



HAL
open science

**Quelques applications de la réalité augmentée :
Nouveaux modes de traitement de l'information et de la
communication. Effets sur la perception, la cognition et
l'action**

Jean-Marc Cieutat

► **To cite this version:**

Jean-Marc Cieutat. Quelques applications de la réalité augmentée : Nouveaux modes de traitement de l'information et de la communication. Effets sur la perception, la cognition et l'action. Synthèse d'image et réalité virtuelle [cs.GR]. Université Paul Sabatier - Toulouse III, 2013. tel-00802259

HAL Id: tel-00802259

<https://theses.hal.science/tel-00802259>

Submitted on 19 Mar 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Université Paul Sabatier de Toulouse III

Mémoire pour l'obtention du titre d'
Habilitation à Diriger des Recherches
Spécialité : Informatique

Quelques applications de la réalité augmentée :
Nouveaux modes de traitement de l'information et de la communication
Effets sur la perception, la cognition et l'action

Jean-Marc CIEUTAT

soutenue le 13 mars 2013

JURY

B. Arnaldi : Professeur, INSA de Rennes rapporteur
G. Moreau : Professeur, École Centrale de Nantes rapporteur
S. Otmane : Professeur, Université d'Évry rapporteur
P. Guitton : Professeur, Université Bordeaux 1 président
J.P. Jessel : Professeur, Université Paul Sabatier de Toulouse III directeur
A. Gbodossou : Professeur, Université du Québec examinateur
T. Penet : Laster Technologies industriel

Préface

De la réalité virtuelle à la réalité augmentée, tel est mon parcours de recherche. Dans cette continuité, le modèle initié par Gibson (1966) qui étudie les interactions de l'homme avec son environnement, sous la forme d'une boucle de perception, cognition et action, aura inspiré mes travaux depuis les simulateurs d'entraînement en réalité virtuelle jusqu'à la présentation de cette Habilitation à Diriger des Recherches sur la réalité augmentée. Dans ce contexte, c'est une pleine satisfaction d'avoir pu accompagner Sébastien Bottecchia, Olivier Hugues, Nehla Ghouaiel, et je l'espère qu'il en sera de même pour Emeric Baldisser qui débute son parcours de recherche. J'exprime toute ma gratitude à Jean-Pierre Jessel et à Pascal Guitton qui ont rendu possible la réalisation de tous ces travaux.

Lecture du mémoire

Afin de faciliter la lecture du mémoire, des symboles ont été ajoutés.



Ce symbole est une invitation à découvrir un contenu.



Ce symbole est associé à un avertissement. Il est nécessaire d'apporter un complément d'information pour faciliter la compréhension de ce qui va suivre.



Ce symbole est présent lorsqu'une discussion demande à être engagée.

Table des matières

1. Introduction	6
2. Qu'est-ce que la réalité augmentée ?	8
2.1 Définitions techniques communément admises	8
2.2 Nos définitions techniques	9
2.3 Définitions fonctionnelles	10
2.4 Discontinuité du réel et du virtuel plutôt que continuité	11
2.5 Méthode de conception d'une application de réalité augmentée	12
2.6 Calcul de la pose de la caméra	13
3. Aide à la navigation et à la conduite : perception augmentée	14
3.1 Vers un nouvel outil d'aide à la navigation	14
3.2 Un nouvel environnement de réalité mixte	16
3.3 Perception augmentée et perception active	17
3.4 Nos contributions scientifiques et technologiques	19
3.4.1 Méthode de développement d'une application de réalité augmentée	19
3.4.3 Calcul de la pose de la caméra et détection de la ligne d'horizon	19
3.5 Continuité des travaux : aide à la manœuvre	25
3.6 Conclusion du chapitre	25
4. Enseignement et apprentissage : pédagogie active	26
4.1 De nouveaux outils pour la pédagogie active	26
4.2 L'e-inclusion et la réalité augmentée	27
4.3 Jeux sérieux de réalité augmentée pour apprendre l'électromagnétisme	28
4.4 Expérimentation et modélisation scientifique	30
4.4.1 Expérimentation scientifique et raisonnement inductif	31
4.4.2 Plate-forme de modélisation et de tests scientifiques	32
4.5 Apprentissage de gestes techniques	33
4.6 Conclusion du chapitre	35
5. Téléassistance collaborative : télé-présence augmentée	37
5.1 Naissance d'une problématique	37
5.1.1 Facteur humain et topologie de l'erreur	37
5.1.2 L'aide au travail	38
5.1.3 Les supports traditionnels de l'aide	39
5.1.4 De nouveaux systèmes d'assistance	40
5.2 Présentation du système TAC : télé-présence augmentée	42
5.2.1 Les paramètres à prendre en compte	42
5.2.2 Description du système TAC	43
5.3 Logiciel de réalité mixte pour le tracé d'un réseau	49
5.4 Conclusion du chapitre	49
6. Une nouvelle interface avec le monde : les guides virtuels humains	50
6.1 Introduction	50
6.2 Etat de l'art	51
6.2.1 Un guide touristique virtuel autonome	51
6.2.2 Les agents conversationnels	51
6.3 Applications	52
6.3.1 Mise en scène d'un guide touristique virtuel	52
6.3.2 Découverte et observation de la nature	53

6.3.3 Découverte de l'héritage culturel et historique d'une ville	54
6.3.4 Méthode de recalage hybride	56
6.4 Conclusion du chapitre	56
7. Conclusions et bilans	57
7.1 Les travaux présentés dans le mémoire.....	57
7.2 Recherche transdisciplinaire et innovation technologique	59
Bibliographie.....	60
Annexe 1 : Curriculum Vitae	68
Annexe 2 : Liste des publications se rapportant à la Réalité Augmentée	70

Liste des figures

2.1 : Continuum entre la réalité et la réalité virtuelle	7
2.2 : Plusieurs métaphores d’affichage des augmentations	8
2.3 : Taxonomie fonctionnelle de la réalité augmentée	9
2.4 : Exemples de fonctionnalité de réalité augmentée	10
3.1 : Exemples d'outils de navigation	14
3.2 : Vue allocentrée avec itinéraire à suivre et balises	14
3.3 : Les balises sont présentes dans les deux vues	15
3.4 : Détection de bois flottant à la surface de l'eau	16
3.5 : Fonction de réalité documentée	16
3.6 : Fusion de la surface de la mer avec la profondeur	17
3.7 : Visualisation du fond et de la côte	17
3.8 : Détection de la ligne d'horizon et des navires en mouvement	17
3.9 : Positionnement des cibles dans l'outil de navigation	18
3.10 : Méthode hybride	19
3.11 : Espace projectif	19
3.12 : Degrés de libertés et extraction de caractéristiques depuis l’espace projectif	19
3.13 : Définition du centre du repère du navire avec une position arbitraire des capteurs embarqués	20
3.14 : Modèle géométrique de la caméra	21
3.15 : Délimitation de la zone où sera appliquée le traitement d'image	22
3.16 : Différentes étapes de l'analyse d’image d’une image thermique	23
3.17 : Tests de performance en fonction de la résolution des images	23
3.10 : La mine OSISKO de Malartic au Québec	24
4.1 : Réalité documentée de type « encyclopédie »	26
4.2 : Le processus d’indexation d’image	27
4.3 : Mesure d'un courant induit	28
4.4 : Interfaces tangibles du jeu	28
4.5 : Exercice réussi	28
4.6 : Un autre exercice réussi	29
4.7 : Un exercice mal engagé	29
4.8 : Le pendule de Foucault (animation Wikipédia)	30
4.9 : Dispositif expérimental de Foucault pour calculer la vitesse de la lumière	31
4.10 : Exemples de simulateur d’entraînement	32
4.11 : Affichage en vision directe de type « Optical-See-Through »	33
4.12 : Affichage en vision indirecte de type « Video-See-Through »	33
4.13 : Le masque MG1 de Laster Technologies	34
4.14 : Entraînement assisté à l'apprentissage de la soudure	34
5.1 : Opérateur effectuant une tâche de maintenance en suivant les instructions virtuelles	39
5.2 : Le système de réalité augmentée du constructeur automobile BMW	40
5.3 : Le système WACL	40
5.4 : Le système CAMKA	41
5.5 : Le système TAC	43
5.6 : Les lunettes MOVST	43
5.7 : Représentation du champ visuel de l’opérateur portant un dispositif « See-Through » sur l’œil droit .	44
5.8 : IHM de l'expert supportant le POA	44
5.9 : Désignation et sélection d’éléments dans un flux vidéo	44
5.10 : Exemples de collaborations à distance	45
5.11 : Méthode d'implémentation d'une désignation ou « Picking »	46
5.12 : traitement de la latence opérateur	47
6.1 : Processus pour la mise en scène d’un guide touristique virtuel autonome	50
6.2 : Le palais des festivals redevenu la gare du midi	52
6.3 : Exemple de morphing intelligent	53
6.4 : Explication du phénomène naturel qu'est l'érosion par un personnage scientifique	53
6.5 : Visite guidée dans le centre-ville de Bayonne	54
6.6 : Histoire de l’église Sainte-Eugénie à Biarritz	55
6.7 : Modèle 3D de contours de musée basque	55

1. Introduction

La **réalité augmentée** est une discipline assez ancienne, apparue dans les années 60, mais qui suscite encore aujourd'hui de très nombreuses interrogations, quant à sa nature, ses applications possibles et son devenir.

Pour mieux l'appréhender, nous commençons le mémoire par reporter les définitions traditionnellement acceptées par la communauté scientifique. Puis nous y ajoutons nos propres définitions afin de compléter les connaissances liées au domaine. Entre autre, parmi toutes les formes pour lesquelles mondes numériques et monde réel s'entremêlent constitutives de la réalité mixte, nous serons amené à distinguer la réalité augmentée de la virtualité augmentée.

Nous présentons ensuite des applications de réalité augmentée que nous pensons être originales. Il y va de l'aide à la navigation comme de l'assistance à la conduite de véhicules et d'engins divers, en passant par l'expérimentation scientifique et l'apprentissage de gestes techniques, jusqu'à la téléassistance collaborative à travers internet, pour finir par partir en voyage accompagné d'un guide touristique virtuel.

Tout d'abord, ces applications ont la particularité de s'apparenter à de nouveaux modes de communications que les progrès fulgurants des nouvelles technologies de l'information et de la communication et de l'informatique mobile n'avaient pas nécessairement laissé entrevoir. Ces nouveaux modes de communication résultent de la richesse des univers de réalité mixte proposés, impliquant des communications multimodales alliant d'ailleurs parfois communications verbales avec communications non verbales. C'est le premier point qui aura motivé la rédaction de ce mémoire. Nous nous en expliquerons. Nous l'illustrerons notamment au travers des métaphores et des paradigmes d'interactions que nous aurons pu proposer au cours de nos travaux comme :

- « La réalité cliquable versus la réalité cliquée » au sein d'un Système d'Information Géographique Maritime Augmentée (**SIGMA**) ;
- « Comment faire ? » dans une plate-forme de pédagogie active basée sur l'utilisation des NTIC et de la réalité augmentée (**PedagoAcTIC**) ;
- ou encore le « POA » (« Picking Outlining Adding ») dans un environnement de Télé-Assistance Collaborative (**TAC**) ;
- « Suivez-moi que je vous montre et que je vous explique ! » dans le système **MARTS** (« Mobile Augmented Reality Tourism System »).

Se pencher sur la réalité augmentée amène à s'interroger sur la **réalité humaine**. C'est le deuxième point qui aura motivé la rédaction de ce mémoire, et qui ne peut être abordé sans s'investir dans les sciences humaines et sociales. Ce sont l'ensemble des disciplines qui se donnent pour objet d'étude divers aspects de la réalité humaine. De ces divers aspects, nous nous pencherons tout particulièrement sur le cycle perception, cognition et action caractéristique du comportement humain. Ce cycle se trouve être modifié dans un environnement de réalité virtuelle. Qu'en est-il en réalité augmentée ? Comment, par exemple, la réalité augmentée peut-elle nous aider à mieux percevoir notre environnement, à mieux comprendre et analyser une situation donnée ou encore à nous assister dans l'exécution d'une tâche ? Pour aborder ces questions, nous serons également amenés à aborder le domaine de la psychologie cognitive¹ pour traiter successivement de :

- perception augmentée et de perception active dans le premier chapitre consacré au système **SIGMA**,
- de pédagogie active dans le chapitre suivant consacré à de nouveaux systèmes d'apprentissage basés sur l'utilisation de la réalité augmentée (**PedagoAcTIC**),

1. La psychologie cognitive étudie les grandes fonctions psychologiques de l'être humain selon la perspective cognitive, c'est-à-dire en l'envisageant comme un système de traitement de l'information.

- de collaboration à distance et de co-présence dans le chapitre suivant consacré au système **TAC**,
- de tourisme et de culture, séparation de l'acquis de l'innée, regroupant les traits distinctifs d'un groupe social, dans le dernier chapitre consacré au système **MARTS**.

Enfin, des questions se posent quant à l'efficacité d'un système de réalité augmentée. La réalité augmentée doit-elle perpétuellement rester au stade de prototypes et de démonstrateurs ou peut-on envisager des exploitations industrielles ? Nous essaierons de répondre à ces questions à partir de l'analyse des tests des expérimentations des nouvelles applications de réalité augmentée que nous aurons pu proposer.

2. Qu'est-ce que la réalité augmentée ?

2.1 Définitions techniques communément admises

Le terme de réalité augmentée a été utilisé pour la première fois en 1992 par Tom Caudell et David Mizell pour nommer la superposition de matériel informatisé sur le monde réel. Par la suite, l'expression a été précisée par Paul Milgram et Fumio Kishino (1994) dans leur article fondateur « Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays ». Ils y décrivent un continuum entre le monde réel et le monde virtuel (baptisé **réalité mixte**) où la réalité augmentée évolue près du monde réel tandis que la virtualité augmentée évolue près du monde virtuel (Figure 2.1).

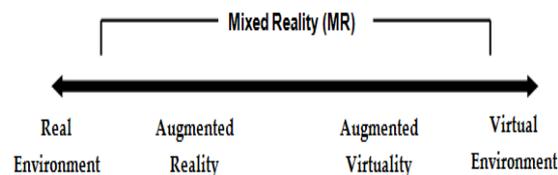


Figure 2.1 : Continuum entre la réalité et la réalité virtuelle

En 1997, Ronald Azuma développera une définition complémentaire qu'il complètera en 2001 et qui constituera, avec l'approche de Milgram et Kishino (1994), les deux définitions communément admises de la réalité augmentée. Selon Azuma (2001), un système de réalité augmentée est un système qui complète le monde réel avec des objets virtuels (générés par ordinateur) de telle sorte qu'ils semblent coexister dans le même espace que le monde réel. Ce qui dans les deux cas l'amènera à définir les caractéristiques d'un système de réalité augmentée par les trois propriétés suivantes :

1. « combiner le réel et le virtuel ». Au monde réel en trois dimensions doivent être intégrées des entités également en trois dimensions.
2. « interactivité en temps réel ». Cela exclut notamment les films bien que la condition précédente soit respectée.
3. « recalage en trois dimensions ». Cela permet de faire coïncider visuellement les entités virtuelles avec la réalité.

L'affichage des augmentations peut s'effectuer en vision directe ou en vision indirecte s'il s'effectue au moyen d'un écran. On parle souvent de métaphores d'affichage comme celle du miroir (Figure 2.2a), celle du « smartphone ouvert sur l'environnement » (Figure 2.2b), celle de la vision à travers des lunettes (Figure 2.2c) ou encore à travers un vitrage (Figure 2.2d), ...



(a) Miroir (www.ray-ban.com) (b) Smartphone ouvert sur l'environnement (c) Lunettes (Anastassova 2006)



(d) Vision à travers les vitres de la passerelle (Hugues 2010)

Figure 2.2 : Plusieurs métaphores d'affichage des augmentations

Comme l'ont fait remarquer de nombreux auteurs, la définition d'Azuma (2001) est déjà restrictive dans sa première propriété quand elle limite la réalité augmentée à des augmentations en trois dimensions. La troisième propriété l'est également dans la mesure où la précision du recalage ne se justifie pas systématiquement. Partant de constats, la définition proposée par Fuchs et Moreau (2001) est alors moins restrictive. Elle nous dit que la réalité augmentée regroupe l'ensemble des techniques permettant d'associer un monde réel avec un monde virtuel, spécialement en utilisant l'intégration d'images réelles avec des entités virtuelles : images de synthèse, objets virtuels, textes, symboles, schémas, graphiques, ...

2.2 Nos définitions techniques

L'ensemble des définitions proposées laisse définitivement peu de place au multisensoriel. Or, la réalité augmentée a aujourd'hui dépassé le stade du recalage d'indices virtuels dans un flux vidéo. Par exemple, le système MARTS proposé par Nehla Ghoulail (2011) comprend un casque audio qui permet de transmettre les sons par conduction osseuse sans obstruer le canal auditif interne (Audiobone) et une ceinture tactile qui procure des indications de direction au moyen de vibrations. La distinction entre les augmentations sonores par écouteur versus par conduction osseuse est proche de celle établie entre les augmentations visuelles de type VST (« Video-See-Through ») versus OST (« Optical See-Through »).

Sébastien Bottecchia (2010) aura proposé une définition alors plus générale de la réalité augmentée comme étant la combinaison de l'espace physique avec l'espace numérique dans un contexte sémantiquement lié. « *Nous dirons que la réalité augmentée est la **combinaison** de l'espace physique avec l'espace numérique dans **un contexte sémantiquement lié** dont l'objet des associations réside dans le monde réel.* » À l'opposé, on pourrait définir la virtualité augmentée comme étant également la combinaison de l'espace physique avec l'espace numérique dans un contexte sémantiquement lié mais dans lequel l'objet de la tâche réside dans le monde informatique. Emmanuel Dubois (2009) précise que les systèmes considérés visent à rendre l'interaction plus réaliste.

De manière analogue à la définition proposée par Bruno Araldi & al. (2003) relative à la réalité virtuelle, Olivier Hugues (2011a) proposera une définition technique de la réalité augmentée :

« *La réalité augmentée est un domaine scientifique et technique exploitant l'**informatique** (1) et des **interfaces comportementales** (2) en vue de simuler dans un **monde mixte** (3) le comportement d'**éléments artificiels** (4) qui sont en **interaction en temps réel** (5) entre elles, avec l'environnement naturel et avec un ou des utilisateurs en **immersion naturelle ou pseudonaturelle** (6) par l'intermédiaire de canaux sensorimoteurs.* »

1. l'exploitation de l'**informatique**, qu'il s'agît du matériel ou du logiciel est une évidence pour réaliser techniquement un environnement mixte interactif qui puisse être interfacé avec l'utilisateur. Les simulations sont dynamiques. Objets, personnages et animaux virtuels, sons, phénomènes, ..., sont animés en temps réel suivant des lois physiques (mécaniques, optiques, ...) et plus rarement en y apportant une dimension humaine (psychologiques, sociales, affectives, ...);

2. la réalité augmentée exploite des interfaces matérielles que nous appelons, eu égard à leurs correspondances avec les interfaces de la réalité virtuelle des **interfaces comportementales** (Fuchs et Moreau 2006, Chap. 2, Vol. 2). Elles sont donc aussi composées "d'interfaces sensorielles", "d'interfaces motrices" et "d'interfaces sensorimotrices". Les interfaces sensorielles informent l'utilisateur par ses sens de l'état du monde mixte. Les interfaces motrices permettent au système de connaître les actions de l'utilisateur sur le monde mixte et les interfaces sensorimotrices informent dans les deux sens ;

3. la création d'un **monde mixte** se fait en combinant le monde virtuel au monde réel. Les associations entre ces deux mondes peuvent être de plusieurs ordres (spatiale, temporelle, sémantique) mais, quel que soit leur nature, les difficultés à combiner le monde virtuel au monde réel repose sur le maintien d'une cohérence forte entre les entités virtuelles et les entités réelles ;

4. nous entendons par **éléments artificiels** tous types d'entités numériquement créées. Ces entités peuvent représenter indifféremment un symbole, du texte, une image, un son, une odeur, une vidéo, un modèle en 2D ou en 3D, un effet tactile, ... ;

5. **l'interaction en temps réel** est obtenue si l'utilisateur ne perçoit pas de décalage temporel (latence) entre son action sur l'environnement mixte et la réponse de ce dernier. La difficulté est ici de maintenir la cohérence entre les entités virtuelles et le monde réel lorsque l'utilisateur agit sur le monde réel. Cette action doit être gérée par le système pour affecter le monde virtuel en conséquence et inversement si l'action de l'utilisateur vise les entités virtuelles ;

6. si certains auteurs se sont parfois appuyés sur le caractère non immersif de la réalité augmentée pour la différencier de la réalité virtuelle, il s'avère pourtant que l'utilisateur d'un système de réalité augmentée peut aussi être en situation d'immersion pseudonaturelle, étant donné qu'il doit interagir avec un environnement partiellement modélisé via des interfaces comportementales pour lesquelles des biais sont créés indépendamment de la volonté des concepteurs. Donc, loin d'une différence de nature mais plutôt de degré entre l'immersion en réalité virtuelle et l'immersion en réalité augmentée, l'utilisateur doit être en **immersion pseudonaturelle** la plus efficace possible dans le monde mixte lorsqu'il n'est pas en situation d'**immersion naturelle**.

2.3 Définitions fonctionnelles

On trouve plusieurs taxonomies fonctionnelles de la réalité augmentée dans la littérature, comme celle de Jean-Yves Didier (2005), qui dressent une liste de catégories fonctionnelles basée sur la nature des associations entre le réel et le virtuel. Le lecteur trouvera dans le mémoire de thèse d'Olivier Hugues (2011) une classification de cette nature très complète. L'auteur propose deux catégories principales distinguant toute finalité imaginaire d'une perception-action augmentée de la réalité qui se décomposent ensuite en plusieurs sous-catégories (Figure 2.3).

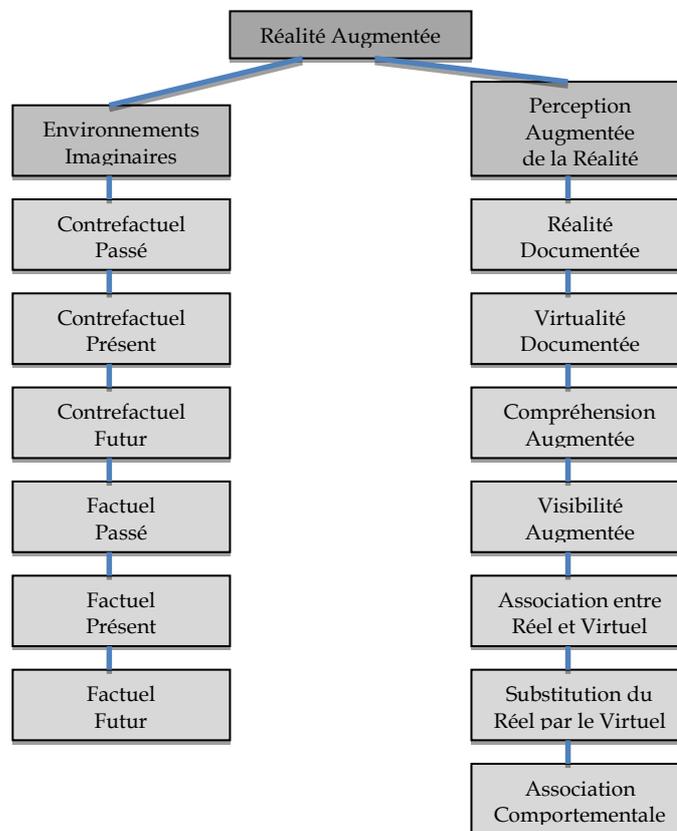


Figure 2.3 : Taxonomie fonctionnelle de la réalité augmentée

Un environnement imaginaire est classé à partir de l'utilisation des deux variables que sont la variable modale contrefactuelle susceptible de prendre les valeurs "*factuel*" et "*contrefactuel*" et la variable temporelle pour dissocier "*passé*", "*présent*" et "*futur*".

Une perception augmentée de la réalité peut revêtir différentes formes, allant de la fonctionnalité minimum de "**réalité documentée**" (Fig. 2.4.a) pour laquelle l'affichage du réel et du virtuel s'effectue dans deux canaux différents jusqu'à carrément substituer le réel par le virtuel. Entre ces cas extrêmes, on distingue la "**compréhension augmentée**" (Fig. 2.4.b) pour laquelle des fonctions sémantiques passives sont ajoutées pour commenter les objets réels d'une scène ou un processus à exécuter, de la "**visibilité augmentée**" (Fig. 2.4.c, Fig. 2.4.d) qui s'appuie sur les contours ou la transparence pour augmenter la visibilité des éléments d'une scène, ou encore de "**l'association entre réel et virtuel**" (Fig. 2.4.e) et de "**l'association comportementale**" (Fig. 2.4.f) pour lesquelles de nouveaux objets virtuels sont ajoutés dans un premier temps dans une scène réelle, dotés de propriétés physiques (masse, rugosité, élasticité, fluidité, ...) dans un deuxième temps pour interagir de manière physiquement réaliste avec le monde réel.

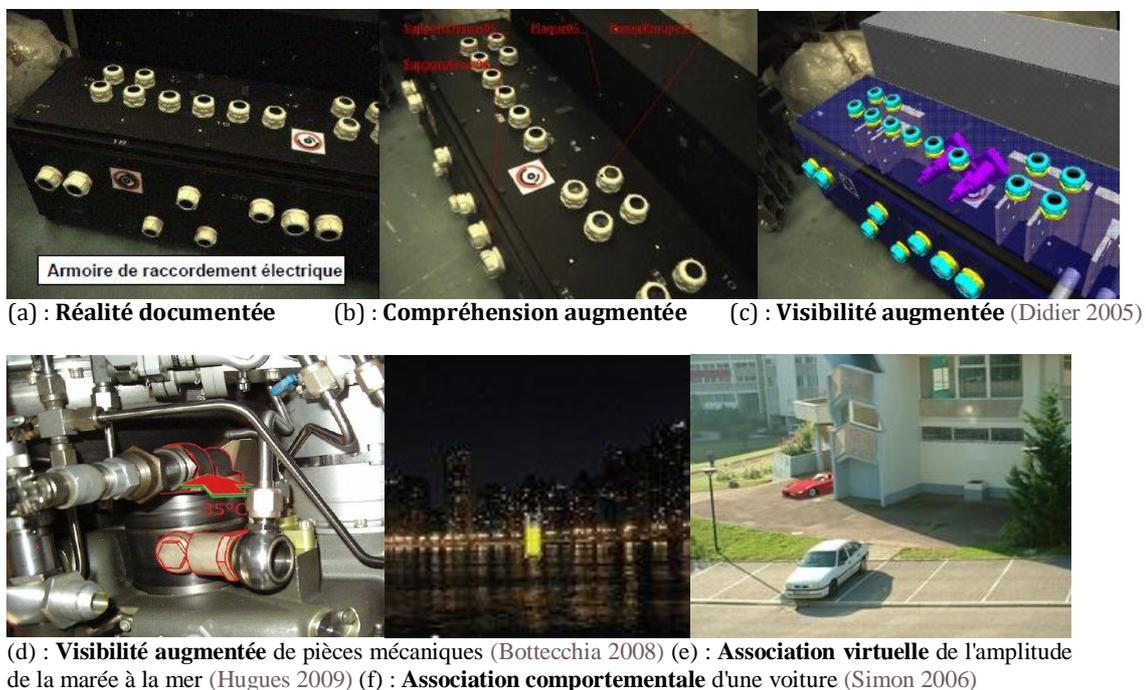


Figure 2.4 : Exemples de fonctionnalité de réalité augmentée

2.4 Discontinuité du réel et du virtuel plutôt que continuité

Le continuum proposé par Paul Milgram et Fumio Kishino (1994) (Figure 2.1) a marqué les esprits et a largement contribué à l'essor de la réalité mixte, avec aujourd'hui des communautés scientifiques très présentes et très actives aussi bien dans le domaine de la réalité augmentée que dans celui de la virtualité augmentée. Toutefois, l'existence d'un **continuum linéaire** entre le réel et le virtuel n'est pas aussi naturel qu'il y paraît.

Si l'on se réfère à la théorie, le cadre théorique de la réalité virtuelle est marqué par la conviction profonde de définir la réalité virtuelle comme une expérience médiatisée capable de susciter un sentiment de **présence** (Slater & al 1994) (Witmer & al. 1998) (Slater & al 1999). En réalité virtuelle, le sentiment de présence se définit comme étant le sentiment authentique d'exister dans un monde autre que celui où le corps se trouve. A l'opposé, la réalité augmentée est placée à l'autre extrémité du continuum de Paul Milgram et Fumio Kishino (1994), avec comme sentiment affiché celui d'exister dans le monde réel.

Une autre voie que celle d'un continuum linéaire entre réel et virtuel est celle proposée par Olivier Nannipieri et Philippe Fuchs (2009). Les auteurs considèrent que le réel et le virtuel appartiennent à un monde hybride où l'un et l'autre, s'entre-produisant, créent de nouvelles réalités. Il est considéré que la réalité et la virtualité coexistent pour former *une relation de compossibilité*. Par définition, sont compossibles deux possibles, en l'occurrence ici les caractéristiques du réel et les caractéristiques de la virtualité, si et seulement si ils sont possibles ensemble. La relation de compossibilité établie entre réel et virtuel apporte un autre éclairage de la réalité mixte. Quelles en sont les incidences sur l'espace et le temps ?

