

ASHRAF MOHAMED AHMED

**LA 3D INTERACTIVE EN TEMPS RÉEL COMME AIDE À
L'ACQUISITION DES CONNAISSANCES SPATIALES :**
Étude de l'influence du mode d'exploration

Mémoire présenté
à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval
dans le cadre du programme de maîtrise en sciences de l'architecture
pour l'obtention du grade de maître ès sciences (M.Sc.)

ECOLE D'ARCHITECTURE
FACULTE D'AMÉNAGEMENT, D'ARCHITECTURE ET DES ARTS VISUELS
UNIVERSITÉ LAVAL
QUÉBEC

MARS 2005

© Ashraf Mohamed Ahmed, 2005

Résumé

Cette recherche s'inscrit dans le cadre général de la 3D interactive en temps réel comme outil de représentation, d'aide à la conception et à la communication des idées et hypothèses de design. Un facteur, l'interaction et plus précisément la navigation dans les Environnements Virtuels (EV) 3D non immersifs est l'objet de cette recherche. Par le biais d'une approche expérimentale, l'influence de la 3D interactive en temps réel sur l'acquisition des connaissances spatiales est illustrée par l'étude du mode d'exploration dans un espace virtuel complexe. En effet, les résultats de la recherche montrent une influence positive de la 3D interactive sur la formation d'une compréhension spatiale des environnements en mode d'exploration actif. Alors qu'en mode d'exploration passif, il s'est avéré que les esquisses comportaient plus d'erreurs dans la représentation des espaces.

Abstract

This research is part of the general framework of real time 3D interaction as a tool for representation, aided design and communication of design ideas. A factor, interaction and more precisely, navigation in a non immersive 3D Virtual Environment (VE), is the research subject. Using an experimental approach, the influence of real time 3D interaction on the acquisition of spatial knowledge is demonstrated, through observation of exploration modes in a complex virtual space. The research results stress a positive influence on spatial understanding through 3D interaction of visited environments during an active exploration. However, during passive exploration mode, the results revealed sketches with more spatial representations errors.

Remerciements

Ce travail de longue haleine semble prendre fin après une période de questionnement, d'incertitude mais surtout de fierté suscitant en moi une volonté de continuer en recherche.

Au niveau académique, un seul et grand merci à monsieur Pierre Côté, mon directeur de recherche, pour sa disponibilité, son soutien humain, intellectuel et financier mais aussi pour sa passion qu'il a su me communiquer et pour la diligence et minutie qui le caractérise.

Aussi, je tiens à dédier ce travail à ma famille nucléaire : mon père, ma mère, mes frères et soeurs pour leur confiance et leur soutien morale et financier, sans lequel je ne serai pas là à écrire ces quelques mots.

Table des matières

Résumé.....	i
Abstract.....	ii
Remerciements	iii
Table des matières.....	iv
Liste des figures.....	viii
Listes des tableaux.....	x
INTRODUCTION.....	1
Chapitre 1. Les environnements virtuels 3D : des aides au processus de design.....	6
Introduction.....	6
1. Le processus de design et ses besoins de représentation.....	6
1.1. Introduction.....	6
1.2. La représentation numérique dans le processus de design.....	8
1.2.1 Définition de la représentation.....	9
1.2.2. L'ordinateur comme outil de représentation.....	12
1.2.3. Apport des EV 3D au processus de conception.....	14
2. Les environnements virtuels 3D	18
2.1. Présentation de la réalité virtuelle.....	18
2.2. Réalité virtuelle ou environnement virtuel ?.....	21
3. Les caractéristiques des <i>EV 3D</i>	23
3.1. La synthèse d'image en temps réel.....	23
3.2. L'immersion et présence virtuelle.....	25
3.2.1. L'immersion.....	25
3.2.2. La présence virtuelle.....	29
3.3. L'interaction.....	31
3.3.1. Agir sur le monde virtuel.....	33
3.3.2. La navigation	34
Résumé.....	36

Chapitre 2. L'acquisition des connaissances spatiales.....	38
Introduction.....	38
1. Les connaissances spatiales.....	40
1.1. Les trois types de connaissances spatiales.....	40
1.1.1. La connaissance des points de repères.....	41
1.1.2. La connaissance des itinéraires.....	43
1.1.3. La connaissance de la configuration.....	44
1. 2. La mesure des connaissances spatiales.....	45
1.2.1. Mesure des connaissances des points de repères	46
1.2.2. Mesure des connaissances des itinéraires.....	46
1.2.3. Mesure des connaissances de la configuration.....	47
2. Les habiletés spatiales.....	48
2.1. Définition des habiletés spatiales.....	49
2.2. Les facteurs affectant le développement des habiletés spatiales.....	50
2.3. Mesure des habiletés spatiales	52
3. Les cartes cognitives.....	52
3.1. Définition des cartes cognitives.....	53
3.2. Mesure des cartes cognitives.....	55
4. «Wayfinding».....	57
4.1. Définition du « wayfinding »	58
4.2. Mesure «wayfinding».....	61
4.3. Tâches du «wayfinding».....	63
Résumé.....	64

Chapitre 3. État de l'Art des EV comme support à l'acquisition des connaissances spatiales.....66

Introduction.....	66
1. Les EV et la recherche en cognition spatiale.....	67
2. Les facteurs influençant l'acquisition des connaissances spatiales.....	73
2.1. Les types d'interfaces.....	74
2.2. Le mode d'exploration.....	76

2.3. La complexité de la scène.....	82
2.4. Le temps d'exposition.....	83
2.5. Autres facteurs.....	86
3. Recommandations pour la conception d'espaces virtuels.....	90
Résumé.....	93

Chapitre 4. La recherche : Méthode expérimentale et analyse des résultats.....96

Introduction.....	96
1. Le protocole expérimental.....	96
1.1. Les hypothèses de recherche.....	97
1.2. L'échantillon.....	98
1.3. Matériel.....	99
1.4. Un Protocole à plans croisés.....	100
1.4.1. Prétest : les tests psychométriques de Guilford et Zimmermann....	102
1.4.2. L'exploration, les questionnaires et esquisses.....	104
1.4.2.1. L'exploration.....	104
1.4.2.2. Le questionnaire.....	106
1.4.2.3. L'esquisse.....	108
1.4.3. Les entrevues.....	108
2. Présentation des résultats.....	109
2.1. Résultats des tests de Guilford et Zimmerman.....	109
2.2. Résultats du questionnaire.....	110
2.3. Résultats des esquisses.....	111
2.4. Résultats des entrevues.....	113
2.5. Synthèse des résultats.....	115
2.5.1. Relation entre résultats des tests psychométriques et ceux du questionnaire.....	115
2.5.2. Relation entre les résultats du questionnaire et ceux des esquisses.....	115
2.5.3. Relation entre les résultats quantitatifs et ceux des entrevues.....	116

3. Discussion.....	117
3.1. Première hypothèse.....	117
3.2. Seconde hypothèse.....	118
Résumé.....	119
CONCLUSIONS.....	121
Références.....	126
ANNEXES.....	137

Liste des figures

1. Évolution de la représentation architecturale (Porter, 2001).....	7
2. Les phases du processus de design (personnelle).....	17
3. Degrés d’immersion des EV (Seipel, 2003).....	28
4. Pour acquérir une bonne compréhension d’un environnement donné (personnelle)...	39
5. Taxonomie de Thorndyke (Scribante, 2000).....	41
6. La connaissance des points de repère (personnelle).....	42
7. La connaissance des itinéraires (personnelle).....	43
8. La connaissance de la configuration (personnelle).....	45
9. <i>Expérience de Beck et Wood (1976)</i>	57
10. Le processus de «wayfinding» selon Downs et Stea (1977).....	61
11. Plan d’action. (Passini , 1994).....	62
12. Différences de perception (Henry, 1992).....	69
13. Expérience de Ruddle, Payne et Jones (1997).....	70
14. Expérience de Rossano et al. (2000).....	72
15. Expérience de Ruddle et al. (2000).....	75
16. Expérience de Gaunet et al. (2001).....	78
17. Expérience de Gaunet et al. (2001).....	78
18. Expérience de Carassa et al. (2002).....	80
19. Expérience de Scribante (2000).....	82
20. Expérience de Goerger et al. (1998).....	84
21. Influence du facteur temps (Darken et Peterson, 2002).....	86
22. Exemples de cartes interactives (Kruijff, 2001).....	87
23. Expérience de Bernatovitch (2000).....	89
24. Photo des étudiants/participants (personnelle).....	99
25. Protocole expérimental (personnelle).....	101
26. Aperçu des deux espaces virtuels (personnelle).....	103

27. Aperçu du premier espace virtuel (personnelle).....	105
28. Aperçu du second espace virtuel (personnelle).....	106
29. Les questions relatives à la connaissances des itinéraires (personnelle).....	107
30. Les questions relatives à la connaissances de la configuration (personnelle).....	108
31. Exemple d'esquisses (personnelle).....	112
32. Exemples d'esquisses fournies par 3 étudiants (personnelle).....	114

Liste des tableaux

1. Récapitulatif terminologique.....	37
2. Résultats des tests psychométriques de Guilford et Zimmermann.....	110
3. Résultats des questionnaires.....	111
4. Résultats des esquisses.....	113
5. Tableau récapitulatif.....	116

À mon père,

Pour sa constance et son affection sereine.

INTRODUCTION

Le point de départ de cette recherche a été la 3D interactive en temps réel comme aide à la conception architecturale et à la communication des idées de design. Par la suite, la recherche s'oriente vers l'analyse et l'illustration de l'influence des environnements virtuels (EV) 3D interactifs¹ en temps réel. La piste de recherche étant que ces environnements facilitent la compréhension d'un espace (virtuel) davantage qu'une représentation non interactive (statique) de ce dernier telle qu'une image de synthèse ou une animation.

Problématique et motivations

Le processus de design architectural vu comme un processus itératif de résolution de problèmes par la critique d'hypothèses de design, jusqu'à l'obtention d'une solution acceptable (Simon, 1969), accorde une place déterminante à la représentation. Entre autres, les représentations créées lors des différentes phases de ce processus de conception constitue une trace de l'évolution des idées. De plus, Akin (1986) souligne que la représentation est la première composante nécessaire aux tâches de conception pour l'acquisition des connaissances. Cette représentation prend la forme de textes, de cartes, d'esquisses, de photographies, et autres plans techniques. À cela, s'ajoutent les représentations numériques interactives ou non, en temps réel ou non.

En tant qu'architectes, imaginer, concevoir et organiser esthétiquement et fonctionnellement l'espace en 3D est l'essence même de la profession. Une incompréhension ou une mauvaise lecture de ces espaces influenceront négativement l'évolution du projet, des données nécessaires au projet étant manquantes. Pour représenter ces espaces, la maquette fut longtemps considérée comme le meilleur outil 3D à la disposition des architectes (Davidson et Campbell, 1996). Mais au cours des deux dernières décennies, une autre option, moins onéreuse, s'offre aux architectes : la

¹ La définition d'Environnement Virtuel (EV) interactif se limitera dans le cadre de cette recherche à la navigation dans les espaces virtuels. Ce point sera traité dans le premier chapitre.

maquette numérique 3D créée à partir de logiciels de Conception Architecturale Assistée par Ordinateur (CAAO) qui peut être modifiée sans grande dépense de temps contrairement aux maquettes traditionnelles. À leur apparition dans le début des années 80, ces logiciels servaient à produire essentiellement des dessins techniques 2D avant d'évoluer et de permettre la réalisation de modèles 3D avec des rendus de plus en plus réalistes. Pour Maher et al. (2000a), il n'y a aucun doute que la prolifération des logiciels a largement profité à la représentation spatiale en architecture. Ils permettent à leurs utilisateurs une meilleure compréhension de l'espace puisqu'ils peuvent disposer de différents points de vue du projet architectural. Mais une des limites de ces logiciels est l'absence d'interactivité. Aujourd'hui, de plus en plus de ces programmes contiennent des fonctions de visualisation des modèles numériques 3D en temps réel en Open GL². Cette « réalité virtuelle », et notamment les environnements virtuels non immersifs devenus accessibles au grand public, permet de proposer des modèles architecturaux interactifs avec plus de liberté pour l'édition des objets et l'exploration de l'espace virtuel. C'est ce dernier facteur qui est au coeur de la présente étude. En effet, les différentes recherches empiriques traitant du domaine de la réalité virtuelle et du domaine du transfert des connaissances spatiales du réel au virtuel n'arrivent pas aux mêmes conclusions quant à l'influence réelle d'un mode d'exploration actif, c'est-à-dire lorsque les sujets se déplacent en mode « marche », en toute liberté, par rapport à un mode d'exploration passif, c'est-à-dire lorsque les sujets doivent suivre un parcours prédéfini par exemple.

« Representation is related to the medium because it determines how we experience the virtual space » (Kvan, 2003). Une représentation numérique et interactive de l'espace influencera forcément la compréhension de ce dernier, mais jusqu'à quel point par rapport à une représentation numérique statique, telle est la question principale de cette recherche. L'hypothèse étant que la 3D interactive permet une meilleure acquisition des connaissances spatiales qu'une représentation non interactive. L'acquisition des connaissances spatiales, qui entraîne une compréhension de l'espace et de sa configuration, est nécessaire en amont, mais aussi durant tout le processus de conception et de collaboration architectural. En effet, comme le souligne Passini dans son ouvrage de référence « Wayfinding in architecture » (1994), la compréhension spatiale est nécessaire pour saisir la complexité d'un site et pour une meilleure organisation des

² Open GL est une librairie graphique 3D. Elle compte environ 120 commandes qui couvre la création, l'animation et le

espaces, évitant entre autre la désorientation des usagers. Selon Dorta (2001), si l'on vient à saisir l'influence de l'usage d'un environnement virtuel 3D interactif sur la compréhension spatiale, plusieurs assumptions pourront alors être validées :

- L'usage d'un environnement virtuel permet une détection plus facile des erreurs formelles de même qu'une rétroaction plus rapide par rapport à celle-ci (Norman, 1981)
- La compréhension et la collaboration durant et après le processus de conception architecturales seront améliorées et stimulées (Wickens, 1987).
- L'utilisation d'un environnement virtuel 3D influencera les résultats de la conception architecturale (Campbell, 1994).

Choix méthodologique

Dorta (2001) s'est intéressé à cette dernière hypothèse dans sa thèse de doctorat « *L'influence de la réalité virtuelle non immersive comme outil de visualisation dans le processus de design* ». Il souhaitait, par le biais d'une approche expérimentale contrôlée, évaluer l'influence de l'utilisation de la 3D interactive sur les résultats des projets de design (architectural et industriel) en comparant ces derniers avec ceux de sujets ayant utilisé des outils traditionnels de conception (esquisses, perspectives et plans techniques). En se basant sur l'expertise de son jury (4 architectes) et sur des critères « objectifs » de design qu'il a formulé (fonctionnel/non fonctionnel, solution banale/innovatrice, espace inorganisé/organisé, complexe/simple, etc.), il en est venu à la conclusion que dépendamment de la complexité du projet, la RV peut jouer un rôle indirecte dans le processus de design puisque la 3D interactive améliore la communication des idées.

À notre connaissance, à l'exception des thèses de Dorta et de Schnabel³, qui s'est inspiré de la précédente, aucune étude empirique ne s'est intéressée directement à l'influence de la 3D interactive sur le processus de conception architecturale ni sur les résultats de ce dernier.

rendu d'objets 3D. (Issue du dictionnaire de l'informatique et de l'Internet, <http://www.dicofr.com/>).

³ Doctorant à l'école d'architecture de Hong Kong, sa thèse « Are Computer Generated Virtual Environments Analogous to Architecture? (en cours, 2005) s'inspire de celle de Dorta au niveau des critères objectifs d'évaluation des résultats de design, sauf que ce dernier utilise des EV immersifs.

D'autre part, les articles scientifiques qui abordent la notion de compréhension spatiale en architecture (Henry, 1992, De Vries et al, 1998; Dorta, 2001; Kruijff et al. 2001) font tous référence au domaine de la psychologie cognitive et plus exactement de la cognition spatiale d'où est extrait le concept de connaissances spatiales.

A truly functional virtual environment needs to be habitable and navigable. To effectively orient people within a virtual environment requires a detailed study of environmental cognition. Principles of way-finding are important design issues especially in a large and complicated virtual environment. Representation is related to this because it determines how we experience the virtual space.

Maher et al., 2001

Par ailleurs, comme le souligne Raynaud (2002), deux principaux courants ont alimenté les recherches sur l'architecture: d'une part, on retrouve les études sur les sciences de la conception et particulièrement les réflexions de Simon et autres auteurs clés de ce domaine (Alexander, Lemoigne, Prost, etc.) sur le processus de modélisation du design; d'autre part, les travaux de psychologie expérimentale et cognitive ont permis le développement des sujets de réflexion. Ainsi, « aux premières recherches qui visaient à caractériser les phases du processus de conception, ont succédé des recherches sur la nature même des opérations mentales et sur les situations de résolution de problèmes » (Raynaud, 2002). Et au cours de la dernière décennie, au travail sur l'extériorisation de la pensée des designers et du transfert de leurs connaissances cognitives et spatiales, se sont greffées les études sur le transfert au monde réel, des informations acquises par le biais d'environnements virtuels. Le domaine de la cognition spatiale s'est inspiré énormément du vocabulaire de l'urbanisme et notamment de l'ouvrage de référence de Lynch « L'image de la cité » (1960). C'est pour ces diverses raisons que la présente étude s'inscrit dans une approche expérimentale basée sur les recherches en cognition spatiale.

Plan du mémoire

Cette étude se compose de 4 chapitres. Les deux premiers chapitres constituent le cadre théorique lié à la recherche. En effet, le premier chapitre présente un bref survol historique du concept de la représentation spatiale en architecture ainsi que son apport durant les différentes étapes du processus de design; la seconde partie de ce même chapitre

introduit le domaine de la réalité virtuelle et de ses caractéristiques. Le deuxième chapitre aborde le domaine de la cognition spatiale, en présentant les différentes notions essentielles à l'élaboration d'une bonne compréhension d'un espace donné en navigant dans ce dernier. Cela suppose qu'une personne doit faire appel à ses habiletés/capacités spatiales pour l'acquisition de connaissances spatiales nécessaires à la formation d'une carte cognitive/mentale de cet environnement. Cela lui permettant ainsi une navigation aisée grâce au processus de recherche d'itinéraire (wayfinding).

Le troisième chapitre aborde un autre volet important de la recherche, celui de l'utilisation des environnements virtuels (immersifs ou non) comme support à l'acquisition des connaissances spatiales et le transfert de ces dernières dans le monde réel. Les limites de ces médiums ainsi que les facteurs influençant une bonne acquisition des connaissances seront ensuite illustrés grâce à une revue de littérature empirique. Enfin le quatrième chapitre présente l'expérimentation à plans croisés ainsi qu'une analyse qualitative des résultats obtenus.

Chapitre 1

Les environnements virtuels 3D : des aides au processus de design

Depuis une quinzaine d'années, nous assistons à un développement croissant des technologies numériques permettant la génération d'espaces 3D. Ces maquettes numériques, interactives ou non, peuvent être utilisées durant les différentes phases du processus de conception comme de nouveaux moyens de représentation et de conception.

Ce premier chapitre débute par un bref survol historique de la représentation spatiale en architecture ainsi que son apport durant les diverses étapes du processus de conception. Puis en second lieu, il traite de l'aspect technologique des environnements virtuels 3D, en introduisant la notion de réalité virtuelle et ses applications dans le domaine architectural. Enfin, les caractéristiques de ces environnements 3D sont présentées.

1. Le processus de design et ses besoins de représentation

1.1. Introduction

À travers l'histoire de l'architecture, les concepteurs n'ont cessé de se doter d'outils pour mieux représenter et concevoir l'objet architectural et pour se rapprocher de sa « réalité », de manière à faciliter la communication d'informations entre les différents acteurs du projet. En effet, comme le rappelle Porter (1997), des fouilles archéologiques ont permis les découvertes en Égypte ancienne du premier plan gravé sur pierre datant de 2100 avant J-C, à El-Dier el-Bahari près de Memphis (cf. figure1). Aussi furent découvertes des maquettes de détails en argile d'édifices romains, des tentatives d'axonométries sur des céramiques grecques et des premiers plans et élévations tels que nous les connaissons aujourd'hui vers 1100 après J-C par la redécouverte, en occident, de la géométrie euclidienne. À part l'utilisation des maquettes, toutes ces représentations étaient construites par le biais du texte ou du dessin. La première révolution dans le domaine de la représentation architecturale survint avec l'avènement de la perspective au quinzième siècle souligné entre autres en 1435 par Leon Battista Alberti et son traité sur les règles

de la perspective. Bien que ce ne fût pas la première fois qu'un concepteur ou artiste essaya de représenter un espace en 3 dimensions, il s'agissait néanmoins de la première formulation systématique des règles de la perspective. Au 18^e siècle, les architectes ont fait évoluer davantage la représentation de leurs oeuvres architecturales par l'utilisation des différentes formes de projections parallèles géométriques, notamment l'axonométrie (cf. figure1).

