



Activités

18-1 | 2021

Le programme de recherche cours d'action (2)

Les enjeux corporels d'une vision augmentée appliquée à l'activité des sapeurs-pompiers

The bodily challenges of augmented vision applied to firefighting activity

Carole Baudin et Laura Maillard



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/activites/5869>

DOI : [10.4000/activites.5869](https://doi.org/10.4000/activites.5869)

ISSN : 1765-2723

Éditeur

ARPACT - Association Recherches et Pratiques sur les ACTIVités

Ce document vous est offert par HES-SO Haute École spécialisée de Suisse occidentale



Référence électronique

Carole Baudin et Laura Maillard, « Les enjeux corporels d'une vision augmentée appliquée à l'activité des sapeurs-pompiers », *Activités* [En ligne], 18-1 | 2021, mis en ligne le 15 avril 2021, consulté le 21 avril 2021. URL : <http://journals.openedition.org/activites/5869> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/activites.5869>

Ce document a été généré automatiquement le 21 avril 2021.



Activités est mis à disposition selon les termes de la licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

Les enjeux corporels d'une vision augmentée appliquée à l'activité des sapeurs-pompiers

The bodily challenges of augmented vision applied to firefighting activity

Carole Baudin et Laura Maillard

NOTE DE L'ÉDITEUR

Article soumis le 6 février 2020, accepté le 23 novembre 2020

1. Introduction

- 1 La digitalisation au travail questionne plus que jamais l'ergonomie en remettant en cause non seulement la nature des métiers (Mériaux, & Rousseau, 2017) et les valeurs liées au travail (Salini, Sarmiento, Goudeaux, & Poizat, 2018), mais aussi les changements plus profonds qu'elle induit sur nos modes de penser et d'agir dans des contextes spécifiques (Baudin, & Nussold, 2018). Si ce constat apparaît de plus en plus dans les écrits, il semble qu'il y ait encore peu de recul analytique pour pouvoir comprendre finement les dimensions de l'activité humaine mises en jeu à travers ces nouveaux dispositifs qui peuplent nos tâches professionnelles, que certains appellent des « Objets techniques Numériques » – OTN, pour insister sur l'historicité de ces techniques (Poizat, & Durand, 2017). En effet, d'un point de vue anthropologique, et contrairement à de nombreux discours, l'évolution technologique que nous vivons ne peut être considérée comme une révolution dans le sens d'une rupture ou d'un seuil passés (Garçon, 2012 ; Levy, 2007 ; Serres, 2013). Toutefois, les technologies qui apparaissent depuis une décennie ont des « phases d'installation et de déploiement » (Valenduc, & Vendramin, 2019) inédites dans l'histoire des techniques, notamment pour la place qu'elles prennent dans les structures de travail : technologies de

substitution ou complémentarité (Bobillier-Chaumon, 2017 ; Valenduc, 2017), transformation de nos modes d'intelligibilité (Sadin, 2015) et corporalité (Baudin, 2017a, b). Il est sûr qu'elles bouleversent alors les pratiques professionnelles, individuelles et collectives, mais le manque d'analyses empiriques systématiques ne permet pas encore d'en comprendre les implications fines dans le cadre d'activités médiatisées. En particulier, les technologies de Réalité Augmentée qui investissent progressivement certains métiers (vente, maintenance, médecine) commencent tout juste à être étudiées du point de vue de l'analyse de l'activité, car les applications sont encore peu connues (Arnaldi, Guitton, & Moreau, 2018) ou encore à l'essai.

- 2 Contrairement à la Réalité Virtuelle (RV) qui recrée un environnement totalement artificiel, la Réalité Augmentée (RA) « a pour but d'enrichir la perception et la connaissance d'un environnement réel par l'ajout d'informations numériques le concernant. Ces informations sont le plus souvent visuelles, parfois sonores et plus rarement haptiques » (Moreau, & Normand, 2018, p. 55). En articulant des données réelles et virtuelles, ces technologies visent à permettre de « voir l'invisible ou de revoir le visible » (*ibid.*) en investissant notre perception de l'environnement par le moyen de dispositifs : tablette, mobile ou lunettes. Cette intégration ne semble donc pas anodine, en particulier, lorsqu'elle s'immisce à même le corps au moyen de lunettes. Cette proxémie, voulue dans certaines professions en vue de libérer les mains, suppose une transformation de l'engagement des corps dans l'activité. En introduisant au plus près du champ perceptif de nouveaux médias, elles mettent en jeu la relation perçue au monde, les modes de perception et d'action en situation.
- 3 Notre participation dans le cadre du projet S.A.V.E. (Seamless Augmented Vision Equipment¹) visant le développement d'un dispositif de RA d'imagerie thermique pour les sapeurs-pompiers a été l'occasion d'étudier l'impact de cette technologie sur les dimensions perceptives de l'activité, lors de simulations d'intervention en incendie. Nous présentons ici, après un état de l'art des travaux sur la RA, la méthodologie et le cadre théorique que nous avons mis en place pour travailler sur ces dimensions nous permettant de présenter les premiers résultats obtenus. Ces résultats montrent les transformations générées par cette technologie sur l'engagement des corps dans l'activité et nous permet alors d'interroger plus largement l'appréhension des dimensions perceptives dans l'activité médiatisée, avec l'ambition de poser les bases d'une réflexion, devenue nécessaire avec l'arrivée de ces OTN dans nos activités quotidiennes et professionnelles, et dont certains auteurs prédisent qu'ils vont générer une perte de sens et une désincarnation de nos pratiques (Haroche, 2008 ; Le Breton, 2013).

2. Phénomène perceptif et Réalité augmentée : le défi du « sans couture »

- 4 La RA a pour but de rendre « visibles ou palpables » des informations que notre champ perceptif n'atteint pas dans des situations où ces informations seraient significatives et structurantes. Contrairement à la Réalité Virtuelle (RV), la RA n'immerge pas dans une réalité artificielle, mais elle vise à créer une « réalité mixte » en « insérant » de l'information dans une scène naturellement perçue. Elle implique alors diverses problématiques du point de vue de son application. La première est celle de l'articulation de la perception d'informations « artificielles » (issues du traitement du

monde réel) et « naturelles » (issues du monde perçu). La seconde est celle du traitement d'informations mixtes (artificielles et naturelles) qui génère un stimulus sensoriel inédit pour la personne percevant. Ces deux points mettent en jeu le phénomène de fusion dans le champ perceptif de stimuli sensoriels de registres différents, qui, d'un point de vue technique est encore difficile à atteindre et d'un point de vue pratique, questionne sur ses effets possibles. Fusion que le projet S.A.V.E. se proposait d'atteindre dans sa modalité visuelle, sous la désignation de « seamlessness », que l'on peut traduire de « sans-couture ». Notion significative, car dévoilant l'ambition de créer une dynamique de perception mixte particulière, à la frontière d'une perception naturelle et artificielle. Le « sans couture » interpelle tant d'un point de vue théorique que méthodologique sur la manière d'appréhender les dimensions sensorielles et plus largement perceptives dans le développement et l'usage de ces technologies.

2.1. État de l'art

- 5 L'étude du corpus théorique nous a aidés à identifier, dans un premier temps, certaines problématiques posées par l'application des dispositifs RA sur la perception visuelle humaine et étudiées depuis une dizaine d'années, dans de nombreux articles du domaine informatique (Albarelli, Celentano, Cosmo, & Marchi, 2015 ; Baumeister, Ssin, ElSayed, Dorrian, Webb, Walsh *et al.*, 2017 ; Kruijff, Swan, & Feiner, 2010). L'étude de cette littérature nous a permis, d'une part, d'identifier les différents mécanismes visuels en jeu dans l'application de systèmes de RA, permettant de préciser ce qui participerait à une perception « sans couture », d'autre part d'analyser les approches sous-tendant ces études, et donc ces résultats.
- 6 Certains de ces travaux visent à identifier les problématiques techniques provoquant des interférences pour la perception humaine. Ainsi d'un point de vue visuel, le phénomène d'accroche de l'image virtuelle sur l'image réelle (Kruijff *et al.*, 2010) ; le problème de distinction des objets dans des environnements changeants et désorganisés (« cluttered environment ») (*ibid.*) ; les problématiques liées au positionnement absolu et relatif des objets dans l'espace (ou reproduction de la notion de profondeur) (*ibid.*) ; les problématiques d'occlusion de l'environnement réel ou virtuel (provoquées par la double vision dans une longue durée) (*ibid.*), etc., sont des phénomènes connus, et complexes.
- 7 Quelques études ont permis de mettre en avant les problématiques d'adaptation des utilisateurs à ces technologies. Si la plupart des travaux abordent des problématiques connues liées à la RV, quelques-uns font émerger des problèmes plus spécifiques à la RA : conflit vergence-accommodation dû à un plan focal 2D fixe pouvant s'accompagner de maux de tête ou de fatigue visuelle² ; inconfort visuel³ lié à une vision monoculaire ; fatigue physique due aux mouvements d'oscillation de la tête pour compenser la perte de champ visuel de certains dispositifs HUD (Claverie, & Léger, 2009).
- 8 Ces travaux ont l'intérêt d'établir les interférences perceptives générées par la RA, et de préciser les dimensions techniques qui restent des « goulots d'étranglement de l'ingénierie » (Valenduc, & Vendramin, 2019) pour ce type de systèmes. Ainsi, la plupart convergent sur le fait que les défis du développement de la RA sont relatifs à des phénomènes (comme le point d'accroche visuel ou la vision en 3D – dont la vision de la

profondeur –) qui participent de l'intelligence perceptive humaine (Moreau, & Normand, 2018).

- 9 Toutes ces études se confrontent souvent à l'immaturation des systèmes techniques qui sont encore difficilement évaluables en conditions d'usage réel. Contrairement à la RV dont les applications sont plus répandues depuis une dizaine d'années, la RA pâtit encore du manque d'expériences dans le domaine professionnel, car, contrairement à la RV dont la vocation est l'aide à la décision dans les bureaux d'études et de méthodes, la RA est une technologie « de terrain » qui vise à assister les opérateurs au cœur de leurs activités « au sein même des unités de production et de construction dans le monde industriel » (Arnaldi, Guitton, & Moreau, 2018, p. 39), or le matériel pour pouvoir entrer dans ces contextes doit être solide, fiable et intuitif, ce qui n'est pas encore le cas. Rares sont donc les études qui évaluent ces dispositifs dans le cadre d'activités finalisées.
- 10 Ce faisant, la majorité des travaux travaillent dans des conditions contrôlées pour évaluer les performances et limites techniques de la RA en appréhendant le sujet percevant comme une composante d'un système binaire dispositif-sujet. Le sujet percevant y est considéré comme un système sensori-moteur qui éprouve une interférence (la RA) dans sa boucle perception – action qu'il possède avec l'environnement. Ces travaux s'inscrivent dès lors dans un cadre théorique positiviste comprenant la perception comme une capacité physiologique, fonctionnelle et cognitive et considérant l'environnement comme une donnée objective. Ces situations d'études sont donc souvent simplifiées et peu écologiques. Arnaldi, Guitton et Moreau (2018), constatent d'ailleurs la difficulté théorique et méthodologique de l'évaluation de tels systèmes, notamment du point de vue de la compréhension de leur interaction avec les utilisateurs.

2.2. Projet SAVE : l'objectif du « sans-couture »

- 11 Notre intervention dans le projet S.A.V.E. a permis de poser les fondements d'une intégration « sans couture » d'une imagerie thermique augmentée chez les sapeurs-pompier, mais également de nous interroger sur les outils conceptuels et méthodologiques permettant de saisir les phénomènes perceptifs en jeu avec cette technologie, et leur rôle dans une intervention incendie.

2.2.1. Cadre conceptuel et méthodologique du projet

- 12 L'approche théorique et méthodologique adoptée dans ce projet s'inscrit dans le courant anthropotechnologique (Geslin, 1999 ; Wisner, 1997) développé depuis plusieurs années au sein du laboratoire en Conception de Produits Centrée Utilisateurs de la Haute École Arc de Neuchâtel (Suisse).
- 13 Issue de l'ergonomie centrée sur l'activité, et née en réponse aux problématiques sous-jacentes aux transferts de technologie (Wisner, 1997), l'anthropotechnologie s'en détache pourtant en s'affiliant clairement aux courants de l'anthropologie des techniques, l'anthropologie cognitive et l'anthropologie des sens. Son objectif est de contribuer à l'amélioration des conditions de travail et de vie des individus et communautés, en participant à la conception de solutions socio-techniques qui prennent en compte les manières de penser et agir des personnes en contextes

spécifiques (Geslin, 2017a). Elle articule une compréhension de l'activité à trois niveaux : macro activité (prise en compte des dimensions sociales, culturelles, historiques, économiques, géographiques) ; méso activité (prise en compte de l'analyse de l'activité dans ses dimensions observables) ; micro activité (étude des pratiques situées et incarnées de construction de sens et d'expression), autour de méthodologies d'intervention ad hoc, reposant sur les principes d'une co-conception avec les acteurs concernés. Cette approche a permis de poser les bases d'une étude sur l'activité des sapeurs-pompiers médiatisée par un dispositif de RA, dans ses composantes contextuelles, opérationnelles et perceptives et de proposer des pistes de conception pour aller vers une technologie « sans couture ». Son incursion plus récente dans la prise en compte des dimensions sensibles, sensorielles et corporelles, est celle qui a suscité la présente réflexion.

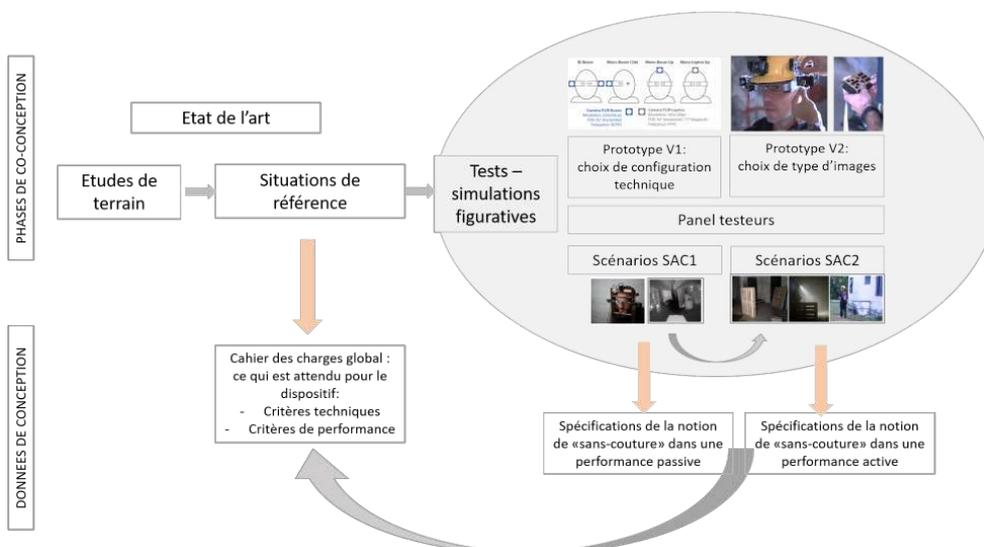
- 14 D'un point de vue méthodologique, l'anthropotechnologie s'inspire des principes de l'intervention ergonomique ou ergonomie de conception (Béguin, 2004 ; Daniellou, & Béguin, 2004) en s'appuyant sur l'étude de situations de référence permettant d'identifier les déterminants d'une activité pour une communauté et un contexte donnés et de poser les bases du dispositif futur en extrapolant grâce à l'analyse de situations d'action caractéristiques (réalisées en conditions écologiques ou réalistes, par simulation figurative ou opérationnelle). Cette mise en place permet d'établir les critères de conception d'un futur dispositif en partant des manières de penser et d'agir des futurs utilisateurs en contexte. La problématique posée par le projet S.A.V.E. concernant les aspects sensoriels et plus largement perceptifs, nous avons adopté une posture analytique centrée sur les engagements des corps qui nous a amenés à proposer une méthodologie particulière (voir partie 1.3.3).
- 15 En effet, pour mieux saisir les transformations perceptives en jeu dans l'activité médiatisée par la RA, nous nous sommes basés sur une approche de cognition incarnée qui se nourrit des travaux de la phénoménologie (Merleau-Ponty, 1945), de la psychologie écologique (Berthoz, 1997 ; Gibson, 1979) et de la théorie de l'enaction (Varela, Thompson, & Rosch, 1993). Le postulat de la cognition incarnée est d'une part de rappeler que corps et esprit ne sont pas deux entités distinctes et séparées, plus spécifiquement, elle considère que la cognition ne peut être envisagée indépendamment des situations dans lesquelles elle prend naissance – en ce sens elle est située (situated cognition), et qu'elle est ancrée dans le corps et émerge de ses interactions (son incarnation) avec le monde extérieur – elle est donc « incarnée » (embodied cognition). C'est cette incarnation de l'organisme qui définit et limite l'expression de la cognition. Toutefois, cette approche théorique reste peu investie d'un point de vue méthodologique à l'exception des tenants du cours d'action (Theureau, 2004). Ces travaux restent encore très coûteux conceptuellement, selon nous, et n'arrivent pas à saisir dans toute sa complexité la dimension charnelle des phénomènes étudiés, car se focalisant sur une interprétation discursive et sémantique. Dans ces travaux, les logiques et grammaires propres à l'intelligence corporelle semblent s'étioler.
- 16 Forts de projets dont la focalisation sur les dimensions sensibles et corporelles a montré sa fécondité théorique et méthodologique (Baudin, 2016, 2017a, 2017b), nous avons donc mis en place une méthodologie qui intègre une approche focalisée sur le corps, dans le sens d'une corporéité (Bernard, 2001), qui entrelace des déterminations biologiques, cliniques, psychologiques et culturelles qui élargissent l'expérience vécue

aux dimensions d'un milieu. Dans cette perspective, nous avons mis en place une méthodologie basée sur l'étude des gestuelles, comprenant le geste dans sa dimension à la fois expressive et instrumentale.

2.2.2. L'approche de conception centrée utilisateurs et contextes d'utilisation

- 17 Les données empiriques étudiées pour aborder les transformations perceptives liées à l'intégration de la RA en activité, sont celles issues de l'approche de co-conception mise en place au sein du projet S.A.V.E., qui avait pour but de participer au développement d'un démonstrateur technique de lunettes de RA permettant de projeter une image thermique sans incidence sur le confort visuel et la performance perceptive globale. C'est ce que nous avons appelé le « sans-couture ».
- 18 Le domaine d'application souhaité étant celui des sapeurs-pompiers, l'enjeu était alors de comprendre les dimensions visuelles et plus largement les dimensions perceptives en jeu dans l'intégration de la technologie dans des situations encore pas ou peu explorées par la littérature, qui ont la caractéristique d'être : i) dynamiques (au sens de Hoc, 2004), ii) souvent critiques, iii) dans des contextes/environnements complexes (nous revenons sur ces caractéristiques dans la partie 3).
- 19 Selon une approche de conception centrée utilisateurs et contextes d'utilisation (Geslin, 2017a, b) nous avons d'une part, réalisé des études de terrain (voir Figure 1), pour identifier puis étudier des situations de référence (l'usage de la caméra thermique en intervention incendie) ce qui a permis de comprendre les pratiques dans lesquelles devaient s'insérer la technologie, et d'identifier les dimensions perceptives et techniques en jeu dans l'intégration d'un dispositif « sans-couture » dans ces situations. D'autre part, et consécutivement, nous avons mis en place une dynamique de co-construction avec un panel d'utilisateurs à travers des mises en situation scénarisées (selon des situations d'action caractéristiques) de prototypes évolutifs de RA et le recueil de données via questionnaires d'évaluation subjective, verbalisations issues de la méthode du raisonnement à voix haute (*think aloud protocol*), récits et observations des gestuelles et des parcours, et ce, à chaque étape. Cela a permis d'élaborer des recommandations pour le futur dispositif, et d'observer les stratégies d'adaptation mises en place par les utilisateurs pour agir avec les lunettes RA.

Figure 1 : Schéma de la méthodologie de conception centrée utilisateurs et contextes d'utilisation appliquée au projet S.A.V.E.
 Figure 1: Diagram of the user-centred design methodology and contexts of use applied to S.A.V.E. project



- 20 Les données sur lesquelles s'appuie la présente réflexion sont donc issues de cette intervention, récoltées à partir de prototypes évolutifs, et non d'un dispositif abouti. D'autre part, les objectifs, à visée transformative, supposent une méthodologie non pas de diagnostic-intervention, mais de mise en problème-conception. Toutefois, en étudiant et spécifiant les critères d'une vision « sans couture » à chaque étape, nous avons pu poser des hypothèses sur les dynamiques perceptives en œuvre dans l'activité médiatisée étudiée.

2.3. Construction du protocole de tests

- 21 Les scénarios ont été établis grâce à une modélisation synthétique des situations de référence (qui seront développées dans la partie 3), nous permettant de mettre en place des simulations de scénario selon des plans d'expérience dont les variables liées : i) aux diverses ambiances environnementales et spatiales ; ii) aux outils d'imagerie thermique utilisés et iii) aux caractéristiques des participants ; étaient systématiquement évaluées de manière à garantir la représentativité des situations étudiées. Les scénarios devaient par ailleurs prendre en compte l'évolution du prototype en construction, ils sont donc le compromis d'une maturité technologique et d'une mise en œuvre méthodologique cherchant la validité interne de l'étude.

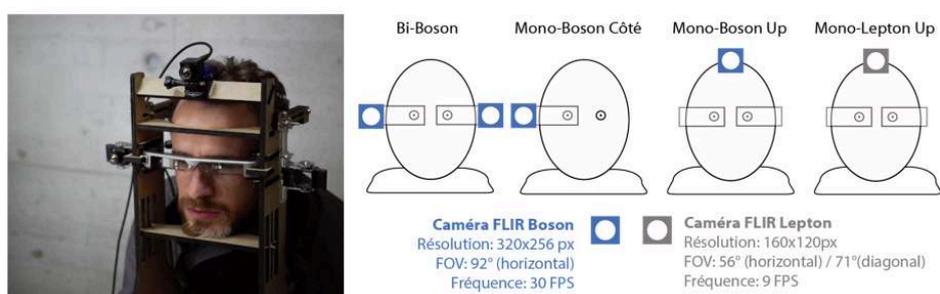
2.3.1. Prototype et situation de simulation évolutifs

Prototype V1

- 22 Le dispositif RA thermique sur lequel nous avons travaillé avec deux équipes d'ingénieurs en traitement d'image et systèmes embarqués, se compose basiquement : d'un système de capture de l'image thermique (caméra thermique), d'un système de projection et visualisation (lunettes RA avec différentes options de projection) et d'un système de gestion et traitement de l'image. Toutefois, de nombreuses options sont possibles avec cette composition initiale qui impactent différemment la vision d'une image thermique sur une lunette de RA.

- 23 Sur la base de l'état de l'art, nous avons dégagé quatre configurations de RA qui pouvaient être éprouvées pour rechercher les conditions techniques d'un dispositif « sans-couture ». Nous avons pour cela réalisé un banc d'essai, offrant donc aux utilisateurs différents choix de capture et de projection de l'image thermique (Figure 2) : projection monoculaire ou binoculaire, position et angle des caméras thermique, vision mono-caméra ou bi-caméra (pour recréer une vision « stéréoscopique »), deux types de caméras thermiques dont le champ visuel, la résolution et la fréquence d'image variaient.
- 24 Suite au choix réalisé sur banc d'essai, la configuration retenue était alors embarquée sur la personne (les caméras positionnées sur un casque, les lunettes et un sac à dos pour emmener le hardware de traitement d'images) pour des premiers scénarios d'usage (voir partie 4.2).

Figure 2. : Prototype V1 permettant le choix de configuration optimale pour chaque participant.
 Figure 2: "Prototype V1" allowing the choice of optimal configuration for each participant



(à gauche, le banc d'essai pour tester les différentes configurations ; à droite, les différentes configurations proposées)
 (on the left, the test bench to test the different configurations; on the right, the different configurations offered)

- 25 L'élaboration de ces protocoles de tests s'est aussi réalisée en prenant en compte l'effet d'habituation à la technique par les participants. Nous souhaitons par un premier test statique les accoutumer « à voir » avec le prototype en conditions immersives, mais contrôlées avant de les immerger dans des conditions plus réalistes.

Prototype V2

- 26 Le prototype V2 est une version améliorée du dispositif embarqué (Figure 3). Grâce à un boîtier de contrôle, l'utilisateur pouvait ajuster différents paramètres d'affichage de l'image augmentée thermique, selon les besoins de chaque scénario. Il pouvait faire varier le positionnement et taille de l'image, le jeu colorimétrique de l'image thermique (avec deux « modes feu » et deux « modes personne »)⁴, le mode de projection de l'image : monoculaire (une image projetée sur l'œil dominant) ou binoculaire (même image projetée sur les deux yeux). Le système embarqué a été pensé pour alléger la charge physique pendant les déplacements (liberté de mouvements, poids, autonomie, encombrement) et pouvoir se concentrer sur les dimensions perçues de l'environnement et de la situation.

Figure 3 : Prototype V2 testé en dynamique.
 Figure 3: "Prototype V2" dynamically tested



(à gauche et centre : système embarqué sur casque et boîtier de contrôle ; à droite les deux configurations testées).

(left and centre: embedded system on helmet and remote control; on the right: the two configurations tested)

- 27 Cette phase a permis de réaliser des tests dans un environnement réaliste (dont les caractéristiques sont proches des environnements réels rencontrés en intervention) par simulation figurative (puisque nous ne pouvions pas simuler d'incendie pour des raisons non seulement de risques, mais aussi de contraintes techniques, le matériel embarqué n'ayant pas résisté en condition réelle).

2.3.2. Panel de participants

- 28 Les études de terrain et de situations de référence préalables ont montré l'importance de l'expérience des sapeurs-pompiers (SP) dans la gestion et l'usage de l'imagerie thermique en intervention. Si l'expérience est liée à différentes dimensions comme les années de pratique, ou le statut (professionnel ou volontaire) n'impliquant pas le même engagement dans l'activité ni les mêmes responsabilités lors des interventions, nous nous sommes concentrés sur l'expérience liée à l'usage de la caméra thermique aujourd'hui utilisée dans la plupart des brigades, donnée d'une part par la fréquence d'utilisation, mais aussi, le niveau de formation et d'entraînement à l'usage de la caméra thermique. Nous avons distingué un niveau expert (formateur et/ou utilisateur très fréquent de la caméra thermique) d'un niveau intermédiaire (ayant reçu des formations, mais dont l'usage en intervention est faible). Le niveau de novice (n'ayant jamais été formé ou utilisé de caméra thermique) n'est pas présent au sein des SP car tous ont reçu un minimum de formation pour pouvoir intervenir sur le terrain. Le niveau novice a été représenté au travers de deux ergonomes-testeurs.
- 29 Nous avons aussi pris en compte certaines variables interindividuelles physiques comme le port de lunettes, l'œil dominant, l'acuité visuelle, etc. Toutefois ces paramètres étaient moins déterminants dans l'objectif de caractériser les impacts de la RA en situation que la donnée d'expérience.
- 30 Finalement, un panel de sept personnes a procédé aux deux séries de tests :
- 3 pompiers professionnels entre 14 et 25 ans d'expérience ; formé ou formateur à l'utilisation de la caméra thermique en intervention ; utilisation fréquente (2 à 3 fois par mois).
 - 2 pompiers volontaires (6 et 15 ans d'expérience), formé à l'utilisation de la caméra thermique en intervention ; utilisation plus rare (2 à 3 fois par an).
 - 2 experts en ergonomie (non-pompiers), non formés.

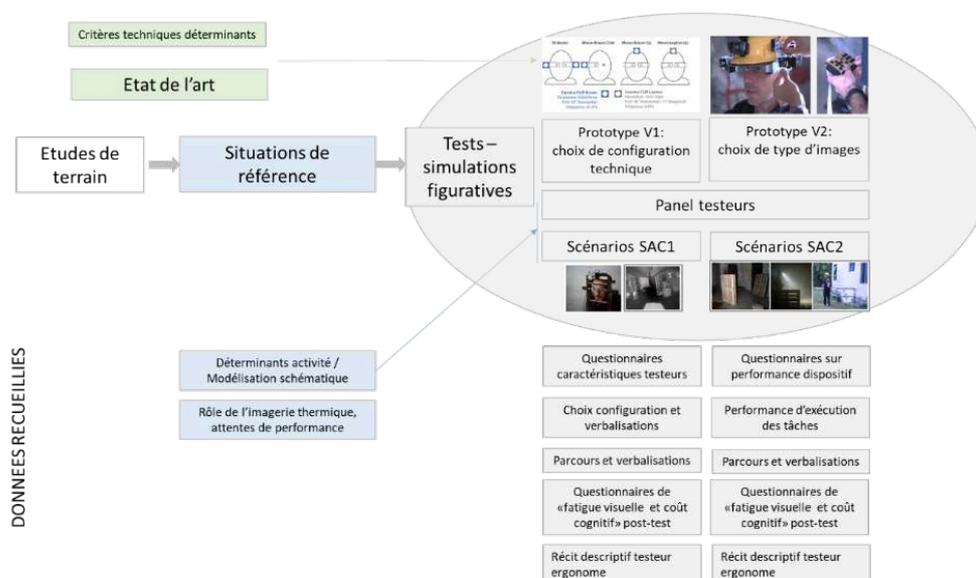
- 31 Le choix des deux experts ergonomes est un parti-pris méthodologique. S'ils sont en effet novices dans l'expertise d'usage de la caméra thermique, ils sont toutefois experts dans la verbalisation et l'analyse des phénomènes perceptifs expérimentés en situation. Si les SP pouvaient mettre en relief les problématiques du dispositif dans les performances attendues en situation d'intervention, les experts ergonomes pouvaient, quant à eux, mettre en exergue les problématiques liées aux phénomènes perceptifs en œuvre dans les simulations. Ceci a permis de mieux comprendre et interpréter les verbalisations et les observations des gestuelles des SP, mais aussi d'approfondir les résultats dans une approche expérientielle les processus de cognition incarnée et située en jeu dans ces scénarios.

2.3.3. Parti pris méthodologique

- 32 L'objectif de comprendre les facteurs perceptifs et cognitifs mis en jeu par l'intégration de la RA et la manière dont cela affectait l'expérience nous a amenés à proposer une méthodologie spécifique pour accéder à ces données d'expérience tout en garantissant une certaine validité interne à l'étude.
- 33 Le recueil de données visait d'une part à évaluer la performance du prototype évolutif dans le cadre d'une activité finalisée à des fins de conception, d'autre part à étudier les transformations et stratégies d'adaptation des utilisateurs.
- 34 L'évaluation de la performance du dispositif s'est réalisée en deux temps : un premier temps dans lequel nous avons évalué la performance « passive » du dispositif, c'est-à-dire sa capacité à permettre aux participants de visualiser et interpréter les éléments environnementaux utiles à la reconnaissance d'un espace complexe (dont les propriétés sont proches des environnements d'intervention). Dans un deuxième temps, et grâce à l'évolution du prototype, nous avons pu mettre en place une évaluation de la performance « active » du dispositif, dans un scénario de simulation plus réaliste⁵, permettant d'étudier sa capacité à permettre aux participants non seulement de comprendre un espace complexe, mais aussi de pouvoir y progresser dans une visée d'intervention. Pour chacune de ces étapes, les participants étaient invités à réaliser des tâches simples (recherche de points chauds), en verbalisant dans l'instant et à haute voix ce qu'ils expérimentaient (think aloud protocol). Des questionnaires, réalisés après chaque scénario, ont permis de recueillir leur évaluation de la performance globale du dispositif dans l'activité réalisée et de son utilisabilité en termes de confort visuel, coût cognitif, coût d'apprentissage (voir Figure 4).
- 35 Pour étudier plus spécifiquement la manière dont l'intégration de la RA affecte l'expérience utilisateur, nous avons mis en place une méthodologie ad hoc reposant sur les principes d'une cognition incarnée et cherchant à atteindre des données phénoménologiques des perceptions expérimentées. La difficulté méthodologique réside ici dans l'objet d'étude même : l'expérience perceptive. Il est en effet souvent complexe, d'une part, pour les participants de décrire précisément leurs ressentis perceptifs, d'autre part, ces phénomènes se donnant dans l'immédiateté du phénomène vécu, il est difficile de les décrire après, même avec des vidéos à l'appui, car ils sont souvent non-conscients et volatiles.

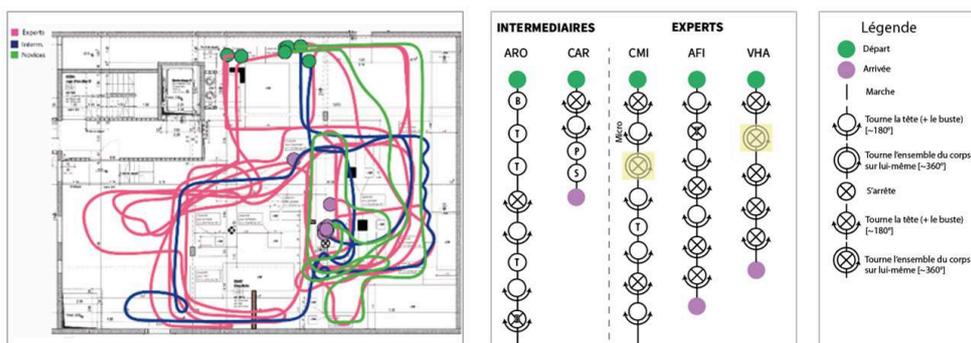
Figure 4 : Schéma de l'approche méthodologique et des données collectées.

Figure 4: Diagram of the methodological approach and data collected



- 36 Ainsi, en plus de l'analyse des verbalisations en think aloud et l'analyse des champs sémantiques utilisés par les utilisateurs dans les questionnaires, la participation des ergonomes lors des tests a permis de s'appuyer aussi sur des récits d'expérience ou plus précisément sur ce que Vermersch a appelé des « explicitations phénoménologiques » (Vermersch, 2006), nécessaires pour mieux comprendre l'expérience de l'autre en passant par une phase de « remplissage expérientiel » (*ibid*, p. 131). Par ailleurs, l'étude des gestes et des parcours a permis une compréhension non pas comportementale, mais chorégraphique du corps, afin de dégager des interprétations phénoménologiques des actions observées. Cette approche « chorégraphique » appréhende le corps comme résultant des gestes, qui eux-mêmes sont à la fois expressifs et instrumentaux (Baudin, 2021, in process). En ce sens, ce n'est pas l'idée que le geste soit un prolongement d'une pensée ou expression verbale, mais bien un phénomène expressif en lui-même, porteur de déterminants sociaux-culturels, biologiques et individuels, et pourvu d'une certaine poétique. Ainsi considéré, le geste est le moyen d'atteindre une finalité, dans un réajustement constant avec les éléments du milieu dans lequel il se déroule, selon un phrasé propre à chacun, qui met en jeu les dimensions perceptives et perçues.
- 37 L'étude des gestes en situation a donc consisté non seulement à observer les séquences d'opérations, mais aussi les logiques de déplacement, leur répartition dans l'espace et le temps, la convocation des différents mouvements corporels et les états de corps (expression issue de la danse) c'est-à-dire l'expressivité qui se dégage des gestes, selon leur tonus (voir Figure 5), voire leur poétique.

Figure 5 : Outils de recueil et analyse des données gestuelles et chorégraphiques.
 Figure 5: Tools for collecting and analysing gestural and choreographic data



(à gauche : étude des parcours, à droite : étude des temps, notations gestuelles et posturales).
 (left: path study, right: study of times, gestural and postural notations)

3. L'image thermique dans l'activité des pompiers dans les interventions d'incendie

3.1. Situations d'intervention incendie

- 38 Des premières études nous ont menés dans différentes casernes et centres de formation. Bien que les contraintes de sécurité ont empêché de participer à de réelles interventions, les entretiens conduits avec différents acteurs (pompiers professionnels, volontaires, formateurs) et les observations menées en casernes et en centres de formation (sessions d'entraînements), ont permis d'une part, de mieux comprendre le fonctionnement et l'organisation des casernes (au-delà des différences par pays, qui amènent des organisations un peu différentes, on note que l'organisation varie selon les rattachements institutionnels/territoriaux et donc le rôle attribué à la caserne), de sentir la manière dont les SP conçoivent leur métier (le courage, la motivation à sauver des vies, et la notion de vocation, sont des points souvent revenus), d'autre part, d'identifier les situations de référence sur lesquelles nous allons nous appuyer.
- 39 Par ailleurs, les entraînements sont la base de l'activité d'intervention. Les stratégies développées lors des interventions sont fortement régies par des activités protocolisées et acquises en formation, puis entraînées régulièrement en simulation. Ce pourquoi, l'activité de formation et d'entraînement a été source de données importantes (voir Figure 6, montrant les données de terrain). Ces protocoles se basent essentiellement sur la définition de rôles clairs dans les interventions, chaque rôle ayant une attribution de missions, et de matériel d'intervention. Beaucoup de casernes cherchent à ce que chaque SP professionnel soit polyvalent sur les interventions, le rôle sur le terrain dépendant parfois de la place occupée dans le camion d'intervention, selon l'ordre d'arrivée.
- 40 Pour identifier la situation de référence, plusieurs axes ont été pris en compte. D'une part, dans le cadre de notre intervention de conception, il nous fallait identifier avec les SP les différentes interventions dans lesquelles l'imagerie thermique était une ressource importante. Sur 9 casernes européennes (Suisse, France, Allemagne, Hollande et Angleterre), 7 mentionnaient l'intérêt d'une imagerie thermique pour la recherche de point chaud (« hot spot ») et pour la recherche de personnes. Cette information est

aujourd'hui donnée, le plus souvent, par une caméra thermique (portative). Elle est utilisée presque systématiquement en cas d'intervention feu (habitation, tunnel, sous-sol, forêt, hydrocarbures et produits chimiques) ainsi que pour la recherche de personne (accident de voiture, noyade/naufnage) ou encore en cas de fuite de gaz.

Figure 6 : Observations et entretiens menés dans les centres de formation.
Figure 6: Observations and interviews carried out in training centres



(Suisse, à gauche ; Angleterre, à droite)
(Switzerland, on the left; England, on the right)

- 41 Par ailleurs, d'un point de vue analytique, et au fur et à mesure des entretiens, il s'est avéré que les interventions d'urgence en incendie étaient identifiées comme les plus critiques par les SP, et là où, une technologie embarquée RA d'imagerie thermique ferait le plus de sens, ne serait-ce que parce que ce sont des situations dans lesquelles l'usage de l'image thermique est devenu vital : « *c'est notre ligne de vie pour entrer et ressortir d'un bâtiment* ». La majorité des SP reconnaît aussi que dans ce type de situations, un système embarqué permettrait d'avoir accès à une information visuelle majeure, tout en libérant les mains, et donc facilitant, selon eux, l'intervention.
- 42 Si certes, l'observation en conditions réelles n'a pas pu être réalisée, les entretiens, et les suivis des sessions d'entraînement ont été l'occasion d'appréhender, à travers l'observation des protocoles enseignés, le rôle de l'imagerie en situation d'intervention, et plus finement de recueillir des données sur les différentes stratégies d'intervention individuelle et collective, que ce soit par récits mimés ou entretiens menés dans ce contexte de simulation, propice à l'émergence de données pour des entretiens d'explicitation. Ces études de terrain nous ont permis d'obtenir des données d'expérience (subjectives) croisées aux consignes et gestes prescrits, aux récits d'entraînement (Figure 7).

Figure 7 : à gauche, mime des gestes de progression dans un espace ; à droite, observation d'un entraînement de simulation incendie, apprendre à réagir et supporter les phénomènes thermiques.
 Figure 7: on the left, mimed gestures of progression within a space; on the right, observation of a fire simulation training session, learning to react to and withstand thermal phenomena



- 43 Quels que soient les contextes, les interventions incendie des sapeurs-pompiers se déroulent dans des environnements instables : conditions lumineuses variables (obscurité, flammes), dangers liés aux phénomènes thermiques (embrasement éclair « flash-over », explosion de fumées « backdraft »), infrastructures désordonnées (accident, incendie, naufrage), tout élément qui peuvent changer rapidement au gré de l'évolution de la situation. Les fumées et les suies dégradent la visibilité des lieux, inconnus, qui peuvent alors devenir complexes à interpréter. Face à l'urgence, les SP doivent pourtant agir et réagir vite : localiser les entrées d'air (fenêtres, portes)⁶ ; comprendre la scénographie des lieux (important pour ressortir) ; repérer les obstacles (leur taille, leur éloignement, leur nature), etc. Le tout pour mener à bien l'intervention, et sauver des vies, tout en protégeant la leur et celle de leur équipe. Quelques secondes peuvent être cruciales. La compréhension rapide des lieux, la stabilisation de l'information pour prendre des décisions rapides est alors importante. Stabilisation signifiant pour eux et dans ce contexte, de comprendre la dynamique de l'incendie, les éléments fixes, les infrastructures de l'environnement, etc. Cette activité de stabilisation est devenue difficile : « avant la plupart du mobilier était en bois, or le bois ne fait pas de fumée ; maintenant tout est issu du pétrole, nous devons faire face à des fumées, et les fumées c'est dangereux, on ne voit rien⁷ ». Une des stratégies pour voir dans cette atmosphère est « en éclairant la fumée, on peut se repérer un peu plus, parce qu'on voit alors le mouvement de la fumée, qui sort toujours par les sorties ».
- 44 D'après les observations et entretiens menés, nous avons pu dégager un protocole clair d'intervention, qui se compose de trois phases distinctes. D'abord, une phase de « reconnaissance » qui vise à rechercher les points chauds (d'abord depuis l'extérieur) et comprendre l'environnement, en le sondant avec la caméra thermique. Puis une phase d'exploration où le pompier progresse dans les lieux. Ces deux étapes se répètent successivement (recherche puis progression) jusqu'à ce que le pompier arrive à l'origine du problème (foyer du feu, fuites de gaz ou autres). Il peut alors procéder à la troisième phase, « l'intervention » proprement dite (extinction/ réparation), et plus tard au sauvetage des personnes. Les attentes des SP vis-à-vis de l'imagerie thermique dans ce type d'intervention sont résumées dans l'encadré ci-dessous.

Imagerie thermique et éléments de reconnaissance importants lors de l'intervention en incendie

Pour les SP, l'imagerie thermique devrait permettre de reconnaître des « points chauds » et les éléments structurels d'un lieu et les obstacles, elle doit permettre d'anticiper les dynamiques de l'incendie en permettant d'évaluer les phénomènes thermiques. Cette phase de reconnaissance du lieu est primordiale pour pouvoir réaliser une intervention efficace : progresser, éteindre le feu, repérer les fuites de gaz et sauver des personnes.

En intervention, il est donc important de :

Pouvoir reconnaître :

- **Le foyer d'un feu** (contraste thermique) principal ou résiduel ;
- **Une fuite de gaz** (contraste thermique) ;
- **Une fuite d'hydrocarbure** (contraste thermique), par exemple dans l'eau ;
- **Le corps d'une personne** (contraste thermique et forme des contours) ;
- **Les passages d'accès/de sortie** (forme des contours) ;
- **Les trous au sol** (forme des contours) ;
- **Les obstacles au sol/ au plafond** (forme des contours) ;
- **Le mobilier** (forme des contours) ;
- **D'autres éléments de l'environnement** (voiture, arbres, le lac, etc.) (forme des contours) ;
- **Les retombées d'eau de la lance** (contraste thermique + vision naturelle).

Pouvoir évaluer :

- **La température et la composition des fumées** (contraste thermique + vision naturelle) ;
- **La température et la composition des flammes** (contraste thermique + vision naturelle).

- 45 L'utilisation de la technologie thermique est généralement enseignée à tout le personnel pompier, mais elle reste un équipement coûteux, la plupart du temps réservée au chef d'intervention et/ou à un co-équipier d'intervention. En ce sens, la donnée thermique délivrée par la caméra se partage verbalement, mais aussi visuellement (par partage de l'écran de la caméra, voir Figure 8), ce qui évite la consommation d'air. Son usage prend ainsi toute sa place dans la circulation des connaissances et des échanges visant à garantir la sécurité par le travail collectif. Dans tous les cas, la consultation de l'information thermique se fait de manière ponctuelle, lors des phases de reconnaissance, de progression et d'extinction.

Figure 8 : Postures de visualisation de l'information thermique lors de la phase de reconnaissance.

Figure 8: Postures for viewing thermal information during the reconnaissance phase



(à gauche : geste simulé lors d'un entretien, à droite : visualisation thermique)
 (on the left: gesture simulated during an interview, on the right: thermal visualisation)

3.2. Stratégies d'intervention des SP

- 46 Les protocoles et stratégies adoptés par les équipes de sapeurs-pompiers sont essentiels pour limiter les risques encourus lors d'une intervention et assurer la sécurité individuelle et collective. Les ordres donnés par le chef d'intervention permettent de guider le bon déroulement des opérations et d'assurer un partage équilibré des tâches (équipes d'extinction, d'installation des équipements, de sécurisation du périmètre, etc.). Mais d'autres dimensions interviennent dans l'activité. Les gestes par exemple, qui sont ordonnés, séquencés, maîtrisés. Pour repérer les points chauds et éviter les obstacles pendant sa progression, le pompier procède de manière systématique par des balayages horizontaux et verticaux successifs de la caméra thermique dès l'entrée dans un nouvel espace (« volume »). Il évite les obstacles en procédant par balayages des pieds, le bras tendu en protection.
- 47 En croisant notre analyse terrain avec des articles de la presse spécialisée (Boyd, 2007), on identifie trois autres éléments cruciaux pour assurer la sécurité du pompier en intervention : sa capacité à s'orienter auprès des autres membres de son équipe, sa capacité à gérer sa consommation d'air « *en intervention, on peut consommer jusqu'à 90 l/min.* » et sa capacité à s'orienter lui-même dans l'espace.
- 48 La désorientation du pompier est d'ailleurs une difficulté connue pendant la phase de recherche, surtout dans des environnements à faible visibilité, qui a donné lieu à des techniques spécifiques de recherche. Intervenant toujours en groupe, les pompiers procèdent généralement en progressant lentement le long d'un mur, en se guidant par la voix ou se tenant à la veste du coéquipier. Ces techniques sont essentielles pour s'orienter auprès des autres membres de l'équipe et s'orienter soi-même dans l'espace. Elles permettent au pompier de ressortir d'un bâtiment et d'informer (le cas échéant) les équipes à l'extérieur de la localisation du foyer ou de personnes. En formation, les pompiers volontaires du canton de Vaud (Suisse) placent même des repères lumineux de couleurs différentes dans l'espace, pour indiquer la localisation d'accès (entrée/sortie). D'autres utilisent la stratégie du tout à droite. Ils se guident avec la main droite longeant les murs, et tournent toujours à droite. Parfois ils peuvent utiliser des cannes d'aveugles, d'ailleurs un SP nous dira « *nous évoluons comme des aveugles, tous les sens sont*

importants, notamment l'oreille, enfin avant, car maintenant les oreilles sont protégées, nous n'entendons plus ».

- 49 Si la caméra thermique aide à se représenter l'environnement dans des conditions de faible visibilité, il reste difficile d'évaluer la distance aux obstacles. Les SP ont alors développé des stratégies engageant leur corps, le plus souvent les mains et les pieds, mais aussi leur équipement, comme la lance, pour « jauger » les distances et ré-évaluer son éloignement aux objets environnants. Toutefois, ces difficultés compliquent l'anticipation des distances (et donc des risques), ce qui peut être particulièrement dangereux, surtout dans les cas où l'oxygène est compté.
- 50 D'autres techniques peuvent permettre au sapeur-pompier d'anticiper et de se protéger des phénomènes thermiques : s'appuyer sur sa vision naturelle, souvent avec une lampe torche pour évaluer l'inflammabilité des fumées (interprétation de la couleur, composition et densité de la fumée) ; utiliser sa main comme « référence thermique » pour évaluer la température d'un espace clos (par exemple avant d'ouvrir une porte⁸). Dans tous les cas, il se contraint à parler peu, privilégie la communication par gestes ou graphique (image de la caméra thermique) pour éviter la consommation d'air. Toujours réalisées de manière collective, ces stratégies agissent en complément de l'information thermique et peuvent aider le pompier à rester en vie.
- 51 La vision thermique est donc une des dimensions sensorielles dans les stratégies déployées par les SP en intervention. Les descriptions d'intervention montrent que d'autres modalités sont sans cesse réquisitionnées pour « voir dans des conditions de visibilité difficile ». Les mains, qui à travers les gants, perçoivent les différentiels de chaleur (un commandant nous a commenté qu'il avait demandé à des fabricants de gants de ne surtout pas les rendre tout à fait perméable à la chaleur) ; les mains qui orientent en suivant les murs, qui jaugent en tâtonnant dans l'espace, parfois munies de cannes, les pieds qui stabilisent dans l'environnement et permettent d'identifier les obstacles au sol, l'ouïe, quand parfois les oreilles sont dégagées ou les sons saillants, qui permettent « d'entendre le feu s'éteindre ». Ces modalités s'articulent à une vision thermique, aujourd'hui orientée à bout de bras, dans un engagement corporel qui permet aux SP de mener à bien leurs interventions en se protégeant. Portée sur soi, la vision thermique implique une transformation de l'engagement corporel, individuel et collectif et des modalités perceptives en action. À travers les données issues des tests réalisés en simulation, nous avons étudié les dimensions visuelles et perceptives en jeu avec l'intégration d'un dispositif de RA.

4. De l'expérimentation vers les dimensions perceptives

4.1. Modélisation de l'activité pour identification des scénarios de simulations

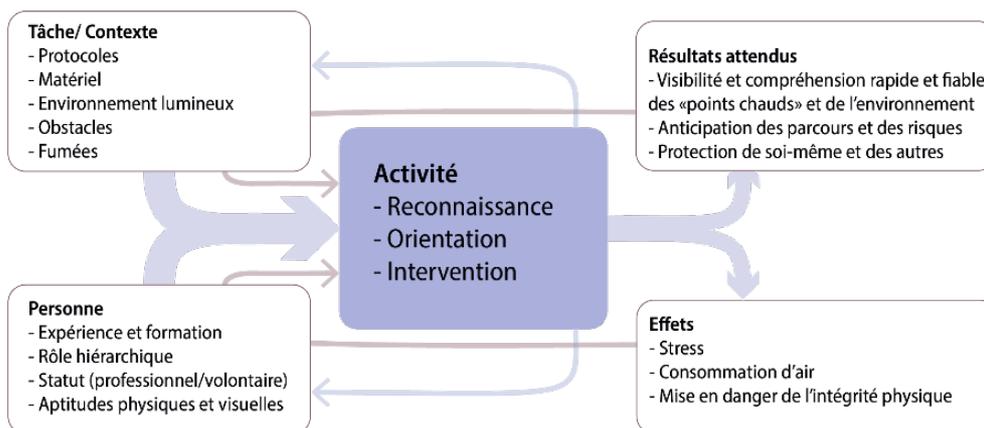
- 52 Des analyses exploratoires des situations de référence, nous avons établi une modélisation schématique de l'usage de la caméra thermique en intervention incendie (Figure 9) avec l'intention de mettre en place des simulations réalistes de situations d'actions caractéristiques dont l'objectif était double : i) Identifier les meilleures

configurations techniques et les spécifications du dispositif le plus adapté,
ii) Comprendre ce qui participait à la notion du « sans-couture » en situation.

- 53 Cette modélisation nous a en effet permis de poser les variables à prendre en compte dans l'élaboration de scénarios de tests en situations d'actions caractéristiques, à la fois d'un point de vue contextuel (variation organisationnelle, matérielle, environnementale) qu'individuel (variables inter et intra-individus liées à l'usage de la caméra).

Figure 9 : Modélisation schématique de l'activité d'intervention en incendie de bâtiment avec caméra thermique.

Figure 9: Schematic modelling of building fire intervention activity with thermal camera



(adapté de Leplat & Cuny, 1977)
(adapted from Leplat & Cuny, 1977)

- 54 Les variables individuelles ont été représentées grâce au panel de 7 personnes déjà défini. Pour les variants et invariants contextuels, nous avons mis l'emphase sur les conditions environnementales qui semblent être pour les SP, les plus critiques dans l'usage de la caméra thermique, pour interpréter les éléments visualisés.

4.2. Données issues des simulations de SAC en intervention incendie

4.2.1. Les scénarios de simulation et résultats synthétiques

- 55 Le panel de 7 personnes a réalisé deux séries de tests (2 à 3 h pour chaque série) à 3 mois d'intervalle. La première série de tests a permis d'étudier les enjeux perceptifs en expérimentant le prototype de RA V1 dans une simulation de phase de reconnaissance. La deuxième série de tests a permis d'éprouver une version améliorée de RA (V2) en simulation de phase de progression et manipulation.

Première série évaluant la « performance passive » : étude du dispositif en phase de reconnaissance

- 56 La première série de tests débutait sur un banc d'essai statique, à travers lequel les participants étaient invités à identifier la meilleure configuration du dispositif du prototype V1 de RA thermique (voir 1.3.1) dans un scénario où ils devaient scruter l'espace pour retrouver une cible chaude dans la scène. Ils devaient alors choisir et

verbaliser la configuration technique qui leur paraissait la plus performante pour comprendre l'environnement inconnu – une chaufferie sans fenêtre et parsemée de tableau de commandes électriques et de tuyaux à différentes hauteurs (Figure 10) – et identifier la cible (une bouilloire positionnée face au banc d'essai, mais assez loin et un peu cachée), et ce, dans une ambiance lumineuse variable selon les cas les plus couramment rencontrés (semi-obscurité ou obscurité totale) et avec des stimuli visuels en mouvement (personne dans la scène, en mouvement).

Figure 10 : Chaufferie, environnement contrôlé pour les tests en statique.

Figure 10: Boiler room, controlled environment for static tests



À gauche : salle de test en pleine lumière (image visible), au centre et à droite : obstacles et individu dans le champ visuel en semi-obscurité (image thermique)

On the left: test room in full light (visible image), at the centre and on the right: obstacles and individual in the field-of-view in semi-darkness (thermal image)

- 57 Par la suite, munis de la configuration retenue, les participants étaient invités à se déplacer dans la salle (dans les deux modalités : obscurité, semi-obscurité), dans laquelle la bouilloire était cette fois cachée derrière des éléments structurels. Nous parlons de « performance passive », car bien que les conditions environnementales recréaient certains paramètres rencontrés lors d'intervention (obscurité, semi-obscurité ; lieu inconnu avec obstacles et différents points chauds), il ne s'agissait pas de l'éprouver dans une performance d'activité finalisée, mais d'éprouver la vision thermique offerte par le prototype dans l'activité de reconnaissance d'un environnement.

Deuxième série de tests de « la performance active » : étude du dispositif en phase de progression et d'intervention

- 58 La deuxième série de tests visait à étudier plus finement les dimensions perceptives participant de la performance du dispositif dans son rôle « actif », c'est-à-dire lors de la reconnaissance, la progression dans un environnement en vue d'intervenir (manipuler la cible). Cette session de tests s'est déroulée dans un lieu (zone d'entraînement militaire) nous permettant de nous rapprocher des propriétés de l'environnement d'une situation réelle : lieu inconnu, obstacles au sol et à différentes hauteurs, escaliers, conditions lumineuses variables et visibilité dégradée (Figure 11).

Figure 11 : Zone d'entraînement militaire et blockhaus, utilisés pour les tests en conditions réalistes.

Figure 11: Military training area and bunker, used for tests in realistic conditions



Obstacles dans un sous-sol

Condition fumée

Condition extérieur

- 59 La tâche donnée au participant consistait à trouver de nouveau un point chaud et le ramener au point de départ du test. Cette tâche permet de simuler à la fois la recherche de point chaud et la reconnaissance des lieux, la progression à l'aide de l'information thermique mais aussi la manipulation et l'orientation dans l'espace (retour vers la sortie). Le participant devait donc réaliser cette tâche avec une caméra thermique portable⁹ et avec le prototype de RA, dans trois contextes différents (lieu et visibilité) : une fois à l'intérieur d'un bunker dans l'obscurité et une fois à l'intérieur d'un autre bunker plongé dans une fumée blanche (simulation d'incendies de bâtiment), une fois en extérieur de jour (simulation d'une reconnaissance depuis l'extérieur d'un bâtiment).
- 60 Nous avons ainsi testé la performance active du dispositif, c'est-à-dire sa capacité à répondre aux attentes d'une imagerie thermique en simulation certes figurative, mais dont l'objectif et les conditions reprennent les composantes d'une situation d'intervention.

4.2.2. Résultats : les dimensions perceptives et cognitives en jeu

En phase de « reconnaissance »

- 61 Le tableau 1 ci-dessous synthétise les choix de configuration et des extraits des verbalisations associées sur lesquels nous nous sommes basés pour aborder les processus perceptifs à l'œuvre dans l'activité, pour comprendre l'exploitation des ressources visuelles dans la tâche de reconnaissance d'un lieu dans l'activité des SP et identifier les mécanismes sensoriels « perturbés » par l'intégration du prototype de RA.
- 62 Dans le premier test, réalisé en statique sur le banc d'essai, le choix unanime (7/7) de la caméra Boson offrant un angle visuel de 92° (la Lepton 56°), étend la capacité perceptive naturelle dont le champ de vision binoculaire atteint 62°. Bien que ce choix génère une perturbation visuo-spatiale (Fuchs, 2018, p. 304), il est argumenté du point de vue de la performance dans la reconnaissance visuelle d'un lieu. En effet, il permet une vue d'ensemble de la scène « en un coup d'œil »¹⁰, ce qui évite d'oublier des zones dans la scène, notamment les recoins des plafonds qui peuvent constituer des dangers (« ils peuvent constituer des prises d'air et raviver un feu »). « Ça permet de voir davantage et d'être plus attentif qu'avec une caméra classique où on peut passer à côté de certains éléments »¹¹.
- 63 Ce choix montre que ce qui est attendu n'est pas un « calque amélioré » de ce qui est naturellement perçu mais bien une image « autonome » permettant d'optimiser la prise

d'information. Dans ce choix, la qualité de l'image (netteté, précision, contraste) est primordiale pour permettre non seulement de distinguer mais d'identifier et interpréter, dans un même temps, les différents éléments de l'environnement (voir verbalisation tableau : « *On voit la conduction de la chaleur sur les tuyaux, c'est important. On voit aussi les reflets sur certaines surfaces* »). En ce sens la caméra Boson offrant une meilleure qualité d'images a été adoptée par tous les participants.

- 64 L'information visuelle choisie dans cette phase tend à penser qu'il y a une primauté de la distinction et compréhension de l'information visuelle face à sa localisation puisque les choix privilégient une proposition où la localisation de l'objet diffère du référent naturel (champ de vision plus étendu). Toutefois, la présentation de cette information dans le champ perceptif doit, elle, être au plus proche de la perception normale ou tout au moins permettre une conjugaison optimale avec la perception visuelle normale et surtout ne pas la perturber.
- 65 Ainsi les choix de capture et projection de l'image se sont majoritairement (6/7) portés sur une configuration de captation, centrée par rapport aux yeux, projetant une même image sur chaque œil (« faux binoculaire »). Cette configuration est celle qui se rapproche le plus d'un référent égocentré de la perception visuelle, permettant de se situer dans l'espace, l'ajustement des distances et profondeur se réalisant alors grâce au mécanisme naturel de référencement égocentré (voir tableau, verbalisation : « *avec la caméra en haut, je vois mes deux mains* »).

Tableau 1 : Synthèse des résultats des tests statiques de la phase 1 – choix de configuration.
Table 1: Summary of the results of the static tests of phase 1 - choice of configuration

Système de capture de l'image thermique		Caméra Boson - champ visuel: 92° Résolution d'images: 320x256 px Fréquence d'image: 30FPS			Caméra Lepton - champ visuel: 56° Résolution d'images: 160x120 px Fréquence d'image: 9FPS	
		Choix (sur 7 pers.)			0	
Verbalisations		"Les formes sont précises et ça permet de bien comprendre l'environnement." (novice)			"la qualité n'est pas assez bonne. Les formes se détectent mal." "Je vois les obstacles mais je ne les comprends pas" (novices)	
		"Meilleure qualité d'image et moins de latence" (novice)				
Position caméra		côtés - deux caméras			haut centré	
		Choix (sur 7 pers.)			0	
Verbalisations		verbalisations (plus liées à la binocularité car c'est la projection de chaque caméra sur chaque œil qui reproduit un effet de stéréoscopie)			"Avec la caméra en haut, je vois mes deux mains" (expert)	
		1			"Si quelque chose se passe à gauche, on est plus lent, comme rien n'est projeté à gauche, il faut être hyper concentré à gauche." (expert)	
Système de projection de l'image		Lunettes semi-transparentes avec écran OST (optical See-Through) EPSON Moverio BT-300				
		Mode de projection		binoculaire (deux images pour chaque œil)		binoculaire (deux images pour chaque œil)
Verbalisations		binoculaire (deux images pour chaque œil)		monoculaire (une même image sur chaque œil)		
		Choix (sur 7 pers.)		0		
Verbalisations		"Avec le 3D, on comprend beaucoup mieux la profondeur, l'endroit où on se trouve, les détails. On est contraint par la 2D. La progression est plus efficace. Ça remplace quasi l'œil nu." (expert qui a retenu cette config.)		"Avec les deux yeux: impression que c'est plus précis en terme de profondeur. Moins perturbant" (expert)		
		"La 3D, dans l'idéal, c'est parfait. Mais en réalité, on se tape tout le temps. En plus, il faudrait gérer la largeur entre les yeux, peut d'intérêt. La plus grande profondeur de champ est dérangeante." (expert)		"Cela paraît plus naturel comme vision. C'est plus agréable. Les éléments sont identifiables beaucoup plus facilement. (on reconnaît les objets aussi)" (intermédiaire)		
Verbalisations		"En 3D les caméras ne s'ajustent pas suffisamment au focus du regard. Et ça pose problème lors des changements de plans" (novice).		"Netteté nickel. Pour évaluer les distances/profondeur, c'est mieux dans l'obscurité. Pour l'évaluation des distances, c'est la meilleure configuration." (expert)		
		"Vision à distance beaucoup plus fatigante. Entre 3-5m ça fait mal aux yeux." (novice)		"C'est beaucoup l'œil droit qui travaille, j'ai la sensation de n'avoir qu'un œil" (expert)		
Verbalisations		"Champ de vision plus restreint. On devra plus déplacer la tête." (expert)		"Comme si la réalité commençait au bout de mon bras." (novice)		
		"C'est beaucoup l'œil droit qui travaille, j'ai la sensation de n'avoir qu'un œil" (expert)				

- 66 Cette capture d'image dans l'axe visuel est renforcée par le choix d'une projection binoculaire (une même image sur les 2 yeux créant un faux binoculaire). Ce choix permet de reproduire une sensation de profondeur, sans être toutefois dans une modalité tout à fait stéréoscopique. La configuration monoculaire projetant l'image sur un seul œil est mise de côté par la totalité des participants en raison de l'inconfort

perçu (voire la nausée) : « *C'est perturbant* »¹². En effet, la réception d'images de registre différent dans chaque œil (luminosité, patterns) provoque des problèmes perceptifs tels que rivalité binoculaire, vision alternante ou suppression permanente¹³.

- 67 Dans les tests suivants, visant à éprouver ce choix dans un scénario plus dynamique de recherche active dans l'espace, a confirmé qu'une vision proche de la stéréoscopie naturelle (Boson positionnée de chaque côté de la tête à hauteur des yeux, dont chaque image se projetait sur chaque œil), choisie par un seul participant, pouvait être un facteur de gêne pour la plupart, cette modalité générant une complexité d'interprétation de la profondeur car accentuant d'autres problèmes perceptifs : difficulté de fusionner les images dans le champ proche et accentuation de l'éloignement des objets dans l'espace : « *en 3D, les caméras ne s'ajustent pas suffisamment au focus du regard. Les objets apparaissent tout petits et éloignés par rapport à la réalité* »¹⁴.
- 68 Le choix d'un grand angle de vision s'est confirmé comme étant un choix pertinent pour le type de regard actif qui est alors mis en œuvre lors de cette phase : « *Ce que je trouve bien c'est de pouvoir balayer et chercher les points qui m'intéressent* » (expert).
- 69 Ce regard actif « *balayer* » permet non seulement le mouvement des yeux ou de la tête mis à contribution pour chercher l'information dans l'environnement, mais aussi une forme de filtre attentionnel dans l'exploration du lieu – le balayage permettant de « *chercher les points qui m'intéressent* »¹⁵ –. Notons que ce filtre est plus prégnant à mesure que l'expertise est grande, puisqu'appris en formation puis entraîné. Le mouvement de balayage décrit par le SP, montre, en effet que la phase de reconnaissance des lieux requiert une certaine flexibilité attentionnelle dans la prise d'information visuelle de manière à stabiliser des éléments déterminants de la situation spatiale et de pouvoir ainsi anticiper l'activité de progression (« voir les parcours les plus directs vers le foyer et/ou la personne ») et d'intervention (« il faut pouvoir repérer les zones d'évacuation des fumées »). L'attention perceptive est alors à la fois focalisée et sélective, dans le but de rechercher les points chauds puis les obstacles et éléments structurels de l'environnement, engageant un balayage visuel permanent pour pouvoir capter rapidement l'environnement dans sa globalité, puis sélectionner les points à identifier. En ce sens, l'usage du large champ visuel permettant de ramener et rendre visible dans le champ focal des éléments d'une vision naturellement périphérique est un avantage pour tous les participants car permettant de gagner du temps, et de libérer d'une certaine façon la dynamique de progression dans l'espace : « *On balaye très rapidement une très grande surface car c'est dans mon champ visuel. Ça c'est un gros plus. On se déplace vraiment plus librement* » (expert).
- 70 Toutefois, la nécessité d'indexage de l'image par les mains et les bras tend à signifier que si la recherche semble facilitée par le dispositif, l'orientation et l'anticipation souhaitées dans cette phase de reconnaissance des lieux ne sont peut-être pas tout à fait optimisées.
- 71 Ainsi, selon le type d'environnements lumineux, la perception de l'image thermique n'est pas utilisée de la même manière (voir tableau 2). Dans le scénario en semi-obscurité, dans lequel, on pouvait apercevoir naturellement certains éléments du lieu, tous les participants ont expérimenté un « va-et-vient » visuel permanent entre la vision de l'image thermique et la vision naturelle de l'environnement, possible grâce aux caractéristiques de l'écran de projection¹⁶ dans la lunette leur permettant de capter l'environnement, au-dessous, ou sur le côté de l'image projetée. Ce point valide des travaux menés en psychologie de la perception, qui montrent que les sujets ne peuvent

s'empêcher de diriger leur attention vers l'endroit occupé par un indice périphérique (même s'il n'est pas informatif), pour compléter le processus d'attention visuo-spatiale et donc l'interprétation spatiale des indices captés (Delorme, & Fluckiger, 2003, p. 440). Dans le scénario en obscurité totale, la perception visuelle de l'environnement était au contraire essentiellement nourrie par l'image thermique. Le ressenti étant alors très proche d'une recherche en environnement virtuel et non augmenté. Les processus d'orientation et d'anticipation semblent alors un peu différents selon ces contextes, et surtout supposent des stratégies de compensation plus ou moins pénibles selon l'expertise du participant. Ainsi, si le temps d'exécution des tâches en environnement d'obscurité totale est plus important qu'en semi-obscurité, quel que soit le niveau des participants, l'évaluation par les participants de la fatigue visuelle et cognitive montre que l'intégration de la RA en phase de reconnaissance suppose un certain coût sensoriel pour les moins expérimentés (voir Tableau 2). Les mouvements oculaires et ajustements focaux nécessaires pour allier image thermique et image de l'environnement supposent une gymnastique de l'œil qui peut perturber (voire aller jusqu'à des sensations de nausée) lorsque l'on n'est pas entraîné.

Tableau 2 : Synthèse des résultats des tests de reconnaissance du lieu de la phase 1.
Table 2: Summary of the results of the site reconnaissance tests in phase 1

Configurations retenues pour scénarios de reconnaissance/recherche	Bi-Boson  1 expert/7 part.		Mono-Boson Up  6/7 part.		
Temps d'exécution des tâches (en secondes)	Types participants	Novices	Intermédiaires	Experts	Tous
	Scénario semi-obs.	264	188	195	215
	Scénario obscurité	302	407	241	317
	verbalisations semi-obs.	<i>"Je m'appuie plus sur la vision normale pour me déplacer. Je suis essentiellement sur une vision thermique car je passe dans l'obscurité. Je vois les obstacles au sol dans la vision thermique. ça donne un peu la nausée."</i>	<i>"Je me réjouis de tester en obscurité totale. Ça perturbe parce qu'on arrive quand même à voir à travers les lunettes."</i>	<i>"On balaye très rapidement une très grande surface car c'est dans mon champ visuel! Ça c'est un gros plus. On se déplace vraiment plus librement."</i>	<i>"Avec la Caméra Thermique (CT), on marche vite. Avec la main devant et la canne d'aveugle, on va à la vitesse du pas, on peut pratiquement courir."</i>
verbalisations obsc. totale	<i>"Je fais uniquement confiance à la vision virtuelle, car je ne vois rien d'autre. Ce qui fait que j'y vais vraiment à tâton."</i>	<i>"En obscurité, c'est moins facile pour se retrouver, se déplacer, identifier les objets car on ne voit pas tous les petits détails. Faut faire attention de ne pas se cogner."</i>	<i>"On arrive rapidement à se repérer. Si j'ai un doute, je m'arrête et je regarde. C'est bien."</i>	<i>"On met les mains, comme un réflexe. Pas besoin de scanner droite-gauche et haut bas du fait du champ large. Mais s'il y avait plus d'obstacles au sol, ce serait mieux de le faire."</i>	
Evaluation subjective de la fatigue post-tests (moyennes sur /10)	Instant ressenti	immédiatement	à + 4h	à + 24h	Répartition/expertise
	Fatigue visuelle	1.6	0.9	0.0	Novices: 2.3, interm: 1.75, experts: 0.7
	Fatigue physique	0.3	0.3	0.0	Novices: 0, interm: 1, experts: 0
	Nausées/mx de tête	1.0	0.6	0.0	Novices: 2, interm: 0, experts: 0.7
	Verbalisations	<i>"L'image reste à une certaine distance et ne peut pas s'approprier. On aurait envie de la voir plus grande. Elle est constamment en face de moi, et peut-être qu'après, le cerveau cherche à retrouver cette image" (novice)</i>	<i>"Car la taille de l'image ne correspond pas à ce qu'on voit en réel. Obligé de switcher du virtuel au réel." (novice)</i>	<i>"Comme si je m'étais forcé à lire. Je sens que j'ai plus utilisé mes yeux que si j'avais la vue normale. On se concentre sur deux choses... Mais pas beaucoup plus" (expert)</i>	

En phase de « progression »

- 72 La deuxième série de tests a permis de tester le dispositif dans des conditions environnementales un peu plus complexes (et donc plus proche de situations réelles) pour éprouver la performance du dispositif non seulement en phase de reconnaissance mais aussi dans une phase de progression, où il ne s'agit plus seulement de comprendre l'environnement pour en stabiliser les éléments et pouvoir anticiper ; mais de pouvoir s'y orienter en réajustant constamment son engagement corporel en fonction des différentes dynamiques environnementales, thermiques et opérationnelles. Dans cette série de tests, le prototype avait été amélioré, laissant notamment la possibilité aux participants de choisir des configurations de traitement de l'image thermique différentes selon les conditions lumineuses rencontrées dans les scénarios (voir tableau 3).

- 73 En termes de distinction et compréhension de l'information thermique, le dispositif a montré ses limites dans ces situations dynamiques. Malgré la possibilité de changer les configurations d'image thermique en fonction de l'échelle thermique des éléments de l'environnement, le contraste de l'image n'a pas été perçu comme suffisant en obscurité pour percevoir certains obstacles au sol. En extérieur, l'image n'était pas suffisamment visible à cause de la luminosité, ce qui générait une charge cognitive supplémentaire « *cela demande un travail de concentration actif pour forcer l'œil à travailler avec le dispositif* »¹⁷. Certains participants se sont placés à l'ombre ou ont mis leur main derrière l'écran pour améliorer la visibilité de l'image virtuelle. L'aspect adaptatif des modes thermiques proposés provoquait un changement de contraste dans l'image dès l'apparition d'un élément chaud dans la scène. Cette adaptation se réalisant sur des données thermiques et non environnementales a été jugée dangereuse dans la mesure où les contrastes de l'image n'étaient plus suffisamment fins pour discerner les obstacles au sol. Par ailleurs, cette adaptation des contrastes bouscule les repères spatiaux établis par le participant et demande un effort supplémentaire pour interpréter la scène. « *Pour progresser, ce n'est pas évident. On ne voit pas grand-chose, il y a peu de différences thermiques dans l'environnement* » (expert). L'information thermique proposée ne jouant que sur les dégradés de couleurs, il manquait aux participants des informations permettant de déterminer la température des points chauds (échelle de température ou mire) et donc d'interpréter et anticiper la situation. Ce point montre la nécessité d'une image permettant dans un même temps non seulement de distinguer mais de comprendre ce que l'on voit. L'insuffisance des contrastes et de la netteté de l'image dans tous les scénarios amènent alors les plus expérimentés à sentir la nécessité d'informations supplémentaires permettant d'interpréter l'image dans une dynamique de l'agir : « *c'est performant pour identifier les points chauds mais pas pour comprendre l'environnement* » (expert).
- 74 Outre ces problématiques de saillance¹⁸ visuelle, lors de cette phase dynamique, les participants ont pu éprouver aussi l'effet de latence de l'image thermique par rapport aux données réelles, liées à la fréquence d'échantillonnage de la caméra (60 Hz pour la Bosen choisie). Lors des déplacements ou des mouvements rapides de tête, l'image pouvait apparaître parfois saccadée « *quand je tourne, je dois attendre le thermique* »¹⁹. Ce point mentionné par différents participants est important, car ce décalage temporel, générant une incohérence visuo-temporelle, semble plus problématique que le décalage spatial, qui, lui, se compense par la référence aux mains et bras. Ce point avait déjà été mis en avant par une étude menée dans une application de la RA à l'apprentissage (Svétošlavova, Burkhardt, Mégard, & Ehanno, 2007).
- 75 L'angle de vision de la caméra, augmentant le champ visuel par rapport à la vision naturelle reste perçu comme un avantage dans ces tests dynamiques, car permettant de « *voir les recoins* » sans nécessité d'aller rechercher l'information visuelle. Toutefois, les limites du dispositif présentant une image virtuelle non-fusionnée à l'image réelle biaisent l'effet de profondeur et donc l'évaluation des distances. Ce qui peut être particulièrement perturbant dans un environnement obscur ou enfumé où l'utilisateur se repose principalement sur l'image virtuelle. Les participants compensent ce biais en utilisant un référentiel égocentré (bras/main) visible dans le virtuel pour jauger leur éloignement aux objets réels :
- « Le décalage des distances est appréhendable et apprenable beaucoup plus vite que je le pensais. Au départ, j'ai essayé de superposer, mais après j'ai pris le grand angle. En faisant des mouvements de main, ce n'est pas dérangent » (novice).

76 Dans cette stratégie de référencement, le grand angle visuel est aussi important pour aider à l'orientation « *c'est important de voir sa main, le pied dans le thermique pour évaluer les distances* » (expert). Au-delà du pied, c'est le sol qui à travers la vision est perçu. Ce sol est le référent principal de la perception écologique de l'orientation. Nous nous orientons principalement dans un rapport au sol et permettant de se situer par rapport à la direction de notre équilibre postural, dynamique d'interaction avec notre environnement qui permet la perception et le contrôle de l'orientation. Toutefois si la vision permet de renforcer cette capacité, ce n'est que dans une modalité inter-sensorielle partagée avec les systèmes vestibulaire et proprioceptif (Delorme, & Flückiger, 2003).

Tableau 3 : Synthèse des résultats des tests dynamiques de la phase 2.
Table 3: Summary of the results of the dynamic tests of phase 2

	I (Pied)		Thermic I	
	Échelle	Échelle	Échelle	Échelle
Chaque condition de situation	Échelle de confort (0-100) : 0 = pas de confort, 100 = confort maximal			
Scénario 1 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 2 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 3 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 4 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 5 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 6 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 7 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 8 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 9 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 10 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 11 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 12 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 13 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 14 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 15 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 16 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 17 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 18 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 19 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 20 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 21 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 22 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 23 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 24 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 25 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 26 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 27 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 28 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 29 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 30 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 31 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 32 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 33 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 34 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 35 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 36 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 37 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 38 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 39 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 40 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 41 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 42 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 43 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 44 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 45 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 46 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 47 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 48 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 49 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 50 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 51 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 52 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 53 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 54 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 55 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 56 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 57 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 58 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 59 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 60 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 61 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 62 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 63 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 64 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 65 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 66 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 67 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 68 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 69 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 70 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 71 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 72 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 73 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 74 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 75 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 76 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 77 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 78 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 79 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 80 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 81 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 82 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 83 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 84 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 85 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 86 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 87 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 88 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 89 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 90 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 91 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 92 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 93 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 94 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 95 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 96 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 97 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 98 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 99 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 100 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 101 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 102 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 103 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 104 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 105 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 106 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 107 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 108 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 109 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 110 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 111 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 112 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 113 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 114 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 115 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 116 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 117 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 118 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 119 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 120 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 121 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 122 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 123 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 124 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 125 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 126 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 127 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 128 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 129 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 130 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 131 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 132 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 133 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 134 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 135 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 136 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 137 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 138 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 139 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 140 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 141 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 142 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 143 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 144 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 145 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 146 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 147 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 148 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 149 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 150 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 151 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 152 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 153 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 154 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 155 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 156 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 157 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 158 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 159 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 160 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 161 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 162 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 163 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 164 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 165 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 166 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 167 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 168 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 169 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 170 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 171 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 172 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 173 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 174 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 175 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 176 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 177 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 178 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 179 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 180 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 181 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 182 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 183 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 184 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 185 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 186 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 187 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 188 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 189 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 190 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 191 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 192 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 193 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 194 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 195 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 196 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 197 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 198 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 199 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 200 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 201 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 202 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 203 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 204 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 205 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 206 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 207 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 208 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 209 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 210 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 211 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 212 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 213 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 214 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 215 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 216 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 217 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 218 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 219 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 220 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 221 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 222 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 223 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 224 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 225 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 226 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 227 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 228 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 229 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 230 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 231 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 232 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 233 (Haut)	1	1	1	1
Scénario 234 (Haut)	1			

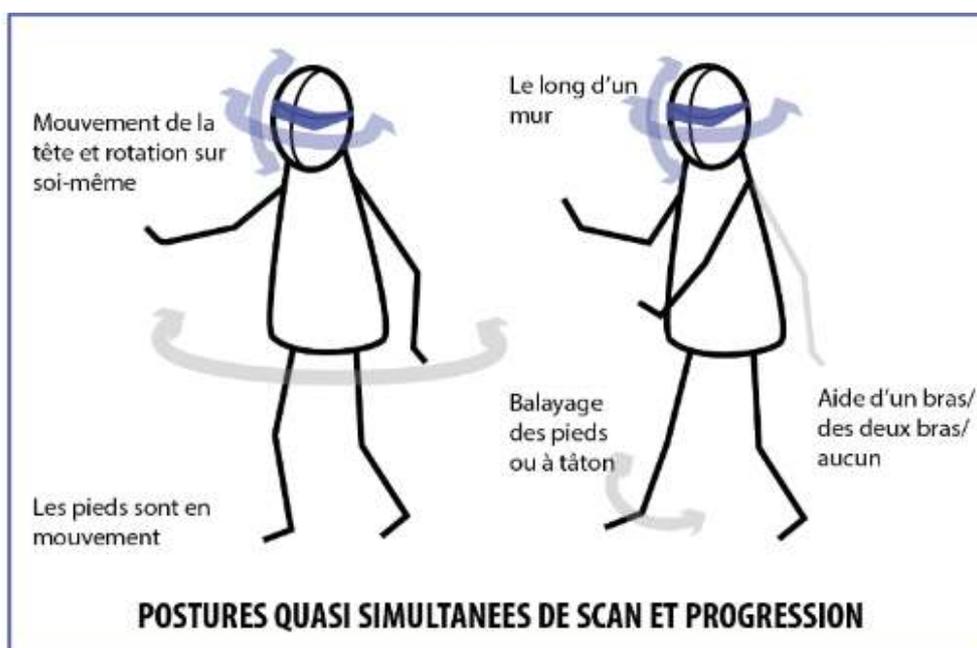
- 78 Notons finalement que dans ces scénarios de test dynamiques en condition de fumée et d'obscurité, certains participants ne se sont fiés qu'à la vision thermique. Dans ce cas, la libération des mains proposée par le dispositif embarqué est clairement un avantage mis en avant par les experts. Pieds, mains et bras participant alors activement de la compréhension et orientation dans l'espace, mais pas toujours suffisant : deux participants, un expert et un novice, se sont retrouvés en situation de désorientation.
- 79 Les tests en dynamiques ont donc permis de valider que les ressources sensorielles en action ne sont pas seulement visuelles, mais convoquent une perception globale sensori-motrice (ou synesthésie) où la représentation de l'espace et du mouvement pour l'orientation utilisent différents repères perceptifs – gravitaires, visuels, égocentrés (Delorme, & Flückiger, 2003) – et sensori-moteurs dans une articulation de différentes modalités sensorielles (l'importance de l'ouïe et du toucher mise en avant par les SP lors des études de terrain, et retranscrit dans la brève description des situations d'intervention de la partie 3.1) que l'intégration de la RA doit pouvoir accompagner sans gêner.

5. L'engagement des corps

5.1. Nouvelles formes de corporalités

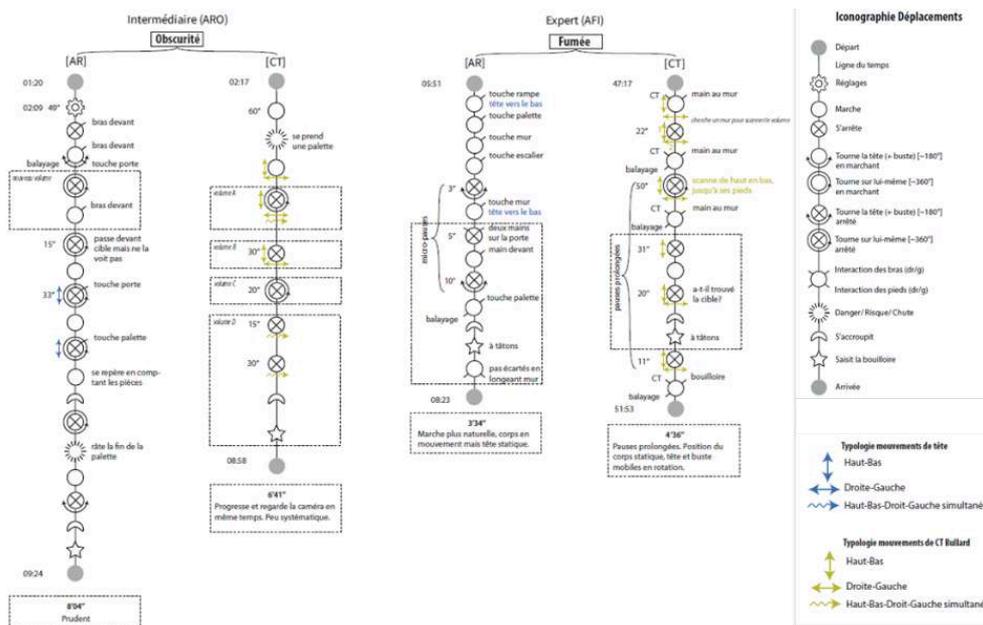
- 80 Lors des tests dynamiques, chaque scénario a été réalisé par les participants en utilisant d'une part une caméra thermique, d'autre part le prototype S.A.V.E.²¹ permettant de comparer ainsi les engagements corporels suscités par chaque artefact, notamment à travers le recueil des séquences des gestes et verbalisations, ainsi que des flux gestuels observés grâce aux enregistrements thermiques réalisés (voir Figure 12).
- 81 Lorsqu'ils utilisent la caméra thermique Bullard, sur laquelle ils ont été formés, les experts mettent en place spontanément la dynamique séquencée et méthodique apprise et enseignée. Dès l'arrivée dans un nouvel espace (« volume »), l'expert se positionne de manière stable, dos à un mur ou juste à l'entrée pour faire la reconnaissance en effectuant des balayages successifs latéraux et verticaux engageant le bras et le torse (voir Figure 13). Ces gestes, acquis par apprentissage et entraînement, sont précis, ordonnés et unitaires contrairement aux novices qui réalisent une multitude de mouvements successifs et/ou simultanés. Les pauses réalisées par les experts pour scanner l'environnement sont relativement prolongées (~25 s) pour bien stabiliser les éléments de la scène. La progression dans l'espace se fait ensuite en longeant un mur à l'aide de l'autre main, et en balayant du pied pour éviter les obstacles.

Figure 14 : Stratégies de recherche adoptées à la fois par les experts et les novices avec S.A.V.E.
 Figure 14: Search strategies adopted by both experts and novices with S.A.V.E.



- 84 Le dispositif, expérimenté à deux reprises par les participants, aurait donc tendance à estomper l'expertise des professionnels, et à rendre les novices « experts de l'imagerie thermique ». Cette qualité ne les rend néanmoins pas experts de l'activité. Les parcours des experts restent beaucoup plus performants dans l'exécution des tâches (voir temps d'exécution Tableaux 2 et 3). Pourtant dans la chorégraphie générale, l'expertise ne se distingue que peu et la progression semble devenir plus « risquée ». L'utilisation du système S.A.V.E. dotant l'utilisateur de plus de liberté de mouvements et d'« autonomie visuelle », semble changer les manières de voir et de s'orienter des professionnels. « *Je ne fais plus de scan systématique pour la recherche, car le champ de vision est plus grand. Je fais davantage confiance, mais s'il y avait eu plus d'obstacles au sol ça aurait été mieux de le faire* »²² constate un expert et formateur.
- 85 Les professionnels comme les novices adoptent une stratégie de recherche où exploration et progression dans l'espace se font simultanément et de manière plus « naturelle » et moins prudente : ils ne longent pas forcément un mur, effectuent davantage de rotations de tête ou de tours sur eux-mêmes pour scanner l'environnement dans une dynamique les menant directement au cœur de la scène (voir Figure 15). Ces effets de rotation au détriment d'un balayage systématique de haut en bas et de droite à gauche, tend à faire perdre les repères d'orientation dans l'espace : « *Je ne retrouvais plus mes repères par rapport au point chaud* »²³ témoigne un expert en condition de fumée blanche. Par ailleurs, la plupart des participants avouent avoir « *fait confiance à l'image thermique* »²⁴ en situations d'obscurité totale et obscurité avec fumée. L'utilisation des mains dans ces contextes n'a pas servi à jauger les distances, mais plutôt à reconnaître au toucher, les éléments distingués avec l'image thermique. Dans ce cas, les mains n'ont pas contribué à l'orientation mais à la compréhension de la visualisation, ce qui a amené deux participants à se retrouver en situation de désorientation en condition de fumée blanche.

Figure 15 : Schéma de notation des « chorégraphies » adoptées par les utilisateurs, comparaison de l'usage de la caméra thermique (CT) et du dispositif de RA selon les scénarios et l'expertise.
 Figure 15: Notation diagram for the "choreographies" adopted by users, comparison of the use of the thermal camera (CT) and the AR device depending on scenario and expertise



5.2. Protection des corps

- 86 Lors des études de terrain, nous avons pu identifier que durant la phase d'extinction, les pompiers du binôme d'attaque sont habituellement agenouillés pour se protéger des phénomènes thermiques. Ce geste appris et entraîné est important pour se protéger notamment des backdraft (explosion de fumée lors d'un apport d'air et se situant le plus souvent en hauteur). Dans cette posture agenouillée, le porteur du thermique tient alors la caméra, corps replié et stable, bras tendu, pour montrer l'image à son coéquipier, générant ainsi, par l'empan de son bras une « zone de protection » du danger environnant (voir Figure 16).
- 87 Le dispositif S.A.V.E., par son aspect embarqué, implique le port de l'information visuelle sur soi (zone proximale) plutôt qu'à bout de bras (zone distale). Il faut alors chercher l'information de la tête, exposant alors les fonctions vitales du corps, là où le corps avait tendance à créer une dynamique de protection par l'empan du bras. La caméra thermique permet ainsi d'anticiper un risque thermique mais aussi de communiquer cette anticipation en montrant éventuellement aux équipiers. La dimension embarquée gomme ces deux fonctionnalités. L'usage des mains est certes libéré, mais l'attention perceptive portée sur l'image thermique dans le champ visuel a tendance à focaliser l'attention sur l'interprétation de ce visuel, tout en générant une dynamique de progression lors de laquelle l'information tactile devient avant tout un mode de repérage avant d'être un mode de protection (voir Figure 16). En effet, tous les participants ont eu tendance à explorer avec les bras et mains simultanément à la découverte visuelle pour évaluer les distances ou comprendre les objets sans anticiper (ou anticipant peu) les risques liés aux contacts avec les objets et sans chercher à s'orienter de manière sûre, mais à stabiliser l'information visuelle reçue.

Figure 16 : Protection du corps avec image déportée (gauche) et portée sur soi (droite) (même participant).

Figure 16: Body protection with deported image (left) and worn on self (right) (same participant)



- 88 Malgré la sortie oculaire possible avec le dispositif SAVE, la prégnance de l'image incrustée dans le champ visuel tend à guider les modalités perceptives en jeu²⁵, la recherche d'informations sensorielles visant à compléter l'interprétation de l'image plus que la compréhension de l'environnement et la capacité à s'orienter. En ce sens, un effet de « tunnelisation attentionnelle » (Pinet, 2011) se produit, c'est-à-dire une fixation sur un élément particulier oubliant son environnement. Ce dernier point est évidemment peu généralisable à la technologie RA puisqu'issu d'analyses réalisées avec un prototype non abouti. Toutefois, ces résultats tendent à confirmer ceux d'études réalisées par d'autres travaux dans des champs d'application de la RA différents. Notamment, dans une étude sur l'application de la RA dans la mobilité urbaine des seniors, les auteurs montrent que l'aide à la navigation de piéton via des lunettes de RA suscite l'attention constante et quasi-exclusive des participants vers l'information virtuelle (Montuwy, Cahour, & Dommes, 2019).
- 89 Monopolisant ainsi les ressources perceptuelles, deux dangers sont particulièrement présents pour les pompiers : la désorientation et le manque d'oxygène. Savoir gérer sa consommation d'air est fondamental pour la survie du pompier. En l'absence de visibilité, c'est l'évaluation de la distance au feu qui permet au pompier d'évaluer s'il a assez d'air²⁶ pour s'engager ou pas (intervention en tunnel par exemple). Si l'image thermique embarquée ne permet pas en elle-même d'évaluer les distances et de surcroît implique l'engagement tactile pour ce faire, le danger reste alors présent, voire accru, car l'image embarquée, et donc individualisée, ne permet pas d'estimation collective du danger et provoque plus de mouvements du corps qui sont coûteux en termes de consommation d'oxygène.

5.3. Nouveaux registres d'intelligibilité

- 90 Les activités de reconnaissance et progression supposent la construction d'une représentation spatiale. Selon une approche incarnée, cette représentation n'est pas simplement une construction cognitive et amodale, mais, nous le voyons à travers les résultats empiriques, la représentation spatiale se construit par l'exploration physique de cet espace convoquant une articulation des dimensions sensorielles et sensori-motrices.
- 91 La « confiance » vis-à-vis de l'image thermique dont parlent les personnes observées est, en ce sens, intéressante. En effet, elle dévoile une certaine forme de dépendance perceptuelle vis-à-vis des prises d'informations. Or, lors des tests effectués en obscurité

et fumée, là où le recours à la vision naturelle était peu possible, la plupart des participants experts ont noté la difficulté à interpréter les données thermiques et les risques que cela pouvait provoquer en situation réelle, tout en admettant s'être essentiellement guidé par la technique. « *L'image thermique aide à identifier le danger lié à la chaleur, mais pas le danger lié aux obstacles. J'ai dû m'aider de mes pieds et de mes mains* », « *c'est perturbant, car on croit voir les obstacles* »²⁷. Ainsi, si le dispositif permet effectivement de « voir l'invisible », il ne permet pas pour autant de toujours comprendre ce qui est vu, et au-delà, il peut même obstruer des indices de la vision naturelle permettant, eux, de comprendre l'environnement. Ce point est notamment montré par la nécessité de la sortie oculaire. Par ailleurs, l'interprétation des données thermiques des objets environnants suppose une adaptation cognitive, là où la perception naturelle s'aide de données visuelles proprioceptives telles que les volumes, les contours, les textures, les ombres ou les reflets peu discernables par l'imagerie thermique actuelle, l'image doit, elle, s'interpréter par des données symboliques jouant essentiellement du dégradé de couleurs²⁸. Les formes de compréhension de l'espace avec le dispositif S.A.V.E. travaillent donc sur d'autres registres perceptivo-cognitifs que ceux habituellement mis en œuvre, suscitant de nouvelles formes d'intelligibilité de l'espace, basées sur des inférences théoriques (différentiels de température de certaines matières) plus qu'expérientielles. Pour optimiser toutefois cette exploration de l'espace et privilégier une perception-action immédiate, les mains et les pieds agissent pour compenser, se soumettant alors à la recherche d'indices permettant de compléter ces informations manquantes avec l'image. En ce sens, l'engagement des corps dans ces phases de reconnaissance et progression expérimentales est essentiellement tourné vers l'interprétation des stimuli visuels.

- 92 En changeant ainsi les formes corporelles d'exploration de l'espace, le dispositif change la construction de la représentation spatiale²⁹ (Dutriaux, & Gyselinck, 2016), au cœur des activités de reconnaissance et progression. Il change la perception de l'espace en perturbant la relation d'affordance³⁰ (Gibson, 1979) qui nous permet de comprendre l'environnement dans une relation de l'agir. Ainsi, lors du premier test, tous les participants ont opté pour le dispositif leur permettant d'obtenir l'image la plus nette, précise et contrastée, dans une dynamique de « vision pour agir » – « *pouvoir balayer pour chercher les points importants* » – et non de « vision pour seulement percevoir ». Toutefois, selon les conditions environnementales, l'image, pourtant souvent incontournable, fait défaut que ce soit dans sa qualité visuelle ou temporelle (voir description des situations d'intervention de la partie 3.1), obligeant alors à compenser par la proprioception, le toucher et les postures. Si la vue n'apporte pas les indications de l'agir, c'est le corps qui va le rechercher dans une modalité plus proximale (le toucher et la kinesthésie étant des sens proximaux), mettant en défaut l'anticipation nécessaire à l'intervention, laissant de côté l'engagement somesthésique du corps dans sa captation plus distale de l'espace. Le guidage des actions par la vue incite alors plus à valider ou évaluer le vu qu'à explorer l'environnement tel qu'il se donne à notre perception.
- 93 En positionnant une image thermique dans le champ perceptif direct, on perturbe ce que Merleau Ponty a nommé le « regard haptique » (1945), ce regard qui non seulement nous permet de comprendre l'environnement dans la capacité d'action qu'il suscite, mais aussi ce regard qui nous permet de nous positionner dans le monde, dans l'environnement. Avec l'intégration de la RA, c'est une nouvelle forme de visualisation qui est engagée et qui oblige à trouver de nouveaux compromis entre perception

sensorielle et représentations cohérentes (Boukho, 2011), un va-et-vient où le corps va jouer de plasticité pour interpréter l'environnement avec sa vision naturellement haptique et l'image thermique complétée des images tactiles et proprioceptives de l'engagement main-pied. Toutefois, nous l'avons vu lors des études de terrain, souvent le corps en intervention est un corps collectif, un corps qui agit grâce et par le collectif.

5.4. Et le corps collectif

- 94 Si nous n'avons pas pu aborder le travail du collectif dans le cadre de ce projet, notamment en raison de l'immaturité du dispositif expérimenté, nos observations en situations de référence, les entretiens menés ainsi que l'analyse d'articles professionnels permettent de poser des premiers constats sur les enjeux de l'usage de la RA pour le corps collectif des pompiers. En particulier, des tests de RA réalisés en 2007 en situation réelle (Boyd, 2007) montrent que l'organisation et la hiérarchie établie en intervention sont profondément transformées par l'implémentation de la RA. Dans cette étude, chaque pompier est doté d'un dispositif de RA thermique. On observe que chaque pompier va « lire » le feu d'une manière différente : l'un s'occupe de l'extinction pendant que d'autres analysent la direction prise par le feu ou cherchent des foyers résiduels. Contrairement à un fonctionnement habituel par chef d'équipe, il y a alors un partage de responsabilité. L'amélioration de la capacité à voir de chacun dégrade la capacité de l'officier à gérer et coordonner son équipe. Les pompiers bougent plus vite dans une structure, sans forcément suivre les techniques de progression (maintenir leur orientation avec un mur) qui permettent à l'officier de rediriger un pompier pour ressortir en cas de difficulté. Ces nouvelles dynamiques affectent la capacité de l'officier à maintenir le contrôle et la responsabilité de son équipe. L'esprit collectif est un fondamental du métier : « *rester grouper c'est rester en vie* »³¹, surtout en intervention feu (tenue de la veste du coéquipier, travail en file indienne, contact vocal). L'utilisation de la RA réorganise le fonctionnement du collectif et tend à définir des modes d'agir plus individuels.

6. Conclusion

- 95 « Rendre visible l'invisible » est une des ambitions de la RA dans nombreux domaines. Les premiers résultats du projet présenté ici montrent toutefois que l'intégration d'une telle technologie ne se limite pas à une modification de la perception visuelle interférent dans une boucle perception-décision-action, mais convoque une mutation plus profonde de l'engagement du corps en situation dans une compréhension immédiate de l'environnement. Cette transformation de l'engagement des corps implique à son tour, aussi une construction différente de la représentation de l'espace.
- 96 L'approche méthodologique, présentée ici, croisant des données « traditionnelles » d'analyse avec une analyse des gestuelles permet de tendre vers une approche de cognition incarnée. Cette focalisation sur les gestes corporels nous a permis en effet de montrer les adaptations mises en place par les utilisateurs pour utiliser au mieux le dispositif de RA, selon des lieux et ambiances lumineuses distinctes. Dans ces adaptations, nous avons en particulier noté les stratégies développées pour saisir l'environnement dans une relation d'affordance, pouvant mener à des comportements risqués.

97 Ces résultats tendent à se rapprocher des conclusions d'autres études qui montrent comment, en incorporant de nouvelles données visuelles dans le champ perceptif, non seulement les dynamiques écologiques visuelles sont mises à l'épreuve (Charbonneau, 2010), et de ce fait les interprétations expertes (Arnaldi, Guitton, & Moreau, 2018), mais plus généralement nos formes d'agencement entre les différentes modalités sensorielles. En effet, en introduisant une nouvelle information virtuelle de l'environnement, ce n'est pas un deuxième environnement que l'on perçoit, mais un environnement mixte, alliant virtuel et réel que nous tentons de saisir (Casiez, Granier, Hachet, Lepetit, Moreau, *et al.*, 2018, p. 245-246) et de rendre cohérent dans la situation à travers nos sens. Or, lorsqu'il y a un décalage entre l'œil et le corps, nos modes de coordination sensori-motrice peuvent être perturbés (Boukho, 2011). Dans le corpus artistique, plusieurs travaux ont donné lieu à des constats sur les bouleversements perceptifs provoqués par les nouveaux environnements immersifs. En particulier, l'analyse de Boukho sur des installations artistiques éprouvant le lien entre univers visuel et marche, affine la compréhension de ce qui se joue dans cette altération de la correspondance entre perception visuelle et kinesthésique de la marche : lorsque le déplacement vu est différent – ou désynchronisé – du perçu à travers les pas, le système vestibulaire est alors perturbé, influençant le sens de l'orientation, et les ressentis haptiques et proprioceptifs. On parle alors de phénomène « pseudo-haptique » dans lequel le visuel devient la modalité prégnante pour mieux négocier dans ce nouvel environnement mixte. Ce que certains nomment interférence visuo-haptique (Fuchs, 2018) sont vécus comme de nouveaux environnements perçus, que le corps dans sa saisie perceptive et motrice tentera toujours de comprendre depuis l'agir. Les différentes verbalisations des SP experts lors des tests semblent indiquer que les corps entraînés peuvent pallier et se calibrer par rapport à ces nouveaux stimuli, si tant est que l'image conserve une dimension égocentrée. L'adaptation se fait donc dans une certaine plasticité du corps (extension de la vue par les mains, les pieds, les mouvements) pour saisir l'espace dans sa dimension haptique. Toutefois, c'est aussi dans la mesure où les dispositifs techniques arriveront aussi à s'approcher d'une vision haptique (une vision facilitant la relation d'affordance) que l'adaptation sera totale. En ce sens, c'est dans une relation de co-plasticité entre l'artefact et le corps qu'une nouvelle réalité mixte pourra certainement être tout à fait opérationnelle.

BIBLIOGRAPHIE

Albarelli, A., Celentano, A., Cosmo, L., & Marchi, R. (2015). On the Interplay between Data Overlay and Real-World Context Using See-through Displays. *Proceedings of the 11th Biannual Conference on Italian SIGCHI Chapter*. <https://doi.org/10.1145/2808435.2808455>

Arnaldi, B., Guitton, P., & Moreau, G. (2018). *Réalité virtuelle et réalité augmentée : Mythes et réalités*. Londres : ISTE éditions (Collection Informatique).

Baudin, C. (2021 - ongoing). Mise en abîme du « corps inspiré » : L'urgence du retour au sensible. *Actes du 55^e Congrès SELF « L'activité et ses frontières : Penser et agir sur les transformations de nos sociétés »*.

Baudin, C. (2016). Concevoir du sens par les sens. *Actes du Sensolier « Design sensoriel. Comment tenir compte de l'expérience multisensorielle de l'utilisateur / consommateur ? »*, pp. 1-6. https://www.academia.edu/34216156/Concevoir_du_sens_par_les_sens

Baudin, C. (2017a). Au cœur du sensible : L'or « profane » de Madre de Dios. In Ph. Geslin (Ed.), *L'anthropotechnologie : Cultures et Conception* (pp. 71-101). Londres : ISTE Editions.

Baudin, C. (2017b). La perte des sens et du sens des corps technicisés. *Actes FISO (Festival International de Sociologie), La fabrication des corps au 21^e siècle*, pp. 1-15. https://www.academia.edu/35272958/La_perte_des_sens_et_du_sens_des_corps_technicisés

Baudin, C., & Nusshold, P. (2018). Digitalization and the Evolution of Real Work: Introduction. *Laboreal*, 14(2). <https://journals.openedition.org/laboreal/pdf/583>

Baumeister, J., Ssin S.Y., ElSayed N.A.M., Dorrian, J., Webb, D.P., Walsh, J.A., et al. (2017). Cognitive Cost of Using Augmented Reality Displays. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 23(11), 2378-2388.

Béguin, P. (2004). L'ergonome, acteur de la conception. In P. Falzon (Ed.), *Ergonomie* (pp. 375-390). Paris : Presses Universitaires de France.

Bernard, M. (2001). *De la Création chorégraphique (1^{re} éd.)*. Paris : Centre National de la Danse.

Berthoz, A. (1997). *Le sens du mouvement*. Paris : Éditions Odile Jacob.

Bobillier-Chaumon, M.-E., (2017). Du rôle des TIC dans la transformation digitale de l'activité et de la santé au travail. *La Revue des Conditions de Travail, ANACT*, 6, 16-24.

Boukho, C. (2011). Les parcours immersifs et l'expérience quotidienne de la marche. *Revue Réel/virtuel : enjeux du numérique*, 2(2). <https://biblio.ugent.be/publication/8124031/file/8134276.pdf>

Boyd, J. (2007). Using Hands-Free Thermal Imaging Cameras. *Fire Engineering Magazine*, 160(5), 95-97.

Casiez, G., Granier, X., Hachet, M., Lepetit, V., Moreau, G., & Nannipieri, O. (2018). Vers des EV plus liés au monde réel. In B. Arnaldi, P. Guitton, & G. Moreau (Eds.), *Réalité virtuelle et réalité augmentée : Mythes et réalités* (pp. 231-259). London : ISTE Editions.

Charbonneau, M. (2010). *Approche méthodologique et comparative des critères de qualité d'image, de perception et d'exploitabilité opérationnelle : application aux systèmes d'aide à la vision nocturne en aéronautique*. Thèse de doctorat, Sciences cognitives, Université de Bordeaux 2.

Claverie, B., & Léger, A. (2009). Vision augmentée par HUD : pour une prise en compte des contraintes psychophysiques. *Revue des Interactions Humaines Médiatisées*, 10(1), 27-58.

Daniellou, D., & Béguin, P. (2004). 20. Méthodologie de l'action ergonomique : approches du travail réel. In P. Falzon (Ed.), *Ergonomie* (pp. 333-358). Paris : Presses Universitaires de France.

Delorme, A., & Flückiger, M. (2003). *Perception et réalité : une introduction à la psychologie des perceptions*. Paris : Édition De Boeck (Collection Neurosciences et Cognition).

Dutriaux, L., & Gyselinck, V. (2016). Cognition incarnée : un point de vue sur les représentations spatiales. *L'Année psychologique*, 116(3), 419-465.

- Fuchs, P. (2018). Les enjeux et les risques de la démocratisation de la RV-RA. In B. Arnaldi, P. Guitton, & G. Moreau (Eds.), *Réalité virtuelle et réalité augmentée : Mythes et réalités* (pp. 299-311). London : ISTE Editions.
- Garçon, A.-F. (2012). *L'imaginaire et la pensée technique. Une approche historique, XVI^e-XX^e siècle*. Paris : Éditions Classiques Garnier (Collection Histoire des techniques).
- Geslin, P. (1999). *L'Apprentissage des mondes. Une anthropologie appliquée aux transferts de technologies*. Toulouse : Octarès/ Paris : Éditions de la Maison des Sciences de l'Homme.
- Geslin, P. (Ed.). (2017a). *L'anthropotechnologie : Cultures et Conception*. London : ISTE Éditions (Collection Sciences, Société et Nouvelles Technologies).
- Geslin, P. (2017b). 4. La beauté de l'équation. L'anthropologue et l'ingénieur dans les processus de conception. In G. Anichini, F. Carraro, P. Geslin, & G. Guille-Escuret (Eds.), *Technicité versus scientificité : tensions et équivoques* (pp. 161-183). London : ISTE Editions.
- Gibson, J.-J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Boston : Houghton Mifflin.
- Haroche, C. (2008). *L'avenir du sensible. Les sens et les sentiments en question*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Hoc, J.-M. (2004). 31. La gestion de situation dynamique. In P. Falzon (Ed.), *Ergonomie* (pp. 515-530). Paris : PUF.
- Kruijff, E., Swan, J., & Feiner, S., (2010). Perceptual issues in augmented reality revisited. *9th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality 2010: Science and Technology, ISMAR 2010 – Proceedings*, p. 3-12.
- Landragin, F. (2011). De la saillance visuelle à la saillance linguistique. In O. Inkova (Ed.), *Saillance. Aspects linguistiques et communicatifs de la mise en évidence dans un texte* (pp. 67-84). Besançon : Presses Universitaires de Franche-Comté, Annales Littéraires de l'Université de Franche-Comté.
- Le Breton, D. (2013). *L'adieu au corps*. Paris : Ed. Métailié.
- Leplat, J., & Cuny, X. (1977). *Introduction à la psychologie du travail*. Paris : PUF
- Levy, P. (2007). *Sur les chemins du virtuel*. Université Paris 8. https://manuscritdepot.com/edition/documents-pdf/pierre-levy-le-virtuel_01.pdf
- Mériaux, O., & Rousseau, T. (2017). Mieux travailler à l'ère du numérique : Définir les enjeux et soutenir l'action. *La Revue des Conditions de Travail - ANACT*, 6, 6-13.
- Merleau Ponty, M. (1945). *Phénoménologie de la perception*. Paris : Gallimard (Collection Bibliothèque des idées).
- Montuwy, A., Cahour, B., & Dommès, A. (2019). Using Sensory Wearable Devices to Navigate the City: Effectiveness and User Experience in Older Pedestrians. *Multimodal Technologies and Interaction*, 3(1), 1-17.
- Moreau, G., & Normand, J.-M. (2018). Voir l'invisible : de la vision par ordinateur aux réalités augmentée et Virtuelle. *Revue Française d'Histotechnologie*, 30(1), 51-71.
- Pinet, J. (2011). *Traitement de situations inattendues d'extrême urgence en vol : test d'un modèle cognitif auprès de pilotes experts*. Thèse de doctorat, Psychologie et Ergonomie. Université de Toulouse 2 Le Mirail.
- Poizat, G., & Durand, M. (2017). Réinventer le travail et la formation des adultes à l'ère du numérique : état des lieux critique et prospectif. *Raisons Éducatives*, 21, 10-28.

- Sadin, É. (2015). *La vie algorithmique. Critique de la raison numérique*. Paris : L'Échappée (Collection « Pour en finir avec »).
- Salini, D., Sarmiento Jaramillo, J., Goudeaux, A., & Poizat, G. (2018). Professions de servicio y digitalización : implicaciones y sugerencias para la concepción de procesos de formación. *Laboreal*, 14(2). http://laboreal.up.pt/files/articles/15_30_3.pdf
- Serres, M. (2013). *Variations sur le corps*. Paris : Édition Le Pommier.
- Svétoslavova A., Burkhardt, J.-M., Mégard, C., & Ehanno, P. (2007). L'ergonomie de la réalité augmentée pour l'apprentissage : une revue. *Le travail humain* 2007/2(70), 97-125.
- Theureau, J. (2004). *Le cours d'action : méthode élémentaire (2^e édition)*. Toulouse : Octarès.
- Valenduc, G. (2017). Au doigt et à l'œil. Les conditions de travail dans des environnements digitalisés. *Hesamag, ETUI*, 2017(2), 12-16.
- Valenduc, G., & Vendramin, P. (2019). La fin du travail n'est pas pour demain. *Notes de prospective, ETUI, The European Trade Union Institute*, 6, 1-16.
- Varela, F., Thompson, E., & Rosch E. (1993). *L'inscription corporelle de l'esprit. Sciences cognitives et expérience humaine*. Paris : Édition Le Seuil. (Collection « La couleur des idées »).
- Vermersch, P. (2006). Contrepoint. L'explicitation phénoménologique à partir du point de vue radicalement en première personne. In F. Jeffroy, J. Theureau, & Y. Haradji (Eds.), *Relation entre activité individuelle et activité collective* (pp. 129-146). Toulouse : Octarès.
- Wisner, A. (1997). *Anthropotechnologie : vers un monde industriel polycentrique*. Toulouse : Octarès.

NOTES

1. Projet financé par la fondation Hasler (thématique « Cyber-Human Systems »), porté par la Prof. Sabine Süsstrunk de l'EPFL.
2. « La fatigue visuelle est causée par la répétition d'efforts visuels (par exemple, la répétition de changements importants dans la distance de convergence) et elle associe, le plus souvent, des symptômes perçus à des signes physiologiques. » Arnaldi, B., Cotin, S., Couture, N., Dautin, J.-L., Gouranton, V., Gruson, F., & Lourdeaux, D. (2018). RA and AR - Myths and Realities. Paris : ISTE Ed. p. 185
3. L'inconfort visuel est une gêne visuelle perçue immédiatement par l'observateur par l'intégration d'une ou plusieurs sensations négatives (par exemple, douleur oculaire, irritation, vision double ou floue, difficulté à converger, etc.). » (*Ibid.*)
4. Mode feu : échelle colorimétrique allant de 0-650°, Mode Personne : 0-60°. Chaque mode possède un sous-mode « fixe » (contraste constant) et « adaptatif » (contraste qui varie en fonction de l'environnement thermique).
5. Les situations de tests sont décrites dans la partie 4.2.1.
6. Pour éviter l'apport d'oxygène.
7. Instructeur, Centre de Formation La Rama, novembre 2016.
8. L'explosion de fumée (Backdraft) est un ensemble de fumées surchauffées, accumulées dans un volume clos et qui explose lors d'un apport d'air. C'est alors qu'il prend toutes les caractéristiques d'une explosion : souffle, déflagration, etc. (CIS Pont de Chéruy : <http://cs.pontdecheruy.free.fr/livres/livre2/2113.html>)
9. Modèle Bullard Eco X (écran 2,75', résolution 240x180 px, HFOV : 60°, Haut : 60°, Bas : 40).
10. Intermédiaire, 26.06.2019, Neuchâtel (chaufferie).
11. Expert, 19.03.2019, Neuchâtel (chaufferie).

12. Expert, 19.03.2019, Neuchâtel (chaufferie).
13. De nombreux travaux ont démontré ce point, mais notons particulièrement l'étude de Charbonneau (2010), étude clinique sur les systèmes d'aide à la vision nocturne en aérospatial : « Il existe alors une rivalité entre l'œil "aidé" qui voit l'image sur l'écran et l'œil "non aidé" qui voit la scène extérieure. Il en résulte une dégradation de la perception de la qualité de l'image. Les informations extraites de ces images peuvent provoquer des difficultés de reconnaissance de cibles et, plus globalement, une diminution des performances visuelles » (p. 58).
14. Novice, 12.03.2019, Neuchâtel (chaufferie).
15. Expert, 19.03.2019, Neuchâtel (chaufferie).
16. L'écran Moverio utilisé dans S.A.V.E. projetant une image virtuelle de 2 m à 5 m de distance permettait de conserver une zone « libre du virtuel » suffisamment grande pour assurer cette « sortie oculaire ».
17. Expert, 27.09.2019, Colombier (camp d'entraînement pompier), condition extérieure.
18. « La saillance désigne avant tout l'émergence d'une figure sur un fond, c'est-à-dire la mise en avant d'un élément dans un message. » (Landragin, 2011).
19. Novice, 18.03.2019, Neuchâtel (chaufferie).
20. Novice, 18.03.2019, Neuchâtel (chaufferie).
21. L'ordre étant établi de manière aléatoire pour chaque participant, pour que la chronologie d'usage de chaque dispositif ait le moins d'influence possible.
22. Expert, 19.03.2019, Neuchâtel (chaufferie).
23. Expert, 27.09.2019, Colombier (camp d'entraînement pompier), condition fumée blanche.
24. Expert, 30.09.2019, Colombier (camp d'entraînement pompier).
25. Ce point est notamment issu des données de verbalisations post test, mais aussi des récits d'expérience qui ne sont pas présentés ici.
26. Lors d'intervention feu, les SP sont munis de masques et bouteilles d'oxygène de 6 à 9 litres (soit 20 à 40 min par porteur).
27. Expert, 30.09.2019, Colombier (camp d'entraînement pompier).
28. En ce sens, nos résultats se rapprochent des constats réalisés sur l'intégration de la RA dans le domaine de la chirurgie : « La chirurgie repose essentiellement sur la perception visuelle et les chirurgiens sont entraînés à interpréter les incohérences visuelles comme des indices d'un éventuel problème ou d'une pathologie. Afin de rendre les représentations les plus réalistes possible, il faut donc intégrer chaque détail géométrique ou de texture dans cette représentation et ne pas les supprimer pour alléger la représentation comme il est courant de faire dans d'autres domaines (conception industrielle, architecture, etc.) », Arnaldi, B., Cotin, S., Couture, N., Dautin, J.-L., Gouranton, V., Gruson, F., & Lourdeux, D. (2018). *Virtual Reality and Augmented Reality - Myths and Realities*. Paris : ISTE Éditions, Ch. 1 p. 43.
29. La « représentation spatiale » réfère ici à la manière dont un individu se représente les éléments d'un environnement ainsi que leurs positions absolues et relatives. (...). Une représentation spatiale se construit notamment à partir de deux sources : une externe, la perception, et une interne, la mémoire » (Dutriaux & Gyselinck, 2016, p. 422).
30. « L'affordance spécifie les actions potentiellement applicables sur les éléments d'un environnement, en référence au corps de l'organisme et à la capacité de ce dernier à agir, étant donné la position actuelle de ces éléments par rapport à l'organisme (par ex., la "montabilité" ou l'"asseyabilité" d'un escalier ou d'une chaise pour un certain organisme à un moment donné) » (Dutriaux & Gyselinck, 2016, p. 423).
31. Boyd, J. (2007). *Using Hands-Free Thermal Imaging Cameras*. *Fire Engineering Magazine*. 160. 95-97.

RÉSUMÉS

Les technologies de Réalité Augmentée (RA) sont en pleine explosion et commencent à être utilisées dans différents domaines d'activité. Toutefois, peu de travaux étudient leur impact sur les dimensions perçues par l'utilisateur en activité. À travers un projet de recherche visant à développer un dispositif de RA d'imagerie thermique pour les sapeurs-pompiers, nous avons étudié les dimensions perceptives à l'œuvre dans une activité médiatisée par la RA. À travers une méthodologie originale articulant l'approche anthropotechnologique et la cognition incarnée, nous avons étudié d'une part le rôle de l'imagerie thermique telle qu'elle est utilisée aujourd'hui dans les interventions incendie et les dynamiques sensorielles convoquées, avant de présenter les résultats issus de mises en situations réalistes réalisées avec un dispositif prototypique. Ces simulations nous ont permis d'observer de nouvelles formes d'agir avec le dispositif dans des environnements aux propriétés proches du réel et de poser des hypothèses sur la transformation des dynamiques perceptives et plus largement de l'engagement des corps dans l'action, générée par la vision augmentée.

While there is an ever-increasing number of Augmented Reality (AR) technologies that are starting to be used in different fields of activity, few studies have explored their impact on the dimensions perceived by users during their activities. Taking a research project that aims to develop a thermal-imaging AR device for firefighters, we studied the perceptual dimensions at work in an AR-mediated activity. Using an original methodology that combines the anthropotechnological approach with embodied cognition, we studied the role of thermal imaging as it is used today in firefighting interventions and the sensory dynamics involved, before presenting the results of realistic scenarios performed with a prototypical device. These simulations allowed us to observe new forms of behaviour with the device in environments close to reality and to develop hypotheses on the transformation of perceptual dynamics and more broadly of the engagement of bodies in action, generated by augmented vision.

INDEX

Mots-clés : réalité augmentée, anthropotechnologie, perception, corps, cognition incarnée

Keywords : augmented reality, anthropotechnology, perception, body, embodied cognition

AUTEURS

CAROLE BAUDIN

Haute École Arc Ingénierie, HES-SO (Haute École Suisse Spécialisée de Suisse Occidentale), Espace de l'Europe 11, 2000 Neuchâtel (Suisse), carole.baudin@he-arc.ch

LAURA MAILLARD

Haute École Arc Ingénierie, HES-SO (Haute École Suisse Spécialisée de Suisse Occidentale), Espace de l'Europe 11, 2000 Neuchâtel (Suisse), laura.maillard@he-arc.ch