Comme le décrit de manière très à-propos Olivier Hugues dans son mémoire de thèse (2011), pour le temps, c'est bien ce qui se produit. Si le temps réel est irréversible, il existe un temps virtuel qui peut ne pas l'être. Ces deux temps, s'ils semblent s'exclure l'un l'autre sont, pourtant, compossibles : ils s'actualisent, c'est-à-dire existent, l'un "réellement", l'autre "virtuellement", dans le même monde. Ils coexistent sans contradiction logique puisque nous pouvons expérimenter autant la réalité que la réalité virtuelle. Par le biais de la réalité augmentée, nous pourrions revivre, en nous promenant à l'intérieur de ce qui est comparé aux sept merveilles du monde, les grandes époques architecturales de l'abbaye du Mont Saint-Michel, de l'architecture romane à l'architecture gothique jusqu'à façonner ce nous voyons aujourd'hui, sans aucune contradiction.

Concernant la perception de l'espace, le centre de recherche de l'institut de technologie d'Atlanta de l'état de Géorgie aux Etats-Unis, l'Interactive Media Center Technology (IMTC), propose une expérience de réalité augmentée intéressante à bien des égards. Dans une pièce fermée, des planches en bois délimitent le périmètre d'un tapis de sol qui, grâce à la réalité augmentée, se transforme en un apic sur une table située quelques étages plus bas. L'utilisateur peut marcher librement sur les planches afin de se pencher et observer le vide. Une autre planche est disposée vers le milieu de la pièce tel un promontoire au-dessus du vide ; l'utilisateur peut s'y avancer pour viser et faire tomber virtuellement une balle sur une cible placée sur la table quelques étages plus bas. Il est alors intéressant de voir l'utilisateur se comporter comme si il évoluait dans un seul univers où réel et virtuel coexistent également sans aucune contradiction logique. Au cours de l'expérience, on peut voir l'utilisateur faire preuve de beaucoup d'assurance au moment de viser et de lâcher la balle sur la cible : son attention est alors captée par la tâche à effectuer. Par contre, lorsque l'utilisateur s'aventure à marcher sur les planches sans but précis, il perd alors l'équilibre sous l'effet du vertige.

Dans le même ordre d'idées que les réflexions menées pour mieux définir le sentiment de **présence** dans un environnement virtuel (Slater & al 1994) (Witmer & al. 1998) (Slater & al 1999), nous parvenons dans un environnement de réalité augmentée à nous sentir **présent** dans les deux univers et à y évoluer simultanément.

2.5 Méthode de conception d'une application de réalité augmentée

La méthode de conception d'une application en réalité augmentée que nous proposons a été commentée, d'une part par l'auteur de ce mémoire pour son adéquation avec une approche de développement de logiciels orienté objet (Jean-Marc Cieutat 2012 et 2011a), et d'autre part par Olivier Hugues pour son adéquation avec les méthodes « agiles » de développement de logiciels (2011a). C'est une méthode qui a été testée pour la conception d'applications de réalité augmentée, comme l'entraînement à l'apprentissage d'un geste technique tel que la soudure, ou encore une application de sécurité maritime pour la SNSM (Société Nationale de Sauvetage en Mer). L'approche préconisée consiste à coupler les méthodes d'analyse en ergonomie avec celles de développements de logiciels.

Dans ce qui suit, nous présentons le couplage de la méthode de Sebillote (1994) avec la méthode de développements de logiciels RUP (« Rational Unified Process »). La méthode de Sebillote est une méthodologie pratique d'analyse de la tâche effectuée par des opérateurs humains pour en extraire les caractéristiques pertinentes d'une interface homme-machine, tandis que l'approche orientée objet est de nos jours une approche qui a fait ses preuves dans le domaine de l'industrie pour construire des systèmes de haut niveau d'abstraction, maintenables et évolutifs. La méthode de Sebillote propose d'ailleurs une représentation graphique de la modélisation proche de celle qui est proposée dans certains diagrammes UML, comme l'a déjà fait remarquer Sybille Caffiau & al. (2010). La démarche a cependant été pensée pour extraire de l'analyse de la tâche les recommandations ergonomiques que devront satisfaire l'interface homme-machine. Ici, notre objectif est, à partir de la modélisation de l'activité par une méthode de description de tâches, d'identifier les informations et les nouvelles fonctionnalités à introduire dans le système pour faciliter la complétion des tâches.

Les grandes étapes que nous proposons pour concevoir une application de réalité augmentée sont dans l'ordre :

1. Définition des situations à observer ;
2. Observation et entretiens de ces situations ;
 - (a) Observations en situation des tâches réelles ;
 - (b) Verbalisation des tâches par entretiens hors situations ;
3. Analyse de ces observations et de ces entretiens ;
4. Réalisation d'un modèle par l'utilisation d'une méthode analytique de description des tâches (MAD) ;
5. Détermination des informations nécessaires pour la complétion des tâches ;
6. Description des informations et des nouvelles fonctionnalités à introduire permettant de faciliter la complétion des tâches par des cas d'utilisation et des diagrammes de cas d'utilisation UML ;
7. À partir des diagrammes de cas d'utilisation, déployer la méthode RUP jusqu'à la réalisation du système ;
8. Phase de test basée sur les retours utilisateurs.

L'analyse des situations est une approche essentiellement fonctionnelle. Nous repartons des modèles de tâches et des informations nécessaires à la complétion des tâches pour décrire les objets en présence et les nouveaux cas d'utilisation et diagrammes de cas d'utilisation à introduire dans le système. RUP préconise ensuite une approche multivue d'un système (vue utilisateur, vue logique, vue processus et vue matérielle) pour conduire son développement. C'est une approche lourde à mettre en œuvre, qui se voit aujourd'hui concurrencée par les méthodes "agiles" de développement de logiciels.

2.6 Calcul de la pose de la caméra

Le problème sous-jacent à la réalité augmentée est le calcul de la pose de la caméra qui permet d'effectuer le recalage entre le réel et le virtuel. Or, chaque application que nous avons pu aborder nous aura conduit à rechercher une solution spécifique, différente d'une application à une autre. Une constante néanmoins est le choix récurrent de méthodes hybrides visant à satisfaire les nombreuses contraintes.

3. Aide à la navigation et à la conduite : perception augmentée

3.1 Vers un nouvel outil d'aide à la navigation

Nous pouvons rapidement perdre nos repères en milieu naturel et un environnement parfois calme et paisible, comme la mer ou à la montagne, peut rapidement se transformer en un environnement très hostile.

Il suffit pour cela que le brouillard se lève en montagne pour que nous ne sachions plus quelle direction prendre. Si nous sommes perdu, nous devons chercher à descendre mais il n'est pas toujours aisé de le faire, à cause des faux plats et du manque de visibilité. Le fait d'avoir conscience d'être perdu augmente très vite le stress, ce qui peut altérer le jugement. Et comme le froid accompagne généralement le brouillard, il nous revient à l'esprit que la montagne est dangereuse et que l'on ne s'y aventure pas sans équipement adapté. Dans pareille situation, nous devons être particulièrement réceptif à tous les éléments susceptibles de nous indiquer le chemin mais comme, l'a très bien expliqué A. Damasio dans son livre "L'erreur de Descartes" (1995), c'est oublier le stress et les émotions.

Il en va de même en mer, dès que la brume ou le brouillard se montre, que la nuit tombe, le manque de visibilité, la perte de repères, sont rapidement handicapant. La mer peut devenir soudainement un environnement très hostile. Le vent soulève les vagues. À la crainte de chavirer, s'ajoutent celle d'entrer en collision et celle de s'échouer. L'histoire de la navigation est jonchée de catastrophes dont nous pensons qu'elles auraient pu être évitées, mais là encore c'est oublier le stress et les émotions liées à la situation qui peuvent conduire à prendre une mauvaise décision.

Aux commandes, sur une passerelle de navire, la vigilance est de rigueur. Le commandant d'un chalutier a très peu de temps devant lui pour arrêter son navire et ne pas chavirer lorsque son chalut de fond se prend dans une croche. Un cargo, un navire de pêche qui tracte son filet, ne changeront pas facilement de route et, par manque de visibilité, il est difficile de distinguer feux et pavillons. Anticiper une manœuvre, c'est aussi prendre en compte l'inertie de son propre navire qui complique toute approche. Ne pas chavirer, ne pas entrer en collision, ne pas s'échouer, requièrent de développer un véritable sens de l'anticipation. Ce sens est intimement lié à la perception¹ de l'environnement, ici de l'environnement marin, et à la perception du mouvement.

Les progrès technologiques ont favorisé la démultiplication de l'électronique et de l'informatique embarquées à bord des navires, de la communication sans fil aux équipements électroniques de détection électromagnétique (radar) et acoustique (sondeur, sonar), jusqu'à l'avènement des systèmes de positionnement par satellites et des Systèmes d'Information Géographique (SIG). De nos jours, l'outil de navigation centralise les données produites par l'ensemble du matériel embarqué (radar, sondeur, GPS, ...) et les conjugue avec des bases de données cartographiques maritime, côtière ou de rivière. Parmi les éditeurs de logiciels maritimes, on trouve essentiellement deux catégories. Une première catégorie dont la centrale de navigation est compatible avec la plupart des capteurs embarqués à bord des navires (radar, sondeur, GPS, ...) comme Rose Point, éditrice du logiciel Coastal Explorer (Figure 3.1.a), ou MaxSea International, éditrice du logiciel MaxSea TimeZero (Figure 3.1.b). D'autres sociétés proposent des équipements électroniques en plus de leurs applications logicielles comme Furuno (Figure 3.1.c) ou Garmin (Figure 3.1.d).

1. En psychologie, la perception peut apparaître comme l'acte psychique le plus élémentaire qui soit : voir, entendre... les cinq sens de l'espèce humaine. À chacun des cinq sens correspond une façon de s'informer sur le monde. La perception est donc un filtre de la réalité, car nos sens, limités en nombre, le sont aussi en capacité. Les expériences de psychologie expérimentale montrent que notre perception du monde n'est pas qu'un simple enregistrement passif du monde extérieur comme le serait une photo. La perception est, à n'en pas douter, un processus complexe qui nécessite une construction mentale consciente des objets perçus, appelés "percepts".

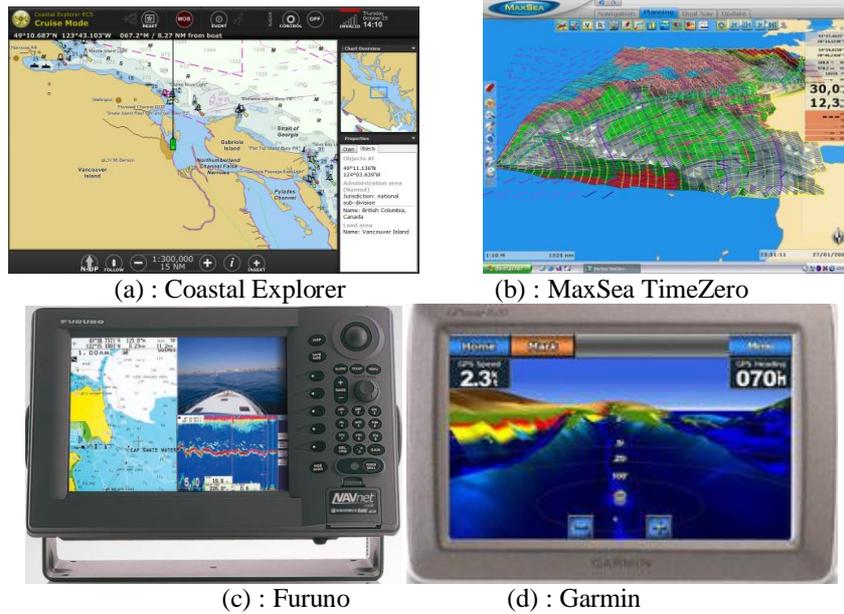


Figure 3.1 : Exemples d'outils de navigation

L'électronique embarquée à bord des navires, puis les SIG maritimes, ont considérablement amélioré les conditions de sécurité à bord des navires. Toutefois, il semblerait qu'aucun système actuel ne soit véritablement parfait en toute situation. Les radars ne sont pas exploitables en bord de côte, où se produisent pourtant la plupart des accidents, et ne permettent pas de détecter les petites cibles qui se confondent avec les bruits parasites. C'est le cas des embarcations pirates dans l'océan indien que l'on ne voit pas arriver. Aux abords des côtes, les marins préfèrent naviguer à vue et se repérer par rapport à des amers visuels. Enfin, les SIG maritimes sont aussi des outils complexes pour lesquels les erreurs ne sont pas à écarter. Xian-Zhong et Xian-Zhonh (2008) auront identifié trois sources d'erreur principales : les erreurs humaines, matérielles ou de procédure. Concernant les erreurs humaines, le manque de connaissance et d'expérience peut aussi conduire à des utilisations inappropriées du SIG (mode/échelle/date) ou à une mauvaise interprétation des informations (position, profondeur, ...).

Nous avons alors proposé dans (Olivier Hugues et al. 2010 c et 2009) d'intégrer un **système de vision** doté d'une caméra classique et d'une caméra thermique dans un logiciel de navigation maritime proche d'un environnement virtuel (Figure 3.2). L'environnement virtuel peut être enrichi de différents objets comme des balises indiquant une position géographique, des cibles radar, des cibles AIS, ...



Figure 3.2 : Vue allocentrée avec itinéraire à suivre et balises

Les caméras du système de vision, accessibles aujourd'hui à des prix grand public, offrent des performances qui dépassent les capacités de la vision humaine, comme la vision de loin et la vision nocturne, pour une **perception augmentée** de notre environnement.

3.2 Un nouvel environnement de réalité mixte

Nous proposons dans une seule et unique application, deux présentations distinctes mais complémentaires pour l'utilisateur : une vue de l'environnement virtuel et une vue de réalité augmentée (Figure 3.3).



Figure 3.3 : Les balises sont présentes dans les deux vues



En l'instant où monde numérique et monde réel se rejoignent

La caméra vidéo est motorisée sur deux axes, en azimuth avec un axe de rotation de 360° et en élévation de 90°. Un gyroscope deux axes compense les mouvements du bateau causés par le roulis. Elle dispose d'un mode de vision en noir et blanc pour une vision de jour sous une faible exposition (« lowlight ») et un mode de vision thermique ultra sensible dans le « moyen infrarouge » pour la vision nocturne. On peut la piloter de quatre manières différentes.

La première consiste à utiliser des commandes explicites. Lorsque le curseur est placé dans la fenêtre du flux vidéo et que l'utilisateur presse le bouton central de la souris, il lui est possible d'envoyer un ordre à la caméra. La vitesse de déplacement des moteurs de la caméra est directement proportionnelle à la distance qui sépare le pointeur de la souris du centre de la fenêtre du flux vidéo.

La seconde possibilité est un pilotage implicite qui ne nécessite pas de manipulation directe des degrés de liberté de la caméra. Il est possible depuis un menu contextuel de la cartographie, ou de tout objet dessiné à l'écran, de demander à la caméra de s'orienter dans la direction de l'objet ou de la zone en question, et cela à partir d'un simple clic. Par opposition au concept de « *Réalité Cliquable* » mis en avant par Laurence Nigay dans (2001), nous lui avons préféré le terme de « *Réalité Cliquée* ». La métaphore illustre le choix d'une entité sélectionnée dans le monde numérique pour ensuite la visualiser dans le monde réel. Si l'on combine les deux concepts, on pourrait imaginer un marin sélectionner un nouvel amer dans le flux vidéo, le géo-référencer dans l'environnement virtuel au moyen d'une nouvelle balise, puis sélectionner la nouvelle balise dans l'environnement virtuel chaque fois qu'il se présente aux abords des côtes pour orienter la caméra.

Il est par la suite possible d'activer un suivi de cible (mouvante ou non). Une fois la cible choisie par l'utilisateur, elle peut être verrouillée depuis un menu contextuel dans l'environnement virtuel afin que la caméra ne laisse pas la cible quitter son champ de vision. Ce verrouillage est réalisé techniquement par la mise à jour en temps réel de l'orientation de la caméra en fonction de la position de la cible ainsi que de la position et de l'orientation du bateau.

Un troisième mode de pilotage de la caméra est proposé en déplaçant une balise dans l'environnement virtuel qui aura été préalablement verrouillée. Enfin, la quatrième possibilité de piloter la caméra est le mode de supervision illustré en figure 3.4 où un objet flottant à la surface de l'eau a été détecté grâce au mode thermique de la caméra. Une fois traitée, cette information pourra déclencher une alarme.



Figure 3.4 : Détection de bois flottant à la surface de l'eau

Une des premières applications de l'environnement de réalité mixte ainsi constitué, au regard de la taxonomie fonctionnelle du chapitre 2 (Figure 2.2), est de supporter la fonctionnalité de **réalité documentée** (Figure 3.5).

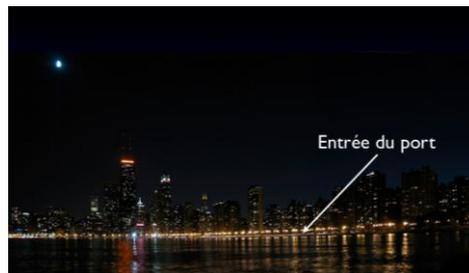


Figure 3.5 : Fonction de réalité documentée

3.3 Perception augmentée et perception active

La psychologie cognitive étudie comment l'homme perçoit et interagit avec son environnement. À ce propos, la littérature propose deux courants principaux qui définissent la perception². D'un côté, une conception passive, où le système sensoriel reçoit passivement des stimulations et traite ces informations pour s'en référer aux représentations internes. De l'autre, une conception active, où c'est notamment l'extraction de régularité entre les actions et les stimulations qui rend possible la perception. Il semble plus naturel de considérer la perception sous l'approche sensorimotrice. Déjà Gibson (1966) considérait les sens comme des systèmes perceptifs complets : « *percevoir, c'est extraire grâce aux mouvements cette information en détectant des invariants* ». L'étape suivante sera le modèle initié par Gibson (1966) sous la forme de perception, cognition et action.

Alain Berthoz (1997) ira plus loin en imaginant que nous pensons avec la totalité de notre corps : « *nous ne possédons pas seulement cinq sens. Chacun de nos sens à lui seul ne peut pas mesurer le mouvement, c'est la coopération de tous nos sens qui constitue le sixième sens : le sens du mouvement. Le cerveau doit, à partir de ces sens, reconstruire une perception unique et cohérente des relations de notre corps et de l'espace. Le cerveau est un simulateur d'action qui utilise la mémoire pour prédire les conséquences de l'action* ».

Pour une perception active de l'environnement marin et une anticipation des dangers imminents, nous avons ajouté des fonctionnalités de réalité documentée, de visibilité augmentée et de substitution du réel par le virtuel, telles qu'elles ont été présentées dans la taxonomie fonctionnelle du chapitre 2 (Figure 2.2).

2. Pour bien comprendre la perception, il faut repartir de l'idée que tout organisme vivant prélève des informations dans son environnement ; c'est une fonction vitale. Les informations sont regroupées, sélectionnées, structurées, traitées en définitive. Il y a donc bien un traitement de l'information sensorielle. Nous traitons et stockons les informations dans le système nerveux et cette trace influence de nouveau les perceptions à venir.

Visualisation de la profondeur

La turbidité de l'eau ne permet pas, cela est coutumier, de rendre compte de la profondeur sous la ligne de flottaison du navire. Une image de synthèse est alors construite à partir de la surface de la mer et de la représentation en 3D du fond dont la couleur est d'autant plus foncé que la profondeur est importante (Figure 3.6). C'est une fonctionnalité de **visibilité augmentée** au regard de la taxonomie fonctionnelle du chapitre 2.

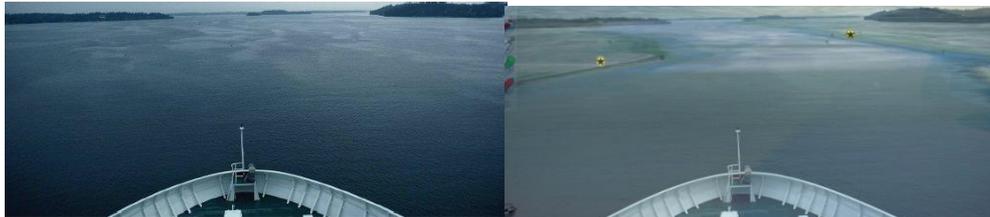
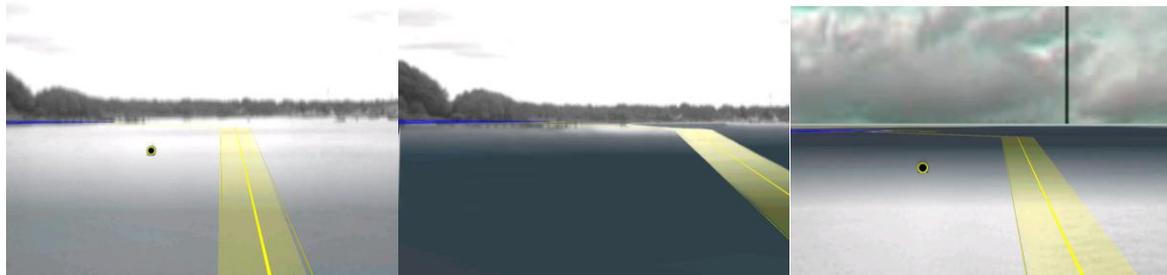


Figure 3.6 : Fusion de la surface de la mer avec la profondeur

Visualisation du fond et de la côte

De nuit, par temps de brume ou de brouillard, le fond, mais également la côte et les amers ne sont plus visibles. La route à suivre est affichée dans le flux vidéo de la caméra thermique (Fig. 3.7.a). Puis, comme précédemment, la carte des profondeurs est fusionnée avec la surface de la mer (Fig. 3.7.b). Enfin, quand la côte n'est plus visible, elle est substituée par sa représentation en 3D ; ici, la côte a été remplacée par des nuages (Fig. 3.7.b) qui constitue une fonctionnalité de **substitution du réel par le virtuel** au regard de la taxonomie fonctionnelle du chapitre 2.



(a) : Projection de la route à suivre (b) : Fusion avec la profondeur (c) : Substitution de la côte

Figure 3.7 : Visualisation du fond et de la côte

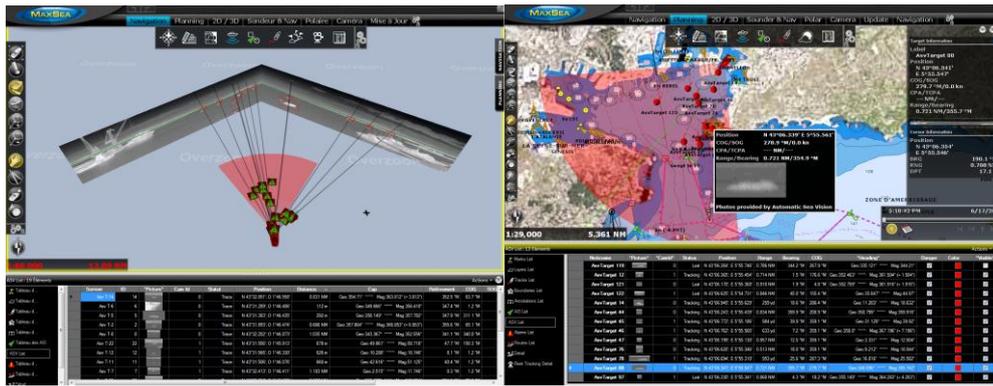
Détection de cibles

En bord de côte, comme le radar est inutilisable, on choisit l'approche basée vision pour détecter les navires en mouvement. On utilise, pour cela, l'algorithme de Samama (2010) qui consiste à appliquer l'**algorithme du sextant** entre la position du navire et celle de la ligne d'horizon (Figure 3.8).



Figure 3.8 : Détection de la ligne d'horizon et des navires en mouvement

On en déduit le cap du navire cible en mouvement et la distance qui le sépare du point de vue de la caméra. Ayant une position exprimée en coordonnées géodésiques, celle de la cible est approximée pour être positionnée (Fig. 3.9.a), puis affichée dans le SIG (Fig. 3.9.b).



(a) : Géoréférencement des cibles et de la vidéo (b) : Affichages des cibles dans le SIG

Figure 3.9 : Positionnement des cibles dans l'outil de navigation

3.4 Nos contributions scientifiques et technologiques

3.4.1 Méthode de développement d'une application de réalité augmentée

Les fonctionnalités de perception active de l'environnement marin décrites précédemment ont été implémentées à partir de la méthode dont nous savons déjà parlé dans le paragraphe 2.5.

Le couplage de la méthode de Sebillote (1994) avec une méthode "agile" de développement de logiciels a été proposé par Olivier Hugues (2011a). Le lecteur trouvera dans le chapitre 4 du mémoire de thèse l'illustration complète de la méthode pour une application de sécurité maritime pour la SNSM (Société Nationale de Sauvetage en Mer). La méthode en question est la méthode SCRUM, dont un guide pratique a été proposé par Claude Aubry (2010).

3.4.3 Calcul de la pose de la caméra et détection de la ligne d'horizon

Comme nous l'avons déjà mentionné, le problème sous-jacent à la réalité augmentée est le calcul de la pose de la caméra qui permet d'effectuer le recalage entre le réel et le virtuel. Et chaque application que nous avons pu aborder nous aura conduit à rechercher une solution spécifique, différente d'une application à une autre. Ici, les problèmes principaux que nous avons à résoudre portent sur le géoréférencement du flux vidéo dans le système de cartographie et la détection de la ligne d'horizon.

Concernant ce dernier point, les fonctionnalités de perception active de l'environnement marin que nous avons exposées précédemment ont été rendues possibles grâce à un algorithme temps réel robuste de détection de la ligne d'horizon. La séparation de la côte de la mer permet en effet de dissocier leurs augmentations respectives, leur fusion par exemple avec la côte en 3D ou avec le fond en 3D mais la détection des navires environnants également. Les coordonnées d'un navire (distance, vitesse et cap) sont également approximées comparativement à la ligne d'horizon (Samama 2010).

Nous avons fait le choix d'un algorithme hybride alliant une approche inertielle avec une approche basée vision que nous allons détailler ci-dessous dans les deux sections suivantes. L'approche inertielle permet de limiter la taille de la zone de recherche, améliorant l'efficacité de la détection, évitant les fausses interprétations comme une digue sur la côte ou encore comme la trainée d'un navire dont le sillage reproduit une ligne à la surface de l'eau (Figure 3.10). L'approche basée vision est elle plus précise que l'approche inertielle rendue compliquée par les oscillations rapides du navire sous l'effet des vagues.

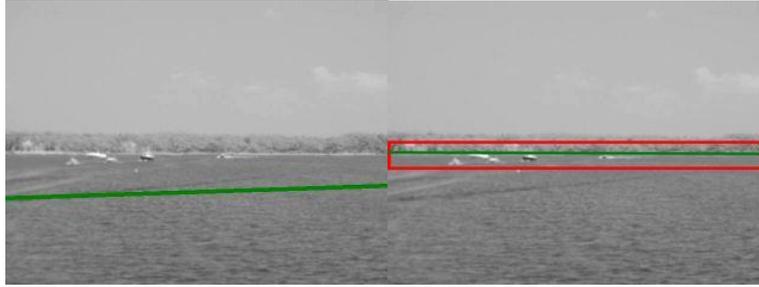


Figure 3.10 : Méthode hybride

A. Notre système

Projeté dans le plan de l'image, la ligne d'horizon est un segment de droite défini par deux points (x_0, y_0) et (x_1, y_1)

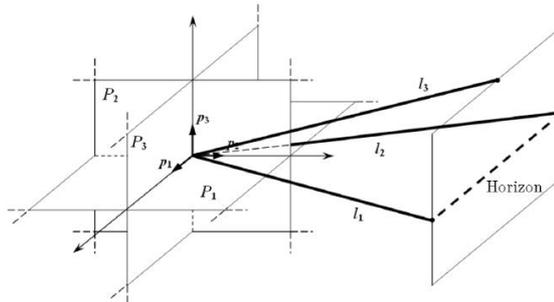


Figure 3.11 : Espace projectif (extrait de Zabala 2006)

A.1 Modèle de la caméra

Tout capteur sur le navire est défini par une matrice homogène de rotation iR_j et de translation iT_j avec un facteur d'échelle unitaire :

$${}^iT_j = \begin{bmatrix} {}^iR_j & {}^iT_j \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Nous souhaitons approximer la hauteur et l'inclinaison de la ligne d'horizon dans le plan image (Figure 3.11). En utilisant l'espace projectif, comme point de départ, on peut déterminer les mouvements de la caméra (matrices de rotation) avec la ligne d'horizon dans le repère monde, en coordonnées pixels dans le repère de la caméra, dus au roulis β , au tangage α et au lacet γ illustrés sur la figure 3.12.

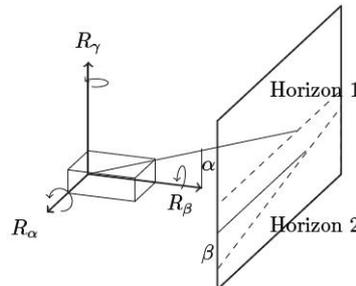


Figure 3.12 : Degrés de libertés et extraction de caractéristiques depuis l'espace projectif (l'horizon1 correspond à une transformation d'un angle α tandis que l'horizon2 correspond à une transformation d'angle β)

A.1.1 Opérateurs statiques

Nous devons commencer par exprimer nos repères par rapport au repère du navire (Figure 3.13) selon le formalisme de l'équation (3.1).

