HAL
open science

Proposition d'une Taxonomie Fonctionnelle des Environnements de Réalité Augmentée

Philippe Fuchs, Olivier Hugues, Olivier Nannipieri

To cite this version:

Philippe Fuchs, Olivier Hugues, Olivier Nannipieri. Proposition d'une Taxonomie Fonctionnelle des Environnements de Réalité Augmentée. AFRV2010. Cinquième Journées de l'Association Française de Réalité Virtuelle et de l'Interaction 3D., Dec 2010, Orsay, France. hal-00536787

HAL Id: hal-00536787

https://hal.science/hal-00536787

Submitted on 16 Nov 2010

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.

Proposition d'une Taxonomie Fonctionnelle des Environnements de Réalité Augmentée

Fuchs Philippe
Ecoles des Mines de Paris ParisTech
Paris, France
philippe.fuchs@ensmp.fr

Hugues Olivier
MaxSea - ESTIA Recherche - LaBRI
Bidart, France
o.hugues@net.estia.fr

Nannipieri Olivier
I3M, Université du Sud Toulon-Var et CRVM
CNRS, Université de la Méditéranée
fk.olivier@mac.com

RÉSUMÉ

L'objectif de cet article est double. Nous proposons premièrement une définition des environnements de réalité augmentée (RA). Ensuite nous proposons, basée sur notre définition, une nouvelle taxonomie permettant de classer ces environnements. Après une brève revue des classifications existantes, nous définissons la RA par sa finalité qui est de permettre à une personne de réaliser des activités sensorimotrices et cognitives dans un nouvel espace en associant l'environnement réel et un environnement virtuel. Nous présentons ensuite notre taxonomie fonctionnelle des environnements de RA. Nous divisons ces environnements en deux groupes distincts. Le premier concerne les différentes fonctionnalités permettant de s'informer et de comprendre notre environnement, une *perception augmentée de la réalité*. Le deuxième correspond aux applications ayant pour finalité de créer un *environnement imaginaire*. Enfin, plus qu'une différence fonctionnelle, nous démontrons qu'il est possible de considérer que les deux types de RA ont une finalité pragmatique. La différence semble donc tenir à la capacité de ces deux types de RA à s'affranchir ou pas de la localisation spatio-temporelle.

1 Introduction

Il est incontestable que la réalité augmentée (RA) est le produit d'un ensemble d'innovations technologiques. Cependant, réduire la RA à l'ensemble des caractéristiques techniques de l'interfaçage comportemental ne conduit-il pas à sous-estimer la richesse de la RA en regard de ses fonctionnalités ? Nous sommes donc en droit de poser naïvement la question suivante : qu'est-ce qui est augmenté dans la réalité augmentée ? Si la réalité est, par définition, tout ce qui existe, alors, à strictement parler, la réalité ne peut pas être augmentée puisqu'elle est déjà tout. Alors qu'est-ce qui est augmenté ? En première analyse, la réponse paraît évidente : ce n'est pas la réalité, mais la perception de la réalité qui est augmentée. Dans cette perspective, la question du réel, de son existence, de ses propriétés, ne se pose pas ici. Le problème se situe au niveau de la perception, c'est-à-dire du phénomène – la réalité telle qu'elle est perçue, pas du noumène – la réalité telle qu'elle est en soi, pour reprendre le vocabulaire kantien [1].

2 Perception augmentée ?

On trouve dans la littérature deux courants principaux qui définissent la perception. D'un côté (une conception passive), le système sensoriel reçoit passivement des stimulations, traite ces informations afin de se référer aux représentations internes. De l'autre, (une conception active), c'est l'extraction de régularité entre les actions et les stimulations qui permet de percevoir. Il apparait que le courant actuel est plutôt de considérer la perception sous l'approche sensorimotrice (le deuxième cas), en opposition à une approche linéaire et séquentielle du processus perceptif, le premier cas [2]. D'ailleurs, ceci est confirmé par Gibson [3] qui considère les sens comme des systèmes perceptifs complets (« percevoir, c'est extraire grâce aux mouvements cette information en en détectant les invariants. »). Il est important de souligner, comme l'ont fait Auvray et Fuchs [2] en se fondant sur le cadre théorique proposé par Bergson dans « Matière et mémoire » [4], que toute perception et toute connaissance n'ont qu'une seule finalité – qu'elle soit consciente ou non : l'action. On ne perçoit pas et on ne cherche pas à connaître pour savoir mais toujours pour agir. Héritée de la conception pragmatique de William James [5], la thèse bergsonnienne insiste sur la nature même de notre perception et de toute recherche d'information dans le réel : la perception n'est jamais désintéressée, la connaissance n'est jamais qu'un moyen de mieux agir dans le réel [4] – d'y survivre pour les animaux sauvages ou d'y être plus heureux pour les humains. Même si toute augmentation de la quantité d'informations – et par voie de conséquence, toute augmentation de notre compréhension de la réalité – permise par la RA a pour objectif final une plus grande maîtrise du réel, il est clair que, d'un point de vue technologique, la RA peut offrir des interfaces qui proposent soit, plus explicitement, les informations, soit, plus explicitement, une meilleure maîtrise de notre action sur le réel. Mais alors comment les dispositifs techniques modifient-ils notre perception ? D'après [2], « l'utilisation d'un nouveau dispositif technique modifie notre couplage sensorimoteur avec l'environnement ; et par là même il modifie notre perception ». Les outils techniques modifient notre « espace perceptif ». Le pas est décisif. Cependant, on ne peut pas « seulement » s'employer à mieux percevoir puisque la perception n'est pas une finalité en soit, mais un moyen d'atteindre un objectif d'action [4]. En effet, à l'instar de la réalité virtuelle (RV), l'augmentation de la réalité peut répondre à deux objectifs pour l'utilisateur : favoriser la compréhension et la maîtrise du réel et donc, une *perception augmentée de la réalité* d'une part et, d'autre part, proposer un environnement nouveau dont la finalité ne semble obéir ni à une exigence de l'ordre de la connaissance, ni à une exigence d'ordre pratique.