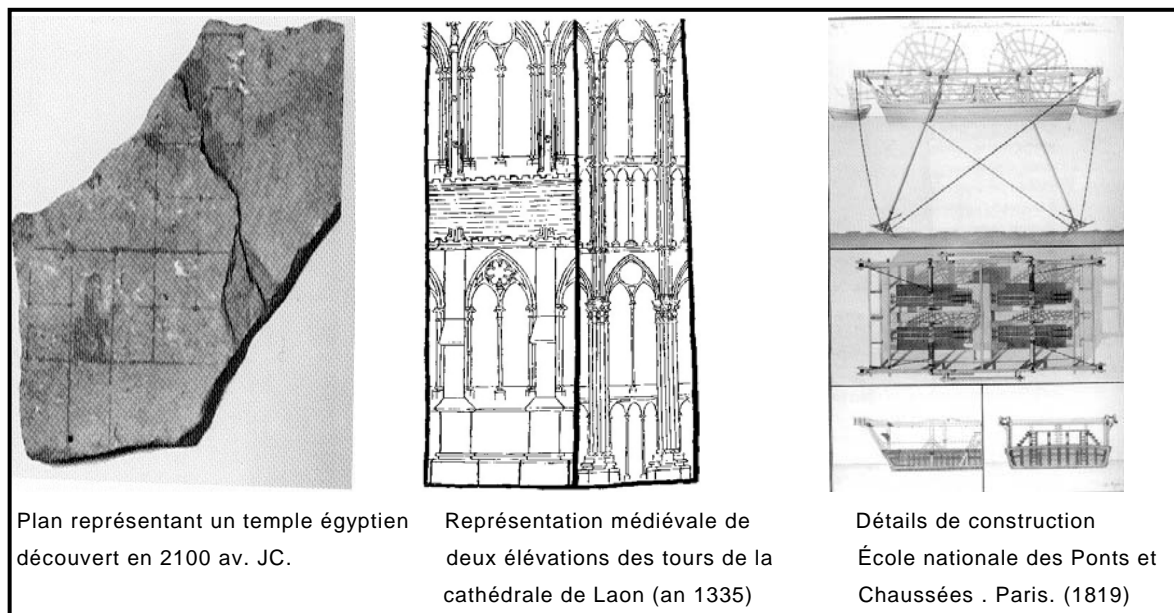


Figure 1 : Évolution de la représentation architecturale (Source : Porter, 1997).

Puis survint une seconde révolution à la fin du siècle dernier, au début des années 80, avec l'apparition de la micro-informatique et des logiciels de DAO et de CAO qui servaient à produire essentiellement des dessins techniques 2D avant d'évoluer et de permettre la production de modèles 3D avec des rendus de plus en plus réalistes. Aujourd'hui, des ordinateurs personnels (PC) comparables aux plates-formes performantes tel les Silicon Graphics permettent le rendu de scènes réalistes en temps réel (Schnabel et al, 2001). Pour la représentation architecturale l'apport de la machine se situe surtout à deux niveaux: le premier est la possibilité d'accéder en même temps aux dessins techniques et au modèle 3D ce qui permet un gain de temps et d'effort, le second est l'introduction du facteur « temps », la quatrième dimension, lors de l'utilisation d'animation ou de maquette numérique interactive.

De nos jours, que ce soit par le biais de moyens traditionnels ou informatisés, la représentation architecturale est devenue une marque de commerce, une signature propre à chaque architecte et il suffit de consulter des revues d'architecture pour s'en convaincre : quel étudiant ou professionnel en architecture ne saurait reconnaître un projet de Zaha Hadid ou de Tadao Ando du premier coup d'œil? Cela étant dit, il y a une nuance très importante à faire sur ce type de représentation, retrouvée dans les magazines ou les concours, appelée représentation d'exposition/présentation qui a pour fonction principale de communiquer le projet à un jury d'architecte, au maître d'ouvrage ou au public. Or par expérience l'architecte sait qu'avant d'aboutir à cette représentation finale, il doit passer par une multitude d'étapes avec des moyens et des méthodes de représentation aussi diverses.

1.2. La représentation numérique dans le processus de design

Depuis le début des années 60, avec le développement de la recherche théorique liée à la pratique architecturale, les chercheurs se sont intéressés de plus près aux liens qui peuvent exister entre les différentes étapes du processus de design et le besoin de représenter ces dernières. Aujourd'hui, on s'accorde pour qualifier le design architectural comme un processus collectif, lent (Maher et al., 2000b) et surtout complexe (Prost, 1992 ; Simon, 1969). Complexe, parce que l'architecture fait référence à la composition d'un ensemble d'éléments abstraits et physiques en interrelation (interdépendants) et aussi qu'elle est une pratique multidisciplinaire qui nécessite la participation de plusieurs acteurs pour la conception et la réalisation physique d'un projet, et enfin parce que c'est un exercice itératif de recherche d'une solution « acceptable⁴ » à partir d'hypothèses de design initiales (Conan, 1990). Ce processus de conception a été examiné et observé par différents chercheurs (Alexander 1971, Lebahar 1983, Prost 1992, Schön 1987, Zeisel 1984). Toutes ces études ont statué sur la nécessité de recourir aux représentations durant tout le processus quel que soit le médium utilisé. En effet, comme le souligne Gross et al (2001), un seul type de représentation ne permet pas le dévoilement de tous les aspects d'un projet et surtout, ce dernier varie en fonction de l'étape du processus. Un projet architectural par sa représentation se doit d'être compréhensible et accessible à tous les intervenants.

⁴ Référence au critère de « satisficing » de Simon.

Cette notion de représentation sera donc étudiée de même que l'utilisation de l'ordinateur comme outil de représentation, particulièrement la 3D numérique, dans les différentes phases de réalisation du projet.

1.2.1 Définition de la représentation

Pris littéralement, ce terme signifie : « présenter à nouveau ». Or ce terme est employé dans différents domaines d'application⁵ engendrant ainsi une multitude d'interprétations possibles mais ici, la définition adoptée est celle de Cadoz (1994) qui désigne la représentation comme « toute démarche qui consiste à remplacer un objet, un phénomène ou une entité abstraite (représentant) par un autre objet ou phénomène (représenté) en assurant une certaine correspondance de propriétés entre les deux ». Au niveau de la conception architecturale, le lien fondamental qui existe entre représentation et conception est reconnu, mais c'est depuis peu qu'intervient l'apport des divers moyens de représentations dans les différentes étapes du processus de design (Chandrasekaran, 1999). Cet intérêt découle de la volonté des chercheurs à comprendre ce qui se passe dans la tête des designers (l'activité cognitive) lorsqu'ils conçoivent, comment émergent les idées et concepts et comment ils les extériorisent. Plusieurs hypothèses émanant des recherches sur la modélisation du processus de conception⁶ s'affrontent à ce sujet mais deux de ces écoles de pensées qui sont diamétralement opposées retiennent l'attention: d'une part, il y a les partisans de « la théorie de la boîte noire », qui sont généralement les premiers théoriciens de la conception architecturale (Gordon , 1961; Osbourn, 1963; Broadbent 1966) pour qui la conception serait le fruit d'un travail opaque du cerveau dont on ne saurait décrire que ce qui y entre et ce qui en sort (Conan, 1990). D'autre part, on retrouve les partisans du courant théorique actuel qui selon Kühn (1993) s'orientent vers une définition de la conception comme un processus créatif basé sur un jeu d'analogies et de cas précédents (Case-based design), organisés de manière à engendrer la solution acceptable, concept élaboré dès les années 60 par Simon (1969). Un des chercheurs phares de ce courant, Donald Schön, suggère que le savoir-faire des architectes est un élément essentiel à tout processus de création puisque pour chaque architecte, ce processus se déroule dans un monde particulier : l'espace de conception (design world) composés de « choses et d'événements déjà vécus ou vus »; les représentations

⁵ D'après le petit Robert (1996), « représentation » est un terme employé dans des domaines comme le droit, les mathématiques, le théâtre, la psychologie ou encore la philosophie.

⁶ Il est possible de consulter Conan (1990) pour plus de détails sur les différents courants théoriques traitant du processus de conception.

graphiques servant de canevas à la création de cet espace. Léglise (2001) soutient aussi que l'activité de conception s'appuie sur « des savoirs et des savoir-faire acquis à un moment donné ».

Par ailleurs, le courant théorique actuel suggère que le besoin de représentation est essentiel à tout acte créatif et dans toutes les phases du processus de design puisque c'est le seul moyen connu, outre le discours écrit et oral, permettant la projection de la pensée de l'architecte et de son savoir-faire. Deux types de représentations sont intrinsèques à la conception; soit les représentations internes (mentales) et les représentations externes. Ces dernières peuvent revêtir plusieurs formes⁷ mais en architecture, les représentations externes graphiques et visuelles sont largement employées, qu'elles soient physiques (dessins, maquettes, etc.) ou numériques (maquette virtuelle, animations, etc.).

Selon Porada (1994), la création se traduit premièrement par une série d'images mentales (floues et/ou précises) qui doivent se matérialiser le plutôt possible pour devenir « le repère de la création ». La plus grande faiblesse de ces images mentales réside dans la saturation de la mémoire à court terme qui ne peut enregistrer qu'un certain nombre d'opérations mentales (de six à sept selon les individus), ce qui peut provoquer un manque d'attention et fausser la suite du processus. Pour Tversky (1993), il faut limiter les activités cognitives des concepteurs surtout dans les cas où le manque d'expérience et la complexité du projet envisagé produisent des erreurs dans les modèles mentaux affectant ainsi la suite des opérations.

Par ailleurs, les concepteurs font appel aux représentations graphiques afin de garder une trace des nombreux « flashes » créatifs qui les traversent. Dans les premières phases de design, les architectes ont tendance à utiliser les esquisses pour extérioriser leurs idées et les garder physiquement en mémoire, leur permettant ainsi de disposer d'un historique des idées qui les ont habitées depuis le début du processus. En plus du rôle d'aide-mémoire, les représentations graphiques (dessins, esquisses, annotation textuelles, maquettes 3D physiques ou numériques, etc.) permettent aux architectes de communiquer, échanger, analyser, valider et faire évoluer leurs idées. Une fois l'extraction des informations accomplie, ces représentations servent ensuite à alimenter la

réflexion du designer le poussant ainsi à faire évoluer ses premières idées : c'est ce que Schön (1983) dans son célèbre ouvrage « the reflective practitioner : how professional think in action » désigne par l'expression « reflective conversation ».

Pour Schön, à chaque phase du processus de conception (qu'il nomme situation), le designer crée et modifie des représentations externes, qu'il va ensuite interpréter ; et c'est dans ce jeu de représentation et d'interprétation que se développe la compréhension de la « situation » et par conséquent l'évolution du projet (Maher et al, 2000b). L'interprétation varie bien sûr en fonction des connaissances du récepteur mais aussi de ce que Porada appelle les valeurs des représentations. Cette dernière, qui se rapporte aux travaux de Moles (1958) et particulièrement à la « *Théorie de l'information et perception esthétique* », souligne que l'on peut attribuer deux valeurs aux représentations architecturales. Une valeur sémantique, qui est « logique, structurée, énonçable, traduisible, préparant des actions » ; et une valeur esthétique, qui est « déterminante des états intérieurs, intraduisible ».

« La valeur esthétique sert avant tout le processus de création, son but étant de donner une forme esthétique aux valeurs sémantiques. Mais elle sert aussi à la transmission du message, donc à la communication du résultat des étapes du processus de conception aux différents récepteurs : aux divers collaborateurs du projet, au maître d'ouvrage, à l'utilisateur... Si la valeur sémantique est souvent facile à mesurer et à déterminer plus ou moins objectivement, il en est tout autrement de la valeur esthétique concernant cette communication, car tout dépend de la culture esthétique du récepteur »

Porada, 1994.

Enfin de « mauvaises » représentations internes ou externes peuvent réellement réduire la créativité et l'imagination de l'architecte puisqu'elles peuvent fausser la compréhension du problème et par conséquent générer des solutions architecturales inadéquates (Chandrasekaran, 1999) .

À propos du processus de conception, Prost (1992) avance qu'il « faut agir en pensant et penser en agissant » ce qui laisse à croire que les représentations internes et externes doivent se faire de manière dynamique et interactive pour atteindre une solution jugée acceptable. Ainsi la boucle de représentation interne-externe est essentielle au développement du processus de conception architecturale . Ces deux types de

⁷ Plusieurs modalités sensorielles peuvent être utilisées comme représentations externes notamment l'ouïe. Pour plus de

représentations se nourrissent et permettent l'évolution et l'émergence des idées quel que soit le médium utilisé. Enfin, beaucoup de recherches ont porté sur l'utilisation des croquis et sketches et leur influence sur le processus de design mais peu, à notre connaissance, se sont vraiment penchées sur l'apport de la 3D numérique, interactive ou non, sur le design (Gero, 2002; Rosenman et Gero, 1998; Goel, 1995; Suwa et Tversky, 1997).

1.2.2. L'ordinateur comme outil de représentation

Lors des premières étapes de conception, qui sont aussi les plus créatives en terme d'émergence et de brassage des idées, les designers ont besoin d'évaluer les dimensions, l'aménagement ou encore la qualité des espaces (Maher et al., 2000b). Pour les représenter, la maquette analogique fut longtemps considérée comme le meilleur outil à la disposition des architectes (Davidson et Campbell, 1996). Cependant, cette représentation présente une lacune: le sentiment d'être "présent" à l'intérieur du projet, de pouvoir y circuler librement et de disposer de points de vue intéressants surtout pour les espaces intérieurs. Une solution a été proposée, celle d'introduire des mini-caméras dans la maquette permettant ainsi aux utilisateurs de contrôler le mouvement de ces caméras et par conséquent « naviguer » à l'intérieur des espaces conçus (Bosselmann, 1992; Desbois et al., 1998). Avec l'avènement des logiciels de CAAO dans les années 80, il se produit une meilleure compréhension de l'espace puisque les utilisateurs de ces systèmes informatiques peuvent disposer de différents points de vue du projet architectural, mais surtout, les images de synthèse produites permettent une boucle de rétroaction plus rapide (Maher et al., 2000b).

Il est évident que ces logiciels de CAAO qui, en deux décennies ont vu leur utilisation se généraliser dans les bureaux d'architectes, constituent un médium riche pour la représentation des idées de design. Toutefois, la recherche dans ce domaine (Bertol 1997, Suwa et Twersky, 1996) fait part d'un manque d'outils informatisés dans les premières étapes du processus de conception. La plupart des logiciels de CAO et CAAO (Autocad, 3DStudio, Archicad, etc.) étant destinés et utilisés par les professionnels comme outils pour communiquer le projet et non comme aide au processus de conception. Mais depuis quelques années, au niveau académique et commercial, des applications

destinées aux phases créatives du design apparaissent. Au niveau commercial, des applications comme sketchUp 3D de @Last Software commencent aussi à être employées par les professionnels. À l'académique, on peut citer des prototypes comme ceux développés par le Design Machine Group de l'université de Washington (Napkin de Gross et Do, 1996) ou par le Research School of Design & Decision Support Systems au Pays-Bas (DDDoz de De vries, 2001)⁸. De même, dans le cadre d'ateliers académiques, des logiciels de CAO sont utilisés par les étudiants dès les premiers stades de la conception comme c'est le cas depuis 1991 avec « l'atelier sans-papier » à l'Ecole d'architecture de l'Université Laval. Un atelier où les étudiants de troisième année doivent concevoir uniquement avec le système informatique.

Des limites sont attribuables aux applications comme par exemple, le problème de la réduction des informations spatiales contenues dans le modèle 3D, qui sont perdues au passage vers la représentation 2D. En effet, les perspectives issues du modèle 3D apparaissent sur notre écran comme des représentations 2D (Dumas, 2000). Aujourd'hui, cette représentation peut être modifiée de manière interactive mais la qualité du rendu n'est pas optimale. Habituellement, un architecte pense son projet, puis l'esquisse et le représente en 2D sur calque pour enfin réaliser un modèle numérique 3D de ce dernier; or comme le fait remarquer Dorta (2001), il semble paradoxale d'employer des outils 2D pour représenter un objet 3D car le travail de codage et décodage de l'information⁹ constitue une charge mentale supplémentaire, d'autant plus que tous les architectes n'ont pas les mêmes capacités d'analyse des qualités spatiales et formelles de l'espace architectural (Gero, 2002; Dorta 2001); cette capacité étant encore plus limitée chez les novices et les étudiants (Gero, 2002). De plus, avec les systèmes informatiques disponibles sur le marché, un aspect du travail de l'architecte est occulté : celui de la communication et de l'échange d'informations entre les différents acteurs d'un projet par la collaboration. En effet ces logiciels sont généralement destinés au travail individuel même si, de plus en plus, des compagnies commencent à inclure des fonctions de groupe dans leur logiciel notamment Archicad, Autocad ou MicroStation (Schnabel et al, 2001).

⁸ Ces applications ne seront pas étudiées. Pour plus de détails à ce niveau, lire la thèse de Dimitry Aliakseyeu : « A Computer Support Tool for the Early Stages of Architectural Design », à l'adresse suivante: <http://www.ip0.tue.nl/vip3/download/AliakseyeuThesisC.pdf>

⁹ Passage de la 2D à la 3D. L'architecte doit décoder les informations contenues dans les représentations 2D qui sont sous la forme de plans avec des symboles et des conventions normalisés par la pratique.

1.2.3. Apport des EV 3D au processus de conception

Les limites des logiciels de CAAO traditionnels ont poussé les chercheurs à regarder du côté des environnements virtuels 3D (EV 3D). En effet, aujourd'hui les capacités des réseaux et la puissance des machines permettent l'usage de systèmes informatiques 3D, fondés sur la synthèse d'images en temps réel, techniquement possible grâce à la prolifération de cartes graphiques 3D performantes et peu coûteuses pour les ordinateurs personnels. Ces EV 3D permettent de créer des mondes virtuels qui dotés d'outils de communication (fenêtre de clavardage, dispositif audio et/ou vidéo) permettent à plusieurs participants de travailler ensemble, de concevoir un modèle 3D, d'interagir et de manipuler les objets qui le composent et de naviguer à l'intérieur de celui-ci. Et c'est dans cette optique que, la professeure Mary-lou Maher, de l'école d'architecture de l'université de Sydney, a introduit le concept du « designing within the design ». Elle propose d'utiliser les mondes virtuels 3D interactifs, comme espace de conception où les architectes pourront se réunir afin de concevoir et d'échanger leurs idées avec d'autres acteurs participant au projet. Les projets à réaliser, dans ce cadre virtuel, offrent l'opportunité aux architectes de traiter aussi bien d'architecture numérique que virtuelle. Maher (2001) définit l'architecture virtuelle comme tout projet non réalisable physiquement ; par opposition à architecture numérique, qui tout en utilisant les potentialités de l'ordinateur, fait référence aux projets réalisables et constructibles.

Un exemple de l'apport de ces EV 3D dans le domaine de l'architecture est celui de la création du Disney California Adventure Park. Les architectes ont réalisé un monde virtuel 3D du parc. Les responsables de Disney ont pu y circuler et identifier rapidement les modifications à effectuer dans le projet. Ils ont affirmé que ces remarques n'étaient pas du tout évidentes, à priori, à leurs yeux lorsqu'ils ont consulté les documents techniques ou la maquette du site (Gross et al, 2001).

L'autre intérêt de ces EV 3D est leur représentation graphique attrayante, parfois proche de la réalité, qui permet aux différents intervenants de participer à l'évolution d'un projet puisqu'il leur est plus aisé de saisir la complexité de l'édifice à concevoir en terme d'espaces. Ainsi un client sera moins déçu puisqu'il peut être au courant de l'évolution du projet et l'architecte perd moins de temps à effectuer les changements demandés par son client.

Par ailleurs, le recours à la 3D numérique lors du processus de conception pose la question de l'influence du médium sur la qualité des espaces conçus. En effet, même si les spécialistes s'accordent pour affirmer que selon le médium utilisé lors du design, le résultat ou la solution architecturale obtenue sera différente (Bermudez, 1994; Dorta, 2001; Kvan, 2003; Maher et al., 2000b), personne n'est en mesure d'évaluer l'impact de l'utilisation de la 3D numérique sur la qualité formelle ou esthétique du projet architectural. Des études sont faites dans ce sens, (Dorta, 2001; Schnabel, 2001) mais il est encore trop tôt pour confirmer l'influence positive de la 3D. Pour le moment, les études, comme la présente, utilisent le potentiel que seule la machine peut offrir sans pour autant affirmer que cette utilisation de l'ordinateur assure de meilleurs résultats sur les différentes phases du processus de design.