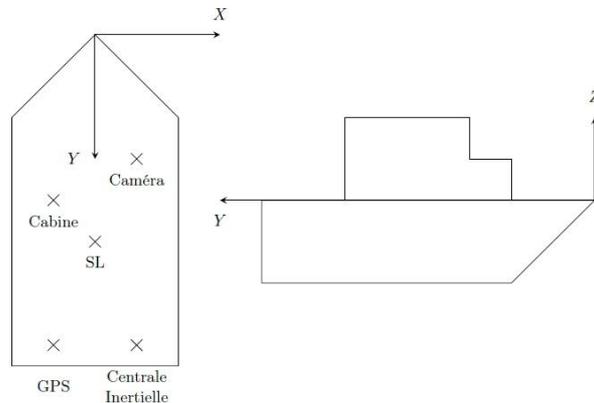


Figure 3.13 : Définition du centre du repère du navire avec une position arbitraire des capteurs embarqués

- ${}^{RB}T_{SL}$: définition du centre de rotation du navire dans le repère du bateau
- ${}^{RB}T_{BC}$: définition de la base de la caméra dans le repère du bateau
- ${}^{RB}T_{GPS}$: définition du boîtier GPS le repère du bateau
- ${}^{RB}T_{CI}$: définition du boîtier de la centrale inertielle dans le repère du bateau

Le calcul des opérateurs permettant de connaître la pose du boîtier GPS et celle du boîtier de la centrale inertielle CI dans le repère du centre de rotation du navire SL en considérant ces boîtiers solidement fixés au navire s'écrit:

$${}^{SL}T_{GPS} = ({}^{RB}T_{SL})^{-1} \cdot {}^{RB}T_{GPS}$$

$${}^{SL}T_{CI} = ({}^{RB}T_{SL})^{-1} \cdot {}^{RB}T_{CI}$$

A.1.2 Opérateurs dynamiques

Les définitions des opérateurs de mesures ne sont pas identiques aux opérateurs « boîtiers » suite aux problèmes de montage de ces boîtiers sur le navire. Le constructeur du capteur définit le repère dans lequel les mesures seront exprimées et il n'y a pas de raison que ce repère soit identique à celui qui permet de positionner le capteur sur le navire.

- ${}^W T_{GPSm}$: repère de la mesure GPS dans le repère monde. Cet opérateur représente une translation pure uniquement sur deux composantes (il n'est pas possible d'utiliser l'altitude donnée par le GPS à cause de son imprécision)
- ${}^W T_{Cim}$: repère de la mesure de la centrale inertielle dans le repère monde. Cet opérateur représente une rotation pure

A.1.3 Modèle de la caméra

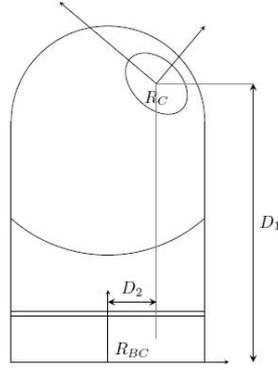


Figure 3.14 : Modèle géométrique de la caméra

Nous avons choisi de définir le modèle géométrique de la caméra par cinq transformations permettant de passer du repère de la base de la caméra R_{BC} au repère de la tête de la caméra R_C . L'opérateur permettant de connaître la pose de la tête de la caméra dans sa base est donc décomposé en cinq transformations qui sont :

1. Une translation $D1$ (la hauteur de la caméra)
2. Une rotation d'azimut γ
3. Une rotation d'élévation α
4. Une translation de $D2$ (le décalage de la lentille)
5. Une rotation de roulis β (la caméra ne dispose pas physiquement de ce degré de liberté. Nous avons malgré cela modélisé la caméra de cette manière afin d'utiliser ce degré de liberté plus tard).

$${}^{BC}T_C = Tr D1 . R\gamma . R\alpha . Tr D2 . R\beta$$

Il faut maintenant calculer la pose de la tête de la caméra dans le repère du centre de rotation du navire SL , et donc, la pose de la base de la caméra dans ce même repère.

$${}^{SL}T_{BC} = ({}^{RB}T_{SL})^{-1} \cdot {}^{RB}T_{BC}$$

$${}^{SL}T_C = {}^{BC}T_C \cdot {}^{SL}T_{BC} \quad (3.2)$$

Il faut maintenant connaître la pose du repère SL dans le repère monde. La pose de ce repère dépend donc de quatre opérateurs :

1. La mesure GPS
2. La correction du GPS (dans le cas où il est mal positionné)
3. La mesure de la centrale inertielle CI
4. La correction de la centrale inertielle (dans le cas où le boîtier de la centrale est mal positionné)

$${}^W T_{SL} = {}^W T_{GPSm} \cdot {}^W T_{CI} \cdot {}^{SL} T_{CI} \cdot {}^{SL} T_{GPS} \quad (3.3)$$

Nous avons désormais tous les opérateurs nécessaires pour calculer la position de la caméra dans le repère monde à partir de (3.2) et de (3.3) :

$${}^W T_C = {}^{SL} T_C \cdot {}^W T_{SL} \quad (3.4)$$

Nous pouvons extraire désormais de cet opérateur les valeurs pour appliquer l'algorithme présenté ci-dessous.

A.2 Approximation inertielle

La connaissance de la matrice de calibration de la caméra et celle de sa pose dans le repère monde comme résultat du paragraphe précédent permettent d'exploiter les résultats de la centrale inertielle de bord afin de délimiter considérablement la zone où se trouve la ligne d'horizon.

Nous considérons, à l'état initial, que la caméra est orientée horizontalement par rapport au plan de la mer. Les informations angulaires de la centrale inertielle nous permettent d'évaluer la hauteur en pixel de l'horizon dans l'image. Nous exploitons également les informations angulaires pour délimiter un rectangle rouge englobant l'horizon comme illustré sur la figure 3.15. À noter que la largeur du rectangle est proportionnelle à la taille de l'image. La hauteur de cette bande est définie par $\alpha + \varepsilon$ avec $\varepsilon = \pm 5^\circ$. Par exemple, pour une résolution d'image de 640x480, la hauteur de la bande est de 24 pixels, soit seulement 5% des pixels de l'image totale.



Figure 3.15 : Délimitation de la zone où sera appliquée le traitement d'image

B. Traitement d'image

L'objet du traitement est de détecter l'horizon à partir d'une image provenant indifféremment d'une caméra vidéo ou d'une caméra thermique. Le segment de droite ainsi détecté est représenté sur l'image source par une ligne. Comme c'est le cas pour tout processus de traitement de l'image, l'algorithme comporte plusieurs étapes, incluant des prétraitements pour améliorer la qualité de l'image, des étapes de segmentation et de quantification.

1. Normalisation de l'histogramme
2. Filtre gaussien
3. Fermeture morphologique (dilatation puis érosion)
4. Filtre Laplacien
5. Seuillage
6. **Transformée de Hough**
7. Regroupement des lignes
8. Filtrage des lignes



(a) Image source (b) Normalisation d'histogramme (c) Filtre gaussien

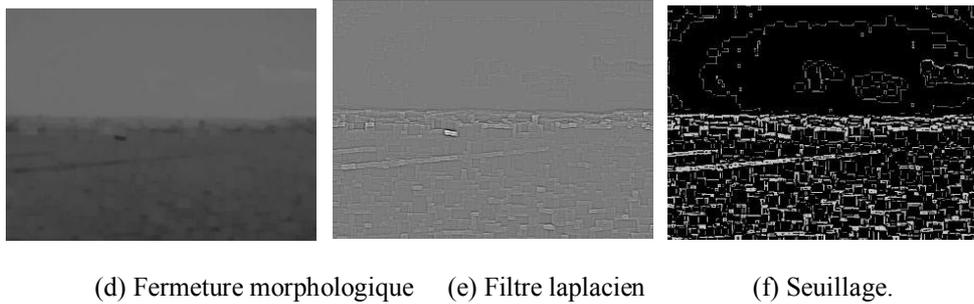


Figure 3.16 : Différentes étapes de l'analyse d'image d'une image thermique

Toutes les étapes ont été implémentées à l'aide de la bibliothèque *OpenCV*. Elles sont documentées dans le mémoire d'Olivier Hugues (2011a). La première étape, la normalisation d'histogramme (1) améliore les contrastes et corrige les effets indésirables des variations de luminosité. Cela nécessite deux paramètres (minimum et maximum) afin de déterminer la règle de proportionnalité entre la valeur du pixel d'entrée et la valeur du pixel de sortie. Nous obtenons les meilleurs résultats pour des valeurs comprises entre 150 et 180. Le filtre de convolution gaussien (2) atténue les bruits et lisse l'image. Il nécessite un unique paramètre, le noyau, dont la valeur est encadrée entre 7 et 9 pour obtenir les meilleurs résultats. L'opérateur de fermeture morphologique (3) corrige les discontinuités qu'une meilleure résolution de l'image n'aurait pas fait créer. Nous appliquons ensuite un filtre de convolution Laplacien (4) pour détecter les contours. Le résultat du seuillage (5) est de transformer l'image en niveaux de gris en une image binaire. C'est en changeant d'espace, en appliquant la **transformée de Hough** (6) sur l'image binaire, que les segments de droite apparaissent. La phase suivante consiste en une analyse statistique des lignes détectées. La moyenne et l'écart type de la position de chaque extrémité des segments permet de regrouper les segments les plus proches ou qui se superposent (7). Enfin, nous filtrons les segments de droite détectés selon la valeur de leur coefficient directeur dans l'image (8). Pour cela, nous nous basons sur les résultats issus de l'approche inertielle : tous les segments dont les coefficients directeurs dans l'image sont éloignés de plus de 5% de la valeur centrale, de la ligne d'horizon, sont éliminés.

C. Tests de performance

Les résultats obtenus sont décrits dans le mémoire de thèse d'Olivier Hugues (2011a). Les évaluations ont été réalisées sur un ordinateur équipé d'un Intel(TM) Core 2 Duo cadencé à 2.66GHz. Les tests ont été réalisés sur plusieurs séquences d'images dans différentes situations et expositions. Nous présentons les résultats concernant trois séquences d'images dont l'une étant une séquence d'image thermique. Notre algorithme de détection identifie correctement l'horizon à hauteur de 98,45%. Le graphique en figure 3.17a présente pour chaque séquence d'images, le nombre d'images testées (à gauche) et le nombre d'images pour lesquelles l'horizon a été détecté (à droite). Le temps de calcul de la ligne d'horizon (hors rendu) atteint une moyenne de 6,5 millisecondes pour une résolution d'image de 640x480. Concernant les performances, nous voulions nous assurer que l'augmentation de la résolution de l'image ne puisse détériorer la qualité visuelle de la vidéo. Pour le cas de la résolution la plus importante testée, l'algorithme permet d'obtenir environ 32 images par seconde. Le détail de l'impact de la résolution de l'image sur notre algorithme est disponible en figure 3.17b.

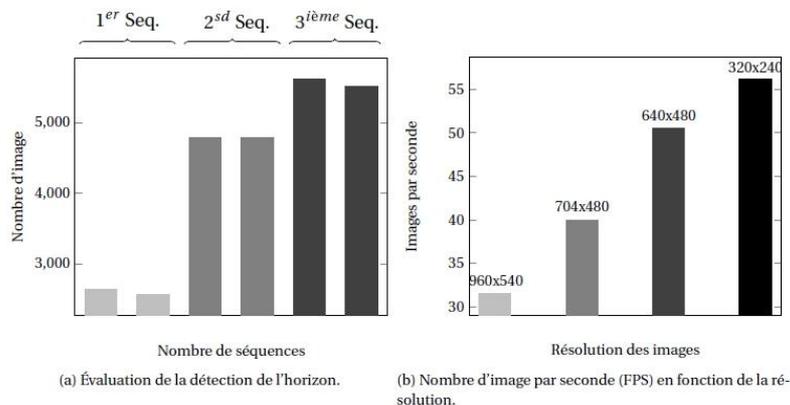


Figure 3.17 : Tests de performance en fonction de la résolution des images

3.5 Continuité des travaux : aide à la manœuvre

Nous avons entamé un projet de collaboration avec la compagnie minière OSISKO, à Malartic dans la région d'Abiti-Témiscamingue au Québec où est exploitée la plus grande mine d'or à ciel ouvert du monde (Fig. 3.10.a), et avec le laboratoire de recherche en logistique de l'Université du Québec d'Abiti-Témiscamingue (UQAT).

Parmi les projets en cours, nous utilisons la réalité augmentée comme aide au chargement des camions (Fig. 3.10.b). Du haut de sa cabine, le conducteur d'une pelleteuse (Fig. 3.10.c) ne dispose que d'une vue partielle. Nous lui apportons une assistance pour guider le chargement des camions, éviter de les endommager et équilibrer les charges à transporter.



(a) : Plus grande mine à ciel ouvert (b) : Chargement d'un camion (c) : Conduite d'une pelleteuse

Figure 3.10 : La mine OSISKO de Malartic au Québec

3.6 Conclusion du chapitre

Dans la quête de la maîtrise de son environnement, l'homme a démultiplié les moyens technologiques. Poursuivant le même but, nous avons ajouté un système de vision à une centrale de navigation, doté d'une caméra classique et d'une caméra thermique, dont les performances dépassent de très loin les capacités de la vision humaine. Nous avons ensuite créé un système de réalité mixte, où monde numérique et monde réel se rejoignent, en couplant une représentation virtuelle de l'environnement avec une vue de réalité augmentée. Le système ainsi constitué améliore notre géolocalisation dans l'espace quels que soient les conditions de navigation et nous aide à anticiper les dangers grâce à une meilleure perception active de l'environnement.

Suite à ses premiers résultats, nos travaux se poursuivent dans un contexte proche de l'aide à la navigation qui est celui de l'aide à la manœuvre.

4. Enseignement et apprentissage : pédagogie active

4.1 De nouveaux outils pour la pédagogie active

On assiste à une inflation galopante, à chaque rentrée, des heures de cours dispensées dans les établissements de formation supérieure. C'est le cas notamment dans les écoles d'ingénieur, qui n'échappent pas à la règle, comme, il est vrai, on y enseigne de plus en plus de disciplines scientifiques, des sciences de l'ingénieur aux sciences de gestion en passant par les sciences humaines. Cela peut aussi s'expliquer par la complexité croissante de la technologie qui nous amène à réactualiser sans cesse notre savoir.

La **pédagogie active** est une réponse adaptée à cette situation. La pédagogie active, en y incluant toutes les méthodes associées à la démarche, a pour objectif principal de rendre l'apprenant acteur de ses apprentissages dans l'optique qu'il construise ses savoirs au cours de mises en situation, de confrontations à des problèmes à résoudre, aux antipodes d'une transmission littéraire du savoir. L'élève devient encore plus acteur de sa formation, tandis que le corps enseignant propose et supervise les mises en action et les mises en situation.

Être acteur dans la démarche change profondément la motivation, le degré d'implication et les résultats obtenus des élèves mais ce n'est pas le seul point à retenir de la pédagogie active. Pour en illustrer un autre aspect tout aussi important, nous citerons les propos de Célestin Freinet dans ses invariants pédagogiques de 1964 : « *La voie normale de l'acquisition n'est nullement l'observation, l'explication et la démonstration, processus essentiel de l'École, mais le tâtonnement expérimental, démarche naturelle et universelle.* »

Dans ce chapitre nous présentons un tour d'horizon des applications possibles de la réalité augmentée pour la pédagogie active (Jean-Marc Cieutat 2012 et 2011a), avec des illustrations portant sur l'enseignement des sciences et de la technologie et sur l'apprentissage de gestes techniques. Parmi les facultés cognitives de notre étude générale des interactions de l'homme avec son environnement (Gibson 1966), on s'intéresse ici tout particulièrement à l'acquisition de connaissances et aux multiples formes de raisonnement¹ tels que le raisonnement inductif ou le raisonnement déductif.

1 Le raisonnement est une opération mentale permettant l'élaboration d'une conclusion grâce à un enchaînement logique de jugements. Les raisonnements de l'enfant gagnent en perspicacité au fur et à mesure de son âge, selon des stades définis entre autres par Jean Piaget. L'auteur distingue ainsi le stade de l'intelligence sensori-motrice (de la naissance à 2 ans), le stade de l'intelligence préopératoire (de 2 à 6 ans), le stade des opérations concrètes ou de l'intelligence opératoire (de 6 à 10 ans), et enfin le stade des opérations formelles (de 10 à 16 ans). Dans la théorie piagétienne², l'accès à la logique formelle est la dernière étape d'un processus qui débute dès la naissance. Comme toute étape elle est le fruit d'une succession d'adaptations au réel. Vers l'âge de 11 ans, l'enfant ne peut plus se contenter d'une logique concrète, il commence à ressentir le besoin d'établir des hypothèses, des raisonnements hypothético-déductifs pour mieux appréhender le monde.

2 Selon Piaget, l'origine de la pensée humaine ne naît pas de la simple sensation, elle n'est pas non plus un élément inné. Elle se construit progressivement lorsque l'individu, et en particulier l'enfant, entre en contact avec le monde. Grâce à ces contacts répétés l'enfant développe des unités élémentaires de l'activité intellectuelle, appelés schèmes. Un schème est une entité abstraite qui est l'organisation d'une action. Les schèmes se transforment en devenant plus généraux, plus nombreux et donc deviennent plus « mobiles ». Ils se combinent dans une organisation de type moyen-but (comme, par exemple, le râteau pour prendre un objet). Selon Piaget, les schèmes sont un ensemble organisé de mouvements (sucrer, tirer, pousser...) ou d'opérations (sérieur, classer, mesurer...) dont l'enfant dispose, ou qu'il acquiert et développe par son interaction avec le monde environnant. Ces schèmes s'ancrent dans l'esprit, lorsque l'expérience les conforte, ou se modifient lorsqu'ils sont contredits par les faits. À chaque fois que l'individu perçoit un objet (qui peut être physique ou une idée), il essaie de l'assimiler. Si cette assimilation, c'est-à-dire l'intégration de l'objet à un schème psychologique préexistant échoue, alors commence un processus d'accommodation. En d'autres termes l'assimilation est un mécanisme consistant à intégrer un nouvel objet ou une nouvelle situation à un ensemble d'objets ou à une situation pour lesquels il existe déjà un schème, alors que l'accommodation est un mécanisme consistant à modifier un schème existant afin de pouvoir intégrer un nouvel objet ou une nouvelle situation.

4.2 L'e-inclusion et la réalité augmentée

Par définition, le terme « e-inclusion » désigne l'ensemble des politiques visant à lutter contre la fracture numérique en permettant au plus grand nombre d'accéder à internet. Le réseau des réseaux est, il est vrai, devenu omniprésent dans notre quotidien. C'est l'outil indispensable pour accéder à l'information et, en ce qui nous concerne ici, pour accéder à la connaissance.

Avec l'avènement de l'informatique nomade, nous l'avons décrit, de nouveaux modes de communication apparaissent tels que nos « smartphones » ou nos tablettes ouverts comme une lucarne sur un environnement devenu cliquable. Cette situation rend possible de nouveaux paradigmes d'interaction comme par exemple « Reconnais ce que je vois et ouvre une page internet ». Il y a, à ne pas en douter, une similarité dans la modalité d'interaction proposée ici avec la manipulation de QR Code (2006). Si la fonction recherchée est similaire, l'idée est toutefois ici d'éviter la pollution visuelle que pourrait occasionner la démultiplication de codes dans la nature, grâce aux techniques d'**indexation d'images**.

Dans un contexte de pédagogie active, un élève souhaitant apprendre à se servir d'un nouvel instrument de mesure, pourrait ainsi voir se superposer dans le flux vidéo le contenu de l'encyclopédie libre Wikipédia comme illustré sur la figure 4.1.



Figure 4.1 : **Réalité documentée** de type « encyclopédie »

Dès les premières mises en situation, l'élève se pose des questions relatives à la manipulation de l'instrument. Donner accès à son manuel d'utilisateur, répondre à la fameuse question « How to ? » sont des fonctions essentielles de notre plate-forme de pédagogie active basée sur l'utilisation des NTIC et de la réalité augmentée (PedagoAcTIC).

L'**indexation d'images** est la discipline scientifique qui vise à attribuer un indice de classification et une liste de descripteurs représentant le contenu informatif d'une image afin de la retrouver rapidement et de la rendre accessible (figure 4.2). C'est une approche de recherche d'image basée sur l'étude de leur contenu, aux antipodes d'une approche de recherche par mots-clés, comme c'est le cas pour le très célèbre « Google Images ». L'outil explore des collections d'images à partir de recoupement de mots-clés s'y rapportant et présente les images similaires les plus populaires.

Dans une approche basée sur l'étude du contenu, les caractéristiques de chaque image sont décrites à l'aide de descripteurs numériques globaux comme la forme, la couleur ou encore la texture, mais également à partir de descripteurs numériques locaux, souvent invariants aux transformations affines. Parmi ces derniers, on retiendra les très célèbres points d'intérêts que sont les coins de Harris (Chris Harris 1988) et les points SIFT « Scale-Invariant Feature Transform » de David Lowe (1999). Nous suggérons également que la reconnaissance de texte dans l'image par un algorithme de Reconnaissance Optique de Caractères (ROC) comme l'algorithme Tesseract, ou encore l'indexation de logo, viennent compléter les informations obtenues à l'aide des descripteurs. Un index est ensuite construit qui permettra d'accéder rapidement à l'image. Les grandes étapes de l'**indexation d'image** sont illustrées ci-dessous :

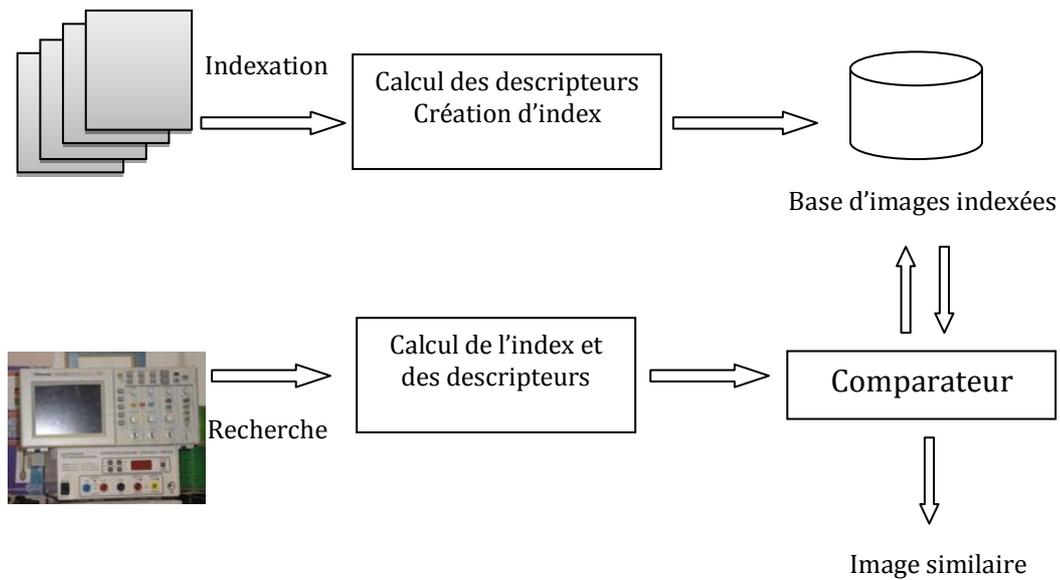


Figure 4.2 : Le processus d'indexation d'image

Le paradigme d'interaction, que nous avons présenté, pourrait être étendu au moyen d'une approche multimodale, combinant sons et images (reconnaissance vocale, augmentations sonores avec une application de type « text to speech », ...).



Nous invitons le lecteur à découvrir une première application industrielle basée sur l'utilisation d'un paradigme d'interaction similaire « Reconnais ce que je vois et ouvres une vidéo s'y rapportant », à savoir l'application téléchargeable sur téléphone portable « Snap Tag ». Une vidéo illustre l'utilisation de la nouvelle application à laquelle nous avons apporté notre contribution : http://youtu.be/KzBKF_VY_5s

4.3 Jeux sérieux de réalité augmentée pour apprendre l'électromagnétisme

Selon Julian Alvarez (2007), un jeu sérieux est une application informatique, dont l'objectif est de combiner à la fois les aspects sérieux (« Serious ») tels que, de manière non exhaustive, l'enseignement, l'apprentissage, la communication, ou encore l'information, avec des ressorts ludiques issus du jeu vidéo (« Game »). Une telle association a donc pour but de s'écarter du simple divertissement.

Sim City et Civilization (Ter & al. 2008) sont des simulations qui proposent de pratiquer une série de tests ou d'expériences sur un espace mis en image, en plaçant le joueur en position d'acteur. Le jeu Sim City est utilisé dans le secondaire comme un outil pédagogique, en géographie, autour du thème des paysages urbains des grandes métropoles d'Amérique du Nord. Civilization passe du carton à l'informatique en 1991 grâce à Sid Meier. Il est à la fois un jeu de stratégie et de gestion : le joueur doit mener son peuple de l'âge de pierre à la conquête spatiale.

Nous avons mis en place une série de jeux sérieux pour apprendre l'électromagnétisme, comprendre les relations étroites existantes entre champs électrique et magnétique. Nous pensons que la réalité augmentée peut s'avérer être un outil précieux pour observer des phénomènes difficilement visibles à l'œil nu tels que les phénomènes électriques et magnétiques. Ces phénomènes, difficiles à appréhender, constituent pourtant les fondements de l'électrotechnique et de l'électronique sur lesquels repose la croissance de notre modèle économique.

Le premier jeu que nous décrivons ci-dessous consiste à reproduire un phénomène électromagnétique qui est mesuré à l'aide d'instruments virtuels. Le jeu est schématisé sur la figure 4.3. Il s'agit de créer un courant induit.

Faraday fut le premier scientifique à remarquer en 1821 que la variation d'un champ magnétique pouvait faire apparaître un courant électrique, appelé **courant induit**.

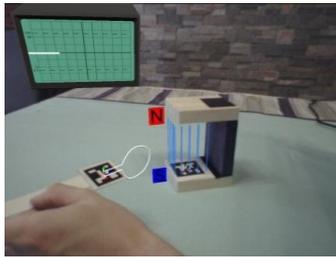


Figure 4.3 : Mesure d'un courant induit

En début de partie, l'élève peut visualiser le phénomène à reproduire sur un instrument de mesure : l'intensité et le sens du courant sur un ampèremètre virtuel, les variations (tension constante, signal carré, signal sinusoïdal et les grandeurs (valeur maximale ou amplitude de la tension, période, fréquence, ...) d'une tension électrique sur un oscilloscope virtuel. Pour y parvenir, il dispose de deux interfaces tangibles : deux fils conducteurs à l'extrémité desquels est plaqué un marqueur permettant d'afficher plusieurs types de spires (spire circulaire ou spire rectangulaire) et un aimant sur la base duquel est plaqué un marqueur permettant de sélectionner différentes configurations d'aimant (aimant à champ magnétique constant ou aimant à champ magnétique variable). On peut respectivement visualiser sur les figures 4.4a et 4.4b une spire circulaire et un aimant à champ magnétique constant :

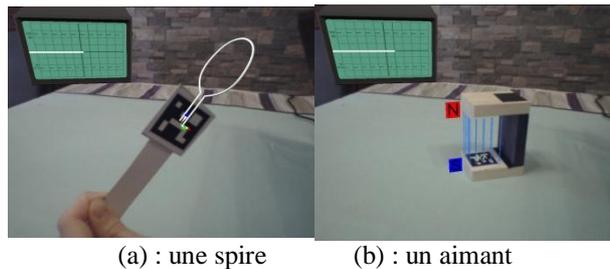


Figure 4.4 : Interfaces tangibles du jeu

L'élève choisit une spire, la positionne à l'intérieur du champ magnétique, en lui faisant subir un mouvement bien précis (déplacement horizontal, déplacement vertical, rotation de la spire dans le sens trigonométrique ou dans le sens des aiguilles d'une montre) afin d'exercer une variation du champ magnétique sur la spire. Il choisit également l'aimant, et dans le cas d'un aimant à champ magnétique variable il peut en faire varier l'intensité.

Le but du jeu est de totaliser le plus grand nombre de points. On gagne bien sûr des points lorsque le phénomène est correctement reproduit. On peut visualiser ci-dessous sur la figure 4.5 un exercice réussi. L'élève crée un courant dont le sens est positif et reproduit une tension sinusoïdale en effectuant des rotations de la spire dans le sens des aiguilles d'une montre.

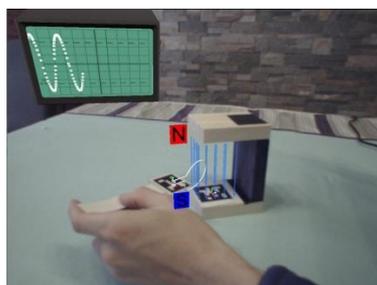
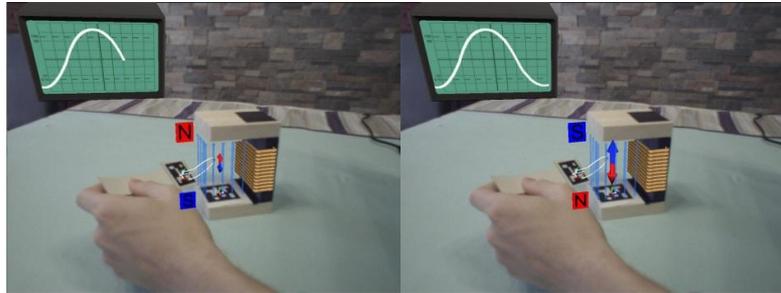


Figure 4.5 : Exercice réussi

Comme autre exercice réussi, il avait été demandé à l'élève de produire des valeurs différentes de tension (amplitudes variables). Il parvient à le faire en faisant varier l'intensité du champ magnétique et en réglant la sensibilité de l'oscilloscope sans avoir à déplacer la spire (Figures 4.6a et 4.6b).



(a) et (b) : Variation du champ magnétique

Figures 4.6 : Un autre exercice réussi

L'exercice de la figure 4.7 ne pourra aboutir. Pour parvenir à générer un signal carré, l'élève aurait dû choisir une spire rectangulaire, la présenter devant le champ magnétique en y appliquant un déplacement horizontal d'avant en arrière.

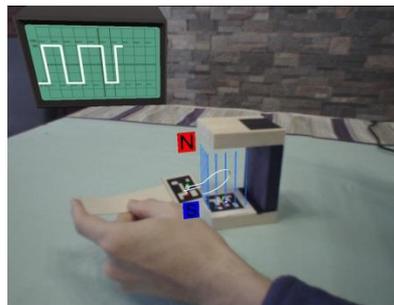


Figure 4.7 : Un exercice mal engagé

Le jeu a été développé grâce au concours précieux de l'outil Virtools. Tout en jouant, l'élève apprend les principes de fonctionnement d'une bobine et d'un moteur électrique, ou encore se familiarise avec un signal sinusoïdal dont le sens de déplacement des électrons varie au cours du temps, et avec un signal carré proche d'un signal numérique. Les objectifs fixés semblent atteints.

À noter que le sentiment de **présence** dans les deux univers et d'y évoluer simultanément que nous avons décrit par la *relation de compossibilité* (Olivier Nannipieri et Philippe Fuchs 2009) dans le paragraphe 2.4 de ce mémoire est particulièrement fort lorsque l'on joue à ce jeu.

4.4 Expérimentation et modélisation scientifique



Contrairement aux autres paragraphes de ce mémoire, son contenu n'est pas le résultat de recherches finalisées ou en cours de finalisation. Les idées qui y sont présentées ont fait l'objet d'une soumission à un appel de projets de recherche en cours d'instruction. Le programme reprend les concepts déjà présentés pour le développement d'une plate-forme de pédagogie active basée sur l'utilisation de la réalité augmentée beaucoup plus complète, la plate-forme PédagoAcTIC.

4.4.1 Expérimentation scientifique et raisonnement inductif

Avoir accès à l'information et à la connaissance, disposer de supports de formation ludiques et interactifs sont autant d'éléments pour inciter l'élève à être plus acteur de sa formation, c'est un premier postulat.

Toutefois, l'enseignement scientifique et technologique a ses propres spécificités. C'est ce qu'avait constaté le prix Nobel de physique Georges Charpak qui proposait de replacer l'**expérimentation** au cœur de l'enseignement à travers son célèbre programme intitulé « la main à la pâte ».

La **démarche scientifique** guide le processus de production de connaissances scientifiques à partir d'observations, d'expériences, de raisonnements et de calculs théoriques. Lors d'une expérimentation scientifique, le **raisonnement inductif** tient une place importante comme c'est le raisonnement par lequel nous cherchons à construire les lois générales à partir de l'observation des faits (approche empirique). L'observation quant à elle est l'action de suivi attentif des phénomènes, sans volonté de les modifier, à l'aide de moyens d'enquête et d'études appropriés.

Comment alors placer la réalité augmentée au service de l'expérimentation scientifique ? Pour en démontrer l'utilité, nous proposons de revisiter, avec les nouvelles possibilités qui s'offrent à nous grâce à l'évolution de la technologie, les célèbres expériences du physicien français Jean Bernard Léon Foucault.

L'expérience la plus connue est le célèbre pendule de Foucault, dont la première démonstration eu lieu en 1851 où le pendule était accroché à la voute du Panthéon de Paris. Nous pourrions utiliser la réalité augmentée pour mémoriser et pour visualiser la rotation des oscillations du pendule au cours du temps en projetant et en imprimant leur tracé successif sur le sol (Figure 4.8). La rotation se fait autour de l'axe que forme le pendule au repos avec le centre de la terre. Le pendule décrit des ellipses aplaties dont on peut visualiser les trajectoires. Les forces en présence sont la gravité, la tension du fil et la force de Coriolis. Cette dernière est dirigée vers la droite dans l'hémisphère nord et vers la gauche dans l'hémisphère sud, ce qui explique le sens de rotation vers la droite du pendule autour de son axe de repos dans l'hémisphère nord et vers la gauche dans l'hémisphère sud.

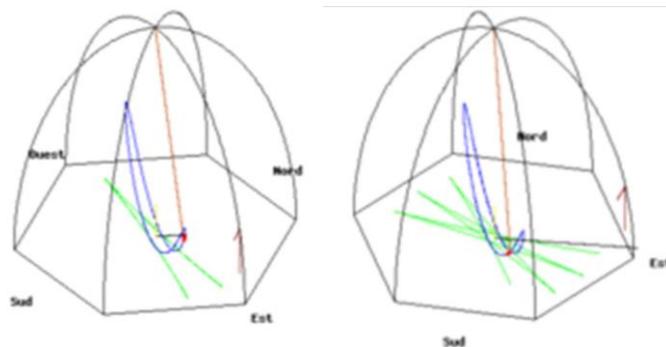


Figure 4.8 : Le pendule de Foucault (animation Wikipédia)

L'observation au moyen de la réalité augmentée ne perturbe pas le phénomène à observer. Un projecteur vidéo projette et imprime les segments de droite sur le sol par des tracés virtuels ; les tracés référencés par rapport au sol seraient alors affichés par simple calcul de la pose de la caméra de l'observateur (position et orientation de la caméra par rapport au sol).

Fervent adepte de l'expérimentation scientifique, quelques années plus tard, en 1862, Jean Bernard Léon Foucault a pu également calculer la vitesse de la lumière grâce à un simple miroir tournant. Le miroir tourne d'un angle $\delta\alpha$ (Figure 4.9) pendant son trajet aller-retour entre les points M_0 et M_5 , après avoir parcouru la distance D . Le rayon de lumière est alors réfléchi par le miroir avec une déviation d'un angle égale à $2\delta\alpha$ par rapport à son trajet initial, à une distance d du point d'impact sur la mire. Un simple calcul trigonométrique, utilisant la fonction tangente, permet alors d'approximer la vitesse de la lumière (équation 4.1) où ω exprime la vitesse de rotation du miroir.

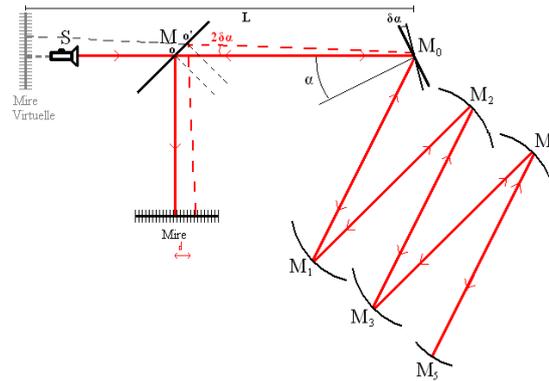


Figure 4.9 : Dispositif expérimental de Foucault pour calculer la vitesse de la lumière

$$c \approx \frac{4DL\omega}{d} \quad (4.1)$$

Nous pourrions alors utiliser la réalité augmentée pour visualiser la rotation du miroir en fonction du parcours de la lumière, qui reste difficilement visible à l'œil nu compte-tenu de la vitesse élevée de la lumière.

4.4.2 Plate-forme de modélisation et de tests scientifiques

L'étape suivante est la proposition d'une plate-forme de modélisation scientifique intégrée combinant modélisation et simulation assistée par ordinateur avec des environnements d'expérimentation. La plate-forme qui serait également basée sur l'utilisation de la réalité augmentée permettrait de mieux appréhender l'apprentissage de la physique grâce à la confrontation directe de résultats théoriques à la pratique, fondement même de l'approche scientifique. La plate-forme pourrait avoir des vertus pédagogiques à bien des égards. Pour bien le comprendre, nous commençons par poser quelques définitions.

La modélisation est le processus de représentation d'une situation réelle, éventuelle ou imaginaire, dans le but de mieux comprendre sa nature et son évolution. Concernant la **modélisation scientifique**, dans la plupart des travaux qui s'y rapportent et dans les schémas qui en découlent, on peut identifier au moins deux mouvements principaux. Dans le premier (**description et induction**) la pensée va du concret vers l'abstrait (ou du particulier vers l'universel). Dans le second (**déduction et prévision**) la pensée va dans le sens contraire, c'est-à-dire de l'abstrait vers le concret (ou de l'universel vers le particulier). C'est le couplage de ces deux mouvements de la pensée qui favorise le processus de **modélisation scientifique**. Ce dernier suppose donc que l'on rapproche théorie et réalité.

Avec les avancées des sciences et de la technologie, nous disposons d'outils de simulation, pour la formulation de propositions et la déduction de conséquences associées aux propositions (**déduction et prévision**), et d'instruments de mesure, pour l'observation, l'analyse et la généralisation (**description et induction**), de plus en plus performants. Les outils de simulation assistée par ordinateur utilisent les possibilités croissantes de calcul et d'affichage de l'ordinateur pour simuler un phénomène et le représenter à l'écran avec différents niveaux de complexité, d'interactivité et de réalisme. Une expérimentation assistée par ordinateur est un environnement qui interagit avec une expérimentation réelle, par le biais d'une interface munie de capteurs, et reliée à un ordinateur permettant de recueillir les données, de les représenter et de les analyser.

Les systèmes de simulation grâce à leurs capacités de présenter aux apprenants des informations relativement réalistes, sont de plus en plus utilisés en éducation et en formation. En particulier, on a recours à la simulation lorsqu'il n'est pas possible de réaliser l'expérience réelle parce qu'elle est trop chère, trop longue ou contraire à l'éthique. Nous avons aussi recours à la simulation lorsqu'il s'agit de mettre en relief des éléments intangibles ou non perceptibles à l'œil nu. L'utilisation de la réalité virtuelle est tout à fait pertinente dans ce cadre (Kim & al. 2001). Le concept de laboratoire de physique en réalité virtuelle a déjà d'ailleurs été exploré (Avradinis & al. 2000).

En revanche, il est important de souligner qu'une simulation n'est pas toujours une réplique exacte d'un phénomène, elle est souvent une simplification de celui-ci en omettant, en changeant ou en ajoutant des détails

ou des caractéristiques. L'ordinateur nous a d'ailleurs accoutumé à avoir une foi exagérée en nos modèles de simulation.

La réalité augmentée en confrontant les résultats d'une simulation à la réalité devrait permettre de valider et enrichir les modèles de simulation de la phase de conception. Lors de cette phase, nous concevons de plus en plus nos produits technologiques à partir de maquettes numériques et de tests de simulation, diminuant ainsi le nombre de maquettes physiques à élaborer et le processus de développement d'un produit. En phase de tests, il serait intéressant, grâce à la réalité augmentée, de pouvoir juxtaposer dans un même flux vidéo les résultats de la simulation avec les vrais tests de manière à obtenir un « feedback » vers la conception et enrichir les modèles de simulation. Ce qui est vrai pour un produit technologique complexe et la simulation d'un phénomène physique également complexe comme l'écoulement d'un fluide, l'est également à des fins pédagogiques pour un phénomène physique plus simple à étudier. Par exemple, pour la chute d'un corps, on pourrait juxtaposer dans un même flux vidéo la chute d'une balle plus ou moins lourde avec une balle semi-transparente dont la cinématique serait déterminée à partir de la loi de l'attraction universelle.

4.5 Apprentissage de gestes techniques

L'originalité des démarches que nous avons proposées visent à redonner goût à l'apprentissage des sciences et de la technologie : les sciences expérimentales et les technologies ont pour objectifs de comprendre et de décrire le monde réel, celui de la nature et celui construit par l'Homme, d'agir sur lui. Mais, derrière cela, il se cache de réels enjeux de sociétés, comme celui de la qualification. Nous apprenons sans cesse, et certaines qualifications requièrent des connaissances mais également beaucoup d'habileté. C'est la raison pour laquelle nous avons ciblé comme dernier cadre d'application de la réalité augmentée en pédagogie active l'apprentissage d'un geste technique, et plus particulièrement les gestes techniques réputés comme étant délicats à apprendre (soudure, découpe, ...).

La création de mondes virtuels nous a amené à concevoir des applications de simulation qui se sont révélées être très rapidement des outils précieux de formation. Des simulateurs d'entraînement à la conduite d'un véhicule (Cieutat & al. 2002 & 2001) (Figure 4.10a), aux applications de sécurité civile (Querrec & al. 2003) (Figure 4.10b), ou encore à l'apprentissage d'un geste technique comme la soudure (Dalto & al. 2005) (Steib & al. 2005) (Figure 4.10c).

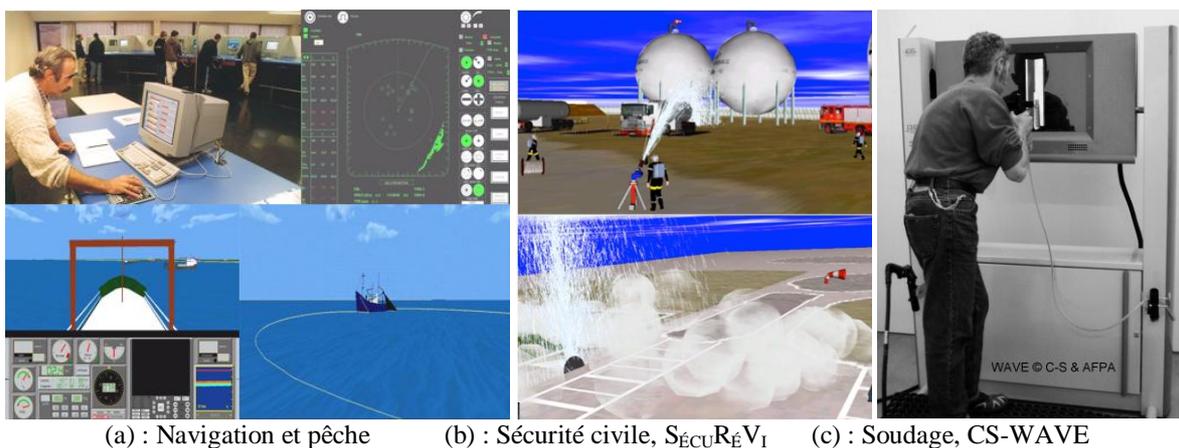


Figure 4.10 : Exemples de simulateur d'entraînement

Ces outils présentent beaucoup d'avantages, notamment en formation initiale. Ils permettent de proposer de multiples mises en situations, quelles que soient les conditions, difficiles à reproduire sur le terrain et qui s'avèreraient de toute manière trop coûteuses. Du point de vue de la sécurité, cela permet de diminuer les risques d'accident, d'éviter les dommages humains et matériels, dus au manque d'expérience.

Beaucoup de travaux (Burkhardt & al. 2006) (Mellet-d'Huart & al. 2005) auront porté sur l'exécution d'un geste en réalité virtuelle comme un geste médical, un geste technique, une tâche de maintenance ou encore un

geste sportif. Toutefois, l'exécution d'un geste en réalité virtuelle reste une expérience fortement médiée. Nous communiquons avec le monde virtuel par le biais d'interfaces comportementales de diverses natures (interfaces sensorielles, interfaces motrices et interfaces sensori-motrices) (Arnaldi & al. 2003) qui modifient inéluctablement notre perception du monde réel devenu un monde simulé. Or, nous savons pour en avoir fait l'expérience qu'il ne suffit pas de connaître le geste à effectuer pour l'exécuter correctement ; certains gestes demandent à être exécutés bon nombre de fois avant d'être correctement coordonnés. Dans ce cas de figure, nous aurions tendance à penser qu'un apprentissage au moyen de la réalité augmentée serait plus adapté.

Le système doit être le moins intrusif possible comme un apprentissage de ce type ne peut se faire sans conserver les mains libres, ce qui oriente notre choix pour un affichage au moyen d'un dispositif de type casque ou lunettes.

Les « Head Worn Display » (HWD), ou « Head Mounted Display » (HMD), sont tous des dispositifs de type casque ou lunettes qui sont portés par l'utilisateur. Ces casques sont étiquetés comme « See-Through » pour permettre à l'utilisateur de percevoir le monde réel, soit en vision directe, soit indirecte. Ils sont portés sur la tête de l'utilisateur, les augmentations étant présentées soit sur un œil (système monoculaire) soit sur les deux (système binoculaire si les images présentées aux deux yeux sont identiques, système binoculaire si elles sont différentes et forment une paire stéréoscopique). Les HWD sont classés suivant la façon dont ils combinent la vue du réel et du virtuel. Certains dispositifs sont moins intrusifs que d'autres. Les dispositifs de type « Optical-See-Through » (OST) (Figure 4.11) apportent une vision directe du monde réel sur laquelle est surimprimé le contenu virtuel. Avec les dispositifs de type « Video-See-Through » (VST) (Figure 4.12), le monde est perçu grâce à une ou deux caméras disposées sur le casque, le virtuel étant superposé numériquement sur le signal vidéo avant d'être présenté via les afficheurs vidéo du VST.

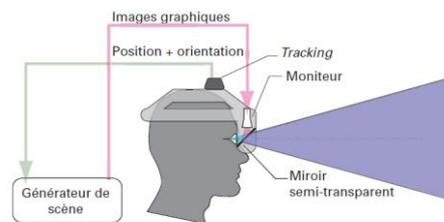


Figure 4.11 : Affichage en vision directe de type « Optical-See-Through »

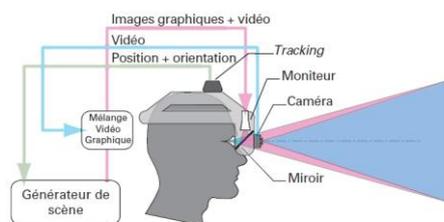


Figure 4.12 : Affichage en vision indirecte de type « Video-See-Through »

Nous avons vu qu'un élément de différenciation entre la réalité augmentée et la réalité virtuelle portait sur le degré de l'immersion pseudo-naturelle. Pour une immersion la plus naturelle possible, pour un système le moins intrusif possible, nous avons opté ici pour un dispositif de type « Optical-See-Through ». Nous avons alors testé plusieurs OST monoculaires pour constater les mêmes défauts : l'œil sur lequel sont ajoutées les augmentations a une vision généralement plus obscurci que l'autre, comme le miroir semi-transparent doit être suffisamment réfléchissant pour que les augmentations lui parviennent. On est ébloui si la surimpression porte sur la projection d'une image dans son ensemble ; on ne l'est pas lorsque la surimpression est un contour filaire par exemple. Enfin, les lunettes sont très sensibles au mouvement, et il n'est pas rare de perdre les surimpressions après avoir bougé la tête, ce qui oblige à régler à nouveau les lunettes.

Comme nous avons ciblé l'apprentissage de gestes techniques nécessitant le port d'un masque de protection, nous avons alors choisi le masque commercialisé par la société Laster Technologies (Figure 4.13). Souder requiert de porter un masque de protection comme d'autres gestes techniques (découpe, laser, ...). Nous optons ainsi pour une mise en situation proche de la réalité. La couverture et la teinte foncée de la visière du masque atténuent d'autre part les différences de contraste entre les deux yeux. Le maintien du masque, solidaire des mouvements

de la tête, comme il a été conçu pour la pratique du sport, évite de perdre les surimpressions. Les défauts généralement constatés sont atténués.



Figure 4.13 : Le masque MG1 de Laster Technologies

Les conditions étant favorables, nous avons pu expérimenter l'apprentissage de la soudure de composants électroniques tel qu'illustré sur la figure 4.14.



Figure 4.14 : Entraînement assisté à l'apprentissage de la soudure

Une première série d'augmentations désignent les emplacements où doivent s'effectuer les soudures, par exemple à l'intersection du composant à souder et du cuivre, tandis qu'une autre série d'augmentations expliquent comment réaliser une bonne soudure, avec par exemple une soudure incurvée et non bombée.



De manière générale, nous pensons que l'absence de casque de réalité augmentée n'altérant pas la vision naturelle est un frein important au développement d'applications de réalité augmentée de niveau industriel.

Nous avons pu bénéficier ici d'un matériel adapté à la situation, ce qui nous a permis de proposer un premier cadre d'applications d'apprentissage de gestes techniques au moyen de la réalité augmentée. En attendant que les dispositifs d'affichage deviennent plus universels, il existe d'autres alternatives à des situations spécifiques qui demandent moins d'instrumentation. On pourrait citer l'utilisation d'un gant tactile dont l'intensité des vibrations varierait en fonction de la pression exercée par la paume de la main, ou encore l'affichage graduel de leds sur le pourtour de lunettes pour indiquer une mesure, ...

4.6 Conclusion du chapitre

La pédagogie active est une démarche positive et constructive. Elle rend l'élève plus acteur de son apprentissage au cours de mises en situations pratiques dans un contexte où la demande de qualification est de plus en plus forte.

De manière générale, nous avons voulu savoir si la réalité augmentée pouvait s'inscrire dans une démarche de pédagogie active. Pour y répondre, nous avons imaginé dans un premier temps un accès plus immédiat à la connaissance. Puis, nous avons proposé plusieurs catégories de systèmes de réalité augmentée pour un apprentissage qui se veut plus efficace au travers de situations de jeux, d'expérimentations scientifiques et de gestes qui, dans leur exécution, requièrent une grande habileté.

Nous constatons dans ce contexte que les similitudes entre la réalité virtuelle et la réalité augmentée sont très fortes. Toutes deux ont comme objectifs de développer les capacités de l'apprenant, de le rendre plus acteur et plus autonome. Mais il existe des différences, dans le degré de l'immersion pseudo-naturelle, et dans la finalité même d'une mise en situation ou dans le déploiement d'un système. Dans le cas d'un entraînement à la maîtrise d'un geste technique, un exercice pourrait se préparer en simulation d'entraînement, pour s'exécuter ensuite en réalité augmentée, avant de se passer totalement d'assistance quand il n'est plus utile de le faire. Comme le fait également remarquer Indira Thouvenin (2009), le problème récurrent dans les systèmes d'aide à l'apprentissage est le caractère déterministe de ces derniers. Ces systèmes s'avèrent être soit « rigides » (tout est prévu d'avance) ou « simplistes » (le raisonnement est pauvre). Or, nos ambitions d'aujourd'hui en terme de qualité et d'efficacité d'apprentissage nous amènent à développer des systèmes intelligents souvent très lourds et difficiles à mettre en place lorsqu'il s'agit de formations collectives comme le sont les travaux pratiques scolaires ou universitaires. En ce sens, les systèmes utilisant la réalité augmentée peuvent justement apporter un caractère semi-déterministe pour lesquels la technologie est plus aisée à mettre en œuvre d'un point de vue logiciel et matériel.

5. Téléassistance collaborative : télé-présence augmentée



L'homme est devenu sédentaire au cours des âges, mais il peut aujourd'hui communiquer, collaborer et être co-présent sans avoir à se déplacer.

5.1 Naissance d'une problématique



Nous invitons le lecteur à lire le chapitre III du mémoire de thèse de Sébastien Bottecchia (2010), intitulé "L'homme, la maintenance et la réalité augmentée", qui décrit toute la genèse de la problématique que nous allons traiter ici, dont nous rappelons seulement les grandes étapes.

5.1.1 Facteur humain et topologie de l'erreur

Les sciences humaines contribuent à une meilleure compréhension des activités humaines. Dans ce sens, Jens Rasmussen en 1986 a défini trois niveaux de processus cognitifs SRK pour décrire la démarche générale de résolution de problèmes d'un opérateur humain :

- Skill Based (niveau de l'habileté) : ce niveau correspond aux actions effectuées de manière quasi-automatique après un apprentissage pouvant être relativement long. Une fois intégré, l'appel à ses fonctions nécessite un minimum de ressources mentales pour être exécuté.
- Rule Based (niveau des règles) : ce niveau correspond aux règles (procédures, algorithmes, ...) apprises par l'homme pour définir son action. Il nécessite un effort cognitif plus important dans la mesure où, à partir de ce qu'il perçoit, l'homme doit au préalable reconnaître une situation et sélectionner une règle appropriée pour entreprendre son action.
- Knowledge Based (niveau des connaissances déclaratives) : ce dernier niveau fait appel aux cas où aucune des règles ou procédures connues ne permet de résoudre le problème donné, par exemple lorsqu'une situation est inconnue. L'homme doit alors trouver la solution par lui-même, ce qui nécessite plus de ressources cognitives que les précédents niveaux et peut prendre du temps avant que ne se dessine un plan d'action.

Partant du modèle SRK, Reason (1993) identifie trois types d'erreurs possibles :

- Les ratés basés sur les automatismes du sujet : l'action est mise en échec, soit par l'inattention, en omettant les vérifications d'usage, soit par l'attention excessive, en effectuant les vérifications à un moment inapproprié.
- Les fautes basées sur les règles : elles sont dues à l'application de règles fausses.
- Les fautes basées sur les connaissances déclaratives : elles apparaissent lors de situations nouvelles, elles sont le résultat d'une limitation des connaissances tournées vers un objectif dont la conscience du contexte est toujours incomplète.

Dans le monde industriel, Gordon Dupont (1997) identifie à son tour douze causes possibles aux types d'erreurs précédentes :

Le manque de communication : c'est l'échec dans le processus de partage des informations, orales ou écrites. Gordon Dupont préconise une communication verbale directe entre les interlocuteurs, avec quelques précautions toutefois, car lors d'un échange oral, un pourcentage faible d'information est retenu, généralement le début et la

fin de celui-ci. En conséquence, il est important de terminer un discours par l'énonciation des points-clés. En termes de communication, il ne faut donc jamais rien présumer ou supposer.

- Le manque de travail en équipe : les problèmes de communication augmentent avec la taille des équipes demandant une implication de chacun.

- Le manque de ressources : un manque à ce niveau interfère avec la capacité à accomplir pleinement la tâche. Il peut être de l'ordre d'un défaut d'approvisionnement, d'un manque d'assistance technique ou encore d'un défaut de qualité.

- Le manque de connaissances : le changement technologique grandissant contribue largement à l'erreur, nous en avons parlé. De nouvelles qualifications sont à acquérir. Si le manque de connaissances se fait sentir, il ne faut rien supposer et solliciter une personne compétente.

- Le manque de conscience : il est défini comme « un échec à reconnaître toutes les conséquences d'une action, ou un manque de prévoyance ». Cela traduit en général un défaut d'observation qui engendre un conflit dans une situation donnée.

- La pression : la pression est définie comme l'attitude mentale consistant à fixer son mental sur un but à atteindre. Cette attitude, contrairement aux apparences, n'est pas le résultat de circonstances extérieures, mais la capacité que possède l'être humain à se projeter dans un futur inexistant et à le vivre comme s'il était réel. Il est souhaitable de désamorcer ce processus en communiquant ses doutes et ses incertitudes, et savoir surtout dire non quand cela s'avère nécessaire.

- Le manque d'assurance : juste milieu entre la passivité et l'agressivité psychologique, l'opérateur doit être autoritaire et intransigeant vis-à-vis des respects des normes, réglementations ou principes visant à éviter toute précipitation.

- La complaisance (ou autosatisfaction) : celle-ci s'accompagne généralement d'une perte de conscience du danger. C'est la répétition dans la tâche qui amène l'opérateur à voir ce qu'il s'attend à voir, pouvant ainsi manquer d'importants signaux.

- Les distractions : d'après les psychologues, la distraction est la première cause entraînant l'oubli. Nous pensons plus vite que nos mains ne travaillent, laissant croire que la tâche est plus avancée que ce qu'elle est réellement. La moindre distraction ferait reprendre la tâche là où il ne faut pas, ce qui serait la cause d'environ 15 % des erreurs de maintenance.

- La fatigue : l'humain n'a généralement pas conscience de son état de fatigue jusqu'à qu'elle devienne extrême. Le jugement est alors altéré, contribuant grandement à l'erreur. Si tel est le cas, avec plus de discernement sur son état, il est souhaitable de demander à faire contrôler le travail par un tiers.

- Le stress : « la réponse de stress est le résultat d'un déséquilibre entre la perception individuelle des exigences de la situation et celle des ressources de l'individu pour faire face à ces demandes ». Le stress affecte l'activité humaine, nous l'avons déjà évoqué (Antonio Damasio 1995). Il augmente lorsque la situation se dégrade.

- Les normes : Les normes sont les règles non écrites ou tolérées qui existent au sein d'un groupe. Le besoin d'appartenance pousse l'individu à adopter les comportements dictés par la majorité. Quel qu'en soit le bien-fondé, il faut se référer aux instructions officielles.

5.1.2 L'aide au travail

Au-delà de la complexité croissante de la technologie, s'ajoute un renouvellement constant des gammes de produits proposés par les industriels qui s'accompagnent le plus souvent d'évolutions techniques et technologiques. Dans le chapitre précédent, nous avons apporté un premier élément de réponse basé sur la formation et la pédagogie active. Mais d'autres éléments sont aussi à prendre en compte comme les exigences toujours plus importantes en matière de normes et de règlements, ou encore comme les contraintes économiques liées à la compétitivité. Face à cette situation, nous démultiplions les moyens de l'aide au travail pour gagner en performance et limiter les sources d'erreur.

Afin d'étudier l'aide au travail, Eric Brangier (2001) propose de placer les dispositifs d'aide en fonction du but qui leur est assigné. Ces types d'aides peuvent se combiner entre elles pour prendre de nombreuses formes (manuels, logiciels, assistance humaine, ...). Elles sont au nombre de trois :

- L'aide informative : « elle vise à donner des informations, souvent de nature procédurale, sur des problèmes posés à un utilisateur pour réaliser une tâche donnée. L'aide informative organise le champ informationnel de l'opérateur. Les supports écrits, muraux et informatiques structurent l'activité de l'opérateur dans la mesure où ils s'induisent une division des tâches et une organisation des procédures. »

- L'aide collaborative : « Elle permet la collaboration entre un agent d'assistance, humain ou technique, et un opérateur disposant de ressources limitées. L'opérateur entre en interaction avec l'assistance, qui ne fait pas que présenter des informations, mais lui pose des questions, explique des décisions, aide au diagnostic, ... L'assistant effectue un tri des informations, traite les informations estimées pertinentes et conseille l'opérateur. Ce dernier construit son raisonnement au fur et à mesure des interactions avec l'assistance et, pour finir, opte pour une décision. »

- L'aide supplétive : « Elle prend la place de l'homme dans un certain nombre de tâches qu'il ne peut réaliser. Cette assistance est conçue pour pallier les déficiences humaines (handicaps moteurs ou sensoriels) ou l'inaccessibilité d'une situation (télé-surveillance, télé-maintenance, robotique, ...). »

Quelques années plus tard, Eric Brangier (2007) précisera qu'une aide adéquate dépend principalement de trois facteurs : de la pertinence des fonctionnalités (adaptation de l'aide aux objectifs de la tâche), du niveau d'utilisabilité (compatibilité de l'aide avec les caractéristiques physiques, cognitives et sociales de l'opérateur vis-à-vis de son travail) et des modes de régulation psychosociale (compromis entre les interactions humaines, les aides techniques et l'organisation). Une mauvaise considération de ces facteurs rend toute aide inefficace.

5.1.3 Les supports traditionnels de l'aide

A) Les écrits

Les procédures et les manuels sont autant de référentiels du technicien. Ils se sont démultipliés avec l'ère industrielle mais sans, pour autant, être exempts de défauts. Brangier et Barcenilla (2003) se sont attachés à évaluer l'utilisabilité des aides textuelles fournies aux opérateurs faiblement qualifiés dans une dizaine d'entreprises couvrant plusieurs domaines d'application, dont voilà les principaux résultats de l'étude :

- 60,7 % ne présentent pas correctement l'objectif des procédures.
- 17,6 % seulement expliquent les actions à réaliser.
- 56,9 % des documents n'ont pas une bonne visibilité.
- 34,9 % ont des formes syntaxiques complexes.
- 43,4 % présentent des abréviations et sigles inexpliqués.
- 58,9 % ont des phrases grammaticalement mal construites.
- 76,7 % des documents ont des phrases trop courtes.
- 14,1 % des documents seulement présentent les prérequis des actions à réaliser.
- 19 % seulement intègrent aux modes opératoires les procédures de récupération des erreurs.

Ces chiffres expriment clairement qu'une aide mal pensée est obligatoirement soumise à interprétation de la part des opérateurs. L'efficacité de l'aide n'est pas pertinente et les erreurs possibles.

B) Le téléphone

Bien qu'il existe à l'heure actuelle bon nombre de systèmes de communication à distance (courriel,

forum, chat, ...), le téléphone permet aux interlocuteurs de véhiculer de l'information suffisamment riche, et ce, de manière synchrone. Toutefois, l'assistance téléphonique n'est pas sans difficulté comme une grande partie de l'information ne se transmet qu'à travers le canal visuel.

Pour pallier ce manque, Gwyneth Doherty-Sneddon & al. (1997) ont observé qu'il était possible d'atteindre au téléphone un niveau de performance équivalent à une communication en face à face moyennant un grand effort verbal de la part des interlocuteurs et un effort mental supplémentaire. Ces difficultés liées à la communication vont dépendre de la capacité des intervenants à faire coïncider leur savoir, adapter leur vocabulaire et à se faire une représentation mentale de la situation. Abraham Moles (1988) parle alors de mettre en commun les « sphères personnelles », les éléments de connaissance (expérience, compétence, ...) étant propres et uniques à chaque individu.

5.1.4 De nouveaux systèmes d'assistance

L'opérateur humain évolue dans un monde industriel où il est confronté à la multiplicité à la complexité des produits à fabriquer et à maintenir. Les supports traditionnels de l'aide pour l'assister dans ses tâches sont sources de complications, nous l'avons vu. L'aide textuelle se heurte à des problèmes structurels, tandis que l'assistance téléphonique reste limitative, nécessitant des efforts supplémentaires pour suppléer les limitations. Peut-on envisager alors de nouveaux systèmes d'assistance ? Nous distinguons, dans ce qui suit, deux catégories de systèmes.

A) Les « systèmes automatisés » basés sur l'utilisation de la réalité augmentée

Un « système automatisé » est un système de réalité augmentée autonome qui guide l'opérateur au cours de ses interventions. On peut le considérer comme un assistant personnel pour lequel l'aide contextuelle apportée dépend de scénarii préalablement caractérisés par les concepteurs.

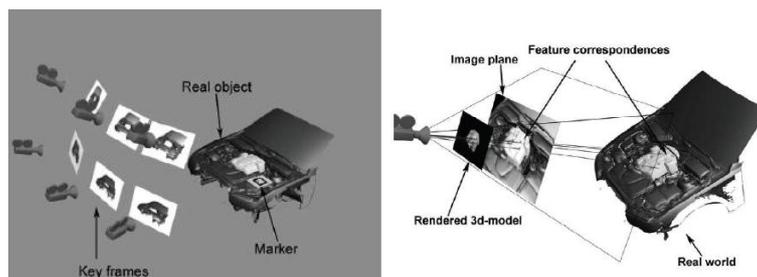
De nombreux systèmes auront été proposés depuis le projet KARMA (« Knowledge-based Augmented Reality for Maintenance Assistance ») à l'origine du concept en 1993 (Steven Feiner 1993) (Figure 5.1).



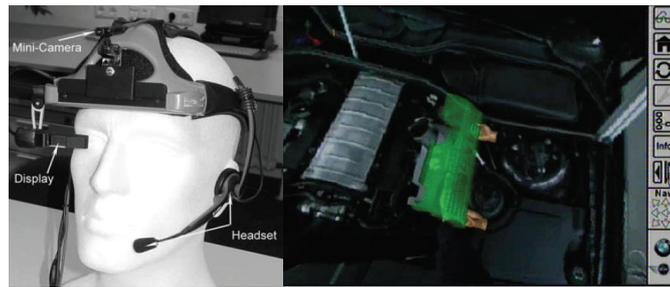
Figure 5.1 : Opérateur effectuant une tâche de maintenance en suivant les instructions virtuelles

Citons, par exemple, le projet national allemand ARVIKA (« Augmented reality for development, production and services »), piloté par Siemens, qui démarra en 1999 pour se terminer en 2003, ou le projet européen STARMATE (« SysTEM using Augmented Reality for Maintenance, Assembly, Training and Education »), ou encore le projet RNTL (« Réseaux National des Technologies Logicielles ») AMRA pour « Augmented Reality Assistance for Maintenance ».

Citons enfin le projet BMW qui, à notre connaissance, fut le premier système proposant un suivi temps réel de la scène robuste et sans marqueur (Juri Platonov 2006). (Figure 5.2).



(a) Images clés de la scène (b) Projection des points-clés pour le calcul de la pose de la caméra



(c) Dispositif équipant l'opérateur (d) Mode d'augmentations pas à pas

Figure 5.2 : Le système de réalité augmentée du constructeur automobile BMW



Avec l'arrivée, désormais ancienne, d'algorithmes robustes pour le recalage des entités virtuelles avec les images réelles, il est surprenant de ne pas voir se commercialiser de systèmes automatisés de niveau industriel.

L'absence de casque de réalité augmentée n'altérant pas la vision naturelle n'est pas le seul frein au développement industriel de systèmes automatisés. Ces systèmes, nous l'avons évoqué, sont de plus très déterministes, laissant peu de place à l'interactivité. Ils présupposent également que toutes les connaissances soient explicites, alors qu'il existe un autre type de connaissances dites tacites, appartenant au domaine de l'expérience, des attitudes et du savoir-faire. C'est la partie non exprimable de notre savoir au sens de Polanyi (1966), et ces informations sont difficilement transposables dans l'univers informatique.

B) Les « systèmes supervisés » basés sur l'utilisation de la réalité augmentée

Lorsque survient une situation imprévue, il est parfois nécessaire d'avoir recours à une personne extérieure, un expert du domaine quand bien même fut-il distant. C'est à cela que tente de répondre la deuxième catégorie de système : les systèmes supervisés. Leur objectif est de faciliter la communication distante entre les individus. Cela est rendu possible grâce à l'explosion des débits de communication et du « World Wide Web ».

Parmi les systèmes supervisés existants, nous pourrions citer le prototype proposé par Xiao Zhong & al. (2002) pour lequel un opérateur est assisté par un expert distant en partageant sa vue avec celui-ci. L'opérateur a également la possibilité de manipuler des objets virtuels au moyen de marqueurs. Le système est donc intéressant à plus d'un titre, car il est, dans le domaine de la réalité augmentée, l'un des premiers à faire intervenir l'humain pour superviser une tâche. Cependant, l'expert ne peut que donner des directives audio pour guider l'opérateur. WACL, pour «Wearable Active Camera with a Laser pointer », est un système très ingénieux Nobuchika Sakata & al. (2003 et 2006) (Figure 5.3). Grâce à une caméra et un pointeur laser pilotables, un expert peut explorer l'espace physique de l'opérateur, pointer directement des objets réels pour les désigner, et indiquer une direction de manière intuitive.

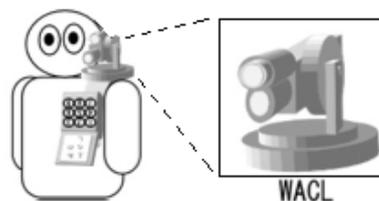
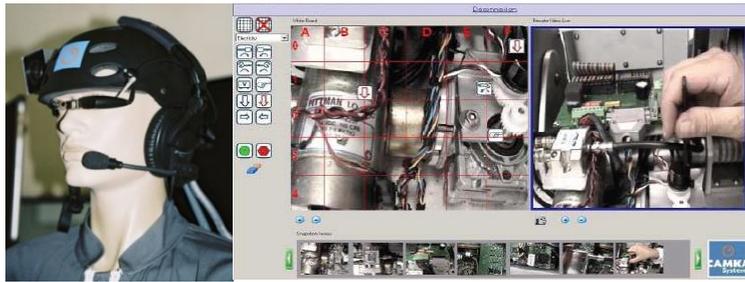


Figure 5.3 : Le système WACL

Développé par la société éponyme depuis 2005, le système CAMKA (Pierre Couedelo 2006) (Figure 5.4) est présenté comme étant un système de maintenance vidéo assistée (VAM), pour lequel un expert peut capturer une image du flux vidéo de l'opérateur, l'annoter et retourner l'image enrichie à l'opérateur.



(a) Dispositifs de communication (b) Interface de l'expert : flux vidéo et image capturée pour être augmentée

Figure 5.4 : Le système CAMKA

Le système CAMKA est intéressant à bien des égards, mais encore faut-il avoir un système permettant de supporter des interactions distantes proches de celles d'une communication en face à face. Comment alors concevoir un système de collaboration à distance permettant à un expert d'être virtuellement co-présent avec un opérateur ?

5.2 Présentation du système TAC : télé-présence augmentée

5.2.1 Les paramètres à prendre en compte

A) L'asymétrie

Lorsque plusieurs individus sont amenés à collaborer en situation de coprésence, les caractéristiques offertes par cette relation sont symétriques, c'est-à-dire que les interlocuteurs ont les mêmes possibilités d'action et de perception. Au contraire, les systèmes de collaboration à distance introduisent des asymétries, surtout dans la communication. Pour Martin Bauer & al. (1998), les participants en situation de collaboration distante doivent de façon similaire bénéficier d'un accès direct aux « données sensorielles » des autres utilisateurs. Mark Billinghurst (1999) fait d'ailleurs ressortir cinq principales asymétries qui peuvent dégrader la collaboration distante :

- L'asymétrie d'implémentation. Les propriétés physiques du matériel ne sont pas identiques pour les deux participants (ex. : en vidéoconférence, les résolutions des caméras ne sont pas identiques).
- L'asymétrie fonctionnelle. Il existe un déséquilibre dans les fonctions de communication (ex. : une personne possède la vidéo, l'autre pas).
- L'asymétrie sociale. Les capacités de communication humaine entre les personnes sont différentes (ex. : seule une personne voit le visage de l'autre, et donc interprète les expressions faciales).
- L'asymétrie dans la tâche. Les protagonistes n'ont pas la même perception de l'environnement de la tâche (ex. : l'opérateur focalise sur la tâche physique tandis que l'expert distant doit se faire une représentation mentale de celle-ci, ce qui est typiquement le cas par téléphone).
- L'asymétrie informationnelle. Les informations ou connaissances entre les individus sont très différentes (ex. : un expert tentant d'apporter son aide à un novice).

À la vue de ceci, il semble donc extrêmement difficile de concevoir un système permettant de soutenir la collaboration distante sans introduire d'asymétries de communication, tant matérielles que relationnelles. Cependant, prendre connaissance de ces asymétries peut aider à minimiser les effets dommageables sur la communication. En ce qui nous concerne, la collaboration distante entre un opérateur et un expert doit être considérée d'un point de vue du rôle de chaque intervenant, donc introduisant nécessairement des asymétries, par exemple du fait que l'opérateur n'a pas forcément besoin de voir ce que voit l'expert, l'implication contraire n'étant pas vraie.

B) Partage de l'espace visuel

En situation de coprésence, les protagonistes partagent le même espace visuel. Nous avons vu précédemment que le défaut des systèmes téléphoniques était justement l'obligation pour l'expert de devoir se représenter de façon mentale l'espace physique de l'opérateur. La modalité vidéo permet plus ou moins à un expert de visualiser l'objet de la tâche et sa relation spatiale avec les objets environnants. Par « plus ou moins », nous entendons faire remarquer qu'il ne suffit pas de proposer un flux vidéo pour régler le problème. En effet, l'angle d'ouverture de la caméra filmant ce que voit l'opérateur joue un rôle important. Plus l'angle d'ouverture est élevé, plus l'expert aura une vision élargie de la scène. Ceci est un paramètre important lors d'une communication distante, car l'expert doit pouvoir disposer d'un « espace visuel périphérique » afin de faciliter la prise de conscience de la situation. Cela aurait un effet direct sur la coordination avec les actions de l'opérateur, et favoriserait également la connaissance permanente du statut des travaux (Susan Fussell & al. 2004) (Christian Heath and Paul Luff 1991). Mais partager seulement une vision périphérique de la scène avec l'expert n'est pas sans poser un autre problème. Plus l'angle de prise de vue est grand, moins le flux vidéo contiendra de détails, ce qui risque d'obliger l'expert à multiplier les demandes de rapprochement et d'éloignement à l'opérateur. Le problème technique à résoudre est d'offrir simultanément à l'expert une vision précise de ce que voit l'opérateur et une vision périphérique de la scène.

C) Les références ostensives

Lors d'une communication face à face, l'intégrité de la collaboration passe aussi par les actions gestuelles, le discours et le geste étant alors étroitement liés. Les protagonistes utilisent des gestes pour clarifier ou améliorer leur message (Mathilde M. Bekker & al. 1995). Le geste de désignation est alors utilisé pour se référer à l'objet de la tâche et à sa localisation. Généralement, le discours contient alors des termes déictiques en rapport à la désignation. Les deixis sont les termes ayant recours à la situation de communication. Dans l'exemple « Prends cet objet », le groupe nominal « cet objet » constitue une forme de **deixis**. À cet énoncé est associé le geste de désignation, que l'on appelle alors ici **geste déictique** (ou geste ostensif). L'association d'un **geste déictique** et de **deixis** est alors nommée une **référence ostensive**.

Il existe plusieurs formes de deixis, les plus courantes étant les deixis de personne (je, tu, ...), les deixis spatiales (ici, là, ...), et les deixis temporelles (tout de suite, maintenant, après...). Ce sont les **deixis spatiales** qui ont fait l'objet de nombreuses études, car majoritairement utilisées lors d'une tâche physique. Adam Kramer (2006) a même étudié la sensation de présence lors d'une collaboration distante en fonction des références linguistiques utilisées par les personnes, pour conclure que l'utilisation de deixis locales (celui-ci, ici, ...) et de deixis distantes (celui-là, là-bas, ...) ne reflète pas la sensation de présence, mais que leur utilisation varie durant la conversation en fonction de la tâche.

Notons qu'en plus des deixis locales et distantes, Martin Bauer (1999) distingue les références absolues (ex. : « le deuxième trou sur la droite du coin gauche ») des références relatives (ex. : « le trou au-dessus du câble jaune ») et justement des références déictiques (sans toutefois faire la distinction entre les locales et les distantes). Lors de ces études sur l'utilisation de la désignation en vidéoconférence, il est mis également en avant le fait qu'utiliser un télépointeur permettrait à l'expert de guider et diriger efficacement l'opérateur, ce que confirme également Susan Fussell & al. (2004). Les **références ostensives** sont donc un puissant moyen de communication en face à face, et ont démontré leur intérêt lors d'une communication distante à travers les études que nous venons d'exposer.

5.2.2 Description du système TAC

A) Son principe

Le système est illustré sur la figure 5.5.

L'opérateur est équipé d'un dispositif particulier d'affichage de réalité augmentée. Pour minimiser les effets dommageables des asymétries liées à la communication, l'expert voit ce que voit l'opérateur. Expert et Opérateur sont tout deux équipés pour les communications audio d'un micro-casque. Le système supporte une communication synchrone entre eux deux à travers internet. De par la conception de l'espace visuel partagé, celui-ci permet de capturer un flux vidéo de ce que voit exactement l'œil du porteur (flux A) et un flux vidéo grand angle (flux B). Parmi les deux flux que recevra l'expert, il aura la possibilité d'augmenter le flux A. Les

augmentations sont transmises à travers internet pour être ajoutées en temps réel sur le dispositif d'affichage de l'opérateur

Un paradigme d'interaction spécifique, baptisé POA pour « Picking Outlining Adding », caractérise le mode de communication non verbale choisi pour simuler la co-présence de l'expert auprès de l'opérateur (symboles, références ostensives, commentaires, ...).

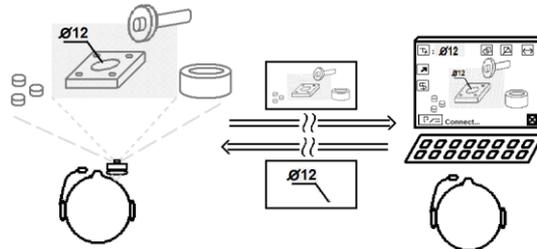


Figure 5.5 : Le système TAC

Au final, l'opérateur est équipé :

- de lunettes de visualisation capable de présenter les augmentations en provenance de l'expert. La seconde fonctionnalité de ses lunettes étant de retranscrire l'environnement de l'opérateur à l'expert ;
- d'une centrale inertielle en charge d'évaluer les mouvements pour gérer les augmentations ;
- d'un système de calcul porté dédié à l'affichage des augmentations (nommée TAC-Opérateur) et gérant la communication distante ;
- d'un micro-casque pour les communications audio.

L'expert est équipé :

- d'un ordinateur et d'un logiciel dédié au POA pour la création des augmentations (nommée TAC-Expert) et gérant la communication distante ;
- d'un micro-casque pour les communications audio.

B) MOVST : un nouveau prototype de lunettes de réalité augmentée

Après une étude critique de l'existant, nous avons finalement opté pour concevoir et réaliser notre propre système de visualisation de type « Video See-Through » monoculaire et orthoscopique. Nous l'avons baptisé MOVST pour « Monocular Orthoscopic Video See-Through » (Figure 5.6).

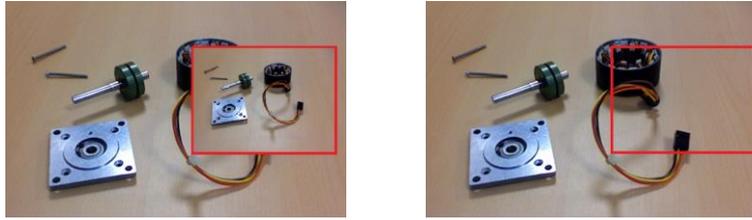


Figure 5.6 : Les lunettes MOVST

Nous l'avons abordé. Si nous souhaitons voir se démocratiser l'utilisation de nos applications, nous devons proposer des lunettes qui altèrent le moins possible le champ de vision naturel. C'est dans cette optique que nous avons conçu les lunettes MOVST.

Il suffit de placer l'afficheur vidéo devant son œil directeur pour que le cerveau appréhende correctement une augmentation. Cela permet de préserver l'immersion naturelle de l'autre œil, raison pour laquelle nous avons opté pour un système monoculaire. Il s'agit de proposer des lunettes qui modifient le moins possible les conditions de travail habituelles d'un opérateur pour espérer obtenir son adhésion.

Nous avons ensuite opté pour un système orthoscopique qui conserve la vue telle qu'elle serait sans l'afficheur vidéo (Figure 5.7). Pour cela, une augmentation sera uniquement ajoutée dans le flux vidéo orthoscopique. À l'initialisation, l'opérateur précise l'orthoscopie, de manière à s'affranchir des erreurs de parallaxe entre l'œil et le dispositif « See-Through ». Des corrections sont ensuite apportées à chaque image du flux vidéo.



a) Affichage classique d'un «Video See-Through» (b) Affichage orthoscopique

Figure 5.7 : Représentation du champ visuel de l'opérateur portant un dispositif « See-Through » sur l'œil droit (intérieur du rectangle rouge)

C) Le paradigme d'interaction POA

L'Interface Homme-Machine de l'expert est présentée sur la figure 5.8. Elle a été pensée pour supporter le mode d'interaction « Picking Outlining Adding ».



Figure 5.8 : IHM de l'expert supportant le POA

Il y a, à n'en pas douter, des similarités ici avec le souvenir de nos cours d'Interface Homme-Machine. Nous souhaitons seulement pouvoir « cliquer » dans un flux vidéo comme l'on cliquerait dans une interface graphique informatique pour y faire une sélection. Le dispositif de pointage reste la souris qui pointe dans le champ de vision naturelle de l'opérateur (rectangle rouge des figures 5.7.b et 5.8), transmis à l'expert via internet.

L'expert peut alors pointer et cliquer pour désigner un emplacement dans le flux vidéo et y associer un geste déictique (Figure 5.9.a) ; il se réfère alors aux zones 2 et 4 de l'IHM du poste expert (Figure 5.8).

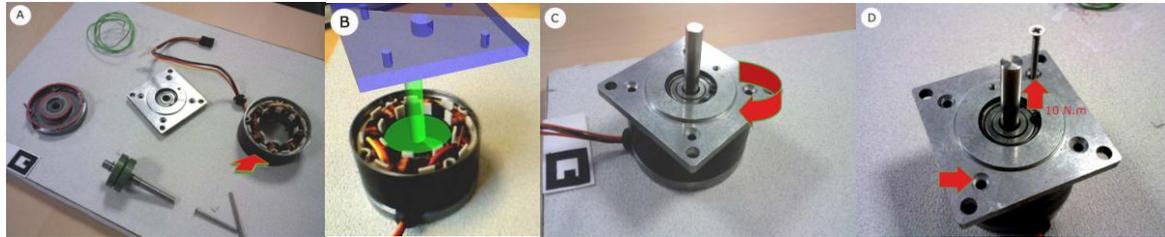
Nous avons également coutume d'effectuer un double-clic pour valider et ouvrir une sélection dans une interface graphique informatique. Nous proposons une interaction similaire d'« Outlining » (Figure 5.9.b). Cette fonctionnalité nous a paru importante à l'usage pour lever les ambiguïtés d'une sélection ; les moteurs sont de plus en plus compacts comportant bon nombre de pièces mécaniques difficiles à séparer les unes des autres. L'expert pointe et clique dans le flux vidéo et, dans le même ordre d'idée que le double-clic, sélectionne alors le nom d'une pièce mécanique en zone 5 de l'IHM du poste expert (Figure 5.8), ce qui a pour effet de rendre visible les contours de la pièce mécanique dans le dispositif d'affichage de l'opérateur.



(a) Interaction de type « Picking » (b) Interaction de type « Outlining »

Figure 5.9 : Désignation et sélection d'éléments dans un flux vidéo

Nous venons d'établir un nouveau mode de communication à travers internet, différent de celui d'une visio-conférence, qui sous-tend le travail collaboratif et simule la co-présence d'un expert auprès d'un opérateur. L'expert est bien télé-présent sur le terrain. Nous proposons ci-dessous quelques illustrations de télé-présence sur le terrain d'un expert qui télé-assiste un opérateur (Figure 5.10).



(a): "Prends ce stator et mets le sur le support en rouge" (b): "Voilà comment viennent ensuite le rotor et le carter"
(c): "Tourne le carter dans ce sens jusqu'à entendre le clic" (d): "Mets les vis ici et ici avec ce couple de serrage"



(e): "Défais ce capuchon pour pouvoir tourner l'arbre ensuite" (f): "Mets l'instrument dans le trou n°1, ça doit être celui-là"
(g): "Regarde ici, la petite aiguille indique 2 dixièmes, c'est bon"

Figure 5.10 : Exemples de collaborations à distance

D) Méthode d'implémentation d'une désignation

Les problèmes sous-jacents à la réalité augmentée sont le calcul de la pose de la caméra et le choix d'un algorithme robuste pour effectuer le recalage entre le réel et le virtuel. Nous utilisons ici une **centrale inertielle** et une méthode de suivi basée **points d'intérêts** pour implémenter une désignation ou « Picking ».

La **centrale inertielle** permet de mesurer la déviation de la pose de la caméra entre le moment où une image de l'opérateur parvient à l'expert, où celui décide de l'augmenter, et le moment où l'augmentation est affichée dans le viseur de l'opérateur. Une déviation trop importante peut entraîner une resynchronisation de l'algorithme de suivi (Sébastien Bottecchia 2010).

Lorsque des objets non définis doivent être suivis, ce qui correspond au choix que nous avons fait pour implémenter une désignation, il faut s'intéresser au mouvement relatif qu'ils peuvent avoir vis-à-vis de l'observateur. Ces techniques de suivi de mouvements impliquent de façon typique le suivi de points visuels « significatifs », autrement appelés **points d'intérêt**. Ce sont des descripteurs locaux à une image qui, contrairement aux descripteurs globaux, ne requièrent de procéder à une segmentation et une quantification de l'image. Ces étapes sont généralement lourdes en temps de calcul en traitement d'image.

L'idée principale des points d'intérêt est de regarder la fonction d'intensité dans une image pour en extraire les points de discontinuités, provoquées par exemple par des variations de contrastes. La littérature est riche de techniques permettant de définir des points d'intérêt dans une image. Parmi les plus connus, nous pouvons citer le détecteur de coin de Harris (1988), le détecteur SIFT (« Scale-Invariant Feature Transform ») de Lowe (2004) ou encore GoodFeatureToTrack de Shi et Tomasi (1994).

Une fois ces points d'intérêts déterminés dans l'image, leur suivi d'une image à l'autre est assuré par des algorithmes dits de flot optique. Les algorithmes de Lucas et Kanade (1981), de Horn et Schunck (1981) ou de Block-Matching (Yan Huang and Xinhua Zhuang 1995) en sont les représentants les plus populaires.

En ce qui nous concerne, nous avons choisi le couple "GoodFeatureToTrack—Lucas-Kanade" (KLT) principalement pour sa rapidité reconnue et son implémentation optimisée (Jean-Yves Bouguet 2002) au sein de la bibliothèque de vision par ordinateur OpenCV.

Les grandes étapes de notre méthode d'implémentation d'une désignation sont expliquées ci-dessous et présentées sur la figure 5.11 :

1. Quand l'expert désigne l'élément souhaité dans l'image, nous récupérons les coordonnées du pixel cliqué. Pour respecter l'hypothèse de la cohérence spatiale de l'algorithme de suivi KLT, nous définissons une zone de 5 pixels de large de part et d'autre du point cliqué (Fig.59a).
2. Dans la fenêtre entourant le pixel cliqué, nous lançons une recherche de points d'intérêt via "GoodFeatureToTrack" (Fig.59b). L'avantage induit par une recherche limitée dans cette zone de 11 x 11 pixels est le faible coût calculatoire.
3. Pour chacun des points d'intérêts, nous calculons le vecteur défini par le point d'intérêt concerné et le pixel cliqué (Fig.59c).
4. Il ne reste plus qu'à associer l'élément virtuel ayant pour base le pixel cliqué (Fig.59d).
5. Enfin, à l'image suivante, l'algorithme KLT garantit le suivi de ces points d'intérêt.

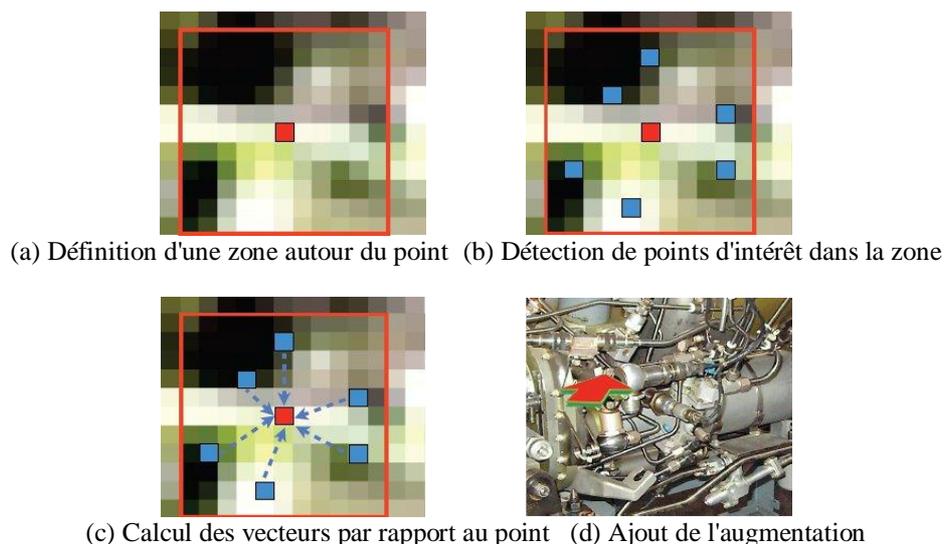


Figure 5.11 : Méthode d'implémentation d'une désignation ou « Picking »

E) Traitement de la latence opérateur

Nous gardons les dernières images de l'opérateur dans une zone tampon (Figure 5.12) et nous utilisons la centrale inertielle pour traiter la latence entre la désignation d'une augmentation et sa visualisation par l'opérateur, comme ce dernier peut avoir bougé entre temps. Pour cela, nous comparons les valeurs inertielles ($\Delta_{inertiel}$) entre l'image courante et l'image augmentée par l'expert :

- Si $\Delta_{inertiel}$ est $< 5^\circ$ sur chaque axe de rotation, on applique KLT
- Si $5^\circ < \Delta_{inertiel} < 20^\circ$, on repart de l'image augmentée par l'expert dans la zone tampon
- Si $\Delta_{inertiel} > 20^\circ$, on indique la direction dans le champ de vue de l'opérateur où il doit porter son attention.

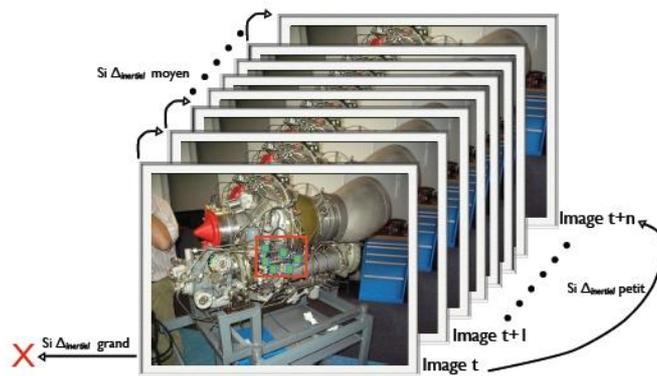


Figure 5.12 : traitement de la latence opérateur

F) Evaluation du système TAC

Onze sujets ont participé à l'évaluation qualitative et quantitative du système TAC en le confrontant à une assistance téléphonique traditionnelle (TEL) et un système de vision déportée (VISIO). Les systèmes sont présentés dans ce qui suit :

TAC : c'est l'utilisation du système TAC avec les lunettes MOVST, donc en vision « See-Through » orthoscopique. Nous rappelons que les protagonistes peuvent communiquer oralement entre eux.

TEL : un téléphone mains libres pour pouvoir converser de manière classique entre l'opérateur et l'expert.

VISIO : système de réalité augmentée en vision déportée, c'est-à-dire sans les lunettes MOVST. L'opérateur est équipé d'une caméra cravate grand angle et d'un dispositif d'affichage (écran 20") placé sur le plan de travail. L'expert a toujours la possibilité de pouvoir désigner sur le flux vidéo dit « orthoscopique ». Une communication audio mains libres est bien sûr utilisée.



Chaque sujet tirait au sort deux interventions de maintenance en début d'expérimentation. Nous invitons le lecteur à lire le paragraphe 15 du chapitre V du mémoire de thèse de Sébastien Bottecchia (2010), intitulé "Evaluation Expérimentale", qui décrit en détail le déroulement des tests. On se contente ici d'en interpréter les résultats.

Les premiers résultats semblent montrer que statistiquement parlant, il n'y a pas de différence significative en termes de temps d'exécution des tâches, et ce malgré un gain apparent de 10% en faveur de TAC.

Toutefois, après analyse des vidéos, il est intéressant de remarquer que les sujets prennent davantage leur temps pour réaliser la tâche avec les modes VISIO et TAC. Sachant que l'expert voit ce qu'ils voient, ils désignent volontiers du doigt pour avoir une validation de la part de celui-ci. Ils présentent moins d'hésitation au final pour exécuter une action, et sont beaucoup plus détendus comme ils savent que l'expert peut à tout moment intervenir.

Par contre, en ce qui concerne TEL, nous constatons beaucoup d'erreurs d'interprétation qui engendrent de l'hésitation. Certains sujets persistent même dans leurs erreurs tandis que d'autres ne savent plus quoi faire. Les sujets qui s'en sortent le mieux sont ceux qui parviennent à instaurer un protocole de communication avec l'expert (confirmation vocale de l'ordre à exécuter, description de la tâche en cours puis acquittement de fin).

Dès que l'on passe sur VISIO et TAC, les erreurs commises par TEL disparaissent ou sont très vite corrigées. Les sujets comprennent directement où ils doivent agir et sont rapidement interpellés par l'expert en cas d'erreurs.

Une différence persiste entre VISIO et TAC exprimée par tous les sujets. Ils remarquent qu'il est plus facile de se laisser guider par TAC que par VISIO. Ceci est à mettre en rapport directement avec le mode d'affichage. TAC,

grâce aux lunettes MOVST, permet une vision mentale directe contrairement à VISIO qui utilise une vision déportée. Dans ce dernier cas, il faut alors faire l'effort de regarder les instructions à l'écran pour ensuite établir un lien avec la réalité, ce qui induit une surcharge mentale et a occasionné des erreurs. Parfois, les sujets enlevaient même leur caméra cravate pour la pointer plus précisément sur une zone, ayant l'impression qu'il fallait aider l'expert à être co-présent, ce qui les détournait de leurs tâches. Par contre, nous avons relevé beaucoup de remarques sur l'ergonomie des lunettes MOVST du système TAC. Malgré un poids inférieur à 150 grammes, cela semble être encore trop lourd. Cette charge physique peut alors poser problème sur des tâches de longue durée. Il est important de remarquer que les sujets ont toutefois apprécié l'immersion pseudo-naturelle de ce type de lunette, ayant ainsi une meilleure perception de leur environnement.

Côté expert, le fait d'utiliser VISIO et TAC est jugé appréciable, surtout la capacité de pouvoir visualiser ce que l'opérateur exécute, et la possibilité qui lui est offerte de pouvoir montrer rapidement là où il faut intervenir. En termes de perception, l'expert a jugé plus intéressant le système TAC par rapport à VISIO pour deux raisons :

- La première raison est de pouvoir visualiser exactement ce que voit l'œil de l'opérateur, et donc de « s'identifier » à son point de vue. C'est aussi semble-t-il son plus gros défaut, car les mouvements de la tête de l'opérateur affectent beaucoup la stabilité de l'image. Quand l'opérateur bouge trop vite, il devient alors difficile de donner des indications en cliquant sur le flux vidéo orthoscopique.

- La deuxième est la présence du second flux vidéo représentant une vision plus globale de l'environnement immédiat de l'opérateur. L'expert se fait alors une représentation mentale immédiate de l'espace de travail de l'opérateur. Point intéressant, cette vision panoramique lui a beaucoup servi pour situer le sujet lors de mouvement rapide, problème évoqué ci-dessus.

Enfin, l'expert et les sujets ont soulevé un problème en termes d'interprétation des flèches virtuelles. En effet, seules des flèches de la même couleur (rouge) ont été prévues à la conception de l'application TAC. Lorsque l'expert a voulu utiliser la désignation comme un moyen de présenter une action (par exemple une flèche virtuelle vers le bas pour indiquer un mouvement à effectuer vers soi), ceci a souvent été mal compris. Il est devenu urgent d'utiliser deux codes couleurs, comme le rouge et le vert, pour dissocier les désignations en rouge des actions en vert.

5.3 Logiciel de réalité mixte pour le tracé d'un réseau

La société SIG-IMAGE est leader en logiciels de dessin, de conception et de géoréférencement de réseaux (électrique, gaz, fibre optique, éclairage, ...). Le tracé d'un réseau est préconçu en bureau d'étude. De par les nombreuses contraintes à satisfaire comme la précision de la géolocalisation (± 40 cm d'ici 2017 d'après le décret 2011-1241 et l'arrêté du 15 février 2012), la configuration des terrains, les obstacles à éviter ou encore le respect des consignes des Bâtiments de France, l'exactitude du tracé ne peut se décider que sur le terrain.

Nos travaux portent sur la conception d'un SIG en réalité mixte capable d'afficher la topographie du terrain, de dessiner la préconception du tracé d'un réseau, de le modifier et de le sauvegarder, tout en supportant le travail collaboratif. En effet, collectivité locale, bureau d'étude, exploitant de réseau et prestataire sont susceptibles d'intervenir simultanément sur le terrain au moyen de la téléassistance. Les travaux de recherche sont conduits dans le cadre d'une thèse sous contrat CIFRE.

5.4 Conclusion du chapitre

Dans ce chapitre, nous avons proposé un nouveau mode de communication à travers internet, qui simule la co-présence d'un expert sur le terrain auprès d'un opérateur, pour une communication devenue plus facile et un mode opératoire plus opérationnel résultant d'un travail collaboratif. Nous poursuivons également nos travaux relatifs à la télé-présence et à la réalité augmentée dans le cadre d'une nouvelle application industrielle, dont le décor se situe en extérieur, et le travail collaboratif met en scène plusieurs acteurs (technicien sur le terrain, ingénieur en bureau d'étude, exploitant de réseau, ...). Une autre application industrielle est en cours d'expérimentation au Québec.

6. Une nouvelle interface avec le monde : les guides virtuels humains



S'il est vrai que l'homme est devenu sédentaire au cours des âges, son aspiration à parcourir le monde est toujours aussi forte. Le tourisme est ainsi devenu la principale source de revenus de nombreux pays ; les revenus liés à ce secteur sont fortement excédentaires en France et à la base de l'économie de plusieurs de nos régions. À l'aube de l'informatique nomade, nous proposons une nouvelle interface avec le monde : l'homme découvre le monde accompagné de compagnons virtuels autonomes.

6.1 Introduction

Nous perdons facilement nos repères en territoire inconnue, à l'étranger, à cause de la barrière de la langue bien sûr, mais en grande partie parce que la culture, les us et coutumes, les règlements nous sont moins familiers. Nous préparons alors notre séjour, en nous munissant des ouvrages touristiques les plus réputés, pour retenir les sites à visiter en fonction de nos centres d'intérêts, et choisir les itinéraires en conséquence. Malgré cela, nous demandons souvent de l'aide sur place, et nous finissons par privilégier les circuits animés par des guides touristiques parlant notre langue. Ce n'est qu'à la fin du séjour que nous prenons conscience de tout ce que nous aurions pu découvrir et apprendre.

Une idée originale porte sur la mise en scène de guides touristiques virtuels qui nous accompagnent dans notre découverte du monde. L'intérêt y est multiple. Le guide parle notre langue tout en connaissant les lieux. Il peut traduire les éléments culture à une autre, présenter l'environnement tout en y resituant les points historiques et géopolitiques, nous parler d'art et de créativité aussi bien que de dévoiler les traditions gastronomiques locales.

L'idée est intéressante à bien des égards. Le marché actuel le plus en expansion de l'informatique est celui de l'informatique mobile. Tous les jours nous pouvons télécharger de nouvelles applications logicielles. Nos « smartphones » et nos tablettes sont devenus des concentrés de technologie, et nous transportons avec nous nos ordinateurs d'antan démultipliant les possibilités grâce à l'informatique mobile. De nouveaux usages d'un « smartphone » apparaissent régulièrement sans surprendre pour autant.

Sur le plan de la communication, pour traduire les éléments d'une culture à une autre, faire appel à un personnage virtuel paraît être un choix judicieux. Nous l'avons vu dans le chapitre précédent, la communication est autant une affaire verbale que non verbale. Un personnage virtuel peut communiquer par geste, posture et expression, jusqu'à traduire une émotion. La lecture sur les lèvres facilite la compréhension, tout particulièrement pour les malentendants.

Beaucoup d'applications de réalité augmentée, au regard des fonctionnalités de la taxonomie fonctionnelle du chapitre 2 (Figure 2.2), intègre des entités virtuelles « statiques » aux images réelles, qui ne varient pas d'une image à l'autre du flux vidéo, dans le but par exemple de documenter la réalité. Ici, au contraire, il s'agit d'intégrer des entités virtuelles « dynamiques » aux images réelles en y associant des animations. La synthèse des images réelles et des images artificielles, les techniques d'animation et le traitement d'image offrent de multiples possibilités, dont nous donnerons un aperçu dans ce chapitre.

Proposer toutefois des animations convaincantes de personnages virtuels, qui captent l'attention de l'utilisateur et enrichissent l'état de ses connaissances, n'est pas une tâche aisée. Mais l'idée principale, mise en avant dans ce chapitre, est qu'il n'est pas nécessaire pour y parvenir de rechercher un réalisme absolu ; l'augmentation de la capacité des processeurs des systèmes mobiles n'y suffirait pas. C'est d'ailleurs la problématique générale de la **Réalité Virtuelle** de s'intéresser à la modélisation, aux modèles de simulation permettant de donner vie aux objets et aux êtres virtuels représentés à l'intérieur de ces mondes, avec un degré de crédibilité suffisant pour qu'un utilisateur puisse s'y sentir immergé. À ce propos, certains auteurs, comme Indira Mouttapa Thouvenin (2009), opposent la crédibilité du perçu de l'interaction à la quête du réalisme absolu.

Or, ici, la crédibilité du perçu de l'interactivité avec un personnage virtuel repose sur sa connaissance de l'environnement, et de celle de la langue et de la culture de l'utilisateur pour traduire les éléments d'une culture à une autre. La mise en scène du personnage virtuel se trouve être également facilitée comme elle se rapporte à un élément visible de l'arrière-plan. Dès lors où notre « smartphone » est ouvert comme une lucarne sur un environnement devenu surligné, le simple fait d'établir un lien avec l'arrière-plan permet de simplifier le niveau des explications à apporter. On entre dans le domaine de la communication orale où un simple commentaire, une anecdote s'y rapportant, illustre une situation.

De manière générale, nous constatons que l'informatique nomade et l'informatique ubiquitaire favorisent l'interactivité entre un personnage virtuel et une scène réelle, mais également entre un utilisateur et un personnage virtuel, ou entre un utilisateur et une scène réelle augmentée. Cela laisse entrevoir de nouvelles perspectives auxquelles nous associons le terme de **réalité augmentée interactive**.

6.2 Etat de l'art

6.2.1 Un guide touristique virtuel autonome

Le passage d'un guide touristique virtuel à un guide touristique virtuel **autonome** a été franchi par Morgan Veyret (2009) dans le cadre du projet ANR SIRENE pour la visite guidée du musée d'Océanopolis de Brest. Le système est capable de construire dynamiquement une visite à partir de sa perception de l'environnement. L'architecture du système proposé est illustrée ci-dessous :

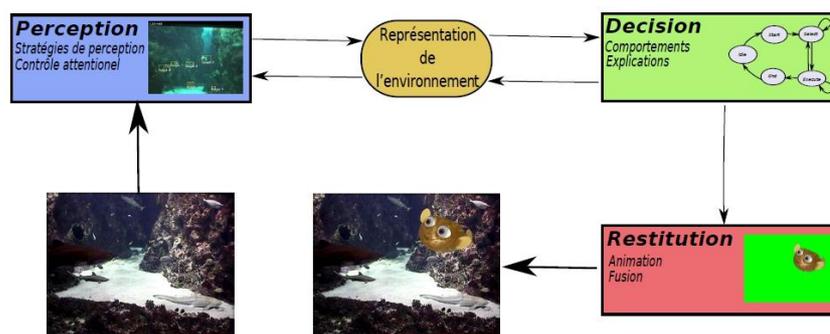


Figure 6.1 : Processus pour la mise en scène d'un guide touristique virtuel autonome

Elle repose sur un module de perception visuelle de l'environnement, un module de décision et un module d'animation. C'est l'interaction de ces trois modules de manière asynchrone qui permet de mettre en scène une visite guidée.

6.2.2 Les agents conversationnels

Les travaux portant sur les agents conversationnels sont remarquables et les illustrations très démonstratives. Parmi les agents conversationnels existants, Greta se distingue tout particulièrement.

Greta est un logiciel qui permet d'animer des agents conversationnels 3D conformément au type standard d'animation « MPEG-4 ». Avec Greta, un humain virtuel peut communiquer en utilisant une palette riche de comportements verbaux et non verbaux. La communication s'effectue aussi aux moyens d'expressions du visage, de gestes et de mouvements de la tête.

Comment alors décrire, par exemple, les expressions faciales dans Greta (Elisabetta Bevacqua & al. 2007) ? Celles-ci ont définies par une séquence d'images-clés « keyframe ». Une image clé est représentée par un couple (T; FS) qui définit la forme de visage (FS) à l'instant T. Par défaut, chaque expression faciale commence et se termine par une expression neutre. Une animation d'expression faciale « FA » est caractérisée par les quatre paramètres temporels suivant :

Tattack : Le temps nécessaire pour qu'une expression faciale passe de l'état neutre à la phase d'intensité maximale « FS1 ».

Tdecay : Le temps durant lequel l'intensité de l'expression diminue pour atteindre une valeur stable FS2.

Tsustain : Le temps durant lequel l'expression la plus visible dans toute l'animation se produit.

Trelease : le temps que prend une expression pour revenir à son état neutre « FSneutral ».

Par conséquent, une animation d'expression faciale « FA » peut être définie par ce qui suit : FA = ((Tattack; FS1); (Tdecay; FS2); (Tsustain; FS2); (Trelease; FSneutral)). FA est calculé par interpolation des frames ainsi obtenues.

Afin de spécifier les gestes effectués avec les bras et les ajuster en fonction du contexte de communication, Greta utilise un langage de script se basant sur des contraintes temporelles obtenues à partir d'un synthétiseur de parole. Un geste est caractérisé dans ce langage par sa classe, sa durée en secondes, l'animation de l'un ou des deux bras, la position des bras ou des doigts dans chaque frame.

6.3 Applications

6.3.1 Mise en scène d'un guide touristique virtuel

Tout d'abord, le choix des centres d'intérêts et des itinéraires, celui d'un personnage, le contenu des commentaires doivent pouvoir être définis par les professionnels du tourisme, tels que les offices de tourisme, les musées, ... Il y a déjà, dans un premier temps, à concevoir un logiciel adapté à la création du contenu des augmentations par les professionnels du tourisme. Dans un deuxième temps, il s'agit de mettre en scène le personnage virtuel qui va jouer la scène à partir du contenu numérique défini précédemment. Un dossier de projet européen impliquant les professionnels du tourisme a été déposé sur ce point.

Le comportement d'un guide virtuel semble être préprogrammé. Tel un vrai guide, il intervient le long de l'itinéraire, aux abords d'un site touristique, pour en commenter les points remarquables. Mais, pour gagner en crédibilité, nos travaux de recherche portent tout naturellement sur les moyens de procurer une « autonomie apparente » à un guide virtuel et d'augmenter d'autre part l'interactivité avec la scène.

Pour gagner en autonomie, un guide virtuel doit pouvoir répondre à une question se rapportant à un site touristique et l'illustrer éventuellement par rapport à une référence culturelle compréhensible par l'utilisateur. C'est le premier point. Nous nous appuyons, pour cela, sur les avancées remarquables liées aux agents conversationnels.

Concernant l'interactivité avec la scène, elle est de divers ordres, comme entre l'utilisateur et le guide virtuel, nous venons d'ailleurs d'en parler, mais également entre l'utilisateur et les augmentations. Pour ce dernier point, il s'agit de s'adapter aux besoins de l'utilisateur et à son niveau de compréhension. Pour cela, on peut être amené à cacher des augmentations jugées inutiles, ajouter de nouvelles augmentations, augmenter ou diminuer le niveau des informations numériques à apporter, ...

Un mode d'interactivité nouveau est celui à développer entre le guide virtuel et la scène réelle. S'appuyant sur un mode de communication multimodale, un guide virtuel peut joindre une expression à la parole, mais également un geste à la parole (Richard A. Bolt 1980). Pour mieux le comprendre, nous pouvons d'ailleurs illustrer nos propos par un exemple. La gare du midi de Biarritz (figure 6.2), aujourd'hui transformée en une salle de spectacle, était la seule gare de France où les trains arrivaient par le toit de la gare ; les passagers descendait ensuite au rez-de-chaussée pour sortir de la gare par le hall d'entrée. Pour le mettre en scène, de l'emplacement où se trouve l'utilisateur (figure 6.2), nous mettons alors en scène un personnage virtuel qui se tourne vers la gare, lève le doigt pour désigner où se situait le terminus des trains, tout expliquant à l'utilisateur la singularité de cette ancienne gare. Pour ce faire, il faut créer un script, par exemple en langage BML de la plate-forme Geta, qui associe la communication non verbale à la communication verbale du personnage virtuel.



Figure 6.2 : Le palais des festivals redevenu la gare du midi

On se base sur l'utilisation de Greta pour mettre en scène un guide virtuel.

6.3.2 Découverte et observation de la nature

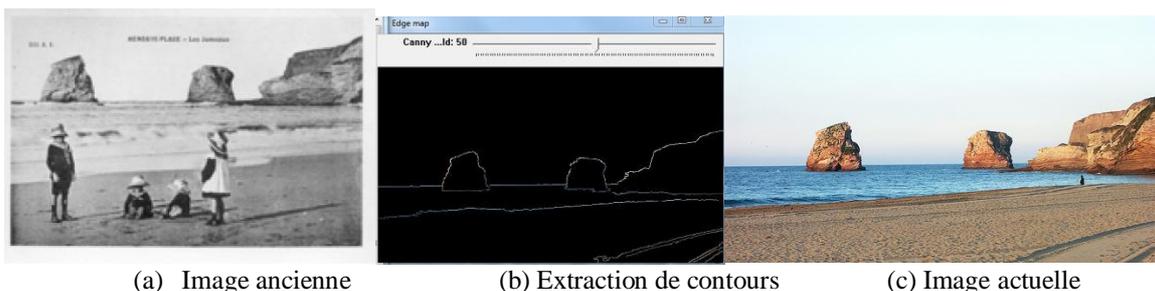
Le compagnon virtuel nous amène en randonnée pour découvrir la nature. L'urbanisation de ces dernières décennies et l'intérêt croissant pour les nouvelles technologies ont conduit l'homme à s'éloigner de la nature et à ne plus connaître son environnement. Couplé par exemple aux résultats du projet ReVeS « REcognition de VEgétaux pour des interfaces Smartphones », financé par l'Agence Nationale de la Recherche dans le cadre de l'appel à projet CONTINT 2010, un guide virtuel peut décrire toutes les formes d'arbres et d'arbustes à partir de la simple analyse de leurs feuilles. De nombreux scénarii de ce type sont envisageables pour nous aider à redécouvrir la nature et à comprendre l'importance de la biodiversité.

Dans Jean-Marc Cieutat & al. (2011a), nous avons même exposé l'idée de joindre l'utile à l'agréable, et de profiter des temps de loisirs pour partager nos données environnementales pour l'observation de la terre. Cela permettrait, par exemple, de surveiller l'érosion du littoral, le niveau d'eau de nos lacs, la fonte des glaciers ou encore la déforestation. Une idée similaire a été également proposée par Payam Ghadirian and Ian D. Bishop (2002) pour surveiller la propagation des mauvaises herbes dans les paysages naturels.

Toute observation objective, toute utilisation à caractère scientifique de l'information, présuppose que les données employées soient précises. Cela est désormais rendu possible grâce au géo-référencement de nos photos. À cet effet, un « géotag » (Rob C. Pasley & al. 2007), un marqueur à caractère géographique, est inséré directement dans le format de l'image. Cette balise de géolocalisation peut être constituée des coordonnées GPS (latitude, longitude, hauteur), de la direction de la vue en coordonnées polaires, de la date et d'une saisie (Frédéric Evennou 2007). Citons, par exemple, le format Exif (Exchangeable image file format) établi par le JEIDA (Japan Electronic Industry Development) qui permet d'intégrer automatiquement une balise dans un format image. En l'absence de traitement automatique, il reste toujours également possible de « tatouer » la balise de géolocalisation directement dans l'image. Cette technique utilise généralement le bit de poids faibles (le moins significatif) des premiers octets de l'image pour insérer directement l'information dans l'image.

Une des illustrations de l'article (Jean-Marc Cieutat & al. 2011a) porte sur un algorithme de « morphing » intelligent qui rend compte de l'érosion de nos côtes. Les contours entre la mer, la côte et le ciel sont extraits de l'image source I_s et de l'image destination I_d dans un premier temps (figure 6.3) ; puis, les images intermédiaires I_α de l'animation de « morphing » sont ensuite calculées par interpolation à partir des coordonnées des contours en appliquant l'équation 1 suivante :

$$I_\alpha = I_s * \alpha + I_d * (1 - \alpha) \quad (1)$$



(a) Image ancienne

(b) Extraction de contours

(c) Image actuelle

Figure 6.3 : Exemple de morphing intelligent

De cette manière, l'illusion d'un rendu, qui retranscrit fidèlement le recul de la côte au cours des âges sous l'effet de la mer, est alors parfaite. Un personnage virtuel, aux allures d'un célèbre physicien, vient expliquer la constitution des roches pour justifier que les deux jumeaux de la falaise d'Hendaye aient si peu changé au cours des âges alors que sur les arrières la falaise recule (figure 6.4).



Figure 6.4 : Explication du phénomène naturel qu'est l'érosion par un personnage scientifique

Le même personnage nous explique encore les phénomènes naturels que sont les marées et les courants, pour nous montrer à quoi ressembleraient nos côtes si, à même latitude, elles étaient refroidies par le courant du Labrador au lieu d'être réchauffées par le courant du Gulf Stream. Les paysages sont alors recouverts de neige et les lacs et les rivières deviennent gelés.

La détection des contours, la segmentation des images en régions sont calculées par les méthodes traditionnelles, comme l'algorithme de Canny pour les contours ou encore comme la classification en régions au moyen de l'analyse spectrale. Dans ce dernier cas, une région peut être constituée de l'union de plusieurs classes de couleurs spatio-colorimétrique (bleu et gris pour le ciel, ...).

6.3.3 Découverte de l'héritage culturel et historique d'une ville

Durant une visite en environnement urbain, le guide virtuel accompagne le visiteur dans sa découverte de l'héritage culturel et historique d'une ville. Faisant preuve d'autonomie, le guide présente au visiteur les centres d'intérêts les plus proches du lieu où il se trouve, comme les bâtiments historiques ou encore les centres culturels. Il anime une visite en associant le verbal et le non-verbal, pour agrémente la narration et rendre la visite plus attractive.

La structure de données utilisée pour implémenter la mise en scène d'une visite urbaine par un guide virtuel est un automate. L'automate de la figure 6.5 illustre une visite composée de trois centres d'intérêts remarquables que l'on appelle des POints d'Intérêt (POIs). Les états de l'automate représentent les POIs tandis que les arcs représentent les transitions possibles entre les états. Nous avons de plus opté pour l'utilisation de la plate-forme de développement d'agents conversationnels Greta pour animer un guide virtuel.

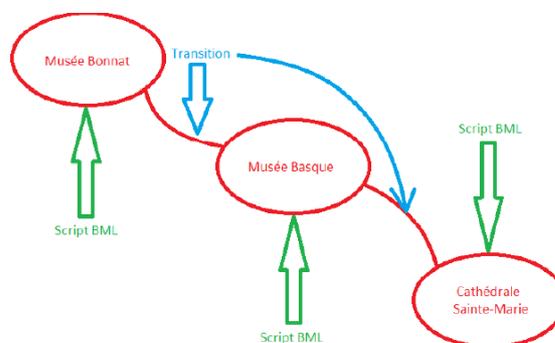


Figure 6.5 : Visite guidée dans le centre-ville de Bayonne

Dans Greta, la communication non verbale se traduit par les expressions du visage de l'agent conversationnel, ses gestes et les mouvements de son corps. Le corps est un modèle 3D, dont le modèle géométrique s'articule

autour d'un squelette. Aux extrémités de chaque partie du squelette, on trouve des nœuds qui sont à la base du mouvement. Pour définir un mouvement, on commence par associer un déplacement à un nœud suivant les trois dimensions de l'espace (en x, en y et en z). C'est le déplacement simultané de plusieurs nœuds du squelette qui déclenche le mouvement d'un personnage virtuel. La coordination du mouvement est assurée grâce à la description de tous les mouvements possibles des nœuds du squelette dans un fichier associé.

Concernant la communication verbale, à chacune des syllabes d'un mot à prononcer est associé un mouvement particulier des lèvres. C'est un synthétiseur vocal de type « text to speech » qui permet de traduire les mots en paroles. Le texte du discours à prononcer est préalablement mémorisé et une visite complète est composée d'une succession de discours. Dans la plate-forme *Greta*, à chaque discours correspond à un script BML. Un script BML est en fait un script XML qui associe le langage verbal et le langage non-verbal.

La structure générale d'un script BML est la suivante :

```
<Bml>
<Speech></speech>
<Mouvements></mouvements>
</Bml>
```

Dans un script, les balises <Bml> marquent le début et la fin du script. Une balise <Speech> contient le texte que doit prononcer un guide virtuel. On trouve ensuite les balises de mouvements.

Comme si l'illustration d'un lieu touristique ne suffisait pas, le guide virtuel doit pouvoir également proposer un début de réponse à une question posée par le visiteur. Pour cela, on associe à chacun des états de l'automate des temps de visite interactive prévus à cette intention. De la même manière, on pourrait ajouter un temps interactif à une transition d'un état à un autre de l'automate pour justifier le choix d'une visite d'un site touristique plutôt qu'un autre ; pourquoi visiter tel lieu plutôt que tel autre.

L'interaction verbale avec un compagnon virtuel se fait en plusieurs étapes, qui comportent la reconnaissance vocale, le choix et la formulation de la réponse. La reconnaissance vocale est la technologie informatique permettant de dialoguer avec un ordinateur. Elle s'appuie sur différents domaines comme le traitement du signal et l'intelligence artificielle. Après quelques recherches, nous avons opté pour la librairie *Voce* qui est une librairie de reconnaissance multiplateforme.

Suite à la reconnaissance vocale avec la librairie *Voce*, une question posée par l'utilisateur est convertie au format BML pour qu'un guide virtuel puisse formuler la réponse. Trouver la réponse à la question posée nécessite de parcourir préalablement un fichier de type AIML. Le format de ce fichier est en fait un dérivé du XML, qui permet de gérer les connaissances associées à un site touristique. Ainsi, dans ce fichier, nous mémorisons les questions susceptibles d'être posées et les réponses s'y rapportant. Bien sûr il est impossible de connaître à l'avance toutes les questions que poseront les utilisateurs. Aussi ce fichier, de taille indéterminée, peut contenir parfois uniquement des mots clés et les quelques associations qui s'y rapportent.

Le guide virtuel, intégré à la scène réelle, joue le rôle d'interface entre l'utilisateur et la scène. En effet, l'utilisateur regardant la scène réelle à travers son Smartphone ouvert comme une lucarne sur le monde, voit apparaître sous ses yeux l'humain virtuel. L'impression de **coexistence** entre la scène réelle et le guide virtuel repose sur plusieurs points. Plusieurs mises en scène sont en effet possibles. Dès lors où le « smartphone » scrute la scène, le personnage peut être dans une posture narrative : sa position est alors relative par rapport à l'écran, pas nécessairement par rapport à la scène. Si l'on cherche à renforcer le sentiment de présence du guide virtuel dans la scène, tout particulièrement lors d'une interaction avec la scène, il faut alors maintenir la **cohérence spatio-temporelle** entre le guide virtuel et la scène. L'univers créé devient un univers de réalité mixte. Sur la figure 6.6, notre guide touristique semble marcher sur les pavés qui conduisent à l'église Sainte-Eugénie de Biarritz tout en décrivant l'architecture toute particulière de cette église. Maintenir la cohérence spatio-temporelle lors d'une posture interactive du guide avec la scène, présuppose que l'utilisateur n'effectue pas de mouvements brusques avec son « smartphone ».



Figure 6.6 : Histoire de l'église Sainte-Eugénie à Biarritz

6.3.4 Méthode de recalage hybride

Le recalage des augmentations s'appuie sur la reconnaissance et le suivi des contours 3D des bâtiments. On parle souvent dans la littérature de méthode de suivi 3D ; il s'agit plus exactement de méthode de suivi 2D/3D. Pour cela, il faut préalablement connaître les modèles 3D des contours des bâtiments. La figure ci-dessous montre le modèle de contours 3D du musée basque (figure 6.7). Notre méthode de reconstruction utilise plusieurs captures d'un bâtiment, prises depuis plusieurs points de vue. Le logiciel Autodesk ImageModeler est utilisé pour construire le modèle 3D à partir de l'appariement de points caractéristiques présents dans les différentes captures.

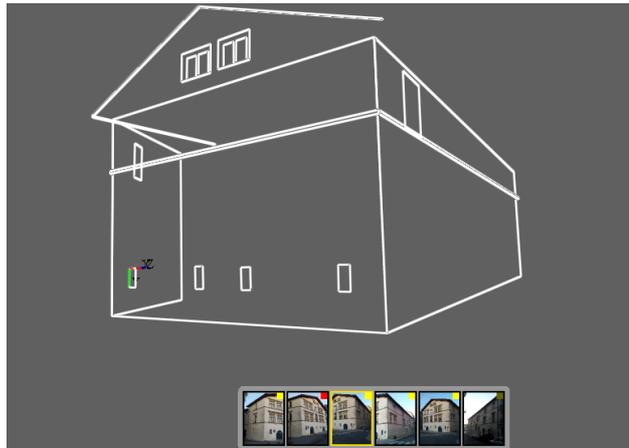


Figure 6.7 : Modèle 3D de contours de musée basque

La méthode employée pour le recalage est une méthode hybride basée centrale inertielle et vision pour combler les lacunes du GPS et les occultations. L'algorithme de suivi visuel s'inspire des travaux de Georg Klein et de Tom Drummond, eux-mêmes inspirés par les travaux de 1990 de Chris Harris et de Carl Stennett et de leur algorithme RAPiD. Une publication sur ce sujet est en cours de préparation.

6.4 Conclusion du chapitre

La réalité augmentée mobile est le domaine d'application de la réalité augmentée le plus connu du grand public. Nous avons mis en avant dans ce chapitre des aspects innovants en réalité augmentée mobile, comme les techniques d'animation, le rendu non physiquement réaliste et les guides virtuels humains. Nos travaux ont reçu un écho favorable de la part des offices de tourisme et des musées de la côte basque. Il en résulte des projets très originaux en cours de réalisation.

7. Conclusions et bilans

7.1 Les travaux présentés dans le mémoire

L'homme n'a de cesse de dépasser ses capacités et de maîtriser son environnement. Poursuivant cette quête, nous avons proposé des applications de réalité augmentée originales, pour une meilleure perception et une meilleure interaction avec le monde physique.

Pour y parvenir, nous avons tout d'abord cherché à mieux définir ce qu'était la réalité augmentée, objet de la rédaction du deuxième chapitre de ce mémoire. Nous avons ensuite adopté l'approche cognitiviste pour mieux appréhender les grandes fonctions psychologiques de l'être humain et comprendre comment améliorer nos capacités de perception et d'interaction.

Parmi les applications présentées dans ce mémoire, on peut citer :

- l'aide à la navigation,
- la pédagogie active et l'enseignement des sciences et de la technologie,
- l'apprentissage de gestes techniques,
- la télé-assistance et le travail collaboratif,
- ou encore le tourisme.

Ces applications ont certes été rendues possibles grâce aux avancées technologiques liées à l'informatique qui se sont accélérées ces dernières années (informatique nomade, accès à internet, géolocalisation et systèmes d'information géographique, informatique graphique et réalité virtuelle, instrumentation des processus et des procédés industriels, ...). Mais pour les mettre en œuvre, nous avons tout d'abord développé notre propre méthodologie de conception d'une application de réalité augmentée, couplant les méthodes d'analyse de la tâche et des activités humaines avec les méthodes éprouvées de développements de logiciels. Nous avons aussi mis en avant de nouvelles approches hybrides pour effectuer le recalage entre le réel et le virtuel et nous avons proposé des algorithmes basés vision robustes et efficaces. Puis, pour en faciliter l'utilisation, nous avons choisi des interfaces hommes machines que l'on peut illustrer par de simples métaphores d'interaction comme :

- la réalité cliquable et la réalité cliquée,
- « Comment faire ? »,
- le « Picking Outlining Adding »,
- « Suivez-moi que je vous montre et que je vous explique ! ».

Des premières applications industrielles de réalité augmentée ont également vu le jour dans notre bâtiment.

Le résultat le plus surprenant est la particularité de ces applications de s'apparenter à de nouveaux modes de communications. Ces nouveaux modes résultent sûrement de la richesse des univers de réalité mixte proposés (logiciel de navigation maritime proche d'un environnement virtuel qui se mélange au flux vidéo, jeu sérieux de réalité augmentée, ...), impliquant parfois des communications multimodales alliant communications verbales et communications non verbales (l'expert télé-présent qui joint le geste à la parole, le guide virtuel qui illustre ses explications, ...).

Comme résultat décevant, on peut légitimement s'interroger sur la difficulté de pénétration de la réalité augmentée dans certains secteurs industriels tels que la fabrication ou la maintenance malgré la robustesse des algorithmes de recalage proposés ces dernières années. Nous avons alors évoqué quelques freins possibles comme :

- le caractère déterministe et les difficultés de mise en œuvre de tels systèmes,
- le changement d'habitude,
- le caractère intrusif des dispositifs d'affichage et l'absence de lunettes en vision directe n'altérant pas la vision naturelle.

Les raisons évoquées sont louables. Par exemple, le succès des applications de réalité augmentée sur « smartphones » et sur tablettes n'était pas complètement attendu. Il est sûrement aussi imputable à nos changements d'habitude ; nos « smartphones » qui désormais nous accompagnent partout, et que nous utilisons tels des appareils photo ou des caméscopes.

Que penser des lunettes « Project Glass » de Google ? Il y a eu beaucoup de promesses dans le passé. Pourtant, l'engouement pour des lunettes peu intrusives, conservant la vision naturelle, est inchangé. Nous restons à l'affût de nouveaux dispositifs d'affichage.

Concernant la question du recalage et du caractère intrusif des dispositifs d'affichage, plusieurs auteurs, comme Margarita Anastassova (2006), ont montré que la précision du recalage n'était pas aussi fondamentale qu'il y paraissait. À ce propos, la définition proposée par Fuchs et Moreau (2001) nous dit que la "réalité augmentée regroupe l'ensemble des techniques permettant d'associer un monde réel avec un monde virtuel, spécialement en utilisant l'intégration d'images réelles avec des entités virtuelles : ..." et la question du recalage n'y est d'ailleurs pas abordée.



Parmi tous les champs d'application de la réalité augmentée, c'est la quête de l'homme à vouloir dépasser ses capacités et maîtriser son environnement que nous avons étudié. Dans ce contexte, la réalité augmentée pourrait se définir comme l'ensemble des techniques visant à associer le monde numérique au monde réel, afin d'y ajouter des informations dans le but d'améliorer nos capacités de perception et d'interaction avec le monde physique. Nous avons coutume de considérer les informations ajoutées comme essentiellement visuelles, alors qu'elles peuvent être d'une autre nature, auditive ou tactile par exemple. Mais, quelle que soit sa nature, l'information ajoutée doit être située par rapport au monde réel et son contenu étroitement dépendant de la finalité de l'interaction¹ avec le monde réel.

Si la précision du recalage importe moins, on peut dès lors envisager l'utilisation de dispositifs d'affichage moins contraignants, plus favorables à une utilisation dans un contexte industriel. L'utilisation d'augmentations multisensorielle offre également de nouvelles perspectives. Enfin, face à des situations spécifiques, nous avons également évoqué dans le paragraphe 4.6 des alternatives plus simples pour une perception et une interaction avec le monde physique augmentées, nécessitant moins d'instrumentation et plus faciles à mettre en œuvre.

¹ Il y a sûrement un recoupement ici à établir avec une autre discipline que la réalité augmentée qui est l'informatique sensible au contexte, bien que le contexte de l'interaction évoquée dans ce cadre est plus communément celui de l'homme et de la machine que celle de l'homme avec son environnement réel. Gaetan Rey et Joelle Coutaz (2003) proposent quatre axes de définition de l'informatique sensible au contexte:

- (1) Il n'y a pas de contexte sans contexte : La notion de contexte doit se définir en fonction d'une finalité.
- (2) Le contexte est un espace d'information qui sert l'interprétation : la capture du contexte n'est pas une fin en soi mais les données capturées doivent servir un objectif.
- (3) Le contexte est un espace d'information partagé par plusieurs acteurs : ici, il s'agit de l'utilisateur et du système.
- (4) Le contexte est un espace d'information infini et évolutif : le contexte n'est pas figé une fois pour toutes mais se construit au cours du temps.

7.2 Recherche transdisciplinaire et innovation technologique

L'ESTIA possède un caractère unique sur son territoire, celui d'être proche de ses entreprises territoriales, ce qui favorise la compréhension de l'évolution des besoins du monde de l'entreprise. Cette proximité avec les entreprises peut aussi s'expliquer comme l'ESTIA est un service de la Chambre de Commerce et d'Industrie (CCI) de Bayonne Pays-Basque.

Ces dernières années, j'aurais pu travailler plus globalement sur les thèmes de perception, de cognition et d'interaction avec le monde physique, avec des réalisations qui dépassent le cadre de l'utilisation d'un dispositif d'affichage de réalité augmentée.

Une première catégorie de produits industriels sur les ordinateurs portés et les vêtements intelligents a notamment été présentée au concours OSEO 2010 pour l'aide à la création d'entreprises de technologies innovantes. Cela a débouché sur plusieurs collaborations industrielles par la suite.

Dans ce contexte, nous pourrions commencer par citer la réalisation d'un gilet airbag électronique de sauvetage en mer qui, grâce à un simple capteur de pression permet de détecter la présence dans l'eau, de déclencher un airbag et maintenir la tête hors de l'eau, et grâce à un émetteur radio de déclencher une alarme sur le bateau.

Un prototype de ceinture airbag électronique a également été réalisé pour anticiper la fracture du col du fémur qui est un véritable fléau entraînant de lourdes séquelles, tout particulièrement chez les personnes âgées. Un capteur intelligent détecte la chute, déclenche un airbag et amortit le contact au sol grâce à des valves de décompression.

Citons encore l'intégration d'un écran souple de type OLED sur la manche d'un opérateur.

D'autres innovations technologiques auront pu encore être étudiées, dépassant le cadre de la réalité augmentée pour celui de l'**humain augmenté**.

Bibliographie

A_____

Julian Alvarez. *Du Jeu vidéo au Serious Game : approches culturelle, pragmatique et formelle. Thèse spécialité science de la communication et de l'information*. Toulouse : Université de Toulouse II (Le Mirail), Université de Toulouse III (Paul Sabatier), décembre 2007, 445 p.

AMRA. Augmented reality assistance in train maintenance tasks, 2002. <http://evra.ibisc.univ-evry.fr/index.php/AMRA>

Margarita Anastassova. L'analyse ergonomique des besoins en amont de la conception de technologies émergentes : le cas de la réalité augmentée pour la formation à la maintenance automobile. PhD thesis, Université René Descartes, Paris 5, 2006.

Bruno Arnaldi, Philippe Fuchs et Jacques Tisseau. Chapitre 1 du volume 1 du traité de la réalité virtuelle. Les Presses de l'Ecole des Mines de Paris (2003).

ARVIKA. Augmented reality for development, production, servicing, 1999. <http://www.arvika.de>

Claude Aubry. *SCRUM : Le guide pratique de la méthode agile la plus populaire*. DUNOD, Paris, 2010

Audiobone. <http://www.audiobone.eu>

Nikos Avradinis, Spyros Vosinakis, Themis Panayiotopoulos, Using Virtual Reality Techniques for the Simulation of Physics Experiments. 4th World Multiconference on Systemics, Cybernetics, and Informatics (SCI), Florida, 2000.

Ronald Azuma, Yohan Baillot, Reinhold Behringer, Steven Feiner, Simon Julier, and Blair MacIntyre. *Recent advances in augmented reality*. IEEE Comput. Graph. Appl., 21(6): 34–47, 2001.

Ronald Azuma. *A survey of augmented reality*. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 6(4): 355–385, 1997.

B_____

Martin Bauer, Gerd Kortuem, and Zary Segall. "Where are you pointing at?" a study of remote collaboration in a wearable videoconference system. In ISWC'99: Proceedings of the 3rd IEEE International Symposium on Wearable Computers, page 151, Washington, DC, USA, 1999. IEEE Computer Society.

Martin Bauer, Timo Heiber, Gerd Kortuem, and Zary Segall. A collaborative wearable system with remote sensing. In ISWC '98: Proceedings of the 2nd IEEE International Symposium on Wearable Computers, page 10, Washington, DC, USA, 1998. IEEE Computer Society.

Mathilde M. Bekker, Judith S. Olson, and Gary M. Olson. Analysis of gestures in face-to-face design teams provides guidance for how to use groupware in design. In DIS'95: Proceedings of the 1st conference on Designing interactive systems, pages 157–166, New York, NY, USA, 1995. ACM.

E. Bevacqua, M. Mancini, R. Niewiadomski and C. Pelachaud, "An expressive ECA showing complex emotions", AISB'07 - Artificial and Ambient Intelligence, Newcastle University, Newcastle upon Tyne, UK, April 2nd-4th, 2007

M. Billinghurst, H. Kato, S. Bee, and J. Bowskill. Asymmetries in collaborative wearable interfaces. Wearable Computers, IEEE International Symposium, 0 :133, 1999.

Alain Berthoz. *Le sens du mouvement*. Editions Odile Jacob, 1997

Richard A. Bolt. Put-That There: Voice and Gesture at the Graphics Interface. *ACM Computer Graphics*, 14-3, 262-270, 1980.

Sébastien Bottecchia. Le système T.A.C. : Télé-Assistance Collaborative. Réalité augmentée et NTIC au service des experts et des opérateurs dans le cadre d'une tâche de maintenance industrielle supervisée. Thèse soutenue le lundi 20 septembre 2010 à l'ESTIA, mémoire de thèse.

Sébastien Bottecchia, Jean-Marc Cieutat, Jean-Pierre Jessel. Experimentation of a New TeleAssistance System Using Augmented Reality. *VRIC 2010*, Laval, 7-9 avril. 2010a

Sébastien Bottecchia, Jean-Marc Cieutat, Jean-Pierre Jessel. T.A.C: Augmented Reality System for Collaborative Tele-Assistance. In the Field of Maintenance through Internet. *Augmented Human 2010*, Megève, 2-3 avril. 2010b

A New AR Interaction Paradigm for Collaborative TeleAssistance system: The P.O.A. Sébastien Bottecchia, Jean-Marc Cieutat, Christophe Merlo and Jean-Pierre Jessel. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)* 3, 1 (2008) 35-40, 2009

Sébastien Bottecchia, Jean-Marc Cieutat, Jean-Pierre Jessel. T.A.C : Système de réalité augmentée pour la Télé-Assistance Collaborative dans le domaine de la maintenance. Dans *Association Française de Réalité Virtuelle (2008)*, AFRV08, Bordeaux, 30-31 octobre 2008, actes des troisièmes journées de l'Association Française de Réalité Virtuelle, 133-138.

Jean-Yves Bouguet. Pyramidal implementation of the lucas kanade feature tracker: Description of the algorithm, 2002.

Eric Brangier. Comment améliorer la performance de l'opérateur par des dispositifs d'aide au travail? In Lévy-Leboyer, C, Louche, C., et Rolland, J-P (Eds), *Management des organisations*, pages 429–450. Edition d'organisation (Paris), 2007.

Eric Brangier and Javier Barcenilla. Concevoir un produit facile à utiliser : Adapter les technologies à l'homme. Edition d'organisation, Paris, 2003.

Eric Brangier. Approche ergonomique de l'assistance technique à l'homme : vers un modèle de la symbiose homme-technologie? In *IHM et assistance technique*, pages 48–56, 2001.

Jean-Marie Burkhardt, D. Lourdeaux et D. Mellet-d'Huart : La réalité Virtuelle pour l'apprentissage humain. Chapitre II du volume 4, les applications de la Réalité Virtuelle, du traité de la Réalité Virtuelle. Arnaldi B., Fuchs P., Guitton P., Moreau G. Les Presses de l'Ecole des Mines de Paris.

C_____

Sybille Caffiau, Dominique L. Scapin, Patrick Girard, Mickaël Baron, et Francis Jambon. Increasing the expressive power of task analysis: Systematic comparison and empirical assessment of tool-supported task models. *Interacting with Computers*, 22 :569–593, June 2010.

Jean-Marc Cieutat, Olivier Hugues, Nehla Ghouaiel. Active Learning based on the use of Augmented Reality. Outline of Possible Applications: Serious Games, Scientific Experiments, Confronting Studies with Creation, Training for Carrying out Technical Skills. *International Journal of Computer Applications* 46(20):31-36, May 2012. Published by Foundation of Computer Science, New York, USA.

Jean-Marc Cieutat, Olivier Hugues, Nehla Ghouaiel, Sébastien Bottecchia. Une pédagogie active basée sur l'utilisation de la Réalité Augmentée. Observations et expérimentations scientifiques et technologiques, apprentissages technologiques. Dans *Association Française de Réalité Virtuelle (2011)*, AFRV11, Bidart, 10-13 octobre 2011, actes des sixièmes journées de l'Association Française de Réalité Virtuelle. 2011a

Jean-Marc Cieutat, Nehla Ghouaiel, Jean-Pierre Jessel. Partage de données environnementales pour la découverte et l'observation de la terre. Actes des 7^{ème} journées francophones Mobilité et Ubiquité, Ubimob'11, Toulouse, 6-8 juin 2011. 2011b

Jean-Marc Cieutat, Jean-Christophe Gonzato, Pascal Guitton. *Navigation training simulation in ocean waves*. Sim'Ouest'2002, European Conference on marine Technology : Industry and Simulation, November 28-29 2002

Jean-Marc Cieutat, Jean-Christophe Gonzato, Pascal Guitton. *A new efficient wave model for maritime training simulator*, in Spring Conference on Computer Graphics (éd. Toshiyasu L. Kunii), IEEE Computer Society (2001), 251-259

Civilization. <http://www.civilization.com/>

Coastal Explorer. <http://rosepointnav.com/default.htm>, October 2009.

Pierre Couedelo. CAMKA system. <http://www.camka.com>, 2006.

D_____

L. D. Dalto, O. Balet, J. Duchon, and D. Mellet-d'Huart. Cs wave : Virtual reality for welders. In IEEE VR 2005, Workshop on Virtuality Structure (2005), Bonn, Germany, March 12-16, 2005.

Antonio R. Damasio. *L'Erreur de Descartes : la raison des émotions*, Paris, Editions Odile Jacob, 1995.

Jean-Yves Didier. *Contributions à la dextérité d'un système de réalité augmentée mobile appliqué à la maintenance industrielle*. PhD thesis, University d'Evry Val d'Essonne, Evry, 2005.

G. Doherty-Sneddon, A. Anderson, C. O'Malley, S. Langton, S. Garrod, and V. Bruce. Face-to-face and video mediated communication : A comparison of dialogue structure and task performance. In *Journal of Experimental Psychology*, volume 3, pages 105–125, 1997.

Emmanuel Dubois. *Conception, Implémentation et Evaluation de Systèmes Interactifs Mixtes : une Approche basée Modèles et centrée sur l'Interaction*. Habilitation à diriger des recherches, Université de Toulouse, septembre 2009.

Gordon Dupont. The dirty dozen errors in maintenance. In *Human Factors Issues in Aircraft Maintenance and Inspection Meeting 11 Proceedings*, Washington, DC : FAA, 1997.

E_____

Frédéric Evennou. Techniques et technologies de localisation avancées pour terminaux mobiles dans les environnements indoor. Mémoire de thèse, janvier 2007.

Exif. http://fr.wikipedia.org/wiki/Exchangeable_image_file_format

F_____

Célestin Freinet. *Oeuvres pédagogiques*, Edition du Seuil 1994.

Steven Feiner, Blair Macintyre, and Dorée Seligmann. Knowledge-based augmented reality. *Commun. ACM*, 36(7): 53–62, 1993.

Phillipe Fuchs et Guillaume Moreau. *Le Traité de la Réalité Virtuelle*, troisième édition. Les Presses de l'Ecole des Mines de Paris, Mars 2006.

Phillipe Fuchs, Guillaume Moreau, and Jean-Paul Papin. *Le Traité de la Réalité Virtuelle*, première édition. Les Presses de l'Ecole des Mines de Paris, 2001.

Furuno. <http://www.furuno.fr/>

Susan R. Fussell, Leslie D. Setlock, and Robert E. Kraut. Effects of head-mounted and scene-oriented video systems on remote collaboration on physical tasks. In *CHI'03: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 513–520, New York, NY, USA, 2003. ACM.

Susan R. Fussell, Leslie D. Setlock, Jie Yang, Jiazhi Ou, Elizabeth Mauer, and Adam D. I. Kramer. Gestures over video streams to support remote collaboration on physical tasks. *Human Computer Interaction*, 19(3): 273–309, 2004.

G_____

Payam Ghadirian and Ian D. Bishop. Composition of Augmented Reality and GIS To Visualize Environmental Changes. Joint AURISA and Institution of Surveyors Conference, 2002.

Nehla Ghouaiel, Jean-Marc Cieutat, Jean-Pierre Jessel. MARTS : Conception d'un Système Mobile de Réalité Augmentée Dédié au Tourisme. Actes des 7^{ème} journées francophones Mobilité et Ubiquité, Ubimob'11, Toulouse, 6-8 juin 2011.

Garmin. <http://www.garmin.com/garmin/cms/site/fr>

James J. Gibson. *The senses considered as perceptual systems*. Houghton Mifflin, Boston, 1966.

Mark Grabe, Cindy Grabe. Integrating technology for meaningful learning, 5eme edition, New York: Houghton Mifflin Company, 2007.

Greta. <http://www.chatbots.org/chatterbot/greta>

Gulf Stream. http://fr.wikipedia.org/wiki/Gulf_Stream

H_____

Chris Harris and Carl Stennett. RAPID - a video rate object tracker. In *British Machine Vision Conference*, pages 73–78, 1990.

Chris G. Harris and Mike J. Stephens. A combined corner and edge detector. In *Alvey Vision Conference*, pages 147–152, 1988.

Christian Heath and Paul Luff. Disembodied conduct : communication through video in a multi-media office environment. In *CHI'91: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 99–103, New York, NY, USA, 1991. ACM.

Berthold K. P. Horn and Brian G. Schunck. Determining optical flow. *ARTIFICIAL INTELLIGENCE*, 17:185–203, 1981.

Yan Huang and Xinhua Zhuang. Motion-partitioned adaptive block matching for video compression. In *ICIP'95: Proceedings of the 1995 International Conference on Image Processing (Vol. 1)-Volume 1*, page 554, Washington, DC, USA, 1995. IEEE Computer Society.

Olivier Hugues. Réalité Augmentée pour l'aide à la navigation. SIGMA : un Système d'Information Géographique Maritime Augmenté. Thèse soutenue le lundi 12 décembre 2011 à l'ESTIA, mémoire de thèse. 2011a

Olivier Hugues, Jean-Marc Cieutat, and Pascal Guitton. Gis and augmented reality: State of the art and issues. In *Handbook of Augmented Reality*, B. Furht, Ed., 10.1007/978-1-4614-0064-6_33. Springer New York, Aout 2011, pp. 721–740. 2011b

Olivier Hugues, Jean-Marc Cieutat, Véronique Pilnière, Pascal Guitton. SIG Maritime Augmenté (SIGMA) : Un système Enactif de Réalité Augmentée. 12e Conférence Internationale en Ergonomie et Informatique Avancée (Ergo'IA 2010), Bidart, 13-15 Octobre. 2010a

Olivier Hugues, Jean-Marc Cieutat, Pascal Guitton. An Experimental Augmented Reality Platform Application for Assisted Maritime Navigation: Following Targets. VRIC 2010, Laval, 7-9 avril. 2010b

Olivier Hugues, Jean-Marc Cieutat, Pascal Guitton. An Experimental Augmented Reality Platform Application for Assisted Maritime Navigation. *Augmented Human 2010*, Megève, 2-3 avril. 2010c

Olivier Hugues, Jean-Marc Cieutat, Pascal Guitton. Plateforme Expérimentale de Réalité Augmentée pour l'Aide à la Navigation Maritime. Dans Association Française de Réalité Virtuelle (2009) AFRV09, Lyon, 9-11 décembre 2009, actes des quatrième journées de l'Association Française de Réalité Virtuelle, 111-115.

I_____

ImageModeler. <http://fr.autodesk.ca/adsk/servlet/index?id=11996863&siteID=9719701>

IMTC. <http://www.imtc.gatech.edu/content/presence-augmented-reality>

K_____

Jong-Heon Kim, Sang-Tae Park, Virtual Reality Simulations in Physics Education, 2001.

Georg Klein and Tom Drummond. Robust Visual Tracking for Non-Instrumented Augmented Reality. In Proc. Second IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR'03, Tokyo).

Adam D. I. Kramer, Lui Min Oh, and Susan R. Fussell. Using linguistic features to measure presence in computer-mediated communication. In CHI '06: Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in computing systems, pages 913–916, New York, NY, USA, 2006. ACM.

L_____

Labrador. http://fr.wikipedia.org/wiki/Courant_du_Labrador

Laster Technologies. <http://www.laster.fr/>

David G. Lowe, "Object recognition from local scale-invariant features," International Conference on Computer Vision, Corfu, Greece (September 1999), pp. 1150-1157.

David G. Lowe. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. International Journal of Computer Vision, 60 :91–110, 2004.

Bruce D. Lucas and Takeo Kanade. An iterative image registration technique with an application to stereo vision. In IJCAI'81: Proceedings of the 7th international joint conference on Artificial intelligence, pages 674–679, San Francisco, CA, USA, 1981. Morgan Kaufmann Publishers Inc.

M_____

MaxSea. <http://www.maxsea.fr>

D. Mellet-d'Huart and G. Michel. Faciliter les apprentissages avec la réalité virtuelle. In P. Pastré, editor, Approche par la simulation : de l'analyse du travail aux apprentissages professionnels. Octarès, Toulouse.

Paul Milgram and Fumio Kishino, *Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays*. IEICE Transactions on Information and Systems, E77-D(12), pp. 1321-1329, 1994.

Abraham Moles. Théorie structurale de la communication et société. Technique et Scientifique des Télécommunications. 1988.

N_____

Laurence Nigay, Philippe Renevier, T. Marchand, P. Salembier, L. Pasqualetti. La réalité cliquable : Instrumentation d'une activité de coopération en situation de mobilité. *Conférence IHM-HCI2001*, Lille : 147-150, 2001.

O_____

Océanopolis. <http://www.oceanopolis.com/>

OSISKO. <http://sourceforge.net/projects/opencvlibrary/>

OpenCV. <http://www.osisko.com/fr/>

P_____

Jun Park. Evaluation of Interaction Tools for Augmented Reality Based Digital Storytelling, Convergence and hybrid information technology Lecture Notes in Computer Science, 2012, Volume 7425/2012, 263-270, DOI: 10.1007/978-3-642-32645-5_34

Rob C. Pasley, Paul Clough and M.Sanderson. Geo-Tagging for Imprecise Regions of Different Sizes. In the Geographic Information Retrieval workshop at the ACM CIKM conference. 2007

Jean Piaget. (http://fr.wikipedia.org/wiki/Jean_Piaget)

Juri Platonov, Hauke Heibel, Peter Meier, and Bert Grollmann. A mobile markerless ar system for maintenance and repair. In ISMAR '06 : Proceedings of the 5th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, pages 105–108, Washington, DC, USA, 2006. IEEE Computer Society.

Michael Polanyi. The Tacit Dimension. The University of Chicago Press, 1966.

Project Glass. http://en.wikipedia.org/wiki/Project_Glass

Q_____

R. Querrec, C. Buche, E. Maffre et P. Chevaillier « SécuRéVi: virtual environments for fire-fighting training ». Dans S. Richir, P. Richard et B. Tavel éditeurs, Proceedings of the 5th Virtual Reality International Conference, VRIC 2003, pages 169–175, Laval, France

QR Code. ISO/IEC 18004:2006 Information technology -- Automatic identification and data capture techniques -- QR Code 2005 bar code symbology specification

R_____

Jens Rasmussen. Information Processing and Human-Machine Interaction : An Approach to Cognitive Engineering. Elsevier Science Inc., New York, NY, USA, 1986.

James Reason. L'erreur humaine. Presses Universitaires de France, 1993.

ReVeS. <http://liris.cnrs.fr/revs/>

Gaetan Rey et Joelle Coutaz (2003). Le Contexteur : une abstraction logicielle pour la réalisation de systèmes interactifs sensibles au contexte. In Proceedings of Interaction Homme Machine (IHM2002), p. 105-112.

RUP. Rational Unified Process. <http://www-01.ibm.com/software/awdtools/rup/>

S_____

A. Samama. Innovative video analytics for maritime surveillance. In *Waterside Security Conference (WSS), 2010 International*, pages 1-8, nov. 2010. doi : 10.1109/WSSC.2010. 5730280.

SCRUM. <http://www.scrum.org/>

SIRENE. <http://www.anr-sirene.com/>

M. Slater, M. Usoh and A. Steed. Steps and ladders in virtual reality. ACM Proceedings of VRST '94 – Virtual Reality Software and Technology. Singapore: World Scientific Publishing Company. 1994.

Jianbo Shi and Carlo Tomasi. Good features to track. In *Computer Vision and Pattern Recognition*, pages 593 – 600, Ithaca, NY, USA, 1994. IEEE Computer Society Conference, Cornell University.

M. Slater. (In Press). *Measuring Presence: A response to the Witmer and Singer Presence Questionnaire*. Presence: Teleoperators and Virtual Environments. 1999.

Suzanne Sebillotte. Décrire des tâches selon les objectifs des opérateurs. De l'interview à la formalisation. Rapport technique, Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique (INRIA), Janvier 1991.

Suzanne Sebillotte. Méthodologie pratique d'analyse de la tâche en vue de l'extraction de caractéristiques pertinentes pour la conception d'interfaces. Rapport technique, Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique (INRIA), Mars 1994.

SimCity. http://www.simcity.com/fr_FR/

Gilles Simon et Julien Decollogne. *Intégrer images réelles et images 3D*. Dunod, 2006.

SIG-IMAGE. <http://www.sig-image.fr/>

SNSM. Société Nationale de Sauvetage en Mer. <http://www.snsn.org/>

Nobuchika Sakata, Takeshi Kurata, Takekazu Kato, Masakatsu Kurogi, and Hideaki Kuzuoka. Wac1: Supporting telecommunications using wearable active camera with laser pointer. In *ISWC '03: Proceedings of the 7th IEEE International Symposium on Wearable Computers*, page 53, Washington, DC, USA, 2003. IEEE Computer Society.

Nobuchika Sakata, Takeshi Kurata, and Hideaki Kuzuoka. Visual assist with a laser pointer and wearable display for remote collaboration. *CollabTech06*, pages 66–71, 2006.

D. Steib, L. D. Dalto, and D. Mellet-d'Huart. Apprendre le geste du soudage avec CS-WAVE : l'expérimentation de l'AFPA. In *First International VR-Learning Seminar (2005)*, Laval, France April 20-21 2005.

STARMATE: System using Augmented Reality for Maintenance, Assembly, Training and Education. <http://www.tecnatom.es/en/home/activity-areas/diversification/virtual-reality-systems/application-of-virtual-reality-to-various-industrial-sectors/starmate-system-using-augmented-reality-for-maintenance-assembly-training-and-education>

T_____

Hovig Ter Minassian et Samuel Rufat, « Et si les jeux vidéo servaient à comprendre la géographie ? », *Cybergeo: European Journal of Geography*, Science et Toile, 2008.

Tesseract. <http://code.google.com/p/tesseract-ocr/>

Indira Mouttapa Thouvenin. Interaction et connaissance : construction d'une expérience dans le monde virtuel. Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Technologie de Compiègne 978-2-913923-28-7 (Mai 2009), 1–78.

U_____

UML. Unified Modeling Language. www.uml.org

V_____

James R Vallino, *Interactive Augmented Reality*. PhD Thesis University of Rochester. New York 1998

Morgan Veyret. Un guide virtuel autonome pour la description d'un environnement réel dynamique. Interaction entre la perception et la prise de décision. PhD thesis, Université de Bretagne Occidentale, Laboratoire d'Informatique des Systèmes Complexes – EA3883, March 2009

Virtools. <http://www.3ds.com/products/3dvia/3dvia-virtools/>

Voce. <http://voce.sourceforge.net/>

W_____

B. Witmer & M. Singer. Measuring presence in virtual environments: A Presence Questionnaire. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 7(3), 225-240. 1998.

Wikipédia. http://fr.wikipedia.org/wiki/Wikip%C3%A9dia:Accueil_principal

World Wide Web. <http://www.w3.org/>

X_____

W. J. Xian-Zhong, H. Xian-Zhonh. *The error chain in using electronic chart display and information systems*. In *Systems, Man and Cybernetics*, 2008. SMC 2008. IEEE International Conference on, pages 1895 –1899, oct. 2008.

Z_____

Francisco A. Zabala. Hough transform implementation in roll stability control of uavs. *E-Book*, http://www.cds.caltech.edu/~fzabala/images/5-/53./VBN_draft.pdf 2006.

Xiao Wei Zhong, Pierre Boulanger, and Nicolas D. Georganas. Collaborative augmented reality: A prototype for industrial training. 21th Biennial Symposium on Communication, 2002.

Annexe 1 : Curriculum Vitae

Jean-Marc CIEUTAT

ESTIA

Technopole Izarbel

64210 BIDART

Tél : 05.59.43.84.75

Fax : 05.59.43.84.05

Email : j.cieutat@estia.fr

Page personnelle : <http://www.estia.fr/~jcieutat/>



Etat Civil

Né le 13 Juin 1959 à Bordeaux, nationalité française, marié, 1 enfant

Formation

Docteur en informatique de l'université de Bordeaux 1

Titulaire du master « Certificat d'Aptitude à l'Administration des Entreprises » de l'IAE de Bordeaux

Expérience Professionnelle

École Supérieure des Technologies Industrielles Avancées (Établissement d'Enseignement Supérieur, Public, habilité à délivrer le Titre d'Ingénieur et membre de la Conférence des Grandes Écoles, situé sur la Côte Basque)

Depuis 1999 : Enseignant-Chercheur

Responsable à l'ESTIA de l'unité d'enseignement « Projets – Responsabilité Professionnelle - Entrepreneuriat ». Chargé de la pédagogie par projet au sein de l'école, de l'immersion progressive des élèves-ingénieurs vers le monde de l'entreprise et de faire évoluer leurs projets professionnels. Validation au sein de l'école du contenu pédagogique des stages de nos étudiants.

Chargé de l'enseignement des méthodes de l'ingénieur (Ingénierie système et SysML, méthodes Agiles, RUP et UML, SART, ...), de cours d'informatique spécialisés (traitement d'images, synthèse d'images, programmation temps réel, ...) et de cours d'informatique généraux (systèmes d'exploitation, algorithmique et structure de données, programmation en langage C, ...).

Encadrement de travaux de recherche, de docteurs dans le cadre de post-docs, et de doctorants dans le cadre de thèses académiques ou sous contrat CIFRE en partenariat avec une entreprise, autour des thématiques que sont la Réalité Virtuelle et la Réalité Augmentée. Membre du comité d'administration de l'Association Française de Réalité Virtuelle, Augmentée, Mixte et d'Interaction 3D (AFRV).

Collaborations internationales dans le domaine de la recherche avec l'Espagne (Vicomtech) et le Québec (UQAT : Université du Québec en Abiti-Témiscamingue).

Concepteur de produits innovants pour la sécurité des biens et des personnes, les ordinateurs portés et les vêtements intelligents. Finaliste du concours OSEO 2010 : aide à la création d'entreprises de technologies innovantes.

Conduite de projets de recherche et de développement pour le compte de grands groupes de l'aéronautique (Groupe SAFRAN, ...), de groupes pétroliers (TOTAL, ...) et de compagnies minières canadiennes (OSISKO, GOLDEX, ...).

De 1995 à 1998 : Chef de Projet, industrialisation et transfert de technologie

En charge de l'industrialisation d'un simulateur d'entraînement à la navigation et à la pêche en fonction au lycée maritime de Ciboure. Coordination d'une équipe de cinq ingénieurs pour mener à bien l'industrialisation. Le produit a été depuis transféré à la société SIREHNA, filiale de la DCNS.

VERILOG, Toulouse

(La société Verilog, issue d'un essaimage de l'INRIA, a été pendant plusieurs années leader sur le marché du Génie Logiciel ; aujourd'hui cette société fait partie du groupe IBM)

De 1988 à 1994 : Consultant, activités de recherche et de développement

Qualification de logiciels pour de nombreuses sociétés (encyclopédie multimédia « Axis » de la société Hachette, station d'interprétation d'images sismique « Sismage » de la société Elf Aquitaine, ...).

Chargé dans le cadre du projet ESPRIT II SCOPE (« Software Certification Program in Europ ») d'expérimenter et d'améliorer la technologie d'évaluation de la conformité d'un logiciel informatique aux exigences qualité définies par la norme internationale ISO 9126 en vue de sa certification.

Définition d'un algèbre permettant de calculer le flot de données d'un programme. Exploitation du moteur de flot de données associé pour détecter des erreurs de programmation, analyser la complexité d'un logiciel et vérifier la confidentialité des données d'un programme.

Intégration de l'outil de spécification « Asa » et de l'outil de contrôle de la qualité de logiciels « Logiscope » dans l'environnement de programmation « Entreprise » de la Direction Générale de l'Armement (DGA).

CR2A, Paris

(CR2A est la filiale scientifique du groupe CGI)

De 1986 à 1988 : Ingénieur, activités de recherche et de développement

Participation à la conception du langage temps réel « LTR3 » et de son environnement de programmation « Entreprise » pour la Direction Générale de l'Armement (DGA).

Annexe 2 : Liste des publications se rapportant à la Réalité Augmentée

Chapitres d'ouvrages et revues internationales

Vision and Gyro Fusion to Perform Horizon Tracking for Merging Video and Charts in an augmented reality application. Olivier Hugues, Jean-Marc Cieutat, and Pascal Guitton. (à paraître dans la revue « Virtual Reality » éditée par Springer).

Olivier Hugues, André Gbodossou and Jean-Marc Cieutat. Towards the Application of Augmented Reality in the Mining Sector: Open-Pit Mines. *International Journal of Applied Information Systems* 4(6):27-32, December 2012. Published by Foundation of Computer Science, New York, USA.

Jean-Marc Cieutat, Olivier Hugues, Nehla Ghouaiel. Active Learning based on the use of Augmented Reality. Outline of Possible Applications: Serious Games, Scientific Experiments, Confronting Studies with Creation, Training for Carrying out Technical Skills. *International Journal of Computer Applications* 46(20):31-36, May 2012. Published by Foundation of Computer Science, New York, USA.

Olivier Hugues, Jean-Marc Cieutat, and Pascal Guitton. Gis and augmented reality: State of the art and issues. In Handbook of Augmented Reality, B. Furht, Ed., 10.1007/978-1-4614-0064-6_33. Springer New York, august 2011, pp. 721–740.

A New AR Interaction Paradigm for Collaborative TeleAssistance system: The P.O.A. Sébastien Bottecchia, Jean-Marc Cieutat, Christophe Merlo and Jean-Pierre Jessel. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)* 3, 1 (2008) 35-40, 2009

Conférences internationales

Olivier Hugues, Jean-Marc Cieutat, Véronique Pilnière, Pascal Guitton. SIG Maritime Augmenté (SIGMA) : Un système Enactif de Réalité Augmentée. 12e Conférence Internationale en Ergonomie et Informatique Avancée (ErgoIA 2010), Bidart, 13-15 Octobre. 2010

Olivier Hugues, Jean-Marc Cieutat, Pascal Guitton. An Experimental Augmented Reality Platform Application for Assisted Maritime Navigation: Following Targets. VRIC 2010, Laval, 7-9 avril 2010

Sébastien Bottecchia, Jean-Marc Cieutat, Jean-Pierre Jessel. Experimentation of a New TeleAssistance System Using Augmented Reality. VRIC 2010, Laval, 7-9 avril 2010

Olivier Hugues, Jean-Marc Cieutat, Pascal Guitton. An Experimental Augmented Reality Platform Application for Assisted Maritime Navigation. Augmented Human 2010, Megève, 2-3 avril. 2010

Sébastien Bottecchia, Jean-Marc Cieutat, Jean-Pierre Jessel. T.A.C: Augmented Reality System for Collaborative Tele-Assistance. In the Field of Maintenance through Internet. Augmented Human 2010, Megève, 2-3 avril 2010

Conférences nationales

Nehla Ghouaiel, Jean-Marc Cieutat, Jean-Pierre Jessel. Une nouvelle interface avec le monde : les guides virtuels. Dans Association Française de Réalité Virtuelle (2012), AFRV12, Strasbourg, 29-31 octobre 2012, actes des septième journées de l'Association Française de Réalité Virtuelle.

Jean-Marc Cieutat, Olivier Hugues, Nehla Ghouaiel, Sébastien Bottecchia. Une pédagogie active basée sur l'utilisation de la Réalité Augmentée. Observations et expérimentations scientifiques et technologiques,

apprentissages technologiques. Dans Association Française de Réalité Virtuelle (2011), AFRV11, Bidart, 10-13 octobre 2011, actes des sixièmes journées de l'Association Française de Réalité Virtuelle.

Jean-Marc Cieutat, Nehla Ghouaiel, Jean-Pierre Jessel. Partage de données environnementales pour la découverte et l'observation de la terre. Actes des 7^{ème} journées francophones Mobilité et Ubiquité, Ubimob'11, Toulouse, 6-8 juin 2011.

Nehla Ghouaiel, Jean-Marc Cieutat, Jean-Pierre Jessel. MARTS : Conception d'un Système Mobile de Réalité Augmentée Dédié au Tourisme. Actes des 7^{ème} journées francophones Mobilité et Ubiquité, Ubimob'11, Toulouse, 6-8 juin 2011.

Olivier Hugues, Jean-Marc Cieutat, Pascal Guitton. Plateforme Expérimentale de Réalité Augmentée pour l'Aide à la Navigation Maritime. Dans Association Française de Réalité Virtuelle (2009) AFRV09, Lyon, 9-11 décembre 2009, actes des quatrièmes journées de l'Association Française de Réalité Virtuelle, 111-115.

Sébastien Bottecchia, Jean-Marc Cieutat, Jean-Pierre Jessel. T.A.C : Système de réalité augmentée pour la Télé-Assistance Collaborative dans le domaine de la maintenance. Dans Association Française de Réalité Virtuelle (2008), AFRV08, Bordeaux, 30-31 octobre 2008, actes des troisièmes journées de l'Association Française de Réalité Virtuelle, 133-138.

Encadrement de thèses :

Nehla Ghouaiel. Monde augmenté, une nouvelle interface avec le monde : les guides virtuels. Thèse en cours.

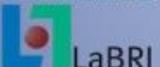
Olivier Hugues. Réalité Augmentée pour l'aide à la navigation. SIGMA : un Système d'Information Géographique Maritime Augmenté. Thèse soutenue le lundi 12 décembre 2011 à l'ESTIA, mémoire de thèse.

Sébastien Bottecchia. Le système T.A.C. : Télé-Assistance Collaborative. Réalité augmentée et NTIC au service des experts et des opérateurs dans le cadre d'une tâche de maintenance industrielle supervisée. Thèse soutenue le lundi 20 septembre 2010 à l'ESTIA, mémoire de thèse.

Les posters s'y rapportant :



ESTIA
ÉCOLE D'INGÉNIEURS
CCI BATAVONNE PAYS BASQUE



LaBRI

SIG Maritime Augmenté

un système éactif de réalité augmentée



MAXSEA

Olivier Hugues
ESTIA Recherche – MaxSea - LaBRI

Jean-Marc Cieutat
ESTIA Recherche

Véronique Pilnière
GRAPHOS

Pascal Guitton
IPARLA - LaBRI

Mots clés : SIG, Réalité augmentée, Gestion des Connaissances, Communication Homme-Machine

Contexte

Environnemental Diversité des situations de navigation, potentiellement hostiles ou dangereuses.
Technologique Utilisation d'un outil (informatique) d'aide à la décision en situation.
Humain Diversité des utilisateurs (connaissances informatiques, maritimes) entraînant des problèmes d'interprétations liée aux émotions (stress, angoisse...).

Pour accomplir une tâche liée à la navigation maritime, un individu exploite les informations provenant de quatre sources :

- Ses propres connaissances
- La cartographie papier
- L'environnement naturel
- La cartographie électronique

Objectifs

Conception d'un outil d'aide à la navigation maritime, dont les informations proposées sont plus cohérentes avec la tâche à accomplir, en fonction des besoins de l'utilisateur (approche anthropocentrée).

Comment faciliter l'accessibilité des informations provenant du SIG pour une aide à la décision efficace ?

SIGMA

Nous proposons de prendre en compte l'environnement naturel comme une expérience signifiante pour l'individu. La réalisation d'un SIG augmenté permettant de modifier la signification est basée sur une approche éactive.

Phénoménologie
Epistémologie
Situations sensibles des phénomènes pour saisir les dimensions.

Enaction
Métacognition
Métacognition en situation avec configuration particulière de l'environnement.

Navigation
Métacognition
Action de planifier et de suivre un parcours dans un certain but.

Cartographie virtuelle
Les cartes virtuelles sont associées des informations physiques. L'association entre ces cartes est spatiale, temporelle et dynamique.

Identification des navires à portée du radar en pleine mer

Cartographie digitalisée
Les cartes digitalisées sont associées des informations physiques. L'association entre ces cartes est spatiale, temporelle, dynamique et phénoménologique. La signification est modifiée.

Image brute **Image Reconnue**
Suivi de cible en analyse d'image

Architecture

Flux des informations

Centrale Inertielle
Attitude du navire
Orientations et image
Caméra

Une vue egocentrée

SIG + Flux Vidéo

Flux Vidéo Augmenté

Autres Applications

- . Visualisation d'informations spatio-temporelle contextuelles
- . Visualisation de phénomènes naturels (températures, vent, courants, ...)
- . Visualisation de phénomènes liées à la pollution et à l'environnement durable (taux de CO2, U.V., ...)



T.A.C

Télé-Assistance Collaborative



Sébastien Bottecchia
ESTIA - IRIT
s.bottecchia@estia.fr

Jean Marc Cieutat
ESTIA
j.cieutat@estia.fr

Jean Pierre Jessel
IRIT
jessel@irit.fr

Mots clés: Télé-Assistance Collaboration Réalité-Augmentée Maintenance

Objectif Allier la collaboration à distance et la maintenance industrielle de manière synchrone entre deux interlocuteurs grâce à la réalité augmentée.

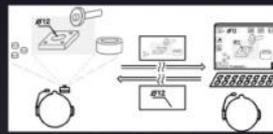
Problématique Aujourd'hui dans l'industrie, les techniciens en maintenance sont confrontés à plusieurs problématiques dont: - le renouvellement des gammes de produits de plus en plus rapide. - une grande variété de systèmes mécaniques-électroniques de plus en plus complexe. - des temps de formations raccourcis amenant des incertitudes opératoires.

Comment un opérateur peut-il se faire assister quand la bonne personne n'est pas sur place ?

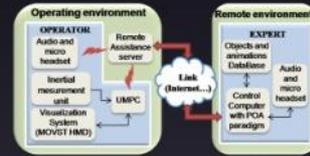
T.A.C

Principe T.A.C permet à un expert d'être virtuellement co-présent auprès d'un opérateur grâce à deux principes:

- l'expert "voit ce que voit" l'opérateur.
- l'expert peut communiquer avec l'opérateur via plusieurs paradigmes d'interaction comme le P.O.A.



La vue de l'opérateur (à gauche) est envoyée à l'expert qui l'augmente en temps réel en cliquant simplement sur celle-ci.



Architecture du système T.A.C

Percevoir l'environnement

L'**opérateur** doit avoir ses mains libres, ne doit pas être en immersion lorsqu'il porte des lunettes de réalité augmentée. Il doit de plus garder un champ de vision aussi "naturel" que possible (vision orthoscopique).



Prototype de nos lunettes de réalité augmentée non immersive pour le porteur.



Simulation du champ visuel de l'opérateur portant nos lunettes. (en rouge: l'afficheur vidéo)

L'**expert** perçoit la vue exacte de l'opérateur afin de l'augmenter. Il perçoit également l'environnement facilitant ainsi sa prise de conscience de la situation (i.e. vision périphérique).



Interface de l'expert. Dans le cadre rouge la vision orthoscopique de l'opérateur (zone augmentable) recadrée par rapport à l'environnement.

Paradigme d'interaction POA

L'expert a à sa disposition une façon de pouvoir "retranscrire" à distance des informations autres qu'orales (gestuelle...) à l'opérateur.



Picking: moyen de désigner de façon simple un objet à l'opérateur. il devient donc possible d'utiliser des Deixis ("ça!", "là!").



Outlining: mise en valeur des éléments (en rouge) pour maintenir l'attention de l'opérateur sur l'objet de la discussion.



Adding: permet de mimer une action gestuelle via une animation virtuelle.

Exemple d'utilisation Opérateur sollicitant l'aide à distance d'un expert sur une opération souvent délicate pour un débutant. La mesure de l'usure des ailettes d'un turbomoteur est ainsi supervisée et validée par l'expert.



"Défaits ce capuchon pour pouvoir tourner l'arbre ensuite"



"Mets l'instrument dans le trou n°1, il est par là!"



"Regarde ici, la petite aiguille indique 2 dixièmes, c'est bon"



"Tant que tu y es, regarde ici et là. Attention c'est chaud!"

Bénéfices immédiats: contrôle qualité pour l'expert, validation d'acquis pour l'opérateur, gain de temps pour les deux.

Autres applications

Apprentissage de gestes techniques : l'opérateur visualise la manipulation des objets virtuels 3D effectuée via une interface tangible par l'expert. L'opérateur n'a donc plus qu'à reproduire les gestes permettant d'arriver à ce résultat.

Télé-Formation Tutorée (T.F.T): accéder à des formations individualisées et ciblées de manière synchrone avec un formateur distant.

Plus généralement, le principe de T.A.C peut être utilisé comme outil de communication dans de cadre de l'**e-learning** et de proposer de nouveaux outils pédagogiques.



Monde augmenté, une nouvelle interface avec le monde : les guides virtuels (M.A.R.T.S)



Nehla Ghouaïel
ESTIA-IRIT
n.ghouaïel@estia.fr

Jean-Marc Cieutat
ESTIA-IRIT
j.cieutat@estia.fr

Jean-Pierre Jessel
IRIT
jean-pierre.jessel@irit.fr

Mots clés : Informatique Mobile, Réalité Augmentée Interactive, Humains Virtuels, Recalage Hybride

Contexte Nous perdons facilement nos repères, à l'étranger, à cause de la barrière de la langue bien sûr, mais en grande partie parce que la culture, les us et coutumes, les règlements nous sont moins familiers. D'autre part, la population urbaine croît de plus en plus au détriment de la connaissance de la nature. Comment retranscrire au mieux un patrimoine culturel ou un patrimoine naturel ? Comment faire découvrir un site touristique à un visiteur qui le découvre pour la première fois ? Dans le contexte, qui est le notre, nous constatons que les mots ne suffisent pas. D'ailleurs, on oublie que 90 % de la communication n'est pas verbale.

Objectifs Conception d'un outil de réalité augmentée mobile, interactif, dont le rôle est :
- d'aider à la découverte de l'héritage culturel et historique d'un site touristique.
- de permettre de découvrir la nature et d'appréhender les phénomènes naturels liés à un paysage naturel.

Améliorer l'expérience vécue par un touriste lors de la visite d'un nouvel environnement urbain, d'un nouvel environnement naturel.

M.A.R.T.S

Principe Le système M.A.R.T.S se base sur la mise en scène d'humains virtuels pour créer une visite augmentée interactive.

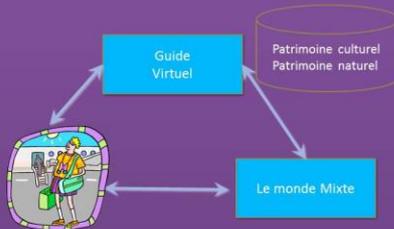
Perception de l'environnement

L'utilisateur regardant la scène réelle à travers son Smartphone, ouvert comme une lucarne sur le monde, voit apparaître un personnage virtuel qui semble s'intégrer au monde réel. Le guide virtuel exprime différentes formes de communication. 90% de notre communication provient des gestes, de l'attitude ou encore de l'intonation de la voix.

Principe de la RA Interactive :
Interaction avec le guide,
Interaction avec le monde mixte,
Interaction entre le guide et le monde mixte

Dans le cas d'une scène urbaine, un personnage virtuel vient décrire l'histoire de l'église Sainte-Eugénie à Biarritz.

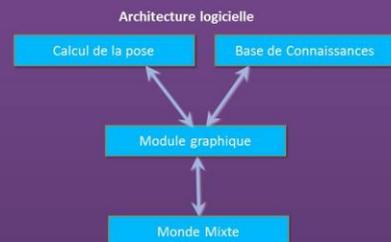
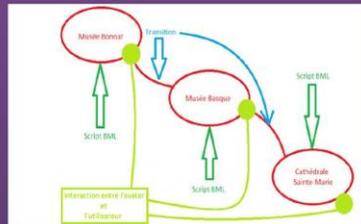
Dans le cas d'une scène naturelle, un personnage virtuel aux allures d'un célèbre physicien, vient expliquer le monde océanique et l'érosion de nos côtes.



Interaction avec le guide virtuel

Pour agréer la narration et rendre la visite plus attractive :

- L'humain virtuel anime la discussion en utilisant, en plus de la parole, la communication non verbale.
- Le guide virtuel doit pouvoir répondre aux questions qu'on lui pose.
- La structure de données utilisée pour mettre en scène une visite guidée est un automate.

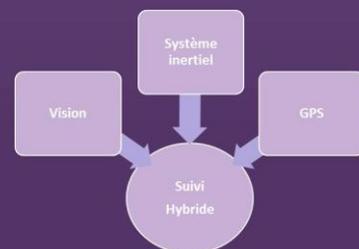


Cohérence Spatio-Temporelle

L'impression de coexistence entre la scène réelle et le personnage virtuel repose sur le maintien de la cohérence spatio-temporelle entre ce dernier et la scène.

Le suivi visuel se base partiellement sur le modèle 3D de contours de bâtiments.

Nous utilisons une méthode hybride, basée système inertielle, GPS et vision, pour effectuer le recalage de l'humain virtuel et des augmentations avec la scène.



Perspectives

Doter l'humain virtuel de plus d'autonomie apparente. L'une des perspectives de notre travail est de construire une base de connaissances qui soit consultable à distance.

Étendre les résultats prometteurs de notre méthode hybride pour gérer le suivi 3D de bâtiments de très grande taille, partiellement visibles dès que l'on s'en rapproche.

Transporter Greta sous plateforme mobile.