3 Finalité et naissance d'une taxonomie

Globalement, la finalité de la RA est de permettre à une personne de réaliser des activités sensori-motrices et cognitives dans un nouvel espace en associant l'environnement réel et un environnement virtuel. Or, comme la RV [6], la

RA peut proposer soit une modélisation du monde réel sur la base d'un environnement qui imite ou symbolise le monde réel, soit la création d'un environnement imaginaire ne correspondant à rien d'actuel. C'est sur la base de cette distinction qu'il est possible de proposer une taxonomie fonctionnelle de la RA et de tirer un certain nombre d'implications relatives, notamment, aux variations du référentiel spatio-temporel permises par la RA.

4 Taxonomie des systèmes mixtes

Les tentatives de classification des environnements de réalité augmentée sont nombreuses car cette technologie est un sous-ensemble des environnements ou systèmes mixtes. Qu'elles soient techniques, fonctionnelles ou conceptuelles, ces taxonomies ont souvent un objectif descriptif, comparatif et génératif [7]. Nous présentons un rapide tour d'horizon de quelques taxonomies présentes dans la littérature. Le lecteur trouvera une revue plus complète des classifications dans [8].

4.1 Taxonomies conceptuelles

Jacob et al. [9] ont proposé en 2008 un cadre d'analyse avec lequel ils explorent les différents environnements mixtes afin de dégager une utilisation commune des capacités humaines liées avec le monde physique, le corps et l'environnement social. Cependant, l'intérêt des environnements mixtes étant leur capacité à ne pas reproduire fidèlement la réalité [10], les auteurs ont proposé six facteurs comme le pouvoir d'expression, l'efficacité, l'ergonomie ou l'accessibilité permettant de pondérer l'exploitation du monde physique. Cette classification permet de souligner le grand nombre de possibilités d'interaction engendrées par les systèmes mixtes. Dans [11], Mackay propose une classification des interfaces mixtes dont le dénominateur commun est la cible des augmentations. Les différentes cibles sont les utilisateurs, les objets d'interaction et l'environnement. Dubois [12] étend cette classification en introduisant une notation de conception nommée ASUR, élargie en 2003 [13] dont la discrétisation comprend l'utilisateur, l'adapteur [1], le système et les entités réelles. Plus tard, Renevier [14] définit les modes d'interaction comme passif (déterminé par le système) ou actif (déterminé par l'utilisateur). La création, l'accès, la modification et la destruction des liens sont dépendants du mode d'interaction. Un lien est définit comme étant éphémère ou persistant et peut être localisé par rapport aux utilisateurs. Différents types de localisation sont possibles. Les auteurs définissent aussi trois types d'interaction : les utilisateurs interagissent avec les objets via les liens et inversement et les liens servent à la communication entre les utilisateurs.

4.2 Taxonomies techniques

Dans [15, 16], les auteurs proposent une classification technologique maintenant bien connue sous le nom de « continuum de réalité-virtualité ». Ils s'attachent à discrétiser et classifier l'environnement selon quatre catégories. Ce continuum souligne le fait qu'il existe un passage progressif de la réalité à la réalité virtuelle et inversement. Benford et al. [17] ont choisi d'analyser les mouvements de l'utilisateur afin d'en extraire un cadre basé sur les mouvements attendus, les mouvements capturés et les mouvements souhaités. En s'appuyant sur la théorie de l'action de Norman [18], les auteurs proposent de dissocier les systèmes qui augmentent l'exécution et les systèmes qui augmentent l'évaluation.

4.3 Taxonomies fonctionnelles

Ayant pour objectif d'éclaircir les concepts qui sous-tendent la combinaison du monde réel et du monde virtuel, Dubois et al.[19] proposent une classification décomposée en deux parties distinctes : la première caractéristique est l'objet de la tâche et la seconde est le type d'augmentation. Si l'objet de la tâche permet aux auteurs d'élargir et de préciser le continuum de Milgram [15] en y ajoutant deux continua afin de distinguer la réalité augmentée de la virtualité augmentée, la seconde caractéristique permet, quant à elle, de souligner l'existence de deux types fonctionnels différents d'augmentations. Le premier consiste en une « exécution augmentée » tandis que le second est une « perception augmentée ». Selon les auteurs, le premier type d'augmentation permet à l'utilisateur d'effectuer des tâches dans le monde réel d'une façon nouvelle comme le permet par exemple « l'Active Badge » [20] alors que le second, bien plus courant concernant les systèmes de RA, permet d'apporter des informations pertinentes pour la tâche à accomplir.

5 Proposition d'une taxonomie fonctionnelle de la RA

Nous proposons de distinguer plusieurs fonctionnalités de RA dont l'organisation est présentée en Figure 1.