Tel que mentionné, plusieurs définitions théoriques du processus de design existent. Énumérer ces différents travaux et ces différents modèles ne fait pas partie du cadre de cette recherche. Néanmoins, un modèle est proposé à la figure 2 dans les pages qui suivent, reprenant l'essentiel de ces études et inspiré de celui de Conan (1990) et de Marshall (1992). Ainsi, dans le cadre de cette étude qui porte sur les environnements virtuels 3D, l'attention est mise sur une seule technique de représentation, celle de l'utilisation de la 3D numérique comme moyen de représentation et de communication mais aussi comme outil de conception permettant l'émergence des idées. Le modèle décompose le processus de conception architecturale en six phases

1. *La phase de programmation* dans laquelle les caractéristiques principales du projet sont énoncées de même que l'étude des cas précédents et du fonctionnement du site. C'est une phase d'analyse qui permet au client de déterminer ses attentes et par conséquent à l'architecte d'énoncer le « problème de design » qu'il aura à résoudre. Dans cette étape, l'outil informatique peut jouer un rôle important, par exemple pour traiter les données historiques et/ou physiques relatives au site. Ainsi l'utilisation d'une maquette numérique, interactive ou non, peut servir à visualiser la morphologie d'un site ou à étudier les facteurs climatiques de ce dernier (Conan, 1990).
2. *La phase d'esquisse* où le concepteur définit ses concepts et choisit son parti architectural en explorant les différentes facettes du problème énoncé

précédemment. L'architecte applique, par exemple, le cycle de Zeisel repris par Conan (1990) : il énonce une ou plusieurs hypothèses de design, qu'il peut représenter numériquement en 3D pour les valider, et par un jeu d'itération, choisit une solution acceptable à son problème (cf. figure 2); ensuite seulement, il peut accéder à la prochaine étape. L'architecte peut se servir de la maquette numérique générée antérieurement pour esquisser en 3D et évaluer les formes obtenues.

3. *La phase préliminaire* débute à partir du moment où le parti architectural commence à se préciser notamment après échange avec le client et/ou d'autres intervenants. Là encore, l'utilisation de la 3D peut être utile pour représenter formellement le projet. Dans ces premières phases de la conception, le modèle 3D n'est pas forcément complet car il sert essentiellement de référent au concepteur et lui fournit des informations sur l'espace à concevoir.
4. *La phase développement* : À ce stade, le parti est défini, l'architecte s'arrête au niveau des détails concernant les dimensions, la structure, les matériaux, etc. Le modèle spatial numérique subit des modifications qui sont le plus souvent de l'ordre de l'enrichissement en détails et en précision.
5. *La phase d'exécution* où sont produits des documents de construction. Ces représentations d'exécution doivent donner un rapport direct entre le dessin et l'objet à construire. Le géométral, c'est-à-dire les représentations techniques traditionnelles (dessin en plan, coupe et élévation), assure ici la transmission rigoureuse de l'information géométrique. Cette phase nécessite l'utilisation de la maquette numérique pour l'extraction des informations 2D et mettre aussi en évidence les détails de construction.
6. *La phase de présentation* durant laquelle les propositions sont présentées aux clients ou à un jury pour fin d'évaluation et de décisions. Par rapport aux présentations traditionnelles, la maquette 3D ajoute la multiplicité de points de vues et la possibilité de l'animation ou de parcours virtuel du projet en temps réel.

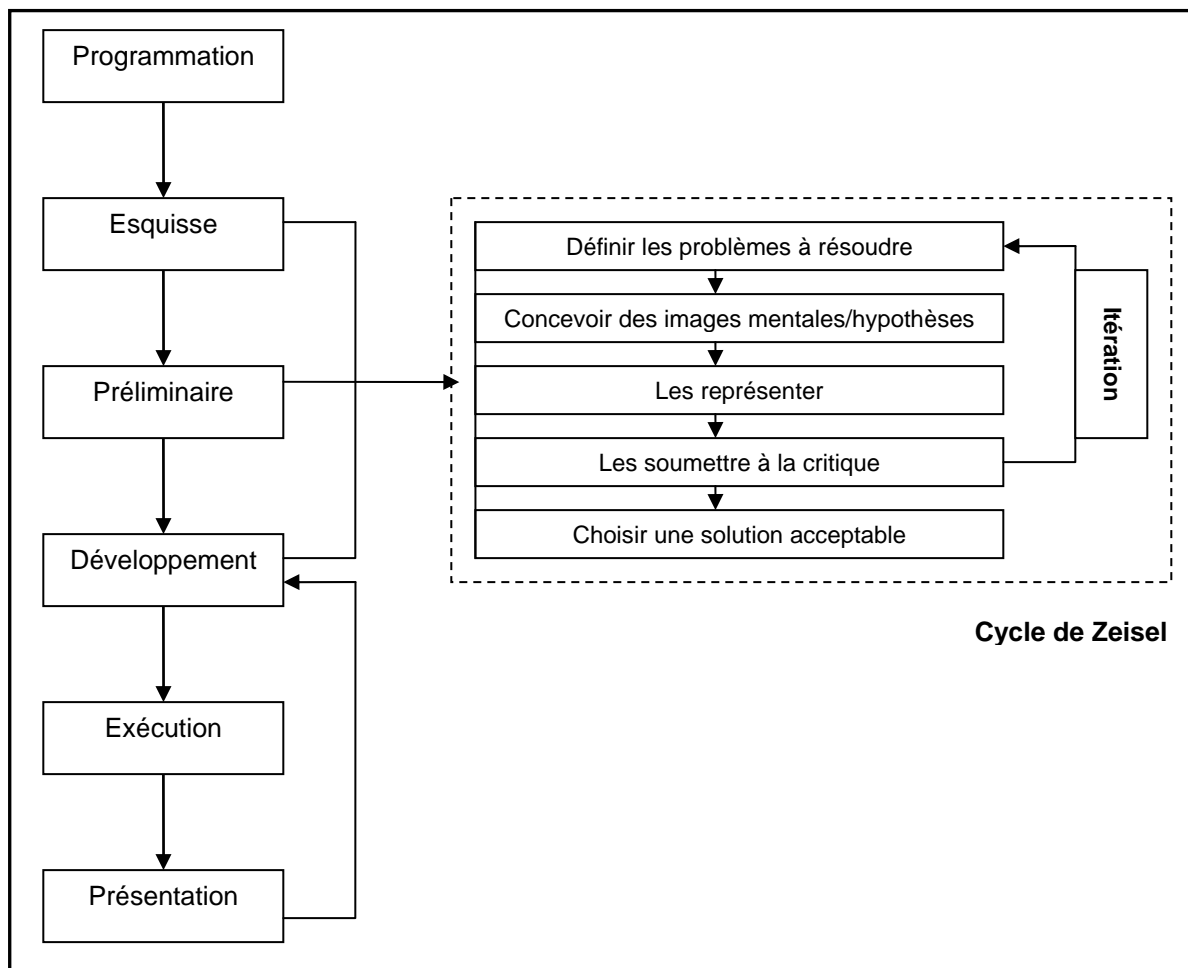


Figure 2 : les phases du processus de design

Ces EV 3D, que Walker (1998) dans son article « *Through the looking glass and what Alice found there* » a qualifié d'interface du futur, présentent donc plusieurs points susceptibles de susciter notre attention comme architecte puisque l'idée de pouvoir interagir et manipuler une scène 3D et les objets qui la composent mais aussi d'être « présent¹⁰ » à l'intérieur des espaces conduit à une nouvelle approche de la conception architecturale. Pour comprendre le fonctionnement et les caractéristiques de ces représentations, une introduction aux réalités virtuelles est nécessaire.

¹⁰ La notion de présence sera développée plus loin.

2. Les environnements virtuels 3D

2.1. Présentation de la réalité virtuelle

C'est en 1986 que Jaron Lanier employa pour la première fois le terme de « réalité virtuelle » (RV) qu'il définît comme étant une réalité synthétisée partageable avec d'autres personnes, que nous pouvons appréhender par nos sens, et avec laquelle nous pouvons interagir, le tout par l'intermédiaire d'une interface:

« We are speaking about a technology that uses computerised clothing to synthesise shared reality. It recreates our relationship with the physical world in a new plane, no more, no less. It doesn't affect the subjective world; it doesn't have anything to do directly with what's going on inside your brain. It only has to do with what your sense organs perceive.»

Lanier, 1986

Depuis 50 ans, la RV est devenu un terme générique dont la signification n'a cessé d'évoluer, en même temps que le développement de l'informatique. Un des premiers systèmes de RV a été le simulateur de transport : le Sensorama¹¹, de Morton Heilig en 1956. Le domaine des réalités virtuelles comporte un nombre important de définitions dans la littérature, définitions qui varient parfois considérablement d'un auteur à l'autre et d'un domaine à l'autre. Il y a d'abord l'aspect « révolutionnaire » de la RV mis en valeur par les philosophes et essayistes. Ici, révolutionnaire reflète un apport soit positif à l'humanité, soit teinté de doute et de méfiance (Lévy, 1990, Queau 2000 ; Virilio, 1999) :

- « [La réalité virtuelle] représentera le plus grand événement dans l'évolution humaine. Pour la première fois, l'humanité sera capable de nier la réalité et de lui substituer la version qu'elle préfère. » (J. G. Ballard, 1988)
- « (La réalité virtuelle) est la résolution anticipée du monde par clonage de la réalité et extermination du réel par son double. » (Baudrillard, 1995).

Ensuite, il y a le côté sensoriel et cognitif qui est mis en exergue par des partisans d'une approche plus psychologique de la RV :

¹¹ Le précurseur des systèmes d'immersion virtuelle, le Sensorama. Ce dispositif permettait à un utilisateur d'être immergé visuellement et auditivement dans une scène réelle, préalablement filmée. De plus l'utilisateur percevait des odeurs et des

- « La RV reste avant tout une construction mentale de l'observateur face aux stimulations sensorielles qui lui sont fournies par les artefacts technologiques.» (Schneider, 2001).
- « Virtual Reality is the employment of the "cognitive capabilities of our body." The body acquires knowledge through action and interaction. Virtual Reality substitutes lived experience and emotional Knowledge for texts and representations. Psychology is the physics of VR» (Bricken, 1991).

Enfin, les informaticiens vont opter pour une définition technique de la RV et vont se concentrer sur l'interface de celle-ci :

- « La réalité virtuelle se réfère aux environnements tridimensionnels générés par ordinateurs, immersifs, interactifs, multi-sensoriels et centrés sur l'utilisateur, ainsi qu'à la combinaison des technologies requises pour construire ces environnements » (Cruz-Neira, 1993).
- « La RV est une expérience d'immersion dans laquelle les utilisateurs portent des casques-écran munis de capteurs de position, voient des images stéréoscopiques, entendent un son 3D, et peuvent explorer un monde interactif en trois dimensions » (Pimentel et Texeira, 1993).

Ces deux dernières définitions qui datent du début des années 90 laissent à croire que nous sommes encore loin de cette RV qui nécessiterait une immersion totale, multi-sensorielle. À l'heure actuelle, dans la majorité des cas, des écrans d'ordinateurs et des souris remplacent les habits informatisés ; de rares laboratoires disposent d'artéfacts informatisés comme des casques- écran ou des gants de données¹².

À ces définitions qui insistent sur la 3D comme élément essentiel à tout système de RV, s'oppose le point de vue de Daniel Schneider, professeur à la faculté de psychologie et des sciences de l'éducation de l'Université de Genève; pour qui les modes de représentations utilisés pour suggérer la RV n'impliquent pas forcément des

vibrations. Le but du système était de simuler un déplacement virtuel en véhicule. Pour plus de détails sur l'historique de la RV, consulter Burdea et Coiffet (1996), Pimentel et texeira (1993) et Fuchs et al. (2001).

représentations en 3D. Des images en 2D ou du texte, suffisent à immerger l'utilisateur dans des RV. Dans ce dernier cas il s'agit alors de 'réalité virtuelle textuelle' (en anglais, 'text based VR'). Les MOO et les MUD en sont les représentants principaux. Les 'MUD' (en anglais, abréviation de « Multi User Dungeon ») sont des versions informatisées, textuelles et multi-utilisateurs des jeux de rôles tels que « Donjon & Dragon ». Quand le paradigme de programmation est orienté objets, on parle alors de « MOO » (en anglais, abréviation de « MUD Object Oriented ») ; ce qui veut dire que l'environnement devient programmable, on peut créer des objets, des verbes, des pièces, etc. L'application des « MOO » ne se restreint pas au ludique, ils sont en fait largement utilisés comme moyen de communication textuel synchrone (Dumas, 2000).

Cette définition de la RV est assez « généreuse » et surtout peu partagée par la majorité des auteurs, pour qui l'immersion physique, concept-charnière de la RV, passe nécessairement par une tentative de recréer le monde réel, donc en 3D, dans lequel nous vivons comme l'exprime la définition d'Ellis :

- « VR is an advanced human-computer interface that simulates a realistic environment and allows participants to interact with it. » (Ellis, 1994)

De cette définition émerge un terme qui nécessite une attention particulière, celui d'environnement réaliste. Il y a une tendance générale qui considère la RV comme une imitation de la réalité physique, l'accent étant mis sur une sorte de mimétisme de l'environnement physique grâce aux technologies florissantes de la 3D. Bien que les progrès de la technologie informatique améliorent jour après jour le réalisme des représentations des RV, il est encore inconcevable de penser que la RV puisse se substituer au réel. Et un degré de réalisme « parfait » n'est pas forcément un aboutissement. L'exemple que Perraya (1999) propose de l'usage de la RV au niveau de l'apprentissage pédagogique va dans ce sens. Pour lui, le fait que la RV soit perceptivement moins riche, en raison des contraintes techniques, que la réalité physique n'est pas en soi une mauvaise chose. La richesse des détails visuels, bien que participant au sentiment de présence dans la RV, peut distraire du contenu à apprendre. « La mise en évidence du contenu pédagogique est souvent plus important que l'esthétique de l'environnement. » (Perraya, 1999).

¹² Les périphériques des RV sont abordés plus loin dans ce chapitre.

Par contre la richesse de la RV réside dans les potentialités qu'elle seule peut offrir. Ainsi elle peut permettre des actions et gestes qui seraient impossible à réaliser dans la vraie vie. Ce qu'explique le psychologue John Ph. Suller lorsqu'il compare la RV à un monde de rêveurs dans son article « Cyberspace as Dream World : Illusion and Reality at the "Palace" » (1999). Pour l'auteur, dans un monde virtuel, nous pourrions :

- *transcender les lois physiques et gravitationnelles* (Il suffit par exemple de cliquer sur un bouton pour se rendre d'un endroit à un autre ou encore voler dans les airs).

- *générer spontanément des objets* (on peut créer quelque chose à partir de rien).

- *garder en mémoire les informations* (l'utilisateur d'une RV peut garder des traces permanentes de ce qu'il a vu, de ce qu'il a dit, à qui il l'a dit, et quand il l'a dit).

Ainsi comme le rappellent Fuchs et al. (2001), la RV, contrairement à la simulation qui représente des phénomènes physiques réels, permet d'aller au delà du réel : son application à la visualisation scientifique en est un exemple (étude de la structure d'une molécule ou de la radioactivité), de même que la collaboration à distance.

Toutes ces définitions et nuances apportées par différents auteurs permettent de caractériser les réalités virtuelles comme tout système procurant à ses utilisateurs la sensation d'immersion dans des espaces virtuels et permettant une interaction avec les éléments qui composent ces derniers. Des artéfacts informatiques peuvent être utilisés pour accroître la sensation d'immersion sensorielle dans ces espaces virtuels, artéfacts qui représentent des phénomènes réels ou imaginaires et qui fonctionnent en temps réel.

2.2. Réalité virtuelle ou environnement virtuel ?

Le sujet de cette présente étude porte sur les environnements virtuels 3D, quelle différence y a t'il alors entre ce terme et celui de réalité virtuelle ? La majorité des chercheurs, francophones ou anglo-saxons, emploient les deux termes comme synonymes. Même si le terme RV a résisté et est resté un terme couramment employé dans la littérature, d'autres néologismes sont apparus depuis 1986 en raison:

- Du développement historique de l'informatique : par conséquent les auteurs ont du inventer des noms pour qualifier toute ces technologies naissantes.

- De la multidisciplinarité de ce domaine de recherche : La RV est plus qu'une simple technologie ou expérience sensorielle ; c'est un champ de recherche qui, selon Fuchs et al. (2001), Tisseau (2001) et Dumas (2000), regroupe des domaines tels que la téléopération, la simulation, l'infographie, les télécommunications et la psychologie cognitive.

Ainsi reprenant ce dernier point, plusieurs auteurs ont proposé des définitions alternatives à l'expression de Lanier. Cadoz (1994) parle plutôt de « réalité intégrale », le qualificatif d'intégral exprimant ici que le représentant se manifeste à la totalité de nos sens coordonnés (visuel, auditif, tactile, etc.). Kruegger (1991), un des pionniers de la RV, propose le terme de « réalités artificielles » car pour lui « La promesse des réalités artificielles n'est pas de reproduire la réalité conventionnelle ou d'agir sur le monde réel. Elle est précisément l'opportunité de créer des réalités synthétiques pour lesquelles il n'y a pas d'antécédents réels. » Quant à Fuchs et al. (2001), ils proposent le terme de « réalité vicariante » : « vicariante est utilisée en physiologie pour désigner un organe qui se supplée à un autre. Ce mot vient de vicaire, le remplaçant du curé. Le vicaire prend les fonctions du curé en son absence mais il est loin d'en être toujours le sosie ».

Si ces termes n'ont pu résister au temps, d'autres demeurent actuels. C'est le cas d'expressions comme espaces virtuels, univers virtuels, mondes virtuels ou encore environnements virtuels qui sont parfois utilisés comme synonymes de RV. Il y a des nuances à apporter entre ces différents termes pour ainsi éviter tout amalgame qui pourrait être fait. Les notions d'espaces virtuels, monde virtuels ou univers virtuels peuvent être regroupés sous une même définition celle d'un lieu virtuel généré par ordinateur, pouvant être réel ou imaginaire, et dans lequel les utilisateurs peuvent interagir entre eux ou avec les objets composants ces espaces. Dans ce premier groupe de termes, l'aspect technologique et interface de la RV n'entrent pas en ligne de compte. Quant au terme « environnement virtuel » EV (« Virtual Environment », VE en anglais), il peut être interprété de deux manières. D'une part, uniquement comme un lieu virtuel rejoignant ainsi le premier groupe de termes cité plus haut. Or cette définition semble quelque peu réductrice vu l'ampleur de l'utilisation de ce terme dans la littérature. D'autre part, comme le rappelle Ott (1999), initialement le terme « environnement virtuel » fut introduit par les chercheurs du MIT au début des années 1990 comme synonyme de réalité virtuelle avec l'intention évidente de ne pas se lancer dans des considérations philosophiques propres

au concept de réalité. Comme le préconise le cogniticien William Bricken de l'université de Washington, le terme d'EV sera employé pour la suite de l'étude en remplacement au terme générique de RV.

Ainsi, le terme environnement a l'avantage « d'éviter l'ambiguïté attachée au mot réalité » (Jolivald, 1995) et met davantage l'accent sur le fait que l'homme est immergé dans un monde/environnement virtuel. Par ailleurs, cette appellation rejoint les chercheurs travaillant dans le domaine d'intérêt de cette présente étude, en l'occurrence celui de la simulation et des transferts de connaissances spatiales acquises par le biais des EV dans la réalité. En effet, ces chercheurs (Bailey, Knerr, Knapp, Waller, etc.) ont majoritairement recours au terme d'EV au lieu de celui de RV puisque leurs recherches visent à comprendre le comportement des individus dans un espace/environnement réel et/ou virtuel. Par conséquent et pour la suite de ce travail, le terme adopté d'EV sera défini comme un environnement tridimensionnel généré par ordinateur, immersif ou non, qui permet à ses utilisateurs une interaction en temps réel.

3. Les caractéristiques des *EV 3D*

De cette définition des EV, trois caractéristiques ressortent : la synthèse d'image en temps réel, l'immersion et l'interaction. Ces trois points seront traités en détail.

3.1. La synthèse d'image en temps réel

Bien que l'infographie ne se soit généralisée que depuis le début des années 1980, les progrès accomplis dans les quelques dernières années ont été incroyablement rapides. Avant cette date, la création par un ordinateur d'objets tridimensionnels était généralement limitée à une représentation en « fil de fer » monochromes (Jolivald, 1995). La composition des scènes animées les plus simples prenait des heures ou même des jours de temps de calcul. Aujourd'hui, la situation a énormément évolué et des ordinateurs personnels permettent la visualisation de mondes virtuels 3D et offrent la possibilité d'y interagir en temps réel.

Qu'est-ce qu'une image de synthèse? C'est une image générée par ordinateur à partir d'une maquette numérique en trois dimensions. Synthétiser des images sur ordinateur consiste donc à « calculer la projection d'une scène 3D sur un plan, l'image projetée sur

ce plan étant ensuite affichée à l'écran » (Dumas, 2000). Pour obtenir un rendu réaliste d'une scène 3D complexe comportant des effets de transparences, d'ombres et de reflets, des algorithmes¹³ sont utilisés ; ces derniers nécessitant des ordinateurs puissants. La notion de « temps réel » désigne la génération (calcul) et l'affichage d'une suite d'images animées à au moins 10 images par seconde. Au delà de 25 images par seconde, l'œil ne saisit plus les transitions d'une image à l'autre (Huriet, 1998). Le rendu « temps réel », essentiel à la RV, fait appel à des algorithmes différents du rendu dit réaliste, optimisés pour le temps plus que pour la qualité d'image.

L'élaboration d'une image de synthèse 3D passe par deux principales étapes¹⁴ : la modélisation qui spécifie les caractéristiques des objets à visualiser et le rendu, où est calculée l'image en fonction de sa description.

- *La modélisation* : L'élaboration d'une image commence par la constitution d'un modèle de l'objet, appelé maquette numérique, qui est la représentation informatique. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées par les logiciels de CAO pour permettre cette opération telle que la modélisation surfacique où l'objet 3D est représenté par un ensemble de surfaces le délimitant ou encore la modélisation volumique B-rep et CSG (Folley, 1997).
- *Le rendu* : C'est le calcul du rendu qui fabrique véritablement l'image de synthèse. Le calcul varie selon l'utilisation de l'image, selon le degré de réalisme recherché. Plus le degré de détails est élevé plus le temps de calcul nécessaire à l'ordinateur pour générer l'image de synthèse est important. Une fois la phase de modélisation achevée, la suite du processus est le texturage (mapping en anglais) ou l'application des textures sur les objets 3D. Des lumières sont ensuite ajoutées dans le modèle 3D pour augmenter la qualité de son apparence et son réalisme. Les principales techniques d'éclairage utilisées sont notamment le traitement des ombres, la transparence et la réflexion. Il existe deux grands modèles de rendu (Poinssac, (1994): (a) les modèles locaux (phong et Gouraud, etc.) qui ne prennent en compte que ce que l'observateur voit et (b) les modèles globaux (lancer de rayon, radiosité) qui prennent en compte toute la scène pour rendre une

¹³ Traiter en détail de ces algorithmes n'est pas le propos de cette étude.

¹⁴ Pour plus de détails concernant les différentes étapes de la génération des images de synthèses se référer à : Dumas (2001), Foley (2000), Huriet, (1998), Poinssac (1994)

image. Les « rendus réalistes » tendent à être le plus proche de la réalité et utiliseront des modèles globaux alors qu'actuellement les « rendus temps réels » vont employer les modèles locaux.

La puissance de calcul des ordinateurs a permis d'améliorer la qualité des images au point d'être saisissante de réalisme. Mais comme Huriet (1998) le souligne : « l'image de synthèse reste une image, et celui qui la regarde en est le spectateur ». Tout change lorsque celui-ci peut intervenir dans l'image, peut modifier les éléments 3 D dans la machine et, par conséquent, peut "commander" l'image qu'il voit. L'image cesse d'être une représentation pour devenir un lieu dans lequel on se déplace. « *Avec le virtuel, l'homme cesse d'être le spectateur d'une image pour devenir acteur dans l'image* » (Quéau, 2000). Le passage au virtuel se caractérise par l'immersion dans l'image et l'interaction avec cette dernière.

3.2. L'immersion et présence virtuelle

Pour Cadoz (1994) : « L'immersion est une technologie, une technique d'interface entre l'homme et la machine et ne concerne pas l'état psychologique du sujet ». L'immersion physique d'un sujet dans un environnement virtuel se fait par l'information sensorielle (vue, ouïe, etc.). Ce terme a souvent été confondu sinon employé comme synonyme de « présence » qui est le sentiment psychologique d'être (being there) dans le monde virtuel.

3.2.1.L'immersion

« ...état d'un participant lorsqu'un ou plusieurs de ses sens... est isolé du monde extérieur et n'enregistre plus que des informations issues de l'ordinateur » ; ceci est la définition de l'immersion selon Pimentel et Texeira (1993). Pour Slater et Usoh (2001), « Immersion refers to what is, in principle, a quantifiable description of a technology » ; quant à Fuchs et al. (2001), ils parlent d'immersion « pseudo-naturelle » (selon ces auteurs, nous avons appris à agir *naturellement* uniquement dans un monde réel et non virtuel) qui nécessite l'emploi d'interfaces sensori-motrices. Pour Fuchs, Papin et Moreau (2001), les interfaces sensorimotrices transmettent des réponses motrices de l'homme vers l'ordinateur et en réaction des stimuli sensoriels sont renvoyés par l'ordinateur à l'homme, comme les gants de données à retour d'effort.

À cette conception technologique de l'immersion, aujourd'hui partagée par la majorité des chercheurs, s'oppose la définition de Witmer et Singer (1998) qui considèrent l'immersion comme un état psychologique caractérisé par la perception d'être ou de se sentir « enveloppé par », « inclus dans » et « en interaction avec » un environnement offrant une continuité de stimuli et d'expérience. Slater et al. (2001) critique cette approche suggérant qu'elle confond les propriétés objectives et physiques de l'environnement avec des aspects subjectifs et des expériences de la présence. Il y a donc une distinction importante à faire entre immersion physique, qui se fait par le biais technologique, et l'immersion mentale ou présence, qui se produit psychologiquement.

Et c'est sur cet aspect technologique qu'est fondée une taxonomie des systèmes de RV selon leur degré d'immersion. Pour cela, les recherches de Stefan Seipel (2003) et de Kalawski (1993) ont servi de modèles : Alors que ce dernier, classe les systèmes de RV selon les technologies existantes et commercialisées, Seipel, lui, s'oriente vers un modèle basé sur l'utilisateur et son interaction avec le monde réel et/ou virtuel (cf. Figure 3).

Ainsi selon la taxonomie proposée, un EV est considéré comme :

- *Immersif* lorsque la totalité des sens de l'utilisateur sont sollicités ; même si en pratique, il n'existe aujourd'hui aucun EV totalement immersif. Dans le terme totalité, il faut entendre, d'une part la totalité des sens et d'autre part l'immersion totale de chaque sens. De plus, selon Slater et Usoh (2001), dans un EV immersif, les utilisateurs ont une vue égocentrée du monde virtuel, c'est-à-dire une vue de l'intérieur de l'environnement ou du phénomène. Par opposition à une vue exocentrée, de l'extérieur de l'environnement, où l'utilisateur ne prend pas part directement au monde. Pour ce type de systèmes, ce sont des technologies dites immersives¹⁵ qui sont utilisées : les gants de données, les CAVE ou les casques HMD, etc. Un des principaux avantages de ces technologies est l'immersion visuelle complète de l'utilisateur dans un environnement qui l'entoure sur 360 degrés. Quant aux désavantages, ils sont entre autres liés aux coûts des systèmes, à la mauvaise résolution des images projetés dans les HMD et aux maux de tête occasionnés par le port prolongé de ces casques le cas échéant.

¹⁵ Pour plus de détails sur ces technologies immersives, il est possible de consulter Burdea et Coiffet (1996), Fuchs et al. (2001) et Slater et Usoh (2001).

- *Semi-immersif* lorsque les utilisateurs peuvent interagir à la fois avec les mondes réel et virtuel. Les technologies semi-immersives utilisent des systèmes de visualisation fixe couvrant une large partie du champ visuel ou le dépassant ; ces dispositifs proviennent généralement des systèmes de simulation (Kalwaski, 1993). Un exemple de ce genre d'environnement seraient les dispositifs utilisés en réalité augmentée comme les « workbenches immersifs¹⁶ » ou encore les salles de projection. Un des avantages de ces systèmes est la possibilité d'être à plusieurs pour interagir sur les objets virtuels; de plus, dans le cas des écrans de projection, le champ de vision couvert est de 130 degrés¹⁷, ce qui a pour effet d'augmenter le sentiment de présence. Mais le coût prohibitif de ces dispositifs réduit leur utilisation à quelques laboratoires et centres de recherches.
- *Non-immersif* lorsqu'il utilise un affichage de type « desktop display » (Psojka, 1995), généralement les écrans d'ordinateurs. Ce genre d'EV réduit le contact de l'utilisateur avec le monde virtuel, à une fenêtre. Cela ne donne pas le sentiment d'être présent, mais d'être simplement en contact avec un environnement virtuel. Un exemple de ce type d'EV serait un ordinateur dans lequel des mondes virtuels sont créés au moyen du langage VRML¹⁸. Ces mondes sont composés d'images en trois dimensions, ils sont interactifs, en temps réels, navigables, et peuvent être accessibles via Internet. Dans le cadre de cette étude, ce type d'EV sera utilisé. Robertson et al. (1993) pense qu'il y a trois avantages à utiliser des EV non-immersifs par rapport aux systèmes immersifs. Premièrement, le développement de l'industrie des technologies immersives est très lent; ensuite, les systèmes non-immersifs surpassent les limites techniques et les problèmes actuels des EV immersifs et enfin les utilisateurs sont plus habitués à travailler avec des écrans d'ordinateurs qu'avec des visiocasques. Cependant, il reste une faiblesse majeure liée à ces systèmes non-immersifs, celle du manque de sentiment de présence qui peut influencer grandement les performances et le transfert des connaissances du virtuel au réel comme il sera abordé dans le chapitre suivant.

¹⁶ Table où une image est projetée par un système vidéo. L'utilisateur est devant cette table et agit directement dessus (Dumas, 2001). Ce dispositif est accompagné de lunettes de vision stéréo pour le ou les utilisateurs.

¹⁷ En tant qu'humain, nous avons un champ de vision de presque 180 degrés horizontalement et de 120 degrés verticalement. Selon Slater et al. (2001), un casque HMD typique offre respectivement un champ de vision de 60 et 40 degrés.

¹⁸ VRML ou Virtual Reality Mark-Up Language est un langage de description de scène tridimensionnelle. Il sera présenté dans le quatrième chapitre.

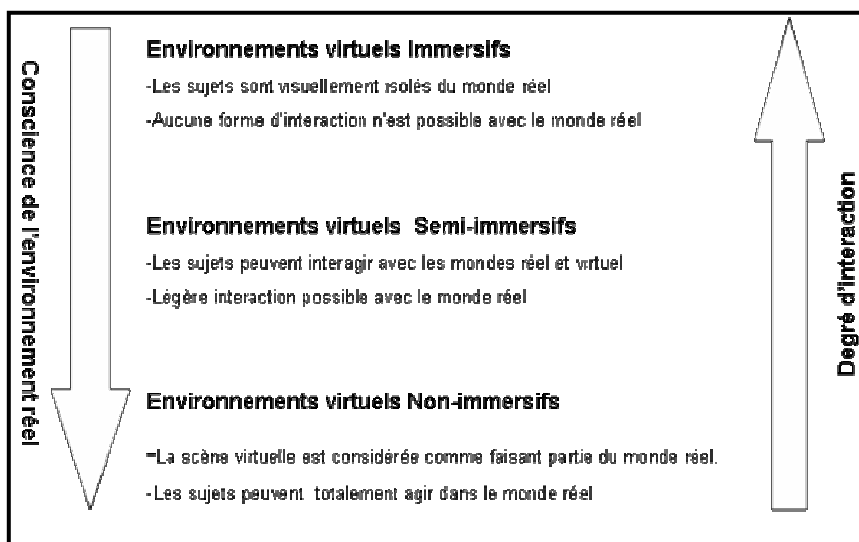


Figure 3: degrés d'immersion des EV selon Seipel (2003)

En résumé, Il n'existe pas vraiment de mesure du degré d'immersion : la différence entre une technologie dite immersive et non-immersive se trouve dans la quantité d'informations sensorielles transmises par le système au participant.

« Une technologie immersive est plus riche au niveau de la quantité des informations sensorielles, ... et du nombre de modalités perceptives possibles, qu'une technologie non-immersive ».

Slater et Usoh (2001)

Cependant, cette différenciation entre système immersif versus non-immersif prend tout son sens lorsqu'il s'agit par exemple de mesurer la performance et l'apprentissage dans les espaces virtuels. Ainsi dans une tâche de recherche d'objets dans un environnement encombrée, Pausch et al (1997) ont démontré que les vitesses d'identification de l'objet sont plus rapides en environnement immersif. De même, Slater et al. (2001) montrent une corrélation entre immersion et apprentissage, notamment pour les apprentissages nécessitant des informations sensorielles nombreuses et de bonnes qualités. Selon ces mêmes chercheurs, l'augmentation de la performance en immersif n'est pas due aux sentiments de présence qui peut apparaître dans ces situations.

D'autres facteurs notamment physiologiques peuvent entrer en ligne de compte¹⁹. Toutefois, selon Sadowski et Stanney (2002), une immersion dans un monde virtuel facilite l'apparition d'un sentiment psychologique de présence; si l'utilisateur devient distrait ou reste en contact avec le monde extérieur, la sensation de présence risque de ne pas surgir ou du moins de ne pas se développer fortement comme il sera traité dans la section suivante.

3.2.2. La présence virtuelle

Même si historiquement récent, et que certains chercheurs l'amalgament encore avec son pendant technologique, l'immersion, il n'en demeure pas moins que le concept de présence occupent une place centrale²⁰ en réalité virtuelle. En effet, il en constitue la composante psychologique.

Dans ce qui suit, seront passées en revue quelques définitions de la présence ou « immersion mentale »: «la présence est le sentiment psychologique d'être dans (being there) l'environnement dont la base technologique est l'immersion... n'importe quel système d'immersion n'induit pas nécessairement de la présence chez tout le monde» (Slater et Usoh, 2001). La définition de Kim et Biocca (1997) suggère que la présence est fondamentalement le produit de deux facteurs : « l'arrivée » ou le sentiment d'être là dans l'environnement et le « départ » ou le sentiment de ne plus être là, dans l'environnement. À ce titre, il est à signaler que le sentiment de présence n'est pas propre à la réalité virtuelle; la présence peut être ressentie au cinéma, lors de la lecture d'un livre ou lors d'une représentation théâtrale. C'est dans cette optique de réactualiser la notion de présence à l'ère des RV que Barfield et Hendrix (1995) distinguent la présence « virtuelle » de la présence dans le monde physique: «la présence virtuelle est généralement conçue comme étant un état subjectif et hypothétique de conscience et d'implication dans un environnement non-présent» (Barfield et Hendrix, 1995).

Pour la suite de ce mémoire, le terme de « présence virtuelle » sera adopté pour désigner le sentiment de présence dans les EV.

¹⁹ Les notions de performance et des transferts des connaissances réel/virtuel seront présentées au chapitre suivant.

²⁰ Depuis 1992, Le Massachusset Institut of Technology (MIT) publie une revue sur ce thème au nom évocateur : Presence : Teleoperators and Virtual Environments.

Sheridan (1992) introduit le terme de téléprésence qu'il relie au domaine de la téléopération et le distingue par conséquent des notions de présence et de présence virtuelle. D'autres chercheurs comme Zelter (1992) et Steuer (1992) utilisent le terme de téléprésence comme synonyme de présence virtuelle : «La téléprésence est définie comme étant l'expérience d'une présence dans un environnement virtuel...

La présence se réfère aux perceptions naturelles d'un environnement, et la téléprésence se réfère à une perception médiatisée d'un environnement... cet environnement peut être un environnement virtuel animé mais non-existant synthétisé par un ordinateur (par exemple un monde animé créé dans un jeu vidéo)» (Steuer, 1992).

Les quelques définitions mentionnées précédemment permettent de caractériser la présence virtuelle (ou téléprésence) comme le sentiment d'être dans un environnement virtuel, la perception d'y être. De plus, il est à noter que la présence virtuelle n'est pas un sentiment propre aux environnements virtuels immersifs. Il peut apparaître dans un environnement non immersif. En effet, dans une étude expérimentale, Shubber (1998) montre l'existence d'un sentiment de présence lors de l'utilisation de jeux vidéos, considéré comme des EV non immersifs. Les conclusions de cette étude démontrent l'existence d'une présence minimale produite par les images et l'aspect interactif. Il semble que « l'image perçue couplée à l'action soit suffisamment forte pour faire réagir le joueur et produire chez lui le sentiment de présence ». Il est donc possible de susciter un sentiment de présence en utilisant une technologie dite non immersive²¹ du moment que l'utilisateur reste concentrer sur la tâche à accomplir.

Enfin, il est à signaler que la notion de présence et des facteurs l'influençant est relativement récente dans le domaine des réalités virtuelles. De ce fait, il existe peu de recherches sur ce sujet. De plus, la technologie utilisée pour ces travaux est souvent une technologie immersive, très peu se sont intéressés au sentiment de présence en environnements non immersifs (Shubber, 1998). Il existe différents facteurs pouvant contribuer à l'impression de présence, d'ordre technologiques (facteurs externes) ou psychologiques (facteurs internes) (Slater et Usoh; 1993 et 2001). Cependant, il serait peu bénéfique de se concentrer sur ces différents facteurs car cet aspect des EV a peu d'impact sur la suite de la présente recherche.

3.3. L'interaction

Il serait impertinent de traiter de la notion d'interaction sans essayer de démêler une confusion née de l'emploi de ce terme comme synonyme de celui d'interactivité. En effet, comme Claude Cadoz (1994) dans son glossaire sur la RV, plusieurs auteurs utilisent ces deux mots comme des équivalents sémantiques. De même, que ce soit dans les médias ou dans les publicités, « interactif », terme vendeur, est employé à toutes les sauces. Les questions qui se posent alors sont : interactif fait référence à interaction ou interactivité ? Et qu'en est-il du verbe interagir ?

Premièrement, il y a la piste pertinente de la distinction historique. En consultant le petit Robert (1996), deux définitions sont fournies :

- Interaction : (1876). Action réciproque de deux phénomènes. Exemples en physiques

- Interactivité : (1980). Informatique. Activité de dialogue entre l'utilisateur d'un système informatique et la machine, par l'intermédiaire d'un écran.

- Interactif : (1980). Informatique. Qui permet d'utiliser un mode conversationnel. Qui permet une interaction.

- Interagir : (1966). Avoir une action réciproque.

De ces quatre définitions mais surtout des dates qui leur sont attribuées, il est possible de déduire des réponses à nos questions. Ainsi, il apparaît que l'interaction est un terme assez ancien (1876) qui n'est pas lié uniquement au domaine de l'informatique. Ainsi selon l'encyclopédie Hachette, l'interaction²², une fois appliquée au domaine de l'informatique, se définit comme « un dialogue homme-machine permettant une action réciproque entre l'utilisateur d'une machine exécutant un programme et l'exécution de ce programme ». Quant à l'interactivité (1980), c'est un terme surtout utilisé dans le domaine de l'informatique. Pour le verbe « interagir », qui date de 1966, son emploi est donc relié à celui d'« interaction » ; même si aujourd'hui, par erreur, on rattache ce verbe et l'adjectif « interactif » en même temps à « interaction » et « interactivité ».

²¹ Nous traiterons de l'influence de l'immersion et de la présence virtuelle sur la performance dans les EV dans le chapitre suivant.

À travers les différentes lectures théoriques sur le domaine, peu de réponses ont paru concluantes et aucune distinction claire et nette entre ces deux termes n'est avancée, mais plutôt des nuances selon les domaines de recherche. Comme par exemple les linguistes Bélisle et Linard (1996), qui sans proposer une réelle distinction entre les deux termes mais plutôt sur les qualificatifs utilisés, mettent en garde contre une confusion systématique entre interactivité technique (réponse de la machine à une commande de l'utilisateur) et interaction humaine (interrelation significative entre deux personnes, réelles ou virtuelles). Cependant certains chercheurs se positionnent au niveau étymologique et proposent des opinions tranchées. Ainsi pour le sociologue Alain Milon (1999), dont l'opinion pertinente sera reprise pour la suite de cette présente étude, l'interaction est une série de comportements d'action-réaction entre deux entités ou provoqués par la présence simultanée de deux individus au même endroit (dans le cas des interactions sociales). Elle implique la notion d'échange mais sur un mode causal : « l'interaction est automatique, elle lie la cause à l'effet. Elle suppose l'idée d'un changement d'état, comme par exemple le passage de l'immobilité au mouvement » (Million, 1999). L'accent est donc mis sur le mot « action », qui peut être interprété comme un geste ponctuel alors que le mot « activité » fait référence à un processus, une série de gestes comme le souligne Milon pour qui l'interactivité est « en revanche pensée, modélisée, construite, elle n'existe que par la volonté d'un concepteur et la participation voulue d'un utilisateur ». Au niveau de l'interactivité, il y a tout un processus d'échange qui se développe entre l'utilisateur et le concepteur par le biais du système informatique. Ce qui rejoint la définition de Perraya (2001) : « L'interactivité c'est l'interaction entre l'être humain et la machine ».

Une fois cette distinction terminologique faite, il est légitime de se demander à quoi se résume l'interaction de l'utilisateur dans le monde virtuel. Selon Fuchs et al. (2001) qui parlent d'interaction fonctionnelle, les tâches exécutées par l'utilisateur, se résumeraient à quatre :

- Observer le monde virtuel.
- Naviguer dans le monde virtuel.
- Agir sur le monde virtuel.
- Communiquer avec autrui.

²² D'après cette encyclopédie, interaction était d'abord destinée à la physique, mais aujourd'hui ce terme est relié à des

Observer le monde, est une action passive qui ne nécessite aucun moyen d'interaction technologique, c'est une étape, préparatoire aux prochaines actions et qui est nécessaire à la compréhension de l'espace virtuel. Communiquer avec autrui, peut aujourd'hui se faire facilement grâce au développement du réseau Internet et des logiciels permettant l'échange entre les participants chacun derrière son poste ou par le biais de leur avatars dans le monde virtuel. Reste deux actions qui sont particulièrement intéressantes pour la suite de ce travail : La navigation et la possibilité d'agir sur le monde virtuel.

3.3.1. Agir sur le monde virtuel

Par le biais de périphériques d'entrée (périphériques gestuels : souris, joysticks, trackball 2D ou 3D, etc.) ou de sortie (périphériques de visualisation : écrans, casque HMD, etc.), l'utilisateur d'un EV peut contrôler, sélectionner ou manipuler un objet dans l'espace virtuel et le contrôler de diverses manières. Quant il s'agit de RV, par conséquent d'interaction 3D, beaucoup d'études vont se concentrer sur les technologies immersives²³. Certaines recherches explorent les possibilités basées sur de nouveaux périphériques 3D²⁴, alors que d'autres vont se concentrer sur l'utilisation de périphériques 2D. En effet, comme le souligne Dumas (2000), les utilisateurs d'ordinateur devenant vite « des experts (au sens de la compétence) du maniement de la souris, il est peut-être souhaitable de profiter de cette maîtrise pour les faire agir en trois dimensions ».

Pour Bowman (2002), professeur à l'institut polytechnique de Virginie et spécialiste des techniques d'interaction en EV immersifs, un utilisateur peut :

- Contrôler un objet dans l'espace 3D directement (reconnaissance gestuelle, interaction à deux mains) ; physiquement (boutons réels, interrupteurs, etc. placés dans le monde réel) ; virtuellement (mêmes périphériques mais placés dans le virtuel) ; par agent (une entité virtuelle, par reconnaissance vocale, exécute nos ordres).

domaines aussi variés que la philosophie, les mathématiques, la psychologie, le théâtre etc.

²³ Consulter Dumas (2000) pour plus de détails sur ces études.

²⁴ Contrairement au périphérique 2D comme la souris ou le trackball 2D qui permettent la manipulation d'objets 3D selon deux axes, les périphériques 3D comme les capteurs de position ou trackballs 3D permettent renvoyer à l'ordinateur des indications quant à la position du périphérique : on parle de degrés de liberté. Si le périphérique gère les déplacements suivant 3 axes (les translations suivant X, Y et Z) alors il a trois degrés de liberté ; si en plus, il mesure les rotations autour de ces axes, il possède six degrés de liberté (X, Y, Z et l'angle de rotation du périphérique autour de chacun de ces axes). Pour plus de détails sur les périphériques, consulter Dumas (2000) et Fuch, Papin et Moreau (2001)

- Sélectionner une direction (selon un curseur, un regard, un pointeur, etc.) ; un objet (en le nommant, en le pointant, en utilisant un capteur 3D, avec un menu, etc.) ; des valeurs (en utilisant un clavier, un menu ou la reconnaissance vocale).
- Manipuler un objet en exécutant certaines opérations : positionner ou mettre un objet à l'échelle ; exercer une force sur lui, modifier ses attributs et contrôler le déplacement.

Ce dernier point mène à la notion de déplacement dans un espace virtuel, ce déplacement pouvant aussi bien concerner les objets composant cet espace que le déplacement des avatars dans l'espace. Cette notion est très liée au concept de navigation, concept qui est présenté brièvement dans le point suivant et qui sera développé dans le chapitre suivant.

3.3.2. La navigation

Cette partie traite du concept de navigation dans les environnements virtuels 3D, même s'il y a une très grande similitude entre la navigation dans le réel et le virtuel. La différence principale entre la navigation dans les espaces réel et virtuel se situe au niveau des modes/techniques de navigation qui sont propres à chaque réalité. Ce concept très vaste nécessite d'abord une clarification terminologique. En effet, comme le rappelle Darken et Peterson (2002), spécialistes en cognition spatiale, il y a une confusion dans la littérature sur les termes employés. Ainsi, certains auteurs emploient comme synonyme les termes de « navigation », « déplacement » ou encore « exploration ». Ces trois termes sont au centre de la présente recherche d'où l'importance de définir clairement ces mots-clés.

Ainsi, la navigation dans un environnement réel ou virtuel se définit par ses composantes motrice et cognitive qui sont inter-reliées (Bowman, 2002).

- *La composante motrice* définit le mouvement/déplacement réel d'un utilisateur dans l'espace. Il existe plusieurs modes ou techniques de déplacement. Bowman (2002) les classe en deux catégories, selon la métaphore employée pour se déplacer dans l'espace virtuel :
 - Les métaphores réelles qui font appel à des comportements réalistes et/ou naturels comme le déplacement en mode « marche », « vol », « à vélo » ou encore « en conduisant ».

- Les métaphores « magiques » où les chercheurs utilisent le potentiel du virtuel pour imaginer et créer des modes de déplacement dans l'espace. Ainsi, ces métaphores permettent de s'extraire des contraintes physiques. Elles demandent par conséquent l'apprentissage de leur sémantique. Parmi ces métaphores dites « magiques », on peut citer la téléportation (on spécifie les coordonnées de la cible à atteindre) ou encore l'utilisation de métaphore basée sur l'imaginaire collectif comme le tapis volant²⁵. Ces techniques de déplacement sont surtout étudiées dans le cadre des EV immersifs.
- *La composante cognitive* ou « wayfinding » est un processus cognitif de définition d'un chemin à travers un environnement. Le « wayfinding » a pour rôle de se construire une « carte cognitive »²⁶ de l'espace visité et de l'utiliser.

Dans un EV, les sujets peuvent disposer de plusieurs objectifs ou tâches à effectuer. Darken et Sibert (1996) identifient trois tâches de navigation et Bowman (2002) en rajoute une quatrième:

1. *L'exploration* c'est-à-dire une navigation où le sujet ne recherche aucune cible à atteindre, son but étant uniquement de connaître et comprendre le nouvel environnement qu'il explore. C'est cette tâche de navigation qui est au cœur de la présente étude. Wilson et al. (1997) proposent une taxonomie de l'exploration²⁷ selon quatre facteurs : psychologique, physique, actif et passif. Ainsi, l'exploration peut être physiquement active (le sujet se déplace librement) ou physiquement passive (le sujet ne choisit pas son mode déplacement pour explorer l'espace). L'exploration peut aussi être psychologiquement active si le sujet doit suivre des indications. Dans le cas contraire, l'exploration est dite psychologiquement passive.
2. *La recherche d'une cible inconnue* où le sujet cherche une cible/destination particulière mais ne connaît pas la position de celle-ci.

²⁵ Consulter Bowman (2002) pour plus de détails sur ces techniques.

²⁶ Tous ces termes reliés au domaine de la cognition spatiale seront développés dans le second chapitre.

²⁷ Le concept d'exploration est développé au chapitre 3, page 76.

3. *La recherche d'une cible dont la position est connue* (à un certain degré). La tâche/objectif étant de retrouver la cible
4. *La manœuvre* est une tâche qui nécessite peu de mouvement. Ces mouvements doivent être précis car le but de permettre au sujet de changer délicatement de point de vue afin d'effectuer une tâche particulière. Bowman (2002) cite comme exemple de manœuvre dans un EV, une simulation de chirurgie où le chirurgien peut se déplacer de l'autre côté de la table d'opération pour obtenir une meilleure vue des gestes qu'il exécute.

La description des composantes motrice et cognitive de la navigation ainsi que des tâches à effectuer suggère qu'une bonne compréhension de l'espace visité peut être influencée par plusieurs facteurs. Ces facteurs sont étudiés dans le troisième chapitre.

Résumé

L'architecture est inconcevable sans représentation. Hier, uniquement les croquis, et aujourd'hui les applications informatiques, permettent de projeter les pensées des designers. Cependant, ces systèmes informatiques offrent la possibilité d'évaluer et de modifier en 3D, interactivement ou non, nos représentations externes. Prétendre qu'utiliser un seul moyen/outil de représentation, en l'occurrence une maquette numérique, serait suffisant durant tout le processus de conception serait réducteur et simplificateur de la complexité du design. Il faut bien sûr disposer de plusieurs outils de représentation mais il est probable que les représentations 3D interactives proposent une multitude de potentialités et peuvent devenir un complément très intéressant pour d'autres médiums dans toutes les étapes du processus de conception.

Ce premier chapitre avait aussi pour objectif d'identifier et de caractériser ces nouvelles interfaces (EV 3D) dans le domaine de la CAAO. Le tableau 1 de synthèse ci-dessous rappelle les définitions des caractéristiques des EV 3D adoptés pour la suite de cette présente étude; et cela pour éviter toute confusion au niveau terminologique.

Tableau 1 : Récapitulatif terminologique

	DÉFINITIONS
Synthèse d'image en temps réel	C'est une image générée par ordinateur à partir d'une maquette numérique en trois dimensions. La notion de « temps réel » désigne la génération (calcul) et l'affichage d'une suite d'images animées à au moins 10 images par seconde. Au delà de 25 images par seconde, l'œil ne saisit plus les transitions d'une image à l'autre (Huriet, 1998).
Immersion Vs Présence virtuelle	Il y a une distinction à faire entre immersion physique, qui se fait par le biais technologique, et l'immersion mentale ou présence, qui se produit psychologiquement. La présence est le sentiment psychologique d'être dans (being there) l'environnement. (Slater et Usoh, 2001)
Interaction Vs Interactivité	L'interaction est un phénomène d'action-réaction. Elle implique l'idée d'un changement d'état. L'accent est donc mis sur le mot « action », qui peut être interprété comme un geste ponctuel alors que dans « interactivité », le mot « activité » fait référence à un processus, une série de gestes. Au niveau de l'interactivité, il y a tout un processus d'échange qui se développe entre l'utilisateur et l'objet à synthétiser par interaction avec le système informatique. (Million, 1999 ; Perraya 2001)
Navigation	Que ce soit dans un environnement réel ou virtuel, la navigation se définit par sa composante motrice (les modes de déplacement) et sa composante cognitive (le « wayfinding »). Le déplacement est donc un concept consubstantiel à la navigation. Quant au terme d'exploration, c'est une des tâches de la navigation, où le sujet ne recherche aucune cible, son but étant une bonne compréhension du nouvel environnement qu'il explore. (Bowman, 2002)

Chapitre 2

L'acquisition des connaissances spatiales

Depuis toujours, l'homme cherche à apprivoiser son environnement et à essayer de le structurer pour pouvoir s'y orienter plus facilement, utilisant les ressources que la nature lui offre (Werner et Long, 2001). Aujourd'hui dans nos sociétés contemporaines, plus complexes structurellement et socialement parlant, l'homme s'est doté de nouveaux procédés et de nouvelles techniques pour façonner son environnement et pour pouvoir s'y déplacer le plus aisément possible. Comme le rappelle Kitchin (1994), « L'environnement et les comportements sont interdépendants: les environnements peuvent influencer le comportement et les explications d'un comportement peuvent être utilisées pour façonner un environnement ». En architecture, cette affirmation revêt toute son importance puisqu'il est possible de mieux planifier, dessiner, gérer un environnement pour et avec les gens, si le concepteur sait comment ils imaginent le monde. Un bon designer se doit aussi d'être un bon observateur puisqu'il doit pouvoir s'imprégner d'un site donné et comprendre son fonctionnement afin de prendre les décisions adéquates pour la réalisation de son projet. Passini (1994) soutient qu'un designer doit disposer d'une bonne compréhension des principes organisateurs d'un espace, essentiels à la formation d'une image mentale de l'édifice, le rendant ainsi intelligible pour ses futurs usagers.

Dans l'introduction de la seconde édition spéciale du journal *Presence*²⁸, Darken et Petterson (2002) soutiennent que « peu de choses sont aussi fondamentales à l'expérience humaine que l'interaction entre les humains et leur environnement, qu'il soit physique ou virtuel ». Pour la présente étude, l'interaction sera limitée au concept de navigation et à l'étude de l'influence de la navigation, plus spécifiquement des modes/techniques de déplacement, sur l'acquisition des connaissances spatiales. L'aspect, « agir sur le monde » (manipulation des données 3D), qui est complexe à gérer techniquement, ne fait pas partie des intérêts de la recherche. Dans ce

²⁸ *Presence* : Teleoperators and virtual environments (MIT press) paru en décembre 1999, était consacré au processus de recherche d'itinéraire (wayfinding) dans les environnements virtuels. Un an auparavant, en avril 1998, une autre édition

chapitre, l'attention est portée sur un aspect fonctionnel important de la conception architecturale, en l'occurrence la compréhension d'un environnement donné par l'acquisition des connaissances spatiales liées à ce dernier. Pour cela, une analyse des différents concepts relatifs à ce champ de recherche sera effectuée selon la logique décrite ci-dessous (figure 4). Cette logique suppose que pour disposer d'une compréhension d'un espace lors de la navigation, une personne doit faire appel à ses habiletés/capacités spatiales pour acquérir les trois types de connaissances spatiales nécessaires à la formation d'une carte cognitive/mentale de cet environnement. Ainsi, cela lui permettrait un déplacement aisé et l'atteinte rapide des destinations souhaitées grâce au processus de recherche d'itinéraire («wayfinding»).

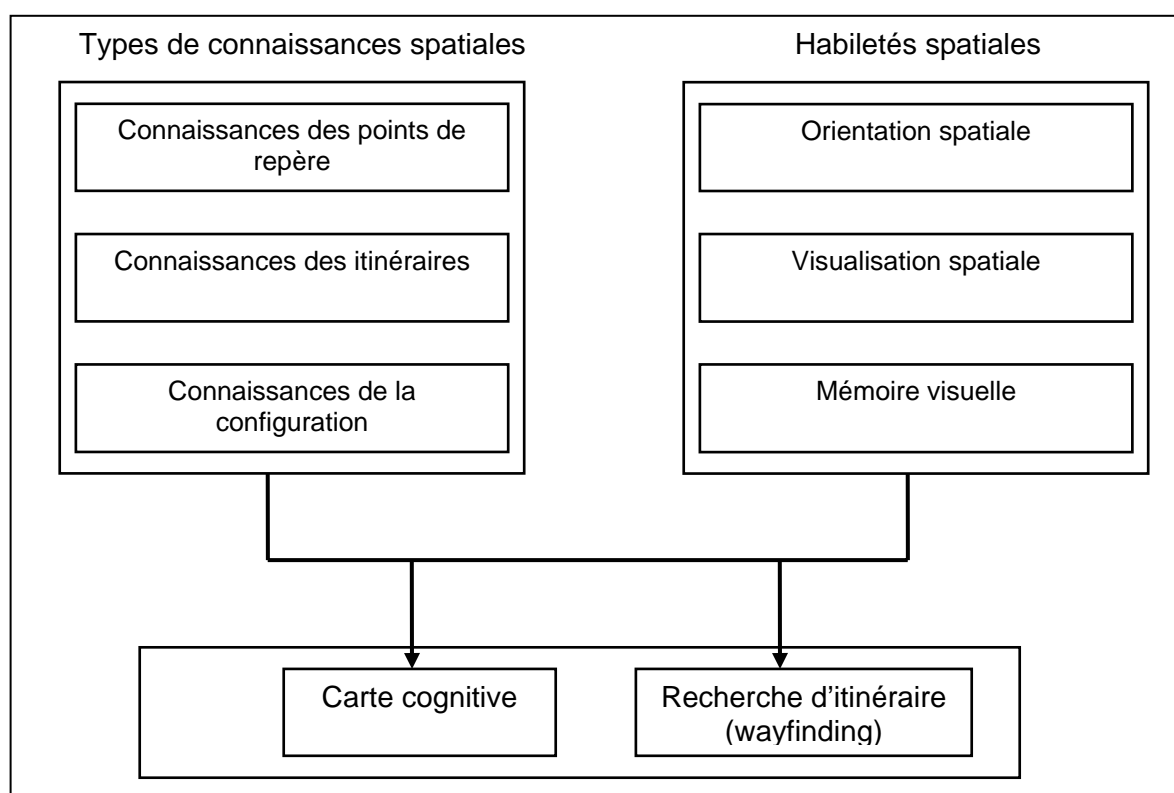


Figure 4: Pour acquérir une bonne compréhension d'un environnement

1. Les connaissances spatiales

Selon Golledge (1999), il est aujourd'hui admis et accepté par les chercheurs dans le domaine de la psychologie environnementale qu'il existe deux stratégies pour apprendre et comprendre un nouvel environnement : soit de manière empirique, en navigant dans ce dernier par le biais d'une technique/mode de déplacement (vol, marche, point to fly, etc.) ou encore grâce à ses représentations externes (cartes, maquettes, EV, photos, etc.). La connaissance spatiale ou cognition spatiale ou « représentation mentale d'un environnement réel ou virtuel » (Wickens, 1987) nécessite trois types de connaissances : les points de repère, les itinéraires et la configuration. Satalich (1995) évoque le terme de « navigational awareness » pour désigner l'acquisition de ces trois types de connaissances. L'usage de ces connaissances est pertinent dans le domaine de la conception architecturale et de l'urbanisme, ces termes étant d'ailleurs largement inspirés du vocabulaire urbanistique comme il sera expliqué plus loin. Comme le rappelle Passini (1994), architecte et chercheur, ces connaissances permettent à un designer de penser son projet en fonction des futurs utilisateurs des lieux. Par ailleurs, un architecte a besoin d'avoir une bonne connaissance de la configuration d'un site donné et par conséquent des points de repère (éléments importants du site : immeubles à bureaux, rivières, bois, etc.) et des itinéraires (voies principales, les axes de circulation, etc.).

1.1. Les trois types de connaissances spatiales

D'après un certain nombre de chercheurs oeuvrant dans le domaine de la psychologie cognitive et notamment dans le domaine du transfert des connaissances spatiales acquises dans le monde virtuel au monde réel (Koh et al, 1999; Darken, 2000; Kruijff et al, 2001; Satalich 1995; Waller et al, 1998; Witmer et al, 1996), la première taxonomie des connaissances spatiales remonte à Siegel et White (1975), elle fut ensuite reprise et développée par Thorndyke (1980) et Thorndyke et Hayes-Roth (1982). Cette classification connue sous l'acronyme L-R-S définit les trois types de connaissances essentielles à toute représentation mentale complète d'un environnement :

1. La connaissance des points de repère (Landmark knowledge)

2. La connaissance des itinéraires (Route knowledge)

3. La connaissance de la configuration (Survey knowledge)

Pour Passini (1994), lors de l'exploration d'un nouvel environnement, une personne commence par « balayer/scanner » ce dernier pour localiser les lieux et objets importants (connaissances des points de repère). Ensuite, elle commence à structurer ses connaissances afin de créer des relations entre les différents objets composant cet environnement pour pouvoir se déplacer et atteindre sa destination le cas échéant (route knowledge). Enfin, en mouvement, d'autres informations spatiales viendront se greffer à ses connaissances précédentes et elle disposera ainsi d'une vue d'ensemble de l'environnement (survey knowledge). Ces trois types de connaissances sont donc inter-reliés puisque pour passer de la connaissance des points de repères à la connaissance de la configuration, il faut acquérir auparavant la connaissance des itinéraires (cf. Figure 5).

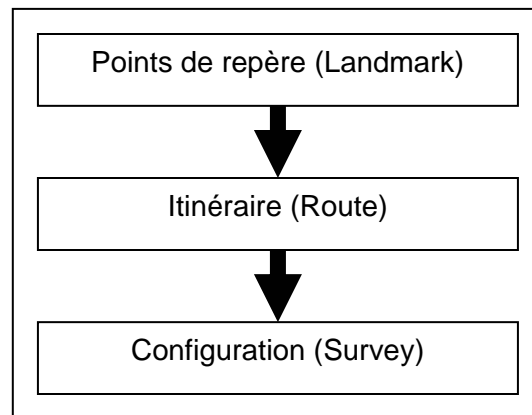


Figure 5 : Taxonomie de Thorndyke (1982)

1.1.1. La connaissance des points de repère

Les points de repère²⁹ (landmarks) sont perçus et reconnus par le sujet grâce à « leurs formes, leurs structures et/ou par leurs significations socioculturelles » (Scribante, 2000). Golledge (1999) rappelle le caractère stratégique des « landmarks » comme assistants à la prise de décision spatiale alors qu'Allen (1999) emploie le terme « ancrage » pour

qualifier les points de repère; ces derniers permettant d'organiser spatialement l'environnement. Darken (2000) rappelle le caractère statique de ce genre de connaissance. Satalich (1995) tout en citant Lynch (1960), soutient que des éléments deviennent des points de repère pour deux raisons : leurs particularités (distinctiveness) et leur signification personnelle (personal meaning) d'où le caractère idiosyncrasique de ce type de connaissance (Golledge, 1999). Enfin dans un cadre plus général, Vinson (1999) soutient que tout objet fournissant des informations de direction peut devenir un point de repère important. Il est à noter que ce type de connaissance peut s'acquérir directement en observant les points importants composant un environnement mais aussi indirectement par le biais d'une représentation symbolique comme une photo ou un environnement virtuel, etc. (Golledge, 1999). Gale (1990) a remarqué que les capacités d'identifier des points de repère étaient identiques pour ceux qui exploraient directement un environnement et ceux qui le faisait via une bande vidéo représentant un déplacement pédestre dans ce même environnement.

Une connaissance de ce type est acquise lorsqu'un objet ou un lieu existe et qu'il peut être reconnu lorsqu'il se retrouve dans l'environnement exploré (ex : Tour Eiffel, Statue de la liberté, Big Ben, etc.). Par exemple, une personne possédant la connaissance des points de repère peut se rappeler de points stratégiques de la ville de Paris : (Musée du Louvre, Champs-Élysées, Centre Pompidou et Tour Eiffel), mais elle ne pourra déterminer leur emplacement ni comment s'y rendre (cf. figure 6).

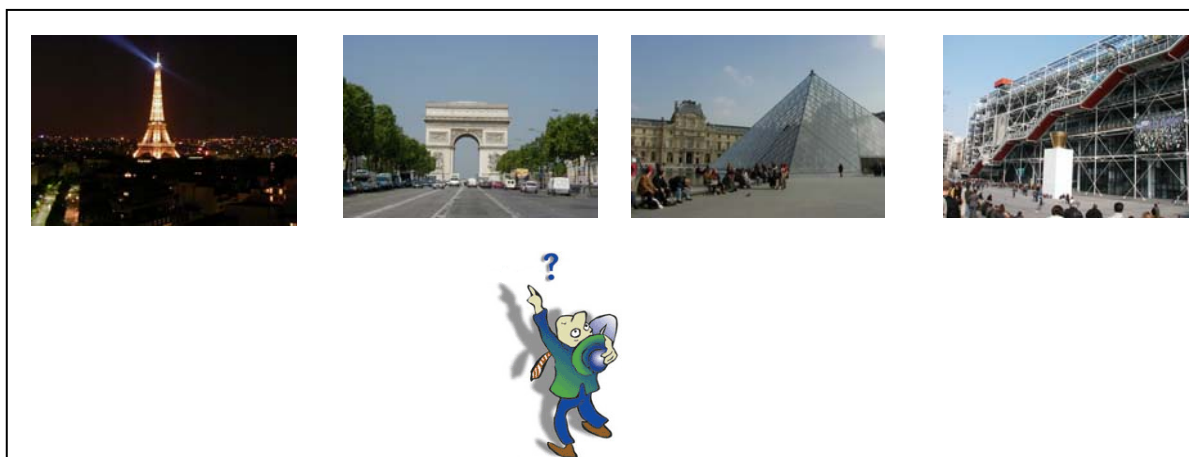


Figure 6 : La connaissance des points de repère : exemple de la ville de Paris

²⁹ Le concept de points de repère réfère directement à Lynch et son ouvrage « L'image de la cité » (1960). Plusieurs auteurs le citent par ailleurs dans leurs articles. La deuxième partie de ce chapitre y réfère aussi.

Un individu qui possède une connaissance des points de repère peut identifier ces derniers, mais ne peut se rendre d'un point à un autre; pour cela il doit disposer de la connaissance des itinéraires.

1.1.2. La connaissance des itinéraires

La connaissance des itinéraires est une forme plus développée de connaissance spatiale que celle des points de repère. Elle décrit « les séquences des actions lors de la navigation à travers un environnement » (Golledge, 1999) ce qui la définit aussi comme une connaissance procédurale requise pour réussir à se rendre d'un point de départ à une destination. Il s'agit donc d'une série de descriptions procédurales qui incluent diverses séquences: point de départ, avec éventuellement des points d'arrêt intermédiaires et une destination finale (Allen, 1999). Satalich (1995) rappelle qu'une personne disposant de ce type de connaissance est capable de se déplacer d'un point de repère à un autre sur un itinéraire connu et qu'elle peut procurer des informations approximatives, et non métriques (Allen, 1999), sur les distances entre les points de repère, sur le nombre de virages et la direction des virages (Scribante, 2000). Comme la connaissance des points de repère, la connaissance des itinéraires est dépendante de la mémoire visuelle (Darken 2000) puisqu'elle dérive « normalement de l'expérience personnelle de navigation dans un itinéraire donné » (Johns, 2002); ce qui signifie que le déplacement se fait selon un cadre de référence égocentrique (Chen et Stanney, 2002; Satalich 1995).

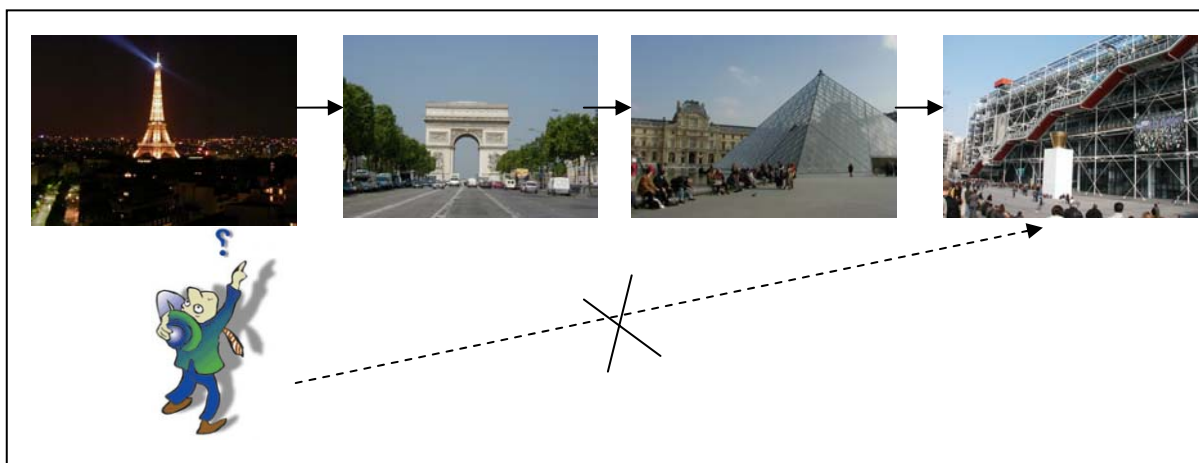


Figure 7 : La connaissance des itinéraires: exemple de la ville de Paris

Concrètement et pour poursuivre avec l'exemple de la ville de Paris, une personne qui possède la connaissance des itinéraires et qui se trouve à la Tour Eiffel et souhaite se rendre au centre Pompidou en ne connaissant qu'un seul chemin, celui de passer par les Champs-Élysées puis par le musée du Louvre. Si le chemin entre la tour Eiffel et les Champs-Élysée est bloqué, elle ne pourra se rendre à sa destination (cf. figure 7). Cette personne ne dispose pas d'assez de connaissances de la ville pour générer et prendre des raccourcis. Pour cela, il lui faut disposer d'une représentation de la configuration de la ville.

1.1.3. La connaissance de la configuration

La connaissance de la configuration définit la position des objets dans l'espace et la distance entre les objets composant cet espace. Il s'agit d'une représentation "vue d'avion" (Scribante, 2000), « à vol d'oiseau » (Satalich, 1995) de l'environnement, soit selon un cadre de référence exocentrique contrairement aux connaissances des points de repère et des itinéraires, lesquelles peuvent s'acquérir à la fois de manière égocentrique et exocentrique (Bernatovich, 2000). Les caractéristiques de la connaissance de la configuration permettent d'estimer les distances à vol d'oiseau (euclidienne) et de juger des relations relatives entre deux positions dans un système de référence fixe.

L'acquisition de ce genre de connaissance se fait soit par l'exploration répétée de l'environnement en utilisant plusieurs itinéraires (Waller et al., 1998) ou encore par l'étude de cartes ou autres médiums notamment les EV (Darken et Sibert, 1996). Satalich (1995) rappelle cependant que la connaissance de la configuration construite sur une navigation et exploration « personnelle » d'un lieu est appelée connaissance primaire de la configuration³⁰ (primary survey knowledge) alors que si l'exploration est basée sur des images ou des cartes, on se situe dans des connaissances de la configuration secondaires. Or, d'après les études de Thorndyke et Hayes-Roth (1982), Presson et Hazelrigg (1984) et Scholl (1993), les connaissances secondaires de la configuration sont qualitativement inférieures aux connaissances primaires. La distance entre les points de repères est connue mais il est difficile de les localiser précisément. En effet, les connaissances primaires acquises par le biais d'une navigation directe sont

³⁰ Les EV sont considérés comme favorisant l'acquisition des connaissances primaires, ce point est traité dans le troisième chapitre.

indépendantes de l'orientation puisqu'une personne peut disposer de plusieurs points de vue de l'environnement tandis que les informations contenues sur une carte ne peuvent être examinées qu'à partir d'un seul point de vue, ce qui réduit la compréhension de la configuration du lieu. De plus, selon Satalich (1995), dans les environnements comportant des routes courbes, les distances sont souvent sous-estimées à partir de cartes. Ce troisième type de connaissance est celui qui nécessite le plus de temps d'apprentissage et dans le cas où les personnes ne sentent pas le besoin d'en connaître plus sur leur environnement, cette connaissance peut ne pas se développer. Scribante (2000) rappelle à ce sujet l'exemple d'infirmières, travaillant depuis trois ans dans une aile d'un grand hôpital, qui ont éprouvé de la difficulté à décrire la configuration de l'ensemble de l'hôpital.

Enfin, toujours selon l'exemple de la ville de Paris, une personne disposant de la connaissance de la configuration peut se déplacer et se rendre là où elle le désire (cf. figure 8), en générant une carte mentale de la ville ce qui lui permet d'emprunter des raccourcis puisqu'elle connaît la position relative des divers points de repères qui lui sont nécessaires pour une meilleure promenade dans la ville.

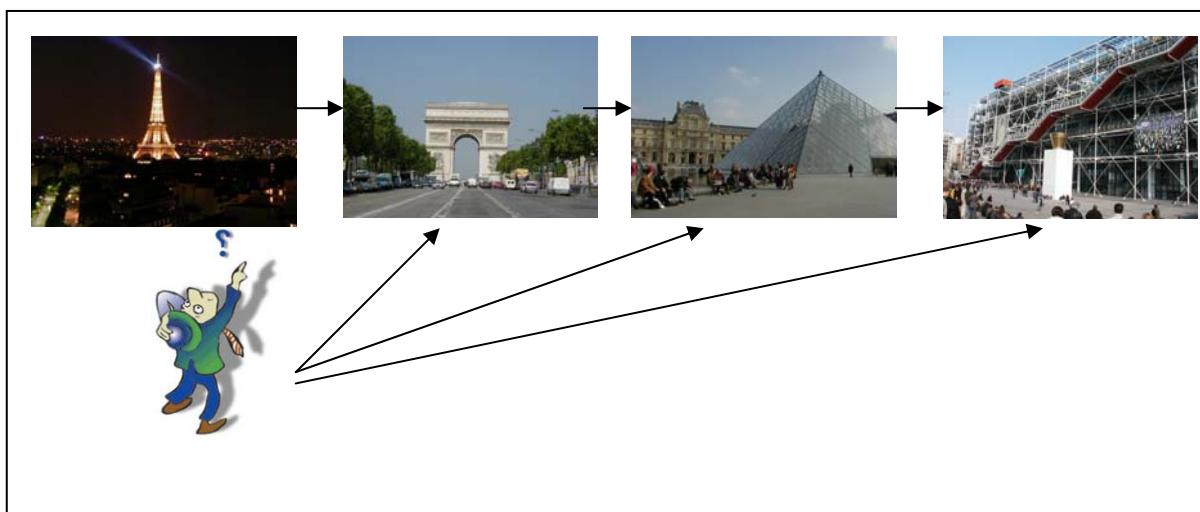


Figure 8: La connaissance de la configuration : exemple de la ville de Paris

1. 2. La mesure des connaissances spatiales

Il existe plusieurs méthodes pour évaluer les connaissances spatiales et selon le type de connaissances que l'on souhaite étudier, elles diffèrent. La section qui suit, décrit les

principales techniques³¹ de mesure, appliquées aussi bien à l'exploration d'environnements réels que virtuels

1.2.1. Mesure des connaissances des points de repère

Ce type de connaissance est le plus facile à mesurer puisque par une simple question directe, on peut vérifier si un individu a reconnu un point de repère dans un environnement donné. De plus comme le rappelle Darken (2000), quel que soit le moyen par lequel on acquiert cette connaissance, le résultat ne varie pas contrairement aux deux autres types de connaissance. Gale (1990) qui a constaté que l'identification des points de repère était identique entre les groupes qui ont physiquement exploré un environnement, à ceux qui l'ont exploré par le biais d'une bande vidéo ou à l'aide de photos, confirme qu'il n'est pas nécessaire d'être physiquement présent dans un lieu pour développer une connaissance des points de repère.

D'autres techniques de mesure sont relevées par Satalich (1995) : l'identification des points de repère qui nécessite du sujet une distinction à faire entre les éléments présents et non présents dans la scène lors de l'exploration de cette dernière ou encore la technique qui consiste à replacer les points de repère, rencontrés dans l'environnement, sur une carte.

1.2.2. Mesure des connaissances des itinéraires

Il existe plusieurs méthodes d'évaluation de ce type de connaissance. Les plus connues sont : l'estimation de la distance de l'itinéraire, le nombre de mauvais virages, l'esquisse de l'itinéraire, la description verbale des itinéraires et enfin l'identification des points de repère structurant l'itinéraire (Passini, 1994; Satalich, 1995; Golledge, 1999; Darken et Petterson, 2002). La multitude des méthodes employées peut témoigner des lacunes que comportent certaines techniques.

Ainsi, pour ce qui est de l'esquisse, les chercheurs s'accordent pour dénoncer les problèmes liés à la capacité des individus à représenter convenablement par le dessin, le chemin emprunté³². Même constat pour les descriptions verbales, il est impossible de

³¹ Une revue de littérature des différentes expériences utilisant ces techniques de mesure est proposée au troisième chapitre.

³² Ce point sera abordé dans le troisième chapitre.

déterminer aisément si une personne a effectivement acquis peu de connaissance ou si cette personne éprouve de la difficulté pour s'exprimer. Quant à la tâche d'identification des points de repère et de leur structure dans l'environnement, la limite principale de cette méthode est le recours fréquent et épuisant à la mémoire visuelle. Si une personne oublie un point de repère, cela peut considérablement affecter sa compréhension de l'itinéraire (Satalich, 1995).

De plus, à la différence de la connaissance des points de repère, les moyens de fournir l'information affectent l'acquisition de la connaissance d'itinéraire. Ainsi, le champ visuel et la capacité de se déplacer dans l'environnement affectent l'acquisition de la connaissance des itinéraires. Dans l'expérience de Gale, citée précédemment, les résultats ont démontré que le groupe explorant l'environnement par le biais d'une bande vidéo a commis plus d'erreurs de parcours que le groupe fonctionnant dans le monde réel. Gale explique ces résultats par le fait que les sujets devant leur écran n'étaient pas libres de leur mouvement et étaient incapables de voir des objets en dehors du champ visuel de la caméra. Cela dit, toutes choses étant égales par ailleurs, d'après Thorndyke (1980), la connaissance des itinéraires peut s'acquérir aussi bien par le biais d'un environnement réel ou virtuel que par le biais de représentations 2D, comme la vidéo ou les photos. Ces limites liées aux méthodes de mesure de la connaissance d'itinéraire font qu'elles sont moins acceptées que celles employées pour mesurer la connaissance des points de repère; les chercheurs ayant tendance à combiner plusieurs techniques en même temps pour obtenir les résultats les plus objectifs. Ce sera aussi le cas pour la présente recherche.

1.2.3. Mesure des connaissances de la configuration

L'acquisition des connaissances de la configuration dépend également de la source de l'information spatiale puisqu'elle dépend du support d'entraînement qui se fait par le dessin du plan et/ou par déplacements répétés.

Les méthodes d'évaluation de la connaissance de la configuration comportent aussi plusieurs variantes (Passini, 1994; Satalich, 1995; Golledge, 1999; Darken et Petterson, 2002) soit l'analyse de croquis/esquisses, les tests d'identification, les tests de pointage de direction et les tests d'évaluation de distances euclidiennes (distance en ligne droite entre deux points). Généralement les méthodes les plus employées sont celle du

pointage et de l'estimation des distances. Cette dernière consiste à demander au sujet la distance entre des points de repère ou encore entre un point de repère et lui-même. Quant à la méthode de pointage, le sujet doit pointer en direction de certains points de repère qui sont à l'extérieur de son champ visuel. La différence principale entre ces tâches est le cadre de référence. La méthode de pointage est presque exclusivement mesurée à partir d'un point de vue égocentrique tandis que la tâche d'estimation des distances euclidiennes peut à la fois se faire de manière égocentrique ou exocentrique. La plus grande difficulté liée à ces deux types de mesure est qu'elles sont basées essentiellement sur les habiletés spatiales des sujets. Toutes les mesures de la connaissance de la configuration doivent tenir compte des capacités cognitives spatiales innées des sujets (Salatch, 1995; Darken et Petterson, 2002). Ce qui rend difficile l'analyse des résultats : sont-ils dus aux faibles capacités spatiales des sujets ou à l'échec de l'acquisition de la connaissance?

De plus, la technique de pointage soulève un problème supplémentaire celui de forcer le sujet à faire des rotations mentales puisque comme souligné précédemment la connaissance de la configuration se développe dans un cadre de référence exocentrique. Or, les individus doivent convertir cette information vers un point de vue égocentrique pour accomplir leur tâche : « Les rotations mentales exigent une compétence unique qui change considérablement d'une personne à l'autre » (Arthur et Passini, 1992). Ce dernier point atteste du rôle significatif des capacités/habiletés spatiales innées des individus dans l'acquisition des connaissances spatiales en général et de la configuration en particulier.

2. Les habiletés spatiales

Pourquoi certaines personnes ont-elles plus de facilité à comprendre l'espace et à s'orienter que d'autres? La psychologie cognitive expérimentale s'est intéressée à ce sujet depuis plus d'un siècle.

Naviguer dans un environnement donné, pour résoudre des problèmes spatiaux, est une « activité intentionnelle » (Golledge, 1999) qui nécessite à la fois des interactions entre les attributs propres des voyageurs, leurs habiletés spatiales, et les caractéristiques de l'environnement. En effet, il est aujourd'hui admis que les habiletés spatiales des individus

influencent l'acquisition des connaissances ainsi que les différentes stratégies de navigation. Johns (2002) le rappelle en faisant la distinction entre les personnes qui possèdent un faible niveau d'habiletés spatiales (low level spatial abilities), c'est à dire capable de « visualiser des formes en 2D mais non d'exécuter des transformations mentales » et les personnes disposant d'un haut niveau d'habiletés spatiales (high level spatial abilities), qui peuvent « visualiser et manipuler des objets en 3D ».

2.1. Définition des habiletés spatiales

Les habiletés spatiales sont aussi définies comme étant « une perception de l'environnement à travers nos sens » (Henry, 1992), « le processus cognitif qui exprime comment on apprend un environnement et les relations entre les objets » (Darken et Sibert, 1996).

Arthur et Passini (1992) dans « wayfinding » : people, signs and architecture », mentionnent que dès la fin du 19ème siècle, le concept d'orientation spatiale est présent. Des neuropsychologues tels que Fortser, Meyer et Holmes ont fait part dans leurs recherches que des patients, victimes de lésions cérébrales, étaient incapables de se situer dans leur environnement et de retrouver leur chemin dans leur quotidien. Ces déficiences, qui porteront plus tard le nom d'agnosie spatiale ou topographique, se caractérisent par une incapacité à reconnaître les espaces visités. L'amnésie spatiale ou topographique est quant à elle, l'incapacité de créer mentalement des liens spatiaux afin de générer une représentation générale de l'environnement. Les auteurs comparent les amnésiques aux personnes qui peuvent lire tous les mots d'une phrase mais sont incapables d'en saisir le sens. À ce concept d'orientation spatiale, se sont ajoutés une multitude d'habiletés qui ne font pas nécessairement l'unanimité chez les chercheurs, ce qui laisse dire à Pellegrino et Goldman (1983) que la notion de capacité spatiale demeure encore un concept mal défini (« ill defined concept »). Parmi les différentes habiletés spatiales retrouvées dans la littérature, trois reviennent constamment :

- L'orientation spatiale se définit généralement comme la capacité d'une personne à déterminer sa position et sa relation avec les autres objets dans un environnement (Darken, 2000). Pour Arthur et Passini (1992), une

personne est bien orientée si elle dispose d'une carte mentale d'un lieu et si elle est capable de se situer dans cette représentation. Du point de vue de la psychologie cognitive, l'orientation spatiale en tant qu'habileté implique la « capacité mentale à déplacer ou à transformer des stimuli, comme, par exemple faire des manipulations mentales d'un objet en utilisant son propre référentiel » (Scribante, 2000).

- La visualisation spatiale que Lohman et Snow (1979) a défini comme la capacité « d'imaginer ou d'anticiper l'apparence de figures complexes après une transformation donnée ». Pour Satalich (1995), cette dimension implique que la personne peut manipuler la relation qu'elle a avec l'objet.
- La mémoire visuelle qui est la capacité d'encoder et de retenir les informations visuelles (Passini, 1994), de se souvenir de l'agencement des objets dans un environnement (Golledge, 1999).

D'autres habiletés spatiales ont été présentées par certains chercheurs, mais n'ont pas été reprises dans la littérature. Il y a notamment la rotation (Lohman et Snow, 1979), proche de la visualisation spatiale, et qui réfère à la capacité de déterminer si un objet est une rotation d'un autre objet ou pas; ou encore la balayage spatiale (spatial scanning) qui consiste en une visualisation rapide de l'environnement. Henry (1992), quant à lui, souligne l'importance de déterminer la qualité spatiale de l'environnement : les espaces sont grands ou petits, publics ou privés, lumineux ou sombre, etc. C'est une habileté difficile à mesurer puisque très subjective.

2.2. Les facteurs affectant le développement des habiletés spatiales

Depuis le siècle dernier des recherches expérimentales ont été réalisées dans le but de connaître les facteurs qui ont influencé les différences individuelles au niveau des habiletés spatiales.

Il est aujourd'hui admis que l'âge est un facteur déterminant dans l'acquisition d'habiletés spatiales comme le démontre l'expérience de Thorndyke (1980) qui conclut que des enfants de moins de 12 ans réussissent moins bien les tests de visualisation et d'orientation spatiale que les adultes (plus de 20 ans). De même Smith (1964) affirme que

les personnes qui excellent en sciences et particulièrement en mathématiques sont plus habiles spatialement. Quant à la différence entre les sexes, les études ont conduit à des résultats contradictoires de sorte qu'il est aujourd'hui impossible de savoir à quel niveau exactement se situent ces différences et quelles en sont les raisons. En fait, même si l'on pense de plus en plus que les hommes ont de meilleures connaissances spatiales que les femmes ces dernières sous-estiment constamment leurs capacités (Golledge, 1999) ce qui serait comme une des causes de la différence perçue (Scribante, 2000). Bernatovitch (2000) propose un survol de ces diverses expériences aux résultats contradictoires. Beaumont et al. (1984) n'ont trouvé aucune différence significative entre les deux sexes au niveau des connaissances acquises par des personnes visitant un édifice à bureaux. Montello et Pick (1993) et Sadalla et Montello (1989), eux aussi, n'ont pas signalé de différences majeures dans les résultats de leurs expériences qui consistaient à identifier des points de repère le long d'un itinéraire.

À l'opposé, Ward et al. (1986) ont démontré que les hommes s'orientent mieux selon les points cardinaux alors que les femmes se réfèrent plus aux points de repère. Une autre expérience intéressante de Tapley & Bryden (1977), consistait dans un premier temps, à suivre un itinéraire standard tout en conservant une carte dans les mains représentant les routes de la ville dans la position initiale, sans la tourner; puis, dans un deuxième temps, de dire si les virages tournaient à gauche ou à droite. Les résultats généraux relèvent que, pour des sujets entre 7 et 18 ans, les garçons ont un meilleur score que les filles. Enfin, dans les conclusions de leurs recherches expérimentales, Satalich (1995), Scribante (2000), Johns (2002) affirment qu'en utilisant les tests psychométriques de mesures des habiletés spatiales, particulièrement celui de Guilford et Zimmermann (GZ), les résultats des sujets masculins sont supérieurs à ceux des sujets féminins.

Pour la présente recherche, les tests psychométriques de GZ seront utilisés puisqu'ils constituent la référence au niveau de la mesure des habiletés spatiales dans des environnements complexes (Waller et al., 1998) pour permettre de situer les habiletés des différents sujets. Les facteurs humains ne seront pas contrôlés et leur influence ne sera pas étudiée.

2.3. Mesure des habiletés spatiales

Les tests psychométriques qui permettent de mesurer les habiletés spatiales se font souvent sur papier, l'utilisation de l'ordinateur ne s'appliquant que dans certains cas précis pour évaluer des habiletés spatiales dites « dynamiques comme la vitesse ou la trajectoire des objets se déplaçant dans un champ visuel » (Allen, 1999). Plusieurs tests existent sur le marché : test de la figure de Rey, test de rotation mentale de Vandenberg, test de raisonnement spatial de Meuris. Mais comme le souligne Darken (2000), ces tests présentent une lacune importante puisqu'ils ont été conçus pour des environnements simples, ce qui les rend peu fiables. D'après la littérature, un seul test psychométrique semble bien prédire les performances spatiales dans de grands environnements (Satalich, 1995; Darken et Sibert, 1996; Witmer et al., 1998; Scribante, 2000; Johns, 2002), celui de Guilford et Zimmerman³³ (tests de GZ). Certaines expériences détaillées plus loin dans ce chapitre, concluent qu'il existe une corrélation entre les résultats des tests de GZ et les performances spatiales des sujets. Ainsi, Goerger et al. (1998) concluent que les tests de GZ corréleront bien avec des tâches spatiales comme l'estimation des distances et le choix des itinéraires. De même, les conclusions de Waller et al. (1998) confirment ce constat. Leur expérience consiste à présenter à des sujets différentes cartes de sites et ces derniers doivent indiquer s'il y a une correspondance ou pas entre l'environnement visité virtuellement et les cartes.

Ainsi, les habiletés spatiales sont importantes pour produire une bonne lecture de l'espace et pour le processus cognitif de formation des cartes cognitives (cognitive mapping) qui joue un rôle fondamental dans « le comportement spatial, dans les décisions spatiales et dans les applications dans le monde réel » (Passini, 1994).

3. Les cartes cognitives

En architecture, un espace ne peut être bien évalué s'il est exclu de son contexte. Ainsi, se trouver dans une chambre au dixième étage d'un hôtel ou dans une chambre au rez-de-chaussée ne suggère pas la même perception de l'environnement immédiat. Quand les gens découvrent un nouveau site, ils établissent inconsciemment une carte mentale

³³ Ce test, utilisé pour l'expérimentation, sera repris en détail dans le troisième chapitre.

de celui-ci. Cette carte mentale, aussi appelée carte cognitive, est une manière de stocker l'information spatiale dans la mémoire. « C'est un mécanisme de survie qui nous permet de trouver notre chemin dans les environnements peu familiers » (Arthur et Passini, 1992). Gärling (1986) soutient qu'il y a cinq étapes à la formation d'une carte cognitive :

- l'information est reçue par les sens (perception);
- l'information est ensuite codée dans les registres sensoriels;
- l'information est transformée ou recodée;
- l'information modifiée est stockée dans la mémoire à court terme;
- l'information passe de la mémoire à court terme à la mémoire à long terme.

3.1. Définition de la carte cognitive

La carte cognitive est un concept largement utilisé en sciences humaines pour spécifier les représentations mentales internes de l'information spatiale. Elle peut être définie comme une construction mentale que l'on utilise pour comprendre et connaître un environnement. Généralement, on définit une carte cognitive comme une image mentale d'un lieu, « un réseau de représentation des lieux et des relations qui existent entre eux » (Johns, 2002). « Plus concrètement et simplement, c'est une représentation mentale des connaissances environnementales » (Kitchin, 1994).

Edward Tolman utilisa la première fois le terme de carte cognitive, en 1948, pour décrire comment ses rats, et par analogie l'humain, se comportent dans un environnement. Il affirmait que dans notre système nerveux, il existe une carte que l'on utilise pour nous guider dans nos mouvements de tous les jours, et qui se présente comme une cartographie qui évolue selon le temps d'exposition à un environnement. D'après Golledge (1999), depuis la moitié du siècle dernier, une multitude de discussions et de débats eurent lieu pour déterminer une définition précise des cartes cognitives. Deux écoles de pensée s'affrontent encore aujourd'hui. Ceux qui pensent que les cartes cognitives sont des produits/représentations externes de mesure de la compréhension de l'environnement plutôt qu'une représentation interne « réel » de ce dernier (Buttenfield, 1986). D'autre part, une majorité de chercheurs (Liben, 1981, Golledge, 1999), affirment

que le terme « carte cognitive » réfère à un réel processus de pensée interne dont la représentation externe serait le produit spatial (spatial product). Cette dernière définition est celle employée tout au long de ce mémoire.

Arthur et Passini (1992) rajoutent un détail relatif à la taille de l'environnement dans leur définition de la carte cognitive : "a cognitive map is a mental construct of an environment which cannot be seen from one single vantage point alone". Ainsi, comme l'environnement peut devenir complexe, la formation de cette carte mentale nécessite un processus cognitif (cognitive mapping) qui fait directement appel aux habiletés spatiales du sujet précédemment illustrées. Pour Passini (1994), "cognitive mapping is a mental structuring process leading to the creation of a cognitive map". De même, Down et Stea (1973) définissent le « cognitive mapping » comme un « processus composé d'une série de transformations psychologiques par lesquelles un individu acquiert, emmagasine, se rappelle et décode les informations concernant la position relative et les caractéristiques des phénomènes de son environnement spatial ». Cette définition implique donc qu'une personne possédant une bonne capacité de « cognitive mapping » aura tendance à acquérir plus aisément les connaissances des itinéraires et de la configuration. Scribante (2000) rappelle, en citant les travaux de Thorndyke (1980) et Thorndyke et Goldin (1983), que les bons et les mauvais « cognitive mapper » sont égaux dans les tâches de lecture de cartes, d'interprétation de cartes ainsi que dans les tâches de navigation ». Toujours selon Scribante, les possibilités de développer ce processus cognitif par l'entraînement sont relativement limitées.

Enfin, la fonction principale de la carte cognitive est la mémorisation. Pour Kitchin (1994), la carte cognitive est la structure spatiale la plus évoluée et la plus complexe connue, elle permet de gagner du temps en utilisant les expériences antérieures pour comprendre les situations futures. Passini (1994) rappelle d'ailleurs, que la formation des cartes cognitives ne s'appuie pas seulement sur des informations visuelles : « une recherche récente a indiqué que les aveugles de naissance peuvent convertir des messages environnementaux en vue d'ensemble ». Encore aujourd'hui, le fonctionnement précis des cartes cognitives reste un mystère que l'on essaye de résoudre par une multitude d'expériences en laboratoire partout dans le monde.

3.2. Mesure des cartes cognitives

Comme une carte cognitive est une construction mentale, elle doit être extériorisée pour ensuite être évaluée. Il existe plusieurs méthodes de mesure des cartes cognitives, chacune présentant ses avantages et désavantages. Les principales sont :

- *Les descriptions verbales.* Les sujets doivent décrire à un observateur/chercheur l'environnement qu'ils explorent. Le plus grand avantage de cette technique mais aussi son désavantage est que la possibilité d'interaction en temps réel entre le chercheur et le sujet apporte une richesse à l'information recueillie sur le vif, mais la présence du chercheur et des questions qu'il peut poser au sujet, ont un impact sur les réponses de ce dernier. Un autre inconvénient de cette méthode est qu'il existe une variété d'adjectifs pour qualifier subjectivement un espace donné; or tous les sujets n'ont pas la même aisance pour exprimer leurs perceptions de celui-ci.
- *Reconstruction.* Les chercheurs fournissent aux sujets des blocs de construction (genre lego) et leur demande de reconstituer l'environnement visité. L'avantage majeur de ce type de méthode est que l'on peut mesurer directement la représentation spatiale fournie par les sujets. Ward et al. (1981) ont obtenu des résultats très significatifs lorsqu'ils ont adopté cette technique au cours d'une expérience qui consistait à placer sur une carte, huit maquettes d'édifices à bureaux. Le problème que soulève Johns (2002) est que cette technique est très intéressante pour des environnements simples mais dès que l'on doit évaluer des environnements complexes, le chercheur doit alors gérer une quantité d'informations considérable.
- *Les esquisses de cartes mentales.* L'analyse des esquisses de l'environnement exploré est la technique la plus utilisée mais aussi la plus controversée. Elle est traitée dans ce qui suit.

Une bonne manière de mesurer l'exactitude de la perception des personnes de leur environnement est d'étudier la carte cognitive qu'ils se forment de cet espace en leur demandant d'en esquisser une représentation. Généralement, l'observateur demande aux participants de dessiner rapidement une carte qui représente une vue en plan de

l'environnement qu'ils ont exploré. Cette méthode permet de saisir la perception de la dimension des différents espaces, de leur emplacement relatif, des points de repères importants et des détails particuliers (Thorndyke, 1980). De plus, la représentation externe de la carte cognitive peut être mise en relation avec les trois types de connaissances vus dans la section précédente. En effet, les produits spatiaux se présentent sous forme de points (connaissance des points de repères), de lignes (connaissance des itinéraires) et de surface (connaissance de la configuration) (Golledge, 1999). Cette technique permet aussi de mesurer les capacités mnémoniques d'une personne par rapport à un espace donné. Les croquis étant dessinés après la visite de l'espace en question. Ceci signifie que l'exactitude du croquis varie en fonction de la capacité des personnes de se rappeler des espaces.

Le principal désavantage de cette méthode est relié au manque d'expérience des sujets pour l'utilisation du dessin comme outil de représentation. Une personne pourrait avoir une représentation parfaitement précise de l'environnement mais ne saurait traduire exactement cette information sur le papier, encore plus s'il éprouve des difficultés à dessiner (Arthur et Passini, 1992; Passini, 1994; Golledge, 1999; Darken, 2000). À la défense de ce procédé, la quantité d'information contenue dans ces esquisses est souvent très importante car, comme le rappelle Passini (1994), « il est plus facile de représenter plusieurs des éléments composant l'environnement sur une carte que d'essayer d'exprimer verbalement leur position ».

Quant à l'analyse de ces esquisses, Beck et Wood (1976), ont développé un moyen permettant de déterminer à quel point la position des objets sur l'esquisse correspond à la réalité. Chaque esquisse est transformée en une grille régulière. Les déplacements des points et des lignes par rapport à leurs véritables positions sont représentés par des courbes sur la grille. La grille obtenue est ensuite comparée avec l'originale (cf. figure 9). Les résultats produits par ce genre de technique fournissent une vue globale des erreurs de la carte cognitive. Qualitativement, l'esquisse de la carte cognitive est proche ou loin de la réalité. Rovine et Weisman (1989) proposent de mesurer la qualité des esquisses des cartes cognitives en fonction de leur exactitude. Ils analysent la position de certains bâtiments importants sur les croquis exécutés par les sujets, et vérifient si ces derniers sont placés dans le bon ordre et si le chemin qui relie les édifices reflète exactement les virages nécessaires pour se déplacer d'un édifice à l'autre.

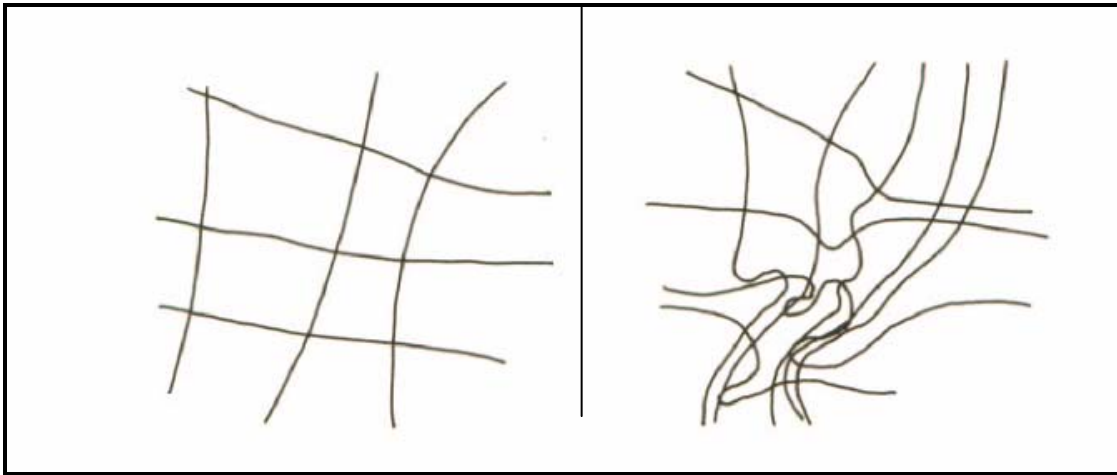


Figure 9 : *Expérience de Beck et Wood (1976)* : dans l'exemple de gauche, le sujet a produit une carte mentale de l'environnement qui est proche de la réalité contrairement à l'autre sujet.

Pour Passini (1994), l'utilisation des cartes cognitives, comme source d'information spatiale, permet avant tout d'aider les personnes à s'orienter dans leur environnement. Leur emploi fait partie d'un processus de prise de décision spatiale compris dans un processus plus large, celui des résolutions de problèmes spatiaux, appelée « Wayfinding ». Pour ces mêmes auteurs, le « cognitive mapping » et par conséquent les cartes cognitives décrivent une relation statique d'une personne par rapport à son environnement. Or en naviguant, une personne acquiert des informations spatiales dynamiquement, et c'est pourquoi, à la fin des années 70, le terme de « wayfinding » a été introduit pour tenir compte de l'orientation spatiale des individus en mouvement.

4. « Wayfinding »

Avant toute chose, il faut distinguer deux termes qui prêtent souvent à confusion quand il s'agit de traiter de la navigation dans un environnement réel ou virtuel : orientation spatiale et « wayfinding ». Ce dernier traduit littéralement donnerait « recherche d'itinéraire ». Pour Huska-Chiroussel (2000), « L'orientation spatiale, chez l'être humain, correspond en fait à une grande variété d'activités. Contrairement à l'orientation spatiale animale, elle ne se limite pas à un déplacement physique vers un but mais elle fait référence à d'autres exercices comme pointer la direction d'un objet non visible, ou placer une ville sur une carte de France, ou encore plus simplement utiliser une carte. Le terme anglo-saxon

« wayfinding »³⁴ ne représente qu'un aspect de l'orientation spatiale, celle de rechercher une destination dans un environnement réel ». Passini (1994) s'oppose à cette distinction limitatrice. Une personne qui ignore « comment établir précisément sa position dans l'environnement mais est capable d'atteindre sa destination est une personne qui est capable de s'orienter. De plus, la première définition fait abstraction des environnements virtuels comme lieu de navigation et d'acquisition des connaissances spatiales. Enfin, Passini considère que le «wayfinding» comprend les diverses activités citées par Huska-Chiroussel, et pour lui, les deux termes réfèrent au même phénomène. Comme lui, le terme de « wayfinding » sera utilisé tout au long de cette recherche :

The two terms, express if anything different, two approaches or two emphases of the same phenomena. In order to underline the dynamic and comprehensive aspect of the concept, preference will be given to the term "wayfinding"

Passini, 1994

4.1. Définition du “wayfinding”

«Wayfinding» est un terme assez récent que l'on attribue à Lynch (1960) qui le définit comme : « a consistent use and organization of definite sensory cues from the external environment ». Cette définition a évolué, et aujourd'hui, la définition de Gluck (1990) semble plus appropriée : « c'est le processus utilisé pour s'orienter et naviguer. Le rôle ultime du wayfinding est de se déplacer avec exactitude d'un point à un autre dans un large environnement ». Deux écoles de pensée s'affrontent sur cette définition du « wayfinding ».

D'une part il y a ceux qui interprètent ce concept comme un processus cognitif statique de recherche d'itinéraire, utilisant les cartes cognitives comme support à la résolution de problèmes spatiaux. Ils font ainsi une distinction entre la navigation qui se traduit par un déplacement/mouvement des personnes dans un environnement et le processus cognitif permettant d'atteindre sa destination. C'est le point de vue adopté par des chercheurs comme Darken et Peterson (2002) "We know that what we often refer to as navigation is not merely physical translation through a space, termed locomotion or travel, but that there

³⁴ Selon cet auteur, il n'y a pas l'équivalent français à ce terme. Dans une traductions d'un texte de Passini, « wayfinding » est traduit par « orientation », terme qui semble trop général et portant à confusion.

is also a cognitive element, often referred to as «wayfinding», that involves issues such as mental representations, route planning, and distance estimation.”. Et Bowman (2002): “We define navigation as the complete process of moving through an environment. Navigation has two parts: «wayfinding» (the cognitive decision-making process by which a movement is planned), and travel (the actual motion from the current location to the new location).” ou encore Golledge (1999) “wayfinding is the process of determining and following a path or route between an origin and a destination; it’s a purposive, directed and motivated activity”.

D’autre part, pour d’autres chercheurs, ces définitions réduisent le «wayfinding» a un rôle strictement cognitive, or comme le souligne Conroy (2001) si « l’acte de se déplacer dans un environnement est un composant nécessaire à notre connaissance de cet environnement, alors l’acte de «wayfinding» doit contenir en même temps le mouvement/déplacement et le processus cognitif ». Passini (1994), Arthur et Passini (1992) partagent aussi ce point de vue ou le rôle du «wayfinding» est d’atteindre sa destination tout en se déplaçant. Partant, ces auteurs proposent plusieurs points à respecter pour tout processus de «wayfinding»:

- Tenir compte de ses expériences précédentes.
- Lire et évaluer le contexte environnemental.
- Essayer de saisir les caractéristiques spatiales de l’environnement.
- Prendre les informations disponibles sur le site (signes, panneaux, cartes, etc.).
- Évaluer les différentes options.
- Considérer le facteur temps, l’intérêt et la sécurité de l’itinéraire choisi.

Passini (1994) étaye ensuite sa définition du «wayfinding» qu’il classe, comme le design, dans la catégorie des processus itératifs de résolution de problèmes : « wayfinding consists of finding one’s way to a destination; spatial problem solving comprising three interdependent processes: decision making, decision executing, and information processing.” Ces trois processus s’inspirent des travaux de Downs et Stea (1977) qui insistent sur les mécanismes de rétroaction nécessaires à tout processus de «wayfinding». Ainsi, selon ces derniers, le «wayfinding» se divise en 4 phases (cf. figure 10) :

- *L'orientation* : définition de sa position dans l'environnement et de la destination à atteindre.
- *Le choix initial de l'itinéraire* : sélection d'un itinéraire avec point de départ et d'arrivée.
- *Surveillance de l'itinéraire (monitoring)* : vérification constante de l'itinéraire pris. Évaluations et confirmations du choix de l'itinéraire.
- *Atteinte* de la destination.

Quant aux trois processus de Passini (1994), ils peuvent être résumés ainsi :

- *Le traitement de l'information*. C'est-à-dire la perception et la connaissance de l'environnement qui permet les deux processus suivants. Passini insiste aussi sur le rôle déterminant de la carte cognitive comme source d'informations qui permet aux individus de prendre et d'exécuter des décisions.
- *La prise de décision*. Qui donne lieu à un plan d'action ou de décisions pour atteindre une destination donnée. Dans un nouvel environnement, on est confronté à un problème dont il faut trouver la solution; ce qui se traduit par un plan d'action qui répond à ces trois questions : où, quand et comment. La décision se fait en fonction des informations disponibles et des habiletés des individus. Passini (1994) rappelle que la théorie de la décision propose deux modèles. Le premier est le « modèle optimisé » dans lequel le sujet prend en considération les diverses options qui lui sont offertes (selon des critères subjectifs) et choisit une solution dite optimale. Le deuxième modèle, « satisficing model », où l'individu choisit une solution qu'il juge acceptable. Pour l'auteur, ce second modèle semble être plus populaire pour les décisions complexes. Enfin comme il apparaît aux figures 10 et 11, un plan d'action est structuré et hiérarchisé servant ainsi d'aide mémoire.
- *L'exécution de la décision*. Qui transforme le plan d'action en un comportement approprié dans l'espace. Le plan d'action est une solution mentale au problème de «wayfinding». Les décisions doivent donc se transformer en action et en comportement pour qu'une personne puisse atteindre physiquement sa destination.

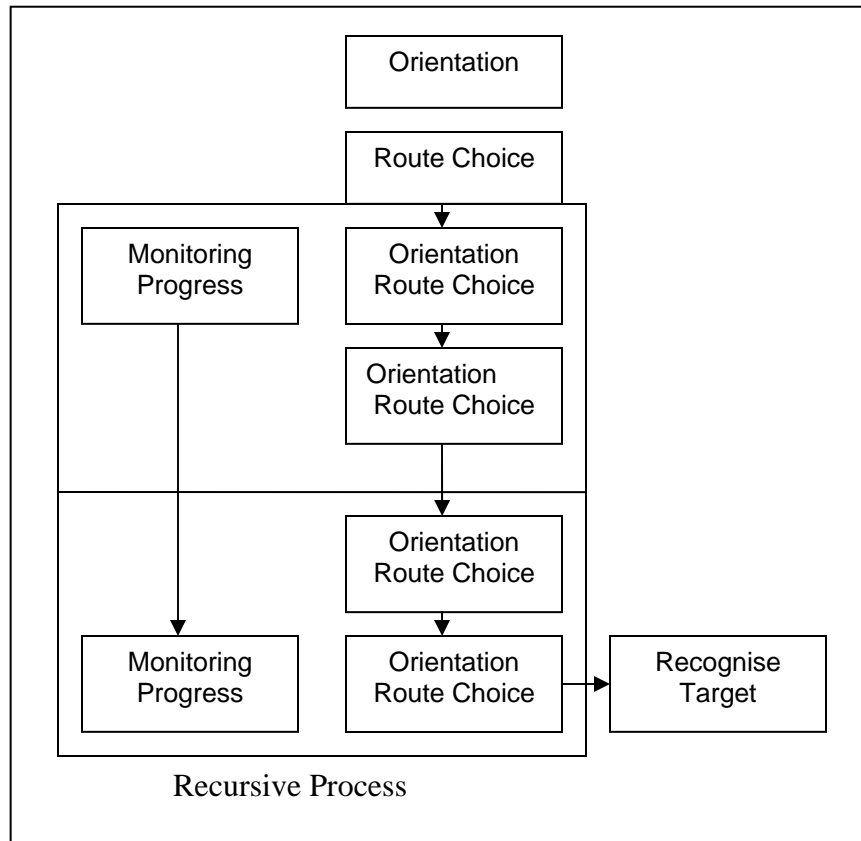


Figure 10 : le processus de «wayfinding» selon Downs et Stea (1977).

De cette classification apparaît l'importance de la notion de récursivité dans le processus de «wayfinding»; d'où la définition de Conroy (2001) qui résume parfaitement ce concept : « wayfinding is the act of travelling to a destination by a continuous, recursive process of making route-choices whilst evaluating previous spatial decisions against constant cognition of the environment ».

4.2. Mesure du «wayfinding»

Les techniques utilisées pour évaluer le processus de «wayfinding» sont en grande partie les mêmes que celle employée pour évaluer les connaissances spatiales et les cartes cognitives. L'objectif, ici, n'est pas de citer les différents procédés mais plutôt d'évoquer les plus importants.

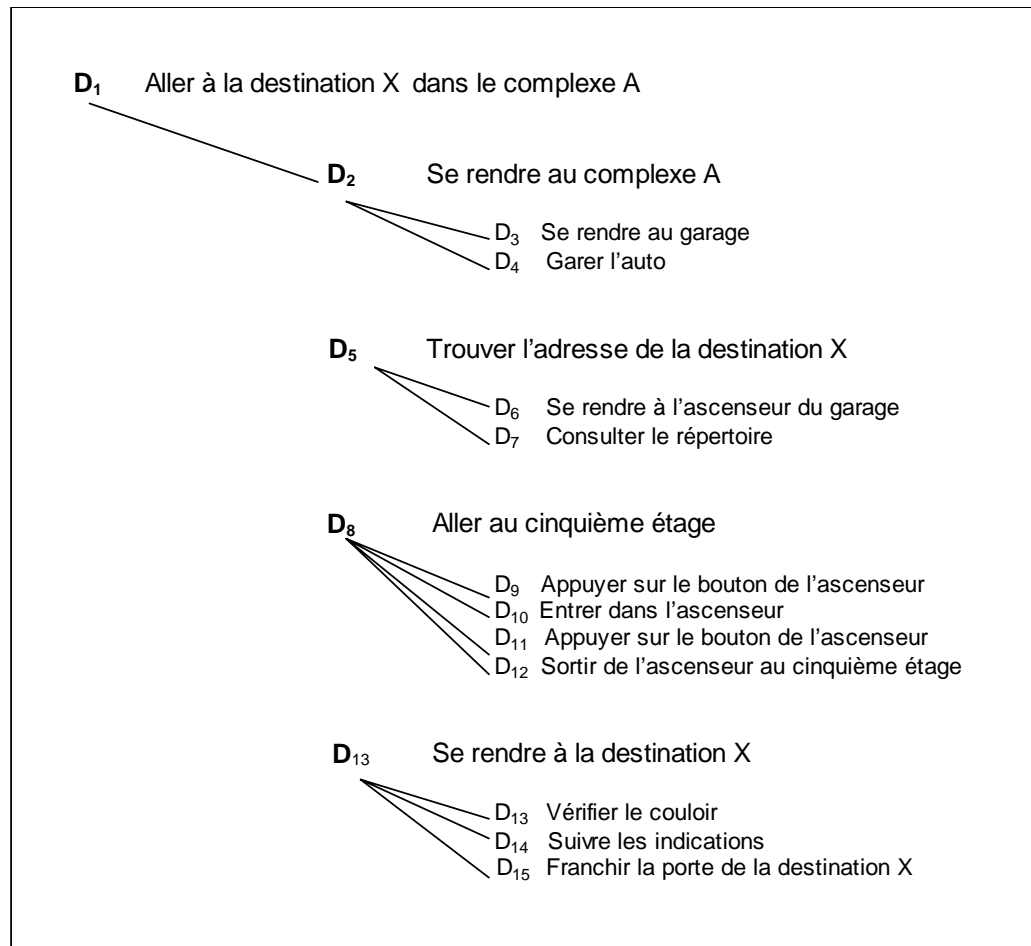


Figure 11 : Plan d'action. (Passini ,1994).

- *Évaluations subjectives* : Des entrevues semi-dirigées et/ou informelles avec des questions tel que: est ce que la tâche à accomplir est facile ou difficile? ou encore par le biais de questionnaires/tests post-évaluation, comme c'est le cas pour les expériences de Passini (1994) qui demande à ses sujets d'évaluer leurs propres performances. Une autre technique d'auto-évaluation est celle de Weisman (1981) qui demande à ses sujets combien de fois ils se sont perdus et s'ils seraient capables de guider des étrangers dans l'environnement étudié.

- *Évaluation des directions.* Les sujets doivent pointer, depuis plusieurs endroits, vers des éléments contenus dans l'environnement.
- *Évaluation des distances.* Les sujets doivent estimer les distances absolues ou relatives ou en fonction du temps mis pour se rendre à destination. Une autre méthode couramment employée consiste à comparer la distance entre deux groupes d'objets.
- *Combinaison de plusieurs techniques.* Nombres de faux virages, temps mis pour effectuer un parcours, l'itinéraire emprunté, etc. Procédé utilisé par Butler et al (1993) qui a mesuré trois variables : le temps mis pour réaliser la tâche; le « backtracking », c'est-à-dire le nombre de fois où les sujets sont revenus sur leur pas et enfin le nombre de mauvais virages.

Golledge (1999) a choisi 32 sujets dans un environnement réel familier et leur a demandé de faire un aller-retour dans ce dernier en spécifiant le point de départ et d'arrivée. Il a enregistré le temps mis par les sujets pour accomplir la tâche, et a noté si les sujets utilisaient le même parcours pour revenir au point de départ. Puis dans un questionnaire, il leur a demandé de spécifier selon certains critères, (plus courte distance, moins de carrefour, etc.) le chemin choisi; et plus subjectivement, il leur a demandé quel critère influençait vraiment leur choix de chemin.

4.3. Tâches du «wayfinding»

Dans les études expérimentales d'évaluation du «wayfinding», plusieurs auteurs demandent à leurs sujets d'accomplir différentes tâches dans un environnement réel ou virtuel. Pour Allen (1999), une personne (wayfinder) doit pouvoir :

- Atteindre une destination connue (travail, centre commerciale, etc.).
- Retourner à un point de départ connu.
- Trouver une nouvelle destination.

D'autres tâches peuvent être exécutées par des personnes naviguant dans un nouvel environnement réel ou virtuel. Kruijff et al.(2001), inspiré des travaux de Elvins (1997), les

classe selon quatre catégories qui « sont directement liées à l'acquisition et/ou l'usage des connaissances spatiales » :

- *La recherche naïve (naive search)*. Le navigateur cherche une cible /destination particulière mais ne connaît pas la position de celle-ci.
- *La recherche primaire (primed search)*. Le navigateur connaît la position de la cible.
- *La recherche exploratoire (explorative search)*. Le navigateur ne recherche aucune cible, son but étant l'acquisition de la connaissance de la configuration.
- *La recherche selon un parcours prédéfini (specified trajectory search)*. Le navigateur ne peut se déplacer librement et ne dispose pas des points de vue qu'il souhaite comme dans les tâches précédentes. Ainsi, même si une personne peut acquérir des connaissances spatiales, la formation de la carte cognitive sera par contre plus ardue. Elvins (1997) rappelle que dans tous les cas, le chemin prédéfini est plutôt utilisé pour obtenir une vue d'ensemble (rapide) d'un environnement. Comme pour la précédente, l'objectif de ce type d'exploration est davantage l'acquisition des connaissances spatiales que leur utilisation pour se déplacer.

Selon ces auteurs, les recherches naïves se font plus souvent dans les environnements virtuels que dans le monde réel, il est donc essentiel de construire des EV qui permettent la navigation de manière efficace et le cas échéant le transfert des connaissances spatiales du virtuel au réel.

Résumé

Acquérir les trois types de connaissances spatiales (points de repère, itinéraire et configuration) et par conséquent la formation d'une carte cognitive de l'espace virtuel visité, est directement lié au concept de navigation. Il est important de savoir comment les gens naviguent et comment cela peut affecter la conception des environnements réels ou

virtuels. La navigation fait référence aussi bien au processus cognitif, le « wayfinding », permettant la prise de décision spatiale qu'à l'exécution d'un plan d'action qui se traduit par un déplacement dans l'environnement. Dans le vrai monde, ce processus est exécuté tellement souvent qu'il devient automatique. Quand nous savons où nous voulons aller, nous y allons. Quand nous ne le savons pas, nous demandons à quelqu'un ou recherchons une autre source d'aide. Avec les EV c'est différent. Chercher son chemin peut être problématique. À qui peut-on demander de l'aide?

Il est donc nécessaire de comprendre que la navigation est une activité impliquant à la fois des personnes, des tâches, et des environnements. Ces trois facteurs, ainsi que d'autres, sont essentiels pour acquérir une bonne compréhension spatiale comme il sera discuté dans le troisième chapitre.

Chapitre 3

État de l'Art des EV 3D comme support à l'acquisition des connaissances spatiales

Il a été souvent suggéré et pensé qu'en raison de l'utilisation de la 3D et de son aspect interactif, un environnement virtuel (EV) pourrait être un outil puissant pour l'acquisition de connaissances spatiales et leur transfert dans le monde réel, contrairement à l'emploi d'outils bidimensionnels de navigation tel que les cartes par exemple. Au début des années 90, avec le développement de la technologie 3D numérique, plusieurs laboratoires de recherche en psychologie cognitive se sont intéressés à l'apport de ce médium, car plusieurs avantages y sont reliés (Darken et Patterson, 2002 ; Scribante, 2000, Waller et al., 1998) :

- Les EV permettent d'évaluer les habiletés spatiales.
- Les EV permettent l'étude de la navigation dans les mondes 3D virtuels, de plus en plus présents sur le Web, et par extension peuvent aider à la conception de ces mondes et éviter le sentiment de désorientation qui caractérise ces espaces virtuels.
- Les EV permettent l'étude du processus de «wayfinding» et le transfert des connaissances spatiales acquises au monde réel. Par transfert des connaissances spatiales, il faut comprendre que les habiletés et connaissances spatiales acquises dans le monde virtuel peuvent servir à améliorer la conception des espaces réels ou à se déplacer efficacement dans l'environnement réel.

En effet, étudier les différences de comportements entre la navigation réelle et virtuelle peut nous aider à mieux comprendre et concevoir ces deux types d'environnements comme le soulignent Darken et Petterson (2002): "In our attempt to make better interfaces for virtual environments, we must understand what carries over from the real world to the

virtual world. On the other hand, in some cases, we want to go in the other direction: we want to carry skills or knowledge acquired in a virtual world to the real world.” Même si, nous sommes encore loin de saisir le fonctionnement du processus cognitif de la navigation dans le monde réel, il n'en demeure pas moins qu'il est intéressant de savoir si les individus sont capables de reproduire ces gestes et mouvements dans les environnements virtuels et réciproquement.

Dans ce chapitre, plusieurs études empiriques sur l'utilisation des EV comme aides à l'acquisition des connaissances spatiales seront illustrées et analysées et confirmeront en partie l'assomption citée plus haut. Différents facteurs influençant cette acquisition sont traités et enfin, des recommandations pour la conception d'espaces virtuels compréhensibles et facilement navigables seront proposées par des chercheurs appartenant au domaine de la cognition spatiale.

1. Les EV 3D et la recherche en cognition spatiale

Une des raisons pour laquelle les recherches sur la cognition spatiale dans le monde réel évolue lentement est la difficulté de contrôler les différents facteurs environnementaux (Conroy, 2001) : il faut beaucoup de temps et d'argent pour modifier ces facteurs. L'usage d'EV parait donc bénéfique dans la recherche expérimentale, et ce, à plusieurs niveaux (Durlach et al., 2000):

- Les EV comme outil de simulation : de mondes imaginaires, de scènes dangereuses, etc.
- Les EV sont configurables et peuvent être utilisés pour plusieurs expériences.
- Les EV fournissent une rétroaction immédiate aux chercheurs qui peuvent analyser et enregistrer les informations fournies par les participants.

Les EV fournissent le contrôle et la flexibilité nécessaires à la navigation en temps réel. Mais, il reste à démontrer que le comportement des utilisateurs sera le même dans le monde réel. Les premières études sur la compréhension spatiale et en particulier sur le «wayfinding» dans les EV datent des années 90. Ces dernières confirment, à quelques nuances près, que les connaissances acquises par le biais des EV sont comparables à celles acquises durant une exploration directe en l'environnement réel. Mais avant d'aborder ces études, un retour sur les premières expériences est proposé. Ces

expériences portaient sur la transférabilité des connaissances acquises dans un environnement simulé et ont été menées au début des années 80 par Thorndyke (1980) et Thorndyke et Goldin (1983).

Dans une de leurs expériences, souvent citée dans la littérature (Satalich, 1995; Darken, 2000; Durlach et al, 2000, Conroy, 2001, etc.), Thorndyke et Goldin (1983) ont filmé un parcours précis dans un quartier de la ville de Los Angeles depuis une voiture. Deux groupes participaient à cette étude. Les membres du premier groupe disposaient d'un film, alors que l'autre groupe a emprunté le vrai parcours, depuis un bus. Chaque groupe était divisé en deux sous-groupes, chaque sous-groupe disposait d'une carte du quartier et des indications sonores. Les sujets ont ensuite subi une série de tests pour évaluer leur acquisition de connaissances spatiales (points de repère, itinéraire et configuration). Les chercheurs supposaient que les connaissances acquises dans le monde réel (exposition directe) seraient supérieures à celles acquises via le film. Et contrairement à leurs prédictions, il s'est avéré que le groupe « film » a obtenu de meilleurs résultats pour la connaissance des points de repère. Mais, les auteurs ont justifié ce résultat par le fait que dans le film, ils avaient insisté sur les points de repère en arrêtant l'image dix secondes sur ces derniers. Pour la connaissance des itinéraires, aucune différence significative n'a été relevée par les chercheurs. Et même qu'à leur grande surprise, les personnes qui disposaient des cartes et des directives sonores, n'ont pas obtenu de meilleurs résultats que les autres. Enfin, pour la connaissance de la configuration, aucune différence significative entre les sujets n'a été observée, excepté pour ceux qui disposaient des cartes.

C'est à partir de ces expériences que la recherche s'est tournée vers l'usage de substituts (photos, vidéos, EV, etc.) comme moyens pour acquérir des connaissances spatiales. L'une des premières recherches basée sur l'utilisation des EV dans le domaine de la cognition spatiale est celle d'Henry (1992), du Human Interface Technology Laboratory de l'Université de Washington, qui a évalué si la compréhension et la perception des espaces était la même dans un EV immersif (casque HMD), un EV non immersif (écran « traditionnel ») et dans le monde réel. Il a conçu une maquette numérique de trois salles d'un musée. Les participants, une soixantaine de personnes divisées en trois groupes, étaient des étudiants non experts avec la technologie immersive. Par le biais de

questionnaires (estimation de distances, de directions et des qualités esthétiques³⁵ de ces espaces), il a mesuré et comparé leurs connaissances spatiales. Ses conclusions étaient que le groupe qui a réellement visité le musée a obtenu de meilleurs résultats que ceux utilisant les EV (immersif et non immersif). Ces derniers sous-estimaient constamment les distances entre les différents objets et les dimensions des pièces. Pour Henry, ces résultats peuvent s'expliquer par le fait qu'au début des années 90, la technologie n'était pas assez développée pour permettre un affichage graphique « réaliste » comme on peut le constater à la figure 12:

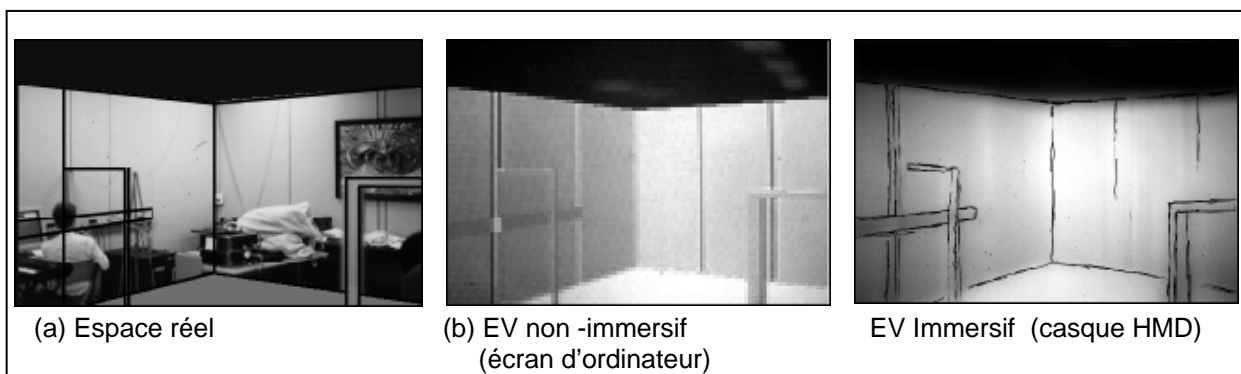


Figure 12 : Expérience de Henry (1992) : différences de perception a) entre l'espace réel; b) ce dernier modélisé et projeté sur un écran d'ordinateur et c) dans un casque HMD.

D'autres expériences utilisant les EV ont suivi et ont nuancé les résultats de Henry. Ainsi, en 1996, Witmer et al., chercheurs au U.S. Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences, à Orlando en Floride, se sont intéressés à deux types de connaissances spatiales celles des points de repère et des itinéraires. Ils ