il faudrait procéder, mais qui voit arriver des porteurs de projets sous-estimant la dimension design et avec un budget déjà largement consommé par les phases de prototypage-développements électronique et informatique.

Si l'on examine une trentaine de produits de type lunettes augmentées, il saute aux yeux qu'elles apparaissent davantage comme expression du monde digital massivement émergeant aujourd'hui que comme des lunettes améliorées ; et c'est encore bien davantage le cas avec les systèmes de réalité mixte et surtout virtuelle. Dans ce contexte plus large, une des questions qui est posée, étant donné que la plupart sinon tous ces dispositifs s'inscrivent dans cette perspective de la digitalisation des systèmes et de leurs fonctionnalités, est de savoir si, outre quelques niches ici ou là, il est encore possible pour une entreprise locale ou même un consortium de partenaires régionaux tels que ceux que nous avons envisagés, de concurrencer les capacités des efforts engagés par les grands acteurs du monde digital au plan international. La question est pertinente pour la réalité augmentée, elle l'est encore bien davantage pour la réalité virtuelle, qui sous l'effet de l'industrie des jeux et du spectacle, dispose de moyens bien plus considérables pour se développer. Subsidièrement, on peut aussi se demander si on est vraiment dans le registre de l'innovation ou plus marginalement, dans celui de la ré-innovation locale de grandes tendances technologiques déjà à l'oeuvre au plan global. Nous aurons à revenir en fin de chapitre sur ces questions très « Interreg ».

Au-delà de cet aspect stratégique, le design et plus spécifiquement l'ergonomie du produit n'est pas intégrée dans la conception de ces équipements. C'est pourtant le critère principal que s'impose un lunetier à la conception d'une nouvelle lunette, car il sait très bien que pour qu'un modèle soit apprécié de son utilisateur il faut d'abord qu'il ne soit pas une gêne après plusieurs heures de port. Aucun des produits de réalité augmentée ou virtuelle sur le marché ne peut actuellement prétendre qu'il ne constitue pas une gêne pour les utilisateurs après quelques dizaines de minutes d'utilisation. Tout simplement parce que dans leur conception, c'est la performance technologique qui a prévalu sur l'ergonomie et le design adapté au confort de l'utilisateur.

Au plan strict de dispositifs de type lunettes spéciales comportant des fonctionnalités d'une sorte ou d'une autre, sur le plan technologique tout d'abord, on peut remarquer dix tendances à l'oeuvre, en partie préexistantes, mais prenant véritablement de l'ampleur entre 2015 et 2020 :

³ On parlait souvent, entre 2010 et 2015, peut-être sous l'influence des Google Glass, de « smart glasses ». En réalité, il existe plusieurs principes augmentants bien distincts, comme nous le verrons.

- L'avènement du clip, soit une partie détachable offrant par exemple de la visualisation via une caméra et qu'on peut « clipper » sur des lunettes ordinaires (comme par exemple les lunettes Orcam, Tikaway ou ODG R-9), plutôt que de développer des lunettes spécifiques.
- L'allègement de la lunette augmentée, s'efforçant autant que possible à ressembler à des lunettes ordinaires ou presque, visant à diminuer l'effet potentiellement rebutant, inconfortable et même dissuasif des lunettes rencontrées jusque-là sur le marché.
- L'adjonction de parties « externes » fonctionnelles. Celles-ci sont de deux types principaux. On observe d'abord, en ce moment même, des développements très diversifiés à visée haptique ou aussi kinétique, destinées à accroître la capacité d'action sur l'environnement ou le réalisme auto-perçu par l'utilisateur, avec une R&D dans ces matières en pleine effervescence. Par ailleurs, on constate, en parallèle à l'accroissement continu des options de connectivité et de la capacité de traitement des données, le rôle fort conféré aux smartphones, devenus les couteaux suisses du digital, avec de plus en plus souvent, au sein de la diversité des fonctions offertes, des capacités de réalité augmentée intégrées dans le système même. Dans ce même ordre d'idées, d'autres « wearables » peuvent apporter leur contribution, au nombre desquels figurent en bonne place la montre connectée, les gants et les chaussures.
- Une approche « plateforme de développement », qui voit les marques offrir non plus un produit « lunettes spécialisées », mais un bouquet cohérent de fonctionnalités de développement pour des entreprises capables de créer leurs propres services et applications (approche B2B2C).
- Une tendance à voir les frontières entre réalité augmentée, mixte et virtuelle devenir plus poreuses, avec des zones grises et une influence sans cesse croissante de la réalité virtuelle sur les deux autres formes (nous y reviendrons).
- La localisation géographique, jusqu'à il y a peu, limitée au GPS, mais désormais aussi ouverte à Galileo (et son surcroît de précision), ainsi qu'aux systèmes concurrents chinois et russe.
- Le développement des drones, qui apportent aux options d'augmentation des possibilités nouvelles, avec différentes variantes d'augmentation, y compris en synergie avec les lunettes de RA/RM, un potentiel intéressant pour la région Arc Jura, bien dotée en la matière.
- Le domaine sonore, musical, mais aussi, comprenant les interactions gérées par la voix (vers l'extérieur et depuis l'extérieur), impactant toujours davantage le monde des lunettes augmentées.
- L'influence bien présente de l'IA (intelligence artificielle), notamment dans la reconnaissance d'images (et pas seulement celle des visages !)⁴, dans la traduction (« image/text to speech » et traduction d'une langue à d'autres), et aussi, de plus en plus, dans l'analyse des émotions.
- L'émergence des data et des environnements d'exploitation de ces data (data analytics, Big data, data « re-sale »), pour ce que nous avons appelé des « environnements augmentés ».

⁴ Rappelons que reconnaître une image ou un visage, ce n'est pas tout à fait le même problème. Il faut une capacité de cartographie 3D importante pour reconnaître efficacement les visages. CF. pour cela notamment, les travaux et solutions de la société lausannoise OneVisage (<https://www.onevisage.com/>)

On remarquera ici que nous n'avons pas remis l'idée mentionnée dans notre étude 2015 **que les objets connectés (IoT) seraient une tendance forte pour les années à venir**. La raison en est simple : **il n'existe plus véritablement de systèmes qui ne soient pas connectés ou connectables**, une évolution irréversible qui concerne naturellement aussi les lunettes à fonctionnalités augmentées. Il s'agit non plus d'une tendance, mais d'un acquis, avec lequel désormais nous vivons. Les seuls problèmes que cela soulève sont les inconvénients typiquement liés à l'univers IoT : les failles de sécurité, la dépendance aux algorithmes et aux maîtres des data, les nouvelles formes de dépendance observées, ainsi que l'accroissement de la facture carbone et la dissémination de métaux lourds dans la géographie. Avec cette maturation de l'IoT, est venue la standardisation⁵, qui ont de même marqué de nombreux domaines d'application et de fonctionnalités, allant de la domotique aux systèmes d'exploitation iOS et Android, les formats de data, d'images, de gestion du son, etc., et finalement à la RA/RM/RV.

A ces tendances plus ou moins nouvelles, on pourrait ajouter les efforts d'offrir aux lunettes connectées des batteries plus performantes et des développements en basse consommation dans lesquelles nos centres de recherche et développement régionaux sont passés maîtres. Mais il s'agit de la continuation d'activités déjà présentes plus que de développements véritablement nouveaux. Dans le même ordre d'idées, le perfectionnement des protocoles de télécommunication, comme LoRa, Zigbee, Bluetooth, Wifi et 5G ne doit pas être oubliées, tout comme les standards de compression d'images, même si ces innovations ne sont que partiellement liées à la région Arc Jura (un peu de LoRa et de standards de compression, essentiellement⁶).



Les lunettes Tikaway



Les lunettes Ellcie Healthy

Fig. 1 : On voit ci-dessus la tendance à aller vers des lunettes de plus en plus ordinaires

Les cinq premières tendances sont propres aux lunettes augmentées et peuvent être intégrées dans la classification telle que développée en 2015, avec quelques ajustements, bien entendu. Les cinq suivantes ne sont pas propres au domaine de la lunette, mais sont des influences importantes, quand elles ne sont pas carrément intégrées dans les lunettes connectées proposées par le marché. Inutile

⁵ Cf. pour cela par exemple : <https://standards.ieee.org/initiatives/iot/stds.html>

⁶ Mentionnons à cet égard les travaux du prof. Ebrahimi, à l'EPFL qui a fortement œuvré, au sein d'une commission internationale, pour produire un nouveau standard JPEG, moins bon que ses prédécesseurs sur les niveaux de résolution atteints, mais plus rapide, ce qui convient bien au monde de la RA/RM/RV.

d'insister sur le fait que l'ensemble de ces dix tendances confèrent à tous les systèmes digitaux du type de ceux qui nous occupent des capacités combinatoires, entre toutes ces possibilités, semblant pour l'instant illimitées. En tous cas, elles soulignent encore davantage, s'il le fallait, le fait que les lunettes augmentées sont à l'heure actuelle davantage des émanations de l'industrie du digital que de la lunetterie (et nous verrons aussi que cette remarque s'applique également aux microtechniques), accentuant encore l'impact régional de cette observation. Dans une logique combinatoire, toutefois, ces compétences transfrontalières pourraient retrouver des couleurs, comme le suggèrent les efforts de BMW de concevoir des lunettes augmentées pour ses conducteurs qui puissent faire bon usage des différentes caméras « angles morts » dont seront dotées leurs futurs véhicules⁷. Dans une combinaison nouvelle, la lunette devient en effet non plus un but en soi, un article innovant, mais un accessoire parmi d'autres, de systèmes augmentants plus larges et digitalement intégrés, en accord avec l'hypothèse ci-dessus (lunettes comme émanation du digital).

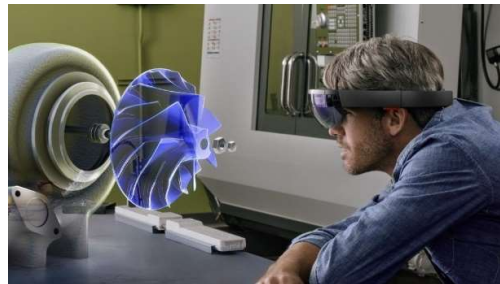
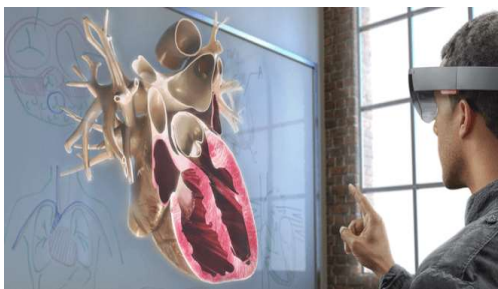


Fig. 2 : Illustrations du rôle pouvant être joué par la réalité augmentée dans les quatre secteurs d'activité-cible de Go Smart Frames : la santé, l'industrie, le sport et la culture

Précisons encore que les technologies permettant l'augmentation n'ont pas fait de saut majeur, mais se perfectionnent sans cesse et nous aurons à y revenir dans la partie suivante sur la vision augmentée

⁷ <https://www.youtube.com/watch?v=-m7B-91KBXg>

L'analyse de tendances ne concerne cependant pas que la technologie. Il y a évolution aussi dans le domaine économique ou plus exactement commercial (les marchés). Ici encore, on peut distinguer deux types de tendances, celles qui concernent spécifiquement la lunette et celles qui sont plus générales, propres à la société digitale, mais qui concernent aussi la lunette. Commençons par celles qui impactent directement la lunette.

Concernant notre analyse sur la nécessité de cibler les utilisateurs plutôt que de développer un produit généraliste laissant carte blanche aux utilisateurs d'en trouver pour leur usage particulier, à l'instar des Google Glass dans les années 2013-2015, nous observons que cette tendance s'est confirmée et même renforcée. Les projets que nous avons accompagnés sont définis par leurs développeurs pour des applications spécifiques et destinés à des utilisateurs ciblés. Même si la cible finale n'est pas toujours celle escomptée, le produit peut s'imposer dans un domaine nouveau et les développements sont alors dédiés à cette niche. C'est l'exemple de Tikaway, qui a développé des lunettes pour les particuliers souhaitant partager leurs souvenirs de vacances et qui aujourd'hui est uniquement commercialisé auprès des entreprises pour assurer de la télé-maintenance. Les inventeurs de Tikaway sont conscients que leurs produits peuvent être utilisés dans d'autres applications (nous en en train d'en concevoir d'ailleurs nous-mêmes plusieurs, dont le démonstrateur MAEME pour la visite des musées « live » à distance). Mais ils préfèrent ne pas se disperser pour ne pas risquer de se discréditer auprès de leurs clients actuels, laissant la possibilité à d'autres d'exploiter sous forme de licence ces perspectives parallèles d'utilisation de leur produit.

Cette tendance d'utilisateurs ciblés se manifeste aussi par la création de lunettes connectées par des entreprises dont ce n'est pas le métier mais que, faute de trouver sur le marché le produit développé pour leur besoin ou correspondant à celui de leurs clients, elles ont décidé de réaliser⁸. C'est le cas de la lunette de réalité augmentée créée par l'entreprise Jean Perrot, fabricant de machines d'outillage. Dans le cas d'une panne, leurs experts guident le client pas à pas par la projection, dans les lunettes, de schémas associés à des instructions pour que le technicien du client puisse travailler à la résolution du problème sans délai. C'est aussi le cas de la lunette concave de BCS Optique, de Besançon, encore en développement, par laquelle le créateur souhaite remédier aux défauts de confort de la plupart des lunettes augmentées actuelles et aussi, fournir cette capacité en mode « open source ».

Toujours pour ce qui est des tendances commerciales, sur un plan plus macro, il vaut la peine de relever que les grands porteurs du monde digital, américains et chinois, commencent à prendre leurs marques dans le domaine qui nous occupe. Après l'échec plein d'enseignements des Google Glass, ces acteurs majeurs du digital agissent avec prudence mais néanmoins aussi avec détermination. On sait depuis des années que Apple prépare son concept/système pour la RA et la RV (ses premiers brevets datant de 2015), avec une approche propriétaire comme il se doit. Il est annoncé pour cette année. On attend aussi le retour en force de Google, avec un équipement plus professionnel⁹, voire l'émergence d'Amazon, et à n'en pas douter le renforcement de Facebook dans ce secteur d'activités. Les acteurs asiatiques font également leurs expériences : Huawei par exemple, en

⁸ C'est ce que Von Hippel, du MIT, appelle l'innovation de l'utilisateur ou « User innovation », qu'il a abondamment analysé et documenté dans ses deux ouvrages majeurs : « The Source of Innovation » (1988), Oxford University Press ; et « Democratizing Innovation » (2005), Creative Commons.

⁹ Dès 2017, Google a fait savoir que son catalogue de « use cases », Glass Enterprise Edition, comprenait déjà de grands noms comme General Electric, par exemple.

collaboration avec le lunetier coréen Gentle Monster, ou encore, un autre chinois qui a impressionné au dernier CES de Las Vegas, NReal, avec un produit très complémentaire au smartphone, ainsi que le japonais Panasonic, misant lui de plus sur des écrans micro-OLED et sur la 5G, pour ne mentionner que ceux-là.

Si l'on ajoute Samsung, le monde de la réalité virtuelle est déjà entre leurs mains collectives. Celui de la réalité augmentée pas encore, mais ça pourrait s'accélérer dans ce sens. Si on prend l'exemple de la réalité mixte comme une préfiguration de ce qui pourrait se passer pour la RA, en tous cas, on le voit avec Microsoft Hololens : 1) il est difficile pour des « petits » d'innover et de subsister (Magic Leap en sait quelque chose, nous y reviendrons), et 2) avec les plateformes, on assiste à l'émergence nécessaire de standards (ou normes *de facto*). Aux dizaines de marques actuelles (Sony, Samsung, Epson, Microsoft, Vuzix, ...), on aura donc tendance à assister à un resserrement du marché sur quelques marques capables de s'imposer, et avec des centaines, voire des milliers d'autres qui développeront des applications, pour un marché de plus en plus mature (même si on n'y est pas encore), mais sur un mode d'innovation structuré de façon pyramidale et/ou associé à des niches très spécialisées. C'est du reste pour cette raison qu'il est si difficile de suivre l'évolution des lunettes à fonctionnalités augmentées : beaucoup ne sont que des annonces, d'autres des prototypes, d'autres encore des développements commerciaux à durée de vie très limitée et dans notre veille Go Smart Frames, nous passons plus de temps à vérifier si des marques ont réellement produit et vendu ce qu'elles disaient et si elles sont encore actives, qu'à analyser des innovations capables de percer sur le marché. Il n'y a qu'à regarder les nouveautés annoncées ces dernières années à l'occasion du CES de Las Vegas, véritable vitrine internationale de l'innovation geek, pour constater deux ou trois ans après que le produit n'est toujours pas commercialisé, quand il n'a pas été abandonné avant même son industrialisation. Les efforts de normalisation, capables de produire des effets d'échelle au plan commercial, pourraient donc bien être le filtre par lequel les innovations dans la RA doivent encore passer.

Pour résumer, l'heure n'est plus aux concepts généralistes (les lunettes qui savent tout faire comme les Google Glass pensaient pouvoir l'offrir), mais aux capacités qui apportent de la valeur ajoutée pour des applications massivement utiles ou des marchés ou niches de marchés qui en peuvent en faire bon usage. C'est littéralement un conseil pour les start-ups : penser aux finalités avant de penser aux détails technologiques¹⁰. Bien entendu, des gens comme Alex Kipman, père du casque holographique de Microsoft Hololens ou encore Tim Cook, patron d'Apple essayent à leur manière de dire le contraire et prophétiser un rôle majeur, à égalité, voire supérieur par rapport au smartphone, pour des lunettes connectées. Mais, est-ce à dire que demain, tout le monde sera porteur de lunettes augmentées produites par les GAFAM ou BATX/S, vraiment ? P. Gownder, de Forrester, a quant à lui préféré exprimer sa prudence, considérant que d'importantes barrières culturelles empêchaient un véritable

¹⁰ Dans ce sens, nous avons été frappés par le décalage entre la réalité et la « n-ième » interpellation sur ce sujet parue récemment dans un journal du Massif lunetier jurassien (mais élaboré par un spécialiste du CES La Vegas pour de nombreux autres journaux, T. Estimbre) : « La décennie 2020 sera-t-elle celle des lunettes connectées » (: <https://labo.fnac.com/guide/decennie-2020-retour-lunettes-connectees/>)

essor de ces dispositifs à grande échelle¹¹. Les représentants de IDTechEx et de Gartner quant à eux évoquent plutôt la barrière du prix : ce n'est pas encore rentable selon eux, qu'il s'agisse d'un volume suffisant de ventes pouvant être envisagé, pas encore à l'ordre du jour selon le premier, ou d'être capable de rentabiliser, pour une entreprise donnée, un développement spécifique, selon le second¹².

3. La vision augmentée

Il est clair, depuis l'émergence de la réalité virtuelle et de la réalité mixte, ainsi que l'accroissement considérable des capacités des smartphones, capables désormais de jouer dans toutes les catégories, que cela soit comme compagnons digitaux de dispositifs de vision augmentée ou comme opérateurs directs de RA, que l'état de l'art est à penser en termes de vision augmentée plutôt que seulement à travers l'évolution des équipements matériels.

Trois types principaux de développements peuvent être observés. Il n'existe dans ce domaine pas de terminologie canonique, standardisée, et nombre de sites web, articles, organismes et même développeurs utilisent les différents termes de manière indistincte (lunettes, casques, augmenté, virtuel, etc.), une source de confusion. Nous souhaitons donc préciser notre vocabulaire.

La réalité augmentée ou RA est celle qui se construit à partir de nos sens et de notre culture pour ce qui est de la perception et de la compréhension de notre environnement social et physique, et à laquelle peuvent être amenées/ajoutées, via des sources informationnelles externes et des dispositifs de perception spécifiques (principalement des écrans, mais pas exclusivement¹³), des indications potentiellement utiles à l'utilisateur, en fonction du contexte, et ceci, sans que sa relation perceptuelle et physique, voire sociale avec son environnement soit interrompue. Si nous avons affaire à des lunettes, les incrustations ou projections visibles en sus de la réalité physique et sociale sont appelés « see-through » ou « voir à travers ». Du son peut naturellement être ajouté à cette capacité visuelle. S'il s'agit d'écrans (comme sur un smartphone), l'aspect « see-through » doit être simulé (la réalité « filmée » par le smartphone + l'indication incrustée). Il est possible de réaliser cet effet en mode différé et pas seulement en temps réel. Globalement, nous parlerons à ce sujet de « RA ».

La réalité virtuelle ou RV est celle qui mobilise la perception sensorielle, essentiellement visuelle, auditive et tactile (parfois aussi proprioceptive, plus rarement et plutôt expérimentalement, olfactive), mais disjointe de la perception directe de l'environnement de l'utilisateur. On qualifie aussi souvent cette

¹¹ C'est assez ironique si l'on songe que le même cabinet Forrester avait annoncé en 2014 que les smart glasses deviendraient un marché de masse en 2015 (<https://www.datamation.com/mobile-wireless/wearables-go-mass-market-in-2015-forrester.html>).

¹² Cf. l'article paru dans Le Monde du 25 août 2017, p. 12 : « Les lunettes de réalité augmentées peinent à trouver le chemin du grand public ».

¹³ On se rappellera avec profit une des réflexions du Workshop GSF 6, où un non-voyant faisait remarquer que certes des écouteurs branchés à un smartphone permettaient d'être guidés « GPS » ou avertis de certains obstacles, mais au détriment de la capacité d'écoute des sons environnants et notamment de l'écholocalisation si importante pour les non-voyants. On se trouve typiquement ici devant un problème de concurrence « RA/RV » : la canne intelligente, avec ses vibrations sur la présence d'obstacles, permet de rester en relation auditive complète avec son environnement, tandis que les écouteurs créent de fait un environnement virtuel, en partie incompatible avec la perception sensorielle propre du non-voyant.

configuration d' « immersive », mais il faut savoir que l'immersion peut n'être que partielle. On peut en effet être confronté à de la réalité virtuelle, soit dans un casque, qui alors nous isole, soit sur un écran à regarder (smartphone, tablette ou PC), voire un ensemble d'écrans faisant murs, sols ou plafonds, mais sans que la relation physique, voire sociale avec l'environnement soit entièrement coupée. Globalement, cette capacité constitue la « RV ». Le son peut aussi faire la différence¹⁴ pour ce qui est de la qualité perçue de ce type de réalité.

La réalité mixte ou RM est une réalité augmentée dans laquelle, via un dispositif visuel spécifique, par exemple des lunettes, on perçoit en hologramme des objets virtuels judicieusement, mais aussi correctement placés dans le champ de vision : judicieusement par rapport à l'intention (ou objectif recherché) et correctement par rapport à la cohérence visuelle et à la compréhension du monde de l'utilisateur, lui apportant une perception efficace pour l'action. C'est l'effet « RM ».

Plusieurs remarques s'imposent pour inscrire ces précisions dans une logique « Etat de l'art ».

On peut se demander par exemple ce qui distingue les indications accessibles en incrustations dans la RA, des hologrammes de la RM. La réponse est simple. La RA est basée sur deux composantes :

- d'une part, des mots plutôt succincts, des mesures simples, des images ou pictogrammes porteurs de significations spécifiques (par exemple des couleurs ou des formes suggérant l'alerte ou la prudence, ou au contraire des choix recommandés) et dans ce cas, en raison de la simplicité des indications, il suffit que l'incrustation dans le dispositif de visualisation tienne compte du confort visuel de l'utilisateur (ou du porteur, s'il s'agit de lunettes) ;
- d'autre part, une calibration de l'incrustation en rapport avec l'environnement, pour que les indications virtuelles (phrases, pictogrammes ou images, peu importe, avec effet de transparence ou non) soient perçues et comprises de manière cohérente sur le plan visuel (bonne « distance, sans trop de déformations ou de gêne associée) et faisant contextuellement sens ; mais il s'agit d'images en principe « plates » (bi-dimensionnelle).

Cette remarque amène automatiquement la réflexion sur les particularités de la RM : il faut être capable de trianguler et calibrer l'environnement pour poser correctement les objets virtuels dans le champ de vision réel et bien sûr, il faut que ceux-ci aient le degré de consistance utile (plus ou moins de transparence), en fonction des objectifs fonctionnels visés. Apporter cette capacité sur des lunettes qui ne soient pas monstrueuses est ce qui a exigé tous les efforts de développement de ces dernières années et qui a demandé notamment de pouvoir intégrer ou amener dans les dispositifs une puissance de calcul importante. Le grand défi actuel : rendre ces objets virtuels dynamiques, interactifs, et pour cela, la puissance de calcul embarquée ou accessible doit être encore considérablement accrue.

Il faut aussi savoir qu'il existe de nombreuses tentatives de créer des situations intermédiaires, un peu augmentées, un peu virtuelles¹⁵, ou même, et nous avons cru comprendre que c'était précisément ce

¹⁴ A titre d'exemple sur l'importance de cette dimension, Google a développé un kit multi-plateformes pour que le son soit mieux réparti (KitResonance Audio).

¹⁵ Il vaut la peine, dans cette catégorie, de mentionner, à titre d'exemples : 1) les consoles de pilotage de drones à deux écrans Evolve de XDynamics, l'un des écrans gérant les déplacements de l'engin, l'autre ce

sur quoi Apple travaillait, à savoir des systèmes capables de basculer de l'un à l'autre, à la demande, en fonction du contexte et des besoins. C'est dans cette perspective que la firme à la pomme a présenté sa plateforme de développement : l'ARKit.

Parmi ces situations intermédiaires, pas tout à fait RM, quasi holographique, mais en tous cas témoignant d'une RA « active », sinon interactive, il faut mentionner les réalisations de WayRay, où la RA est véritablement dynamique en fonction de l'évolution du contexte, pour autant bien sûr qu'on soit dans un environnement relativement connu ou au moins reconnaissable (<http://wayray.com>).



Fig. 3 : Dans le concept WAYRAY, les données changent au fur et à mesure que la voiture avance et que l'on sollicite une partie ou une autre du champ de vision.

La RA est basée sur une série de technologies de base et a permis de mettre sur le marché des dispositifs de différentes sortes, augmentant l'accès aux informations provenant de sources externes, comme évoqué dans notre définition, mais aussi à travers diverses formes de télé-présence, grâce à la prise de vue et de son et à la mise en coordination de partenaires distants. Ces diverses technologies ne subissent pas actuellement de grands sauts innovants, mais font l'objet de progrès réguliers, qu'il s'agisse de l'algorithmique de soutien, des matériaux utilisés, des protocoles de communication, des batteries, des solutions visant à tout intégrer ou au contraire à offrir des systèmes modulaires, qu'ils soient d'emblée multi-dispositifs ou modulables avec des accessoires, ainsi que des capacités de « voir » autrement que dans le domaine visible (infra-rouge notamment, comme le propose Darix). Cette innovation incrémentale fait qu'aujourd'hui la RA est beaucoup plus performante qu'il y a cinq ans et nous pouvons faire le pari qu'il en sera de même dans cinq ans. En effet, les mêmes efforts, les mêmes tendances (miniaturisation, allègement, autonomie voire capture d'énergie chemin faisant, modularisation, etc.) sont toujours à l'œuvre et produisant présentement un effet de champ, qui à l'échelle de la planète, car on produit désormais de la RA partout, est fortement concurrentiel.

que l'engin « voit » ou filme, créant de fait un environnement multi-dimensionnel ; 2) le casque audio qui fait aussi vidéo et réalité virtuelle Glyph, de Avegant, qui envoie des images directement sur la rétine.

Par ailleurs, le monde de la RV évolue également. Elle se bat de mieux en mieux contre son défaut principal, l'effet de nausée qui lui est lié depuis le début. Elle est devenue mobile, accessible sur de nombreux dispositifs. Elle est accessible via des concept 360°, capables de mettre le porteur au centre de son monde virtuel¹⁶, qui devient donc paradoxalement, de plus en plus réel. Et justement, la capacité à cartographier un environnement et à situer les objets qui s'y trouvent fait que le monde virtuel produit par la RV rejoint de plus en plus des repères bien réels qui deviennent non seulement accessibles, mais actionnables. On peut voir ainsi un environnement réel de façon virtuelle, mais si bien rendu qu'on peut toucher l'épaule du voisin et se tenir à la barre bien réelle du wagon perçu virtuellement dans lequel on se trouve réellement. Très important aussi, dans cette logique, de pouvoir voir ses propres pieds ou mains (exemple : les produits du suédois Mano Motion).

Cette évolution permet d'accéder non seulement au sensationnalisme de l'immersion virtuelle, mais également à des expériences usagers de plus en plus variées que la gamification va rapidement doper. Pourtant, ce qui nous semble être la tendance actuelle la plus importante, rendue performante et crédible grâce à l'industrie du jeu et ses formidables moyens de financer le développement technologique, est le partage des environnements virtuels, permettant à plusieurs porteurs d'évoluer et d'interagir dans le même environnement virtuel. Cet effet d'innovation est si important que par osmose, il ne serait pas surprenant qu'il impacte aussi rapidement le monde de la RA et de la RM.

Il vaut aussi la peine de mentionner une technologie qui progresse et se diversifie, et qui peut apporter des fonctionnalités utiles aux trois formes de visualisation augmentée : c'est l'eye-tracking. Dans le cadre de Go Smart Frames, on l'avait déjà identifié comme cruciale dans le projet Holà de Lightvision pour la correction de la vue chez les personnes atteintes de DMLA (il faut envoyer une image de la réalité sur la partie saine de la rétine et donc tenir compte des mouvements de l'œil) ; et de même, dans la technologie de Ellicie Healthy permettant de prévenir l'endormissement au volant ou encore le suivi *ex post* des chutes de personnes âgées. On verra de plus en plus cette technologie à l'œuvre dans nombre d'autres applications, augmentées ou virtuelles ces prochaines années, lorsque cela apportera une qualité utile prenant appui sur, ou en tenant compte de la manière de regarder et de bouger du porteur, en temps réel. Cette fonction a du reste aussi la capacité de devenir l'interface de commande des fonctions d'un dispositif piloté par des personnes handicapées physiques au même titre que la voix. Il suffit de fixer une commande dans son casque/lunette RV/RA/RM pour que l'« eye-tracking » détecte le mouvement et lance l'exécution de la commande, comme si l'utilisateur avait déplacé une souris. Cette technologie date d'une dizaine d'années, mais elle s'est fortement diversifiée depuis, fonctionnalisant différents types d'application nécessitant l'eye-tracking.

Deux autres domaines qui tendent à aller de la RV, où ils sont développés, vers la RM puis la RA sont ceux d'une part de l'avatarisation, où on attend avec impatience les réalisations de Samsung annoncés au dernier CES de Las Vegas comme un saut de niveau dans le domaine (avatars très réalistes) et celui de la capture de mouvements¹⁷ pour animer notamment... des avatars, précisément. Mais avec ce

¹⁶ A mentionner comme un des leaders, le laboratoire de neurosciences cognitives du prof. Blanke, à l'EPFL, qui produit de l'hyper-réalisme 360°.

¹⁷ Un marché spécifique que Gartner estime à 30 milliards de dollars en 2020 déjà ! Pour les acteurs proches, cf. notamment Sensoryx (Zurich) ou les moins proches, le chinois Dexta Robotics.

peuplement d'objets et de personnages, on entre déjà un peu plus dans le prochain chapitre, consacré aux environnements augmentés.

4. Les environnements augmentés

De par le potentiel apporté par la connectivité, la puissance de calcul locale et surtout distante, ainsi que les algorithmes de traitement des données et des images et les capacités d'apprentissage pour détecter, classer, reconnaître, simuler des options ou prédire grâce à l'intelligence artificielle, nous n'avons plus affaire seulement à un système de vision augmentée particulier pour un type d'utilisateurs particuliers, aussi innovant soit-il, ni à la seule perception visuelle de l'environnement. En fait l'ensemble des acteurs d'un contexte, d'une situation type, d'un écosystème fonctionnel peuvent bénéficier d'apports utiles au-delà de ce que leur perception et compréhension propres permettraient. La nature de ces apports, même si on y a accès via des signaux qu'on peut appeler du terme général d'« informations », peut être visuelle mais aussi « tout autre ». Ces signaux peuvent en effet s'adresser à d'autres sens que le visuel, voire à plusieurs sens en même temps et par ailleurs fournir des indications complexes mais aussi formalisables, permettant ainsi à des systèmes automatiques et intelligents de profiter de ces sources et de pouvoir agir en conséquence. On se trouve donc dans un monde où presque tout peut envoyer des informations et où une ou des intelligences, humaines ou non, ou les deux en conjonction, peuvent faire usage de ces ressources pour agir, gérer, prévenir, apprendre, etc.¹⁸ Cette approche est celle des environnements augmentés, sur lesquels nous travaillons depuis 2010¹⁹; mais ce n'est que graduellement que le potentiel technologique a permis de les concrétiser au bon niveau de performance, pour les développeurs et aussi pour ce qui de la complexité désormais accessible grâce à l'IA.

Ainsi, un carrefour peut faire l'objet d'un traitement de type environnement intelligent, avec des indications accessibles aussi bien aux gestionnaires de la circulation, aux urbanistes, qu'aux usagers de la route. De même, une autoroute possédant une bande de balisage tout au long de son parcours, peut apporter des données utiles à l'ensemble des acteurs si souhaité. De telles expériences sont déjà à l'oeuvre en différents endroits du globe et leur nombre et leur variété va bien sûr augmenter²⁰.

¹⁸ Cf. pour une gestion innovante de cette complexité, le concept du vaudois Matchmore (<https://matchmore.io/>).

¹⁹ Il vaut la peine de souligner que l'Augmented Environments Lab de Georgia Tech s'est nourri de cette idée depuis 1998. [https://github.blairmacintyre.me/site-archive/ael-2015/..](https://github.blairmacintyre.me/site-archive/ael-2015/)

²⁰ Rappelons aussi que la domotique cherche depuis longtemps à faire de la maison un environnement augmenté, aujourd'hui combinable avec différents wearables, des tablettes et smartphones.



Fig 4. Concept élargi de la notion d'augmentation, présenté par Pierre Rossel au Rolex Center de l'EPFL en 2013 et à l'ENSMM à Besançon, en janvier 2017, annonçant le concept d'environnements augmentés

Dans ces environnements particuliers, les dispositifs de visualisation peuvent naturellement être utiles, mais ils ne représentent qu'une catégorie parmi d'autres des ressources permettant d'avoir accès aux informations pertinentes et de pouvoir agir, se coordonner, etc. Ils doivent aussi être développés dans l'esprit de contribuer à l'efficacité de l'ensemble et non pour eux-mêmes. Le niveau de flexibilité et de connectivité, d'échange de data enfin, doit donc être très élevé pour que des lunettes ou autres dispositifs de visualisation puissent jouer leur partition dans ces environnements augmentés. Si on doit insister sur l'importance du design pour les systèmes de visualisation, dans le cas des environnements augmentés, ce sont plutôt des références à l'architecture et à l'urbanisme, voire aux grands systèmes industriels, qui vont probablement être les plus répandues dans les années qui viennent. Dans cette évolution, on repère déjà des tendances intéressantes.

Tout d'abord, se développent de préférence des solutions partielles plutôt que des usines à gaz cherchant à tout connecter et instancier, faisant déjà apparaître un middleware intelligent et parcimonieux, flexible et facilement customisable aussi (comme le MII ou Manufacturing Integration and Intelligence). De même, alors qu'on nous vend le nuage (ou « cloud ») pour tout résoudre en matière de sécurité, beaucoup souhaitent garder des données sensibles à portée de main et, pour autant qu'ils aient localement la capacité de traitement nécessaire, fonctionner en approche « edge ». Cela renvoie à l'essor du « twinning » ou jumelage digital, en fait une version mise à jour des capacités développés pratiquement depuis les débuts de l'informatique pour la modélisation-simulation, mais dans lequel l'IA joue désormais un rôle grandissant. Dans le souci d'apporter de la puissance de traitement locale, diverses technologies contribuent à changer la donne : les drones bien sûr, mais aussi les protocoles de communication les plus récents (Bluetooth 5, la 5G, l'évolution avancée des

fonctionnalités Wifi), ainsi que pour les applications web, le PWA ou Progressive Web Application, qui permet d'apporter puissance et flexibilité aux usagers en fonction des besoins²¹.

Ce qui doit encore être relevé concernant les environnements augmentés est l'importance des compétences transversales (en partie composées de ce qu'on appelle des « soft skills »), sur lesquelles nous reviendrons et qui forment la trame apportant aux choix « augmentants » qui sont faits leur robustesse et leur valeur d'usage. Autrement dit, on se trouve typiquement face à des besoins en compétences de nature multi-disciplinaires.

5. Les marchés

Il est devenu désormais impossible de suivre les applications nouvelles qui émergent dans le monde concernant les trois types d'augmentation envisagées, il y a en tout simplement trop, partout, dans tous les domaines. Nous nous contenterons donc de signaler les principales fonctionnalités qui véritablement innovent et aussi semblent pouvoir s'imposer dans la durée (offrant de l'utile plutôt que du futile), et notamment dans les marchés cibles qui ont été les nôtres dans Go Smart Frames.

Pour chacune de ces rubriques « marchés », prenant appui sur les projets présentés dans nos workshops, comme exemples intéressants et aussi des sources de connaissances sur ce qui se fait en matière d'innovation dans le domaine de la réalité augmentée en général, nous proposerons une analyse des tendances en cours de déploiement.

La santé

Dans le cadre de Go Smart Frames et notamment dans les workshops 2, 3 et 6, ont été présentés et discutés 4 projets innovants : Hola !, Prudensee, Audioviz et Tom Pouce (cf. pour leur présentation, les compte-rendus des workshops sur notre site web). Ces quatre projets représentent différentes progressions où la RA est capable d'adresser des problèmes de santé liés à des perceptions déficitaires ou à des risques à prévenir ou encore des suites d'accident à suivre. C'est un domaine d'application assez naturel pour la RA et ces développements vont se poursuivre.

On pourrait compléter ce tableau avec le traitement des phobies avec la RV, qui permet de renforcer différentes approches thérapeutiques, ou avec la RA, parfois plus efficace comme dans le traitement du vertige, ou avec la RM, pour la peur des insectes par exemple. Ces usages se diffusent rapidement mais les savoirs les concernant en sont encore au début de leur métabolisation et de l'analyse statistique correspondante pour l'ensemble des professions médicale concernées. Le domaine psychiatrique, ou même la gestion du stress, sont donc sans nul doute des domaines d'avenir pour la vision augmentée.

Parfois c'est la distance ou le temps qui sont à considérer comme variables à traiter. Ainsi, l'ambulancier qui bénéficie d'informations en temps réel sur son cas au fur et à mesure qu'il s'en rapproche, le drone qui amène le défibrillateur sur place, mais aussi les lunettes augmentées

²¹ Rappelons que plusieurs partenaires ou participants aux workshops Go Smart Frames ont présenté les bénéfices de cette migration technologique, et notamment l'entreprise LivDeo, de Besançon.

permettant à un quidam d'être guidé dans les soins à prodiguer à un blessé par un spécialiste à distance : les cas abondent d'usages où les capacités d'augmentation apportent une valeur nouvelle en matière de soin, se jouant dans une certaine mesure du temps et des distances. Le dernier exemple rapproche aussi la santé de la télé-maintenance industrielle où parfois, les lunettes ont leur utilité, notamment dans toutes les cas où il faut pouvoir agir « mains libres ». En fait, toutes les situations où des médecins, voire des chirurgiens coopèrent à distance sur des cas qui leur sont présentés constituent de fait des environnements augmentés, une référence également pour d'autres domaines.

Le domaine qui progresse aussi énormément dans le secteur de la santé est celui de la formation, pour les apprentis médecins, infirmiers, kinés, etc., le corps humain étant tri-dimensionnel et avec de nombreux niveaux de fonctionnalités incorporés dans plusieurs couches de tissus corporels ; on est dans ce cas dans un type de « twinning » ou jumelage numérique permettant à nombreuses approches pédagogiques de se développer, avec ou non des couches de gamification²².

L'industrie

Cinq projets ont été présentés dans le cadre de workshops GSF 1 et 7 (cf. le site web de GSF, dans la section sur les workshops): Vizir²³, In-Control, MSW, Balizenn et The Swiss.Cart Company. A ces projets, qui témoignent déjà de la grande diversité des activités concernées, se sont ajoutées les présentations d'activité d'Objectis dans la RM et de Nicebe dans la RV.

L'augmentation dans l'industrie fournit des prestations sur les deux versants de cette activité :

- Des objets ou systèmes augmentés que l'industrie peut produire et vendre.
- Des manières et processus augmentés pour produire industriellement de façon innovante.

Les cas évoqués mobilisent aussi toute la panoplie des technologies de visualisation augmentée. Ce qui est intéressant, car tout ce qui figure ici est, pour une part, innovant, mais à l'échelle du globe, un peu partout expérimenté et « ré-innové », réside dans l'accroissement considérable des catégories d'application que ces systèmes et approches peuvent fournir à l'industrie. Dans notre rapport de 2015, et ceci en collaboration avec une vingtaine d'entreprises, nous avons identifié principalement la formation, la télé-maintenance et la gestion des risques comme domaines favorables pour la RA. Actuellement, cette liste de tâches-types dépasse la vingtaine et nous n'en fournissons ici qu'un pointage provisoire. La RA/RM/RV, dans l'industrie, avec des expérimentations témoignant de divers stades de maturation des technologies permet déjà d'apporter de la valeur (motivation des personnels, performances améliorées tout au long du cycle de production, détection facilitée, l'avatarisation, etc.) pour les options de tâches et applications suggérées dans la figure 5.

²² Dans le réseau des partenaires de Go Smart Frames, c'est le prof. Gobron, de la He-Arc, qui est allé le plus loin dans cette direction. Mais nous avons aussi eu beaucoup d'intérêt pour l'approche de type Holocare de Sopra Steria.

²³ Vizir est une application fascinante de la société vaudoise Darix, à l'usage des professionnels, en particulier des pompiers, leurs lunettes et leur traitement d'image très innovant permettant de voir à travers la fumée et de pouvoir rapidement comprendre la structure d'un environnement opaque pour y agir efficacement.

Liste non exhaustive d'applications de la RA/RM/RV observées dans l'industrie

- Le design des systèmes
- la formation et la mise à jour des formations
- La télé-maintenance
- Les modes d'emploi et leur mise à jour
- La sécurité générale et les procédures à mettre en place
- La prévention de risques professionnels spécifiques
- Le design et la construction des bâtiments industriels
- Les situations de crise
- Le guidage des personnes venant de l'extérieur
- La modélisation, la simulation et la vérification des processus
- La coordination des personnes et des équipes
- L'ergonomie des postes de travail
- La logistique
- Le monitoring et le suivi des processus une fois mis en œuvre
- Le contrôle qualité
- La détection d'anomalies
- La gestion de crise et le sauvetage des personnels en danger
- L'aide à la vente
- Le pilotage de grands engins dans des environnements complexes
- La traçabilité
- L'aide à la décision
- La collaboration entre personnels de terrain et d'autres, actifs dans des centres de pilotage
- La mise en action des personnels de piquet
- La gestion documentaire, les plans et l'archivage

Fig 5 : Domaines d'application industrielles faisant usage de technologies augmentées pouvant désormais être observés et documentés

Ce qui importe de relever et c'est ce qui a été fait dans les workshops de Go Smart Frames est que la mise en action de ces capacités augmentées pour tous ces domaines d'application réclame le développement de compétences nouvelles. Il s'agit s'acquérir par la pratique mais aussi la mise en place de formations spécifiques, voire d'études ergonomiques et statistiques, un peu comme cela se fait maintenant dans le sport de haut niveau, avec des connaissances et savoir-faire ad hoc. Des études seront aussi nécessaires, avec des méthodologies à mettre au point et à discuter, pour évaluer ce qu'apportent réellement les processus d'augmentation, dans le cours et le long terme, avec le niveau de risques et de dépendances nouvelles qu'il s'agira aussi d'apprécier. Nous sommes au début d'un parcours encore très ouvert et déjà stimulant, qu'on peut déjà percevoir comme porteur de spécialités nouvelles. La question du modèle d'affaire et des critères capables de vérifier la rentabilité de ces opérations sont également des enjeux très actuels.

La culture

4 projets ont été présentés/discutés lors du workshop GSF 5, ainsi qu'une activité déjà en cours, celle de LivDeo: MAEME, Archéogame, Jurassic Planet et les installations Geed de Livdeo (tous ces projets sont décrits dans les compte-rendus du workshops GSF 5).

A travers le projet MAEME, il est désormais question de miser sur la qualité de l'expérience visiteur plutôt que sur le seul ajout d'informations et la multiplication des écrans dans les musées (« Trop d'écrans font écran », rappelle Olivier Glassey, Directeur du Musée de la Main), représentant une des réflexions influentes orientant désormais l'innovation en matière muséographique et plus largement le rapport entre la RA/RM/RV et la culture, au sens large. De façon générale, on peut dire que tous les ingrédients sont déjà en place : les technos, les experts et les références de cas RA/RM/RV dans le monde des musées et de la culture pour une dissémination à grande échelle de ces manières de

penser, agir et valoriser la culture, une nouvelle norme en somme. Dans cette logique, on serait moins dans l'innovation que dans la diffusion, faisant de la RA/RM/RV une ressource comme une autre., Pourtant, dans la pratique, pour des milliers d'acteurs culturels de taille modeste, cela ne va pas de soi. Il s'agit moins d'innovation que de créativité, moins de technos que de mise au point de stratagèmes pour mettre le visiteur ou spectateur au centre de l'attention, comme individu ou acteur d'un échange, et enfin, moins d'effets « wouaahh ! » que d'efforts pour produire des solutions bon marché, un besoin qu'a montré le workshop GSF5 avec des experts du terrain (seuls les grands musées pouvant véritablement s'offrir certaines capacités et les maintenir/les exploiter efficacement).

Le sport

Au contraire de la culture qui est désormais plutôt un domaine d'application, le sport est suffisamment doté, au plan financier, pour constituer un axe de développement majeur des systèmes augmentants.

Dans le workshop GSF 8 sur le sport, deux projets ont été présentés, ainsi que deux activités en cours examinées (la technologie Memoride de Activ84Health, gamifiée par Coherent Streams, ainsi que le système Evad 1 de la société franc-comtoise Julbo). Les deux projets sont Open Glasses²⁴ et Chronolife-Sport.

Ces projets mettent en jeu deux composantes essentielles du sport « augmenté » :

- la possibilité d'apporter de l'information utile au sportif dans la pratique même du sport, éventuellement gamifiée, grâce à divers dispositifs y compris des lunettes²⁵
- la possibilité de se mesurer pendant et après l'accomplissement de l'activité sportive, dans pratiquement tous les sports²⁶.

Un des domaines sur lesquels nous avons réfléchi, via différents partenaires (Body Brain, MSO, Gaitup, Activ84Health, etc.), mais avons finalement fait l'impasse pour ne pas nous disperser est celui des fitness, hauts lieux du développement de solutions augmentées de type RA/RM/RV dans toutes les formes de combinaison possible (avec ou sans coach, seul ou avec un partenaire distant, en concurrence avec soi ou avec d'autres, etc.). Il vaut la peine de voir comment par exemple la firme strasbourgeoise Holodia conçoit la combinaison de toutes formes possibles d'augmentation et de virtualisation²⁷. Il s'agit en effet d'un contexte international très innovant.

²⁴ Il s'agit d'un projet encore en amont mais très innovant de BCS Optique, de Besançon : des lunettes à réalité augmentée pour le sport, basée sur une technologie brevetée de visualisation sur verres bombés.

²⁵ Certains sports commandent d'avoir des interfaces adaptées. Par exemple le bracelet Glassy Zone dédié aux surfeurs (et bénéficiant d'un crowd funding de cette communauté), lié à une appli analysant les vagues et surveillant les UV.

²⁶ Même la natation voit émerger des lunettes augmentées, à l'exemple des FORM Swim Goggles (<https://www.formswim.com/>). Et pour ce qui est du suivi et du coaching statistique, voyez le Swimbot (<https://www.facebook.com/swimbot/>). Ce ne sont que deux exemples parmi d'autres, bien sûr, mais ils sont très spectaculaires. On peut aussi mettre un Instabeat sur des lunettes de natation classiques, comme un clip (<https://instabeat.com/products/instabeat>) et obtenir quantité de données.

²⁷ https://www.huffingtonpost.fr/2016/03/24/holodia-realite-virtuelle-salle-sport-excursion_n_9538390.html

L'autre grand domaine de développement du sport produisant un effet d'écosystème (ou environnement augmentée) est la statistique, faisant intervenir le « data analytics » (voire le « Big Data ») dans presque tous les sports, pour les sportifs, pour les coachs, mais aussi pour les spectateurs. Ceux-ci pourront en effet bientôt accéder à un sport et le regarder, si l'on peut dire, à travers le filtre de ce qui les intéresse dans ce sport et notamment au plan statistique, pratiquement à la demande. La visualisation pour cela fait naturellement partie du fun recherché, avec des pratiques accessibles sur tous les supports, de la smart watch jusqu'à l'écran géant (il suffit alors de faire voter les spectateurs sur leurs préférences).

Combinons toutes ces capacités²⁸ et on débouche sur de nouvelles pratiques, appréciables à plus grande échelle. Si l'on prend l'exemple du cyclisme, on peut considérer qu'un « tour » et la gestion d'une équipe de cyclistes, avec son personnel d'encadrement, qu'il s'agit de « manager » et de coordonner, correspond à notre définition d'environnement augmenté.



Fig 6 : Les lunettes Recon Jet, avec leur capacité d'affichage, mesures, stats, indications clés, « tête haute ».

Enfin, il nous faut parler du sport virtuel, pas le sport digital où des gens jouent à des jeux que d'autres regardent²⁹, mais celui qui se pratique réellement, physiquement, avec des artifices virtuels, et qui peut soit imiter des sports réels, mais sans l'équipement habituel (pas besoin), soit constituer des sports nouveaux ou encore des disciplines nouvelles dérivées de sports existants. Ils sont certainement intéressants pour l'entraînement du sportif, voire par le fait qu'ils peuvent motiver des

²⁸ Par exemple, on peut très bien suivre, avec des lunettes de RA, la trajectoire de sa balle au golf en rapport avec l'environnement et le but à atteindre, mais également vouloir améliorer son swing grâce à un capteur sur un patch et une appli qui aidera à corriger le mouvement. C'est aussi ça, le monde IoT.

²⁹ Encore qu'il faudra certainement examiner ce que ces sports virtuels peuvent apporter dans le domaine des sports « réels », tôt ou tard, de même que leurs effets sur nos capacités cognitives.

personnes peu enclines à pratiquer un sport. Il restera à voir comment prospèrent ces initiatives qui, comme tous les sports, doivent bénéficier d'un nombre suffisant d'adhérents pour subsister.

En résumé, on trouvera ci-dessous mentionnés les marchés où les exemples abondent, désormais, à l'image des quatre domaines sur lesquels nous nous sommes concentrés : *industrie, culture, santé et sport*. Il s'agit de huit autres domaines d'activité également en pleine expansion. Ils ne concernent pas que des avancées en vision augmentée, mixte ou virtuelle, et nous considérons l'ensemble de ces capacités comme formant aujourd'hui le domaine de la réalité augmentée, au sens large.

Le tourisme : Proche de la culture et des musées, mais aussi capable de suggérer et de préparer, voire de rassurer, et aussi de raviver (souvenirs, émotions, rapports humains), la RA/RM/RV dans le tourisme a un rôle fort à jouer.

Le luxe : Dans le design, la formation, l'essayage client, la publicité, et demain d'autres fonctions et services œuvrant au bénéfice de l'industrie du luxe, la RA/RM/RV devient indispensable. Sans oublier, que les objets connectés séduisent de plus en plus les consommateurs.

La vente : Les situations pouvant faire usage de la RA/RM/RV prolifèrent : formation, vente à distance, simulations en temps réel avec le client, visites de locaux à aménager, posage d'objets-clés dans un environnement test, virtualisation poussée pour les plus exigeants et fortunés, etc.

L'éducation : Les travaux pratiques, les jeux d'apprentissage et acquisition de compétences nouvelles peuvent naturellement tirer parti de la RA/RM/RV, mais il s'agit aussi de voir que désormais, la maîtrise de ces technologies, en mode usager comme en mode fabricant, devra de plus en plus faire partie des formations digitales de base pour un très grand nombre de domaines d'activités.

Les smart cities : Dans le monitoring des flux, la signalisation aux usagers, la contribution des usagers à informer, la prévention des risques et le déclenchement d'alertes, la mise en place d'alternatives et l'information y relative, etc., c'est « LE » domaine où la RA/RM/RV peut faire la différence.

L'environnement : Voir l'invisible, tant dans ce qui ne va pas (pollution, allergènes, extrêmes de températures ou de sécheresse pour la nature, alertes sur les risques pour la faune et la flore) que ce qui va (valorisation de la vitalité naturelle et des corridors biologiques, aide à l'évolution vers une agriculture plus durable, et pour une foresterie non seulement plus durable mais aussi compréhensible pour les citoyens, etc.) : un autre grand domaine émergent pour la RA/RM/RV.

La sécurité : Avec le militaire, la sécurité est le domaine où la RA est apparue en premier et où très clairement, avec la RV, elle peut fournir des capacités de percevoir très au-delà de nos sens humains, avec le couplage IA en plus, notamment dans la surveillance des individus, comme on la voit émerger désormais dans certains pays (la Chine bien sûr, mais pas seulement), avec son cortège de questions éthiques à résoudre.

Les jeux : Les jeux vidéo (une industrie considérable, qui a tant fait pour le développement des capacités technologiques), mais aussi jeux de toutes sortes et aides à la ludification d'activités par nature non ludiques : c'est l'espace où s'élaborent des technologies, mais aussi des standards, des références en matière de qualité d'image et de rendu, ainsi que d'avatars (cf. le chapitre sur la RV).

Pour tous ces domaines d'application, l'utilité est bien là, nous l'avons observé et vérifié. En revanche, la rentabilité des solutions n'est cependant pas automatique ni même forcément atteignable dans un proche avenir. Il ne s'agit ici que de marchés où nous avons identifié des projets, propositions et

solutions technologiquement réalisables et testées. L'évaluation des coûts, tant en investissement qu'en exploitation, les coûts indirects aussi, et enfin l'estimation touchant aux possibilités de revenus et les conditions qui y mènent constituent une expertise que précisément nous sommes en train de développer, sur la base de nombreux cas étudiés et suivis. Elle est loin d'aller de soi, cependant, même si chez beaucoup de développeurs, l'enthousiasme est de mise, dans une sorte d'euphorie technologique, mais qui tend à retomber, bien sûr, lorsque les résultats ne sont pas au rendez-vous. Enfin, il y a aussi la question éthique, notamment dans les questions sécuritaires. On voit là que les sensibilités culturelles pour considérer ce qui est acceptable ou non peuvent différer fortement. Google en a fait l'expérience avec les Google Glass, mais ce problème ne va disparaître³⁰.

Nous sommes d'avis que sur ce point, outre le fait que les lunettes peuvent filmer et enregistrer, éventuellement à l'insu des personnes faisant partie de l'environnement du porteur, les dispositifs de vision augmentée auront à satisfaire aux mêmes exigences que tous les systèmes IT et IoT, en Europe en tous cas (cf. le Règlement Général sur la Protection des Données ou RGPD).

6. Les enseignements stratégiques de Go Smart Frames

Pour ce qui est de la région Arc jurassien franco-suisse, le constat est moins évident dans la mesure où, entre 2012 et 2020, le monde s'est considérablement renforcé, aux plans économique et technologique, autour d'un référentiel essentiellement digital et dominé par des puissances et des grandes entreprises qui sont très peu européennes. Cette domination tend à laisser, malgré eux, les acteurs les plus innovants de Suisse et de France à la marge de ce grand jeu se déroulant à l'échelle mondiale. Il vaut la peine de préciser ces deux points.

Dans ce monde digital, l'Europe a en effet beaucoup de peine à exister et il en va de même pour les deux pays soutenant Go Smart Frames, la Suisse et la France, ainsi que la région qui nous concerne, l'Arc jurassien franco-suisse. Cette constatation est paradoxale dans le sens où les capacités d'innovation et d'excellence des acteurs de cette région sont en effet intactes et restent remarquables ; en revanche, elles ne dégagent pas de bénéfices à la hauteur de ce qu'en retirent les maîtres des données, comme si désormais on ne jouait plus dans la même ligue.

Prenons les facteurs de production que constituent les données, les algorithmes, l'émergence de l'IA, la maîtrise du trafic sur les réseaux sociaux³¹, l'activité digitale liée aux smartphones, le jeu géostratégique lié au cyber-espace, l'avènement d'une société de surveillance, la maîtrise des outils de base la RA/RM/RV, les jeux vidéo: toute cette capacité se déploie très largement sans influence concrète des pays européens, ni grands bénéfices pour eux, quels que soient leurs mérites productifs.

Si on prend des industries comme la santé ou le sport par exemple, en référence à ce qui a été dit sur l'évolution des technologies d'augmentation (RA/RM/RV), il est clair que l'essentiel du bénéfice et des enjeux économiques de ces branches ne se situent pas aux niveaux des dispositifs (pour la santé, les medtechs), mais de l'exploitation des données et des influences qui en découlent. Bien plus, que cela

³⁰ Ainsi, l'épidémie de coronavirus de 2020 a semble-t-il fait tomber de nombreuses barrières en matière de protection de la sphère privée. Série à suivre.

³¹ « Si quelque chose est gratuit, c'est que c'est nous le produit ! », dit-on.

soit pour la santé et le sport, une grande partie de l'activité économique est liée à ce que certains appellent l'économie résidentielle, qui est constituée par une boucle de rétroaction de proximité dans les activités économiques, du moins en apparence. Car, en raison des recherches que tout un chacun fait tous les jours sur Google, des utilisations croissantes d'Amazon, des besoins constants en géolocalisation, des applications smartphones clés (vous avez dit Whatsapp ?), des jeux vidéo qui mobilisent petits et moins petits, mais aussi des réseaux sociaux dominants pour créer, exprimer communiquer et partager tout à tour informations, idées et sentiments, une grande partie de cette activité dite de proximité est en réalité « imposée » (tacitement taxée, on peut voir cela comme ça), par les grandes puissances du monde digital, très largement extra-européennes.

C'est dans ce contexte qu'il faut analyser plus profondément le rôle actuel et à venir de l'industrie de la lunette et plus largement celles des microtechniques.

La lunette, pour son avenir industriel, est confrontée, nous l'avons vu, au même problème que l'industrie horlogère. Est-ce une industrie de la mode, du luxe ou de la santé ? Si en raison des prix et de la valeur du pédigrée, on penche plutôt vers le luxe et la mode, alors la question de l'augmentation est très secondaire. Et pour toutes les raisons déjà évoquées sur la difficulté d'être gagnant dans l'univers de la réalité augmentée³², nous dirions même que c'est peine perdue ; sauf pour apprendre ou explorer des activités de niche intéressantes, bien sûr. Mais il faudra probablement choisir ou tout au moins jouer sur une stratégie de panachage réfléchie, et non pas bricolée de bric et de broc, du bout des doigts et chacun pour soi, pour ce qui est des dispositifs augmentés.

Quant aux microtechniques, comme pour les lunettes, dont on continue à avoir encore bien besoin, le problème est un peu différent, mais un peu seulement. Les microtechniques restent en effet très fortement liées à l'horlogerie et à ses marges bénéficiaires (qui soit dit en passant profitent plus aux acteurs du marketing qu'à la partie manufacturière). Or, de façon générale, elles peinent à retrouver ce niveau de rentabilité dans les diversifications les plus courantes, y compris les medtechs.

Ce constat étant établi, deux perspectives de travail méritent d'être considérées :

- d'une part, re-conquérir peu à peu une capacité d'attraction et de maîtrise de l'économie des données, à tous les niveaux, et ce faisant, ce que revendiquent les pays européens, à savoir une souveraineté digitale plus affirmée ; pour l'instant, force est cependant de reconnaître que dans cet enjeu, les applications augmentées développées dans nos deux pays sont encore bien souvent parties prenantes du problème plutôt que de la solution ;
- d'autre part, valoriser mieux les savoir-faire transversaux dans les processus d'augmentation.

Pour ce qui est de ce dernier point, nous tenons à rappeler que dans notre dossier de soumission à Interreg, comme ensuite dans nos workshops, nos partenariats et nos analyses, nous avons toujours cherché à montrer l'importance de ces types d'expertise et le fait que dans l'Arc jurassien franco-

³² Il vaut la peine de mentionner ici que l'entreprise californienne ODG (pour avoir une idée : <https://www.youtube.com/watch?v=C89Rhlg43Qg>), qui avait réussi à lever quelque 57 millions de fonds, est désormais en grande difficulté, obligé de vendre ses brevets de lunettes augmentées pour survivre ; et Magic Leap, la firme floridienne active dans les lunettes de réalité mixte qui avait amassé des fonds par dizaine de millions, et qui a du reste racheté l'entreprise vaudoise Lemoptix, est également en grande difficulté. C'est dire à quel point il est difficile de percer dans ce monde peuplé de très grands joueurs.

suisse, il y avait véritablement des compétences très intéressantes à identifier et valoriser (y compris chez les partenaires de Go Smart Frames). Celles-ci sont assez nombreuses et on trouvera plus de détails sur ce sujet dans nos comptes-rendus de workshops. Les principales compétences transversales nécessaires pour l'essor des solutions augmentées sont pour nous les suivantes :

- le design,
- la modélisation,
- le traitement de l'image,
- le « data analytics »,
- la gamification.

Il est aisé de repérer dans l'Arc jurassien franco-suisse et plus particulièrement dans le périmètre soutenu par les financeurs du projet Go Smart Frames, de très importantes compétences dans ces domaines. Le design fait partie de l'histoire horlogère et aussi de celle de la lunetterie et nous avons indiqué des voies à suivre, à explorer en tous cas, pour développer des équivalents pour l'architecture des environnements augmentés. Pour cela, il faut être capables de modéliser et là encore, on trouve des acteurs très dynamiques dans notre périmètre de référence (Bos Software, Procsim, Objectis, Femto ST, UTBM, etc.). Le traitement de l'image bénéficie également de solides expertises dans la région (IA-Drone Technologies, ...), nous avons même au sein des partenaires du projet Go Smart Frames, des spécialistes : Darix dans les images infra-rouges et le prof. Gobron de la He-Arc. Le « data analytics » est encore un peu en retrait de ce qu'il devrait être, mais les grandes écoles de la région déploient des efforts pour combler ce retard (l'EPFL notamment).

Enfin, la gamification³³ est également loin d'être absente du pool des compétences régionales, qu'il s'agisse de producteurs de jeux (Da Viking Code), de spécialistes de RV (Artanim, Nicéphore Cité, Allucyne, ...) ou de labos de recherche (Prof. Gobron, UTBM, FEMTO ST), voire même de spécialistes « jeux » (la coopérative D'entrée de jeux à La Chaux-de-Fonds). Comme pour le projet MAEME pour les musées, on retrouve pour cette dimension la nécessité de jouer non pas seulement sur la seule information que les solutions digitales peuvent apporter, mais sur les émotions qu'elles peuvent déclencher, capable de soutenir avec de très grands bénéfices quantité d'opérations fondamentales : grâce à cela, on apprend/retient mieux dans les activités de formation à l'exemple de LIVE (*Learn In Virtual Environment*), on apprécie différemment les risques, on se coordonne plus facilement avec ses collègues et on voit la qualité sous un jour moins abstrait et moins froid, etc.

En résumé, une approche beaucoup plus interdisciplinaire et interactive, jouant sur les « soft skills » et non pas sur la seule expertise en micro-ingénierie comme mode de valorisation de l'excellence régionale doit éclore, en rapport avec les capacités de vision augmentées comme celles nécessaires pour créer, maîtriser et exploiter des environnements augmentés. Ça n'a l'air de rien, mais conjuguée à la capacité d'exploiter des data comme activité rémunératrice centrale, il s'agit d'une petite révolution culturelle à mener, encore loin d'être acquise.

³³ Les spécialistes renâcleront, mais pour des besoins de simplification de notre propos ici, nous avons conjugué dans ce terme ce qu'ils considèrent comme des activités bien distinctes, à savoir d'un côté l'ajout de touches ludiques dans des activités sérieuses (la gamification proprement dite) et de l'autre les serious games, qui consistent à aborder une activité sérieuse à travers des jeux complets et formellement cohérents. Nous nous excusons ici auprès de ces spécialistes pour le raccourci emprunté dans ce travail.

Cette série de recommandations vaut d'autant plus que le futur, sans aller forcément en direction des délires trans-humanistes, va encore très certainement complexifier ce champ de bataille :

- en rendant accessibles au domaine RA/RM/RV des sources technologiques de plus en plus haut de gamme, jusque-là réservées aux activités et ressources en équipement et expertise de la communauté scientifique, voire militaire, pour voir très loin, très petit, de très haut ou de manière absolument distincte des sens humains (rayons x par exemple) ;
- en incorporant toujours plus de capacités IA et d'exploitation « data » dans la reconnaissance d'images et de patterns, mais aussi dans le traitement d'image en général, ainsi que l'analyse émotionnel, l'analyse et la valorisation sensorielle, existantes ou nouvelles,
- en concevant des interfaces toujours plus innovantes (ici encore, avec une pleine attention aux plans sensoriels et émotionnels), améliorant aussi constamment la capture des mouvements du corps et l'avatarisation, qu'elle soit hyper-réaliste (comme le propose Samsung) ou typifiée,
- en développant de nouvelles capacités holographiques, fonctionnelles pour différents types de contextes et de catégories d'usage,
- en concevant des drones de plus en plus petits (taille d'un gros insecte par exemple), flexibles et capables de métamorphose, pouvant aussi fonctionner efficacement en flottes, etc.,
- en apportant à chacun ou presque la conduite de systèmes et d'engins automatisés, et enfin la maîtrise de commandes directes « cerveau à fonctionnalités extérieures » (à travers des neuro-prothèses, voire en mode « mind-controlled operations »).

Il s'agira aussi de tenir compte de la capacité concurrentielle de technologies d'une autre nature mais arrivant peu à peu à maturité, notamment les biotechs capables de rendre obsolètes certaines des innovations augmentantes actuelle. Pensons aux verres de contacts censés détecter les variations de la pression interne du globe oculaire préluces possibles à un glaucôme ou les lunettes telles que celle de LightVision capable de restituer sur la partie saine de la rétine une image du monde environnant devenue inaccessible pour les personnes atteintes de DMLA : ces innovations et bien d'autres pourraient se voir bientôt déclasser par des solutions de type thérapies géniques ou équivalentes.

Face à cette évolution et à cette complexité, une part importante des compétences nécessaires va donc résider dans la capacité d'agir dans, et d'interagir avec ces environnements changeants, de les concevoir de manière agile pour ne pas surcharger ou rendre dépendants voire diminués ses usagers et donc produire de la RA réellement utilisable. La réelle valeur ajoutée de ce domaine en plein essor dépendra du développement de ces compétences chez les concepteurs mais aussi les usagers. C'est dans cette flexibilité multi-dimensionnelle où la connectivité, la combinabilité, le data flow et les capacités de traitement plus ou moins intelligentes peuvent finalement faire la différence, que l'augmentation sera ou non partie prenante de l'excellence des régions industrielles concernées.