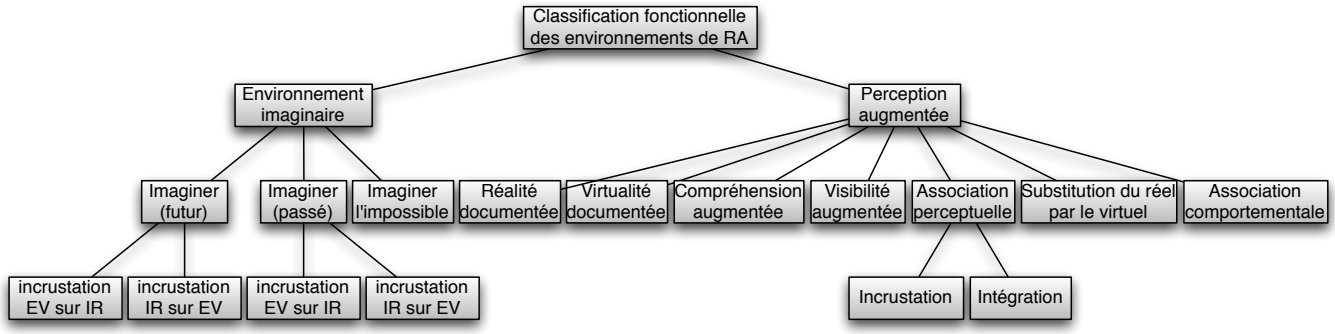


FIGURE 1: Classification fonctionnelle de la RA.

1. Les adapteurs transfèrent les données d'un monde à l'autre et peuvent être en entrée ou en sortie du système.

5.1 Fonctionnalité 1 : perception augmentée de la réalité

Cette première fonctionnalité consiste à souligner le fait que la RA constitue un outil d'aide à la décision. Elle peut apporter des informations qui vont permettre une meilleure compréhension de la réalité et qui, finalement, optimiseront notre action sur la réalité.
Fuchs [21] propose une taxonomie qui rend compte des moyens par lesquels la RA permet d'atteindre cet objectif. Cinq types d'environnements peuvent être distingués. A ces cinq types d'environnement, on peut ajouter un autre type auquel Fuchs [21] attribue une fonctionnalité 0. Il s'agit du cas où les images réelles (IR) et les entités virtuelles (EV) sont affichées sur un même écran, mais sans aucun rapport entre elles. Dans ce cas, l'utilisateur emploie un seul écran pour deux affichages indépendants. On parle alors de fonctionnalité 0 parce qu'il n'y a pas de relation entre le contenu des EV et des IR. Excepté donc ce cas limite d'environnement de RA possible mais non pertinent, d'autres environnements sont possibles et plus pertinents. Concrètement, la fonctionnalité *perception augmentée de la réalité* se décompose en cinq sous-fonctionnalités.

5.1.1 Sous-fonctionnalité 1 : La réalité documentée et la virtualité documentée

C'est la fonctionnalité minimum de la réalité augmentée : les IR et les EV sont dans deux cadres d'affichage différents, mais entretiennent entre eux un rapport d'information. L'augmentation consiste alors à informer l'utilisateur comme le ferait, par exemple, sans la médiation d'un dispositif technique, le manuel de montage d'un meuble livré en kit. Le second cadre d'affichage (constitué de texte principalement) a pour fonction d'aider la compréhension et de guider l'action de l'utilisateur. Il s'agit alors de réalité documentée.
A l'inverse, dans quelques cas particuliers, par exemple, le synoptique d'un processus industriel (EV) avec incorporation en « temps réel » d'une ou de plusieurs fenêtres visualisant des parties réelles du processus (IR), le « document » n'est plus constitué d'un environnement virtuel, mais d'images de l'objet réel. Dans ce cas particulier, on parle de virtualité documentée.
Il s'agit dans ces deux cas d'améliorer la compréhension de la scène réelle ou virtuelle par l'ajout d'informations sémantiques passives proposées sur un autre support d'affichage.

5.1.2 Sous-fonctionnalité 2 : La réalité à compréhension ou perception augmentée

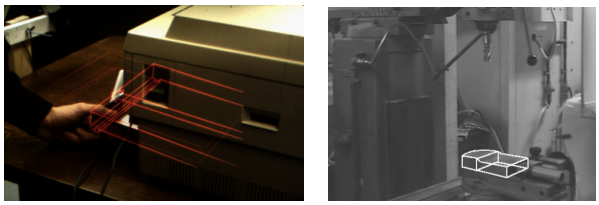
Dans cette fonctionnalité, les IR et les EV sont dans un même cadre d'affichage. Il est possible de distinguer deux sous-niveaux selon l'apport de l'augmentation.

Premier niveau : réalité à compréhension augmentée. Il s'agit, dans ce cas, de l'augmentation de la compréhension des images de la scène réelle par incrustation d'informations sémantiques passives (Figure 2). Les EV (titres, légendes, symboles...), plus ou moins proches visuellement des objets réels, donnent des informations complémentaires sur ces derniers (e.g. fonctions, références). L'inversion des IR et des EV dans cette fonctionnalité n'est pas envisageable.

(a) Peak.AR [22]. (b) ARMAR [23, 24].

FIGURE 2: Exemple d'application de réalité à compréhension augmentée.

Second niveau : réalité à visibilité augmentée. Il s'agit, dans ce cas, de l'augmentation de la visibilité des images de la scène réelle (si l'on s'en tient à la seule perception visuelle). Les EV (e.g. modèle "fil de fer" des objets réels) sont en correspondance géométrique précise avec les contours des objets réels (Figure 3). Ils permettent de surligner les objets pour mieux les voir. Ceci implique, entre autres, un calibrage des caméras. Il est alors possible soit, d'améliorer la netteté des images en surlignant les contours apparents des objets pour mieux les percevoir, soit, d'améliorer la compréhension des objets en représentant virtuellement les contours visibles et les contours invisibles de ces derniers.



(a) Karma [25]. (b) Visualisation d'une pièce mécanique [21].

FIGURE 3: Réalité à visibilité augmentée avec représentation des contours visibles et invisibles des objets.

5.1.3 Sous-fonctionnalité 3 : Association perceptuelle du réel et du virtuel

Dans cette fonctionnalité, on ajoute de nouveaux objets virtuels à la scène réelle. On peut faire la différence entre deux cas, selon le niveau d'intégration des objets virtuels dans la scène réelle.

Premier niveau : incrustation d'objets virtuels sur des images réelles. Les objets virtuels sont incrustés (overlay) pardevant les objets réels, donc sans aucune occultation des objets virtuels par les objets réels. On peut dire qu'il s'agit d'une association par superposition (Figure 4a).

Second niveau : intégration d'objets virtuels sur des images réelles. Dans ce cas, les objets virtuels sont intégrés avec les objets réels. Ces derniers occultent les objets virtuels qui sont positionnés derrière eux. Il s'agit alors d'une association tridimensionnelle. Mais l'intégration avec occultation

en temps réel reste un verrou technologique important (Figure 4b).

(a) Incrustation d'objets. (b) Intégration d'objets.

FIGURE 4: Exemples d'association perceptuelle du réel et du virtuel (extrait de [26]).

5.1.4 Sous-fonctionnalité 4 : Association comportementale du réel et du virtuel

En plus des conditions de la fonctionnalité précédente, on modélise sémantiquement les objets virtuels en tenant compte de leurs propriétés physiques suivant les lois de gravité, de contact, d'élasticité, de fluidité, etc., ceci pour enrichir la scène. On utilise les connaissances *a priori* sur la scène réelle et de ses objets. Cette fonctionnalité définit les interactions géométriques et physiques entre les objets réels et les objets virtuels. Par exemple, on peut citer les fonctions de comportement et d'attraction des objets virtuels avec des objets réels.

5.1.5 Sous-fonctionnalité 5 : substitution du réel par le virtuel ou réalité virtualisée

Si on connaît la modélisation géométrique de la scène réelle observée, on peut remplacer l'affichage de l'image vidéo de la scène réelle par l'image de synthèse du modèle, déterminée à partir du même point de vue. En passant de l'image vidéo à l'image de synthèse, et réciproquement, on augmente la compréhension de l'environnement. On parle dans ce cas de réalité virtualisée. On peut alors aussi changer le point de vue pour l'image de synthèse, sans déplacer la caméra filmant la scène réelle, ce qui permet une meilleure compréhension de la scène. Par exemple, nous pouvons citer les travaux de téléopération effectués à la DER d'EDF (Figure 5). Dans leur dispositif de visualisation, on ne remplace pas l'affichage de l'image vidéo de la scène réelle par l'image de synthèse du modèle, mais on les propose sur deux écrans voisins. Le robot, que l'opérateur est en train de manipuler, est affiché simultanément en images réelles en relief et en images de synthèse en relief. Quel que soit le point de vue des caméras réelles, l'opérateur peut toujours observer sur un écran en réalité virtualisée la configuration mécanique de son robot avec des images de synthèse animées en « temps réel ».

FIGURE 5: Le robot téléopéré est affiché simultanément en images réelles en relief et en images de synthèse en relief.

5.2 Fonctionnalité 2 : créer un environnement imaginaire

Dans la première fonctionnalité, la RA permet de visualiser des objets, êtres ou relations existant réellement mais qui ne sont pas ou ne peuvent pas être perçus par l'utilisateur. En effet, par exemple, les stations de métro [27] existent bel et bien dans le réel, mais elles ne sont pas toujours facilement repérables. Une application sous iPhone® permet alors de dévoiler (ou de surligner) ce qui existe actuellement dans le réel mais qui n'est pas perçu. Il est clair, qu'en regard de la théorie Bergsonienne de la perception, toutes nos activités, même les plus spéculatives (e.g. penser, modéliser) visent l'action [4]. Toutefois, l'humain semble avoir une faculté qui paraît pouvoir échapper en partie à cette loi : l'imagination. En effet, on peut raisonnablement admettre que la production d'images mentales puisse ne pas répondre à un objectif pratique même si ce que nous imaginons a des effets volontaires ou non sur notre perception et notre action sur le réel. En effet, la production d'images mentales inconscientes (i.e. lors d'un rêve) ou d'images mentales conscientes (i.e. dans le fantasme, défini comme la production d'images mentales lors de la phase d'éveil : par exemple, lorsque nous imaginons que nous sommes dans un autre lieu que le lieu où nous nous trouvons réellement) ne semblent pas avoir de fonction pratique. Lorsque nous formons des images mentales d'un environnement imaginaire ce n'est pas pour mieux agir dans le réel, mais peut-être, au contraire, pour tenter d'échapper à la réalité. Or, il se trouve, précisément, que la RA est en mesure de produire de tels environnements qui ne sont plus assujettis à une exigence pratique. Dans de tels cas, la RA propose des environnements qui nous présentent non pas le réel tel qu'il est perçu – en augmentant le nombre d'informations que nous ne percevons pas mais, qui, pourtant, sont bien présentes dans le réel – mais le réel, soit, tel qu'il pourrait être dans le futur, soit, tel qu'il a été, soit, tel qu'il est impossible qu'il soit.

5.2.1 Sous-fonctionnalité 1 : imaginer le réel tel qu'il pourrait être dans le futur par association entre le réel et le virtuel

Globalement, il ne s'agit ni de s'informer, ni de comprendre et ni même d'agir relativement à ce qui existe réellement, mais de synthétiser numériquement un monde possible qui mixe soit un environnement réel avec des images virtuelles (niveau 1) soit un environnement virtuel avec des images réelles (niveau 2). Chaque niveau peut être décomposé en deux sous-niveaux en fonction du type d'association. En effet, ce type de fonctionnalité peut utiliser deux types d'associations : sans occultation vs avec occultation.

Premier niveau : imaginer un environnement futur possible par incrustation d'objets virtuels sur/dans des images réelles.

Premier sous-niveau : sans occultation. Dans cette fonctionnalité, on ajoute par superposition, sans occultation, de nouveaux objets virtuels à la scène réelle non pas afin de mieux comprendre et/ou agir dans le réel, mais dans un but désintéressé, par exemple, strictement esthétique.

Second sous-niveau : avec occultation. Il s'agit ici d'ajouter des objets virtuels qui occultent une partie de l'environnement réel. Evidemment, c'est à ce second sous-niveau que l'association réel/virtuel est la plus efficace, car elle permet à l'utilisateur de visualiser à quoi ressemblerait l'environnement possible futur si ces objets virtuels incrustés dans l'environnement réel l'étaient réellement. Ainsi, une interface permettant de visualiser une des pièces d'un appartement réel (celui de l'utilisateur, par exemple) en ajoutant un mobilier virtuel [28] ne permet pas de mieux connaître et/ou de mieux maîtriser la réalité, mais d'imaginer ce que pourrait être la réalité future.

FIGURE 6: Exemple d'environnement futur possible par incrustation d'éléments virtuels [28].

Second niveau : imaginer un environnement futur possible par incrustration d'objets réels sur/dans un environnement virtuel.

Premier sous-niveau : sans occultation. Dans cette fonctionnalité, on ajoute par superposition, sans occultation, de nouveaux objets réels à l'environnement virtuel. Répondant, une fois encore, à un objectif, par exemple, esthétique, il s'agirait de voir dans quel type de pièce (virtuelle), l'objet réel serait le mieux mis en valeur, en révélant toutes ses qualités esthétiques. On pourrait, par exemple, déplacer virtuellement l'image réelle d'une sculpture dans les pièces virtuelles d'un futur lieu d'exposition afin d'estimer sa localisation optimale (en fonction des contraintes de luminosité, de facilité d'accès pour les visiteurs, etc.).

Second sous-niveau : avec occultation. Une fois encore, c'est à ce second sous-niveau que l'intégration d'images réelles dans un environnement virtuel prendrait tout son sens : le concepteur du futur lieu d'exposition pourrait visualiser ce que le visiteur percevrait réellement s'il visitait ce lieu tel qu'il est configuré.

5.2.2 Sous-fonctionnalité 2 : Imaginer le réel tel qu'il était par association entre le réel et le virtuel.

De la même manière, il est possible, soit, d'associer des objets virtuels qui n'existent plus actuellement avec un environnement réel (niveau 1), soit d'associer des objets existant encore mais ayant été présents dans un environnement qui n'existe plus et qui est, par conséquent, synthétisé numériquement (niveau 2). Et dans chacun des cas, cette association peut se faire sans (sous-niveau 1) ou avec occultation (sous-niveau 2).

Premier niveau : imaginer un environnement passé par incrustration d'objets virtuels sur/dans des images réelles.

Premier sous-niveau : sans occultation. Dans cette perspective, l'objectif de visualiser ce à quoi ressemblait ce que nous percevons aujourd'hui à une époque passée sans que les objets virtuels appartenant au passé incrustés occultent l'environnement actuel.

Second sous-niveau : avec occultation. L'occultation partielle de l'environnement réel présent par des objets virtuels passés permet de manière optimale d'imaginer le passé. la RA joue ainsi alors le rôle d'une « mémoire virtuelle ». Par exemple, l'environnement mixte qui propose d'ajouter, avec occultation, à l'édifice actuel de l'Abbaye de Cluny des éléments architecturaux qui ont, depuis, disparu, permet de rendre présent le passé de cette abbaye [29]. Nous pouvons alors voir l'Abbaye de Cluny telle qu'elle était à l'issue de son édification au Xième siècle (Figure 7).

(a) Environnement actuel. (b) Environnement à la fois passé et actuel.

FIGURE 7: L'Abbaye de Cluny actuelle et augmentée d'éléments appartenant à son passé [29].

Second niveau : imaginer un environnement passé par incrustration d'objets réels sur/dans un environnement virtuel.

Premier sous-niveau : sans occultation Il est clair que cette fonctionnalité est très limitée : il est, certes possible, de remettre dans son contexte passé, l'image réelle, par exemple, d'une colonne de la ville d'Ephèse demeurée intacte dans un environnement virtuel synthétisant numériquement la ville d'Ephèse (aujourd'hui à l'état de ruine) sans occultation. Or, l'intérêt d'une telle association est quasi nul.

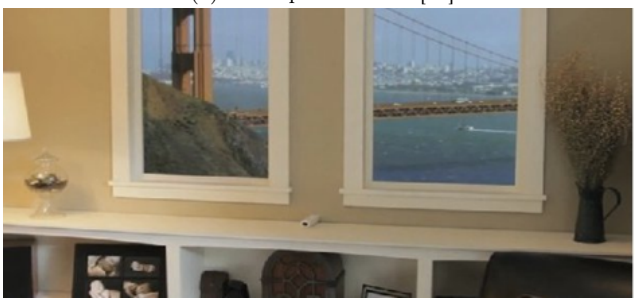
Second sous-niveau : avec occultation En revanche, incruster avec occultation l'image réelle de la colonne d'Ephèse dans un environnement virtuel représentant la ville d'Ephèse avant qu'elle ne subisse les ravages du temps permet d'imaginer avec beaucoup plus de facilité la place et la fonction de cette colonne à l'époque où elle a été élevée sur le site d'Ephèse.

5.2.3 Sous-fonctionnalité 3 : imaginer le réel tel qu'il est impossible qu'il soit

C'est cette fonctionnalité qui rend le mieux compte de la potentialité de la RA en regard de la distance qu'elle peut prendre avec le réel en exploitant au mieux la dimension imaginaire des environnements mixtes. En effet, l'objectif ne peut être, ici, ni d'informer, ni de favoriser la compréhension, ni d'optimiser l'action de l'utilisateur. Cette fonctionnalité souligne le caractère potentiellement désintéressé

des environnements mixtes : il est possible de créer un environnement qui n'a pas la possibilité d'exister réellement. On songe, effectivement, à des créations artistiques ou à des dispositifs dont la finalité est purement esthétique. De ce fait, le concepteur a une liberté bien plus grande relativement aux types d'environnements qu'il peut utiliser : pouvant s'affranchir de la possibilité que cet environnement existe réellement, les moyens utilisés peuvent être très diversifiés. Concrètement, il est possible d'exploiter tous les types d'environnements utilisés dans la fonctionnalité *perception augmentée de la réalité*. Sans détailler de manière systématique et exhaustive tous les types d'environnements mixtes imaginaires, il est possible d'en indiquer quelques exemples. Le principe serait, pour toutes les sous-fonctionnalités envisageables, de détourner la fonction première de la RA, à savoir, *perception augmentée de la réalité*. Il est envisageable, par exemple, de créer un environnement de RA imaginaire grâce à un écart sémantique produit par incohérence du sens global de l'environnement mixte. Détournement de la sous-fonctionnalité n°1 (*La réalité documentée et la virtualité documentée*) de la première fonctionnalité (*perception augmentée de la réalité*), il s'agit d'associer, par exemple, à un environnement réel un « document » virtuel proposant des informations en décalage avec cet environnement dans le but de provoquer, chez l'utilisateur, une modification de la signification de la réalité perçue par l'utilisateur produite par l'écart existant entre l'image réelle et l'information virtuelle. On pourrait, par exemple, associer à un environnement réel, un « document » virtuel décrivant cet environnement de manière erronée. La synthèse de ces significations incompatibles entre elles, provoquerait, chez l'utilisateur, la représentation d'un environnement mixte imaginaire impossible. On pourrait créer un environnement où une image réelle est augmentée de significations (i.e. de « documents ») erronées, c'est-à-dire, incohérentes avec l'image réelle, mais ce serait là une fonctionnalité minimale. Les potentialités de la RA se trouvent mieux exploitées dans des environnements qui proposent, par exemple, de détourner la fonction première de l'intégration d'objets virtuels dans une scène réelle (second niveau de la Sous-fonctionnalité 3 : *association perceptuelle du réel et du virtuel*). C'est le cas du jeu en RA développé par Dassault Systèmes pour Nestlé [30] (Figure 8a), où un personnage virtuel se déplace, en occultant partiellement l'image réelle, sur une boîte de céréales. Même si cet environnement obéit à des objectifs définis par une stratégie marketing (e.g. augmenter le trafic sur le site Internet de Chocapic® et construire un lien émotionnel fort entre la marque et sa cible, en l'occurrence les jeunes enfants), ces objectifs ne sont qu'une conséquence indirecte de l'expérience vécue par les jeunes utilisateurs. Fondamentalement, cet environnement crée un univers imaginaire impossible où un personnage des Minimoys® court sur une boîte de céréales. L'objectif n'est ni de l'ordre d'une meilleure compréhension du réel, ni de l'ordre d'une meilleure maîtrise du réel. Même si l'objectif final est intéressé (i.e. fidéliser les jeunes consommateurs), le dispositif en lui-même aurait très bien pu n'obéir à aucun objectif pratique. Il suffit de voir comment les adultes (qui ne sont pas la cible de cette opération de communication) s'approprient ce jeu. En clair, ce que cherche, fondamentalement, à produire ce type d'environnement est un sentiment de présence dans un monde imaginaire. Et que ce monde contribue, finalement, à renforcer les liens entre le joueur et la marque de céréales n'est pas fondamental, même si le jeu a été élaboré en fonction de cet objectif. Il est possible de s'éloigner plus encore des impératifs pratiques lorsque l'on propose, par exemple, un environnement mixte imaginaire impossible tel que la vue d'une ville des Etats Unis « à travers les vitres » d'un appartement situé en France [31] (Figure 8b). En effet, une application qui permet de jouir de la vue d'un pont suspendu aux Etats Unis depuis la fenêtre de notre appartement parisien n'a aucune vocation pratique, mais seulement esthétique. Avec la Wiimote® posée sur l'étagère entre les deux fenêtres et un capteur infrarouge sur ta tête, lorsque l'utilisateur se déplace dans la pièce, l'angle de vue des fenêtres change afin de donner l'illusion que l'appartement est situé aux Etats Unis.

(a) Chocapic et Nestlé [30].



(b) « Fenêtres virtuelles » [31].

FIGURE 8: Exemples d'environnements imaginaires de RA.

6 Discussion

La distinction opérée entre les environnements de RA ayant pour fonction de *perception augmentée de la réalité* et ceux ayant pour fonction d'immerger l'utilisateur dans un environnement *imaginaire* a une double implication.

La première concerne le fait que toute taxonomie ne peut être conçue comme une classification à vocation seulement descriptive. En effet, une taxonomie a une dimension générative [7]. Concrètement, plus qu'un simple outil de classification de l'existant, elle permet de faire émerger les environnements qu'il est possible de concevoir. En ce sens, la taxonomie constitue un outil d'aide à la création d'environnements virtuels et de réalité augmentée.

Cette réflexion conduit à la deuxième implication majeure de l'analyse qui a été menée ici. La différence entre les deux types de RA conduit alors plus loin qu'une simple distinction en matière de fonctionnalité : si le premier type de RA (i.e. fonctionnalité 1 : *perception augmentée de la réalité*) est prisonnier du présent, le second type (i.e. fonctionnalité 2 : *imaginer*) s'affranchit complètement de celui-ci. En somme, la RA permet, certes, de mieux percevoir, de mieux comprendre et de mieux maîtriser le présent, mais elle permet, également, de proposer un environnement avec lequel le concepteur et, par conséquent, l'utilisateur peuvent jouer avec la localisation temporelle. Lorsque je perçois, grâce à une interface de RA, aujourd'hui, les vestiges de l'Abbaye

de Cluny augmentés des parties de cette Abbaye qui ont disparu [29], je perçois un environnement qui n'est ni du pur présent, ni du pur passé, mais un mixte entre passé et présent. De la même manière, lorsque je perçois mon salon actuellement vide augmenté de son mobilier futur [28], je ne suis ni dans le présent, ni dans le futur, mais dans une réalité où présent et futur sont mixés. Et lorsqu'à « travers » les fenêtres de mon appartement parisien je perçois une ville des Etats Unis [31], je perçois un monde impossible. C'est la raison pour laquelle la RA permet, non seulement, de se libérer des catégories temporelles du réel (i.e. passé vs présent vs futur), mais également de se libérer de l'unité spatiale qui caractérise le réel et qui fait que je ne peux pas, par exemple, voir une ville des Etats Unis en regardant par la fenêtre de mon appartement. En effet, lorsque, par exemple, je cherche la station de métro la plus proche grâce une application proposée par mon mobile [27], cela me permet de me diriger ici et maintenant : la première fonctionnalité de la RA (i.e. la RA ayant un objectif informatif et pratique) ne modifie pas l'espace perçu, elle ne vise qu'à dévoiler des parties de l'espace – en l'occurrence les stations de métro – qui ne sont pas perçues, mais qui peuvent, en droit, être perçues, puisqu'elles existent réellement. En revanche, qu'il s'agisse de l'Abbaye de Cluny [29] ou de la pièce meublée [28], les éléments ajoutés modifient la structure des relations spatiales actuelles et réelles. En clair, d'un point de vue spatial, le premier type de RA ne modifie rien, il ne fait que révéler ce qui existe déjà : il met à jour la structure spatiale du réel, que cette structure soit perceptible directement par les sens (e.g. les stations de métro à Paris), qu'elle soit l'expression de relations causales scientifiquement mises en évidence sur la base de calculs (e.g. un environnement qui indiquerait la tension électrique existant entre deux éléments d'un compteur électrique) ou qu'elle ne puisse être appréhendée que par l'intermédiaire d'un artifice technique (e.g. un environnement de RA qui rendrait visible grâce à une caméra thermique des ondes lumineuses dont la fréquence échapperait à la perception visuelle humaine). Au contraire, le deuxième type de RA modifie la structure spatiale actuelle en ajoutant des objets, des êtres ou des relations qui ne lui appartiennent pas : elle modifie la configuration spatiale du réel.

7 Conclusion

En somme, et en toute rigueur, la différence entre les deux types de RA est de deux ordres : elle est fonctionnelle dans le sens où les deux RA ne répondent pas aux mêmes objectifs – pratique pour l'un et imaginaire pour l'autre. Mais cette distinction n'est pas fondamentale car on pourrait arguer que, tout autant que l'interface permettant de localiser les stations de métro sur mon mobile [27], l'Abbaye de Cluny en réalité mixte [29] a un objectif de l'ordre de la connaissance au moins (i.e. savoir à quoi ressemblait cette abbaye à l'époque de sa construction) et même ma pièce meublée virtuellement a une fonction pratique (i.e. me permettre d'acheter ou non ce mobilier en fonction de sa disposition dans la pièce). La distinction fondamentale entre les deux RA semble donc tenir à la capacité de ces deux types de RA à s'affranchir ou pas de la localisation spatio-temporelle. Alors que le premier type de RA nous présente l'actuel (ce que je peux percevoir, ce que je peux faire), le second type nous présente, au contraire ce qui est imaginaire : ce que je ne peux pas percevoir réellement – puisque ce n'est pas actuellement réel – mais que je peux, paradoxalement, percevoir grâce à une interface de RA. En clair, le second type de RA permet de passer de ce qui est en acte (i.e. actuel) à ce qui ne l'est pas : l'imaginaire. Et cet imaginaire peut être possible mais également impossible. Finalement, la RA rend possible l'impossible.

Références

[1] E. Kant, *Kritik der reinen vernunft, J.F Hartknoch. Critique de la raison pure.* éd. Riga (trad. fr. Delamarre, A. et Marty F.). Gallimard, Paris, 1980, 1781-1787.

[2] M. Auvray and P. Fuchs, "Perception, immersion et interaction sensorimotrices en environnement virtuel," *In A. Grumbach & E. Klinger (Eds.), Réalité Virtuelle et Cognition. Numéro spécial de Intellectica*, vol. 45, no. 1, pp. 23–35, 2007.

[3] J. Gibson, *The senses considered as perceptual systems.* Boston : Houghton Mifflin, 1966.

[4] H. Bergson, *Matière et mémoire. Essai sur la relation du corps à l'esprit.* Première édition : 1939. Paris : Les Presses universitaires de France, 1965, 72e édition. Collection : Bibliothèque de philosophie contemporaine, 1939.

[5] W. James, *Pragmatism : A new name for some old ways of thinking.* New York : Longman Green and Co, 1907.

[6] P. Fuchs and G. Moreau, "Le Traité de la Réalité Virtuelle," *Presse de l'Ecole des Mines de Paris*, Troisième Edition. Mars 2006.

[7] M. Beaudouin-Lafon, "Instrumental interaction : an interaction model for designing post-wimp user interfaces," in *CHI '00 : Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, (New York, NY, USA), pp. 446–453, ACM, 2000.

[8] L. Nigay and J. Coutaz, "Espaces conceptuels pour l'interaction multimédia et multimodale," *TSI spécial multimédia et collecticiel, AFCET et Hermes Publ.*, vol. 15, no. 9, pp. 1195–1225, 1996.

[9] R. J. Jacob, A. Girouard, L. M. Hirshfield, and M. S. Horn, "Reality-Based Interaction : A Framework for Post-WIMP Interfaces," pp. 201–210, ACM Press, Florence, Italy, April 5-10 2008.

[10] P. Dourish, *Where the Action is : The Foundations of Embodied Interaction.* MIT Press, Décembre 2001.

[11] W. E. Mackay, "Augmenting reality : A new paradigm for interacting with computers," *World Proceedings of ECSCW'93, the European Conference on Computer Supported Cooperative Work*, vol. 7, 1996.

[12] E. Dubois, Laurence Nigay, J. Troccaz, O. Chavanon, and L. Carrat, "Classification space for augmented surgery, an augmented reality case study," *In A. Sasse and C. Johnson (eds.), Proceedings of Interact'99, IOS Press. Edinburgh (UK)*, pp. 353–359, 1999.

[13] E. Dubois, P. Gray, and L. Nigay, "ASUR++ : supporting the design of mobile mixed systems," *Interacting with Computer*, pp. 497–520, 2003.

[14] P. Renevier, *Système Mixtes Collaboratifs sur Supports Mobiles : Conception et Réalisation.* Spécialité informatique, Université Joseph Fournier - Grenoble 1, Grenoble, Juin 2004.

[15] P. Milgram and F. Kishino, "A taxonomy of mixed reality visual displays," in *IEICE Transactions on Informations Systems* [16], pp. 1–15.

[16] P. Milgram, H. Takemura, A. Utsumi, and F. Kishino, "Augmented reality : A class of displays on the reality-virtuality continuum," *Telemanipulator and Telepresence Technologie*, vol. 2351, pp. 282–292, 1994.

[17] S. Benford, H. Schnädelbach, B. Koleva, R. Anastasi, C. Greenhalgh, T. Rodden, J. Green, A. Ghali, T. Pridmore, B. Gaver, A. Boucher, B. Walker, S. Pennington, A. Schmidt, H. Gellersen, and A. Steed, "Expected, sensed, and desired : A framework for designing sensing-based interaction," *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, vol. 12, no. 1, pp. 3–30, 2005.

[18] D. A. Norman, "Cognitive engineering," *Book chapter of User Centered System Design, New Perspectives on Human-Computer Interaction*, pp. 31–61, 1986.

[19] E. Dubois, L. Nigay, and J. Troccaz, "Combinons le monde virtuel et le monde réel : Classification et principe de conception," *Actes des Rencontres Jeunes Chercheurs en Interaction Homme-Machine*, pp. 31–34, Mai 2000.

[20] R. Want, A. Hopper, V. Falc ao, and J. Gibbons, "The active badge location system," *ACM Trans. Inf. Syst.*, vol. 10, no. 1, pp. 91–102, 1992.

[21] P. Fuchs, G. Moreau, and J. Papin, "Le Traité de la Réalité Virtuelle," *Presse de l'Ecole des Mines de Paris. Première Edition*, Mars 2001.

[22] S. Research, "Peak.ar : `http://peakar.salzburgresearch.at/`."

[23] S. Henderson and S. Feiner, "Augmented reality for maintenance and repair (armar)," *Technical Report AFRL-RH-WP-TR-2007-0112, United States Air Force Research Lab*, Jul 2007.

[24] S. J. Henderson and S. Feiner, "Evaluating the benefits of augmented reality for task localization in maintenance of an armored personnel carrier turret," *Mixed and Augmented Reality, IEEE / ACM International Symposium on*, pp. 135–144, 2009.

[25] S. Feiner, B. Macintyre, and D. Seligmann, "Knowledge-based augmented reality," *Commun. ACM*, vol. 36, no. 7, pp. 53–62, 1993.

[26] S. Gibson, A. Chalmers, G. Simon, J.-F. Vigueras Gomez, M.-O. Berger, D. Stricker, and W. Kresse, "Photorealistic Augmented Reality," in *Second IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality - ISMAR'03*, (Tokyo, Japon), p. 3 p, IEEE, ACM, none, 10 2003. Colloque sur invitation. internationale.

[27] Presselite, "Metro paris : `http://www.presselite.com/iphone/metroparis/`."

[28] Meine Wohnung, "Click & Design : `http://www.meinewohnung.cc/`."

[29] ENSAM - On-Situ, "Dispositif de réalité augmentée pour l'abbaye de cluny : Ray-on. `http://www.on-situ.com/`."

[30] D. Nestle, "Minimoys : `http://minimoys.3ds.com/press/3DVIA-Nestle.html`."

[31] Rationalcraft, "Winscape : `http://www.rationalcraft.com/Winscape.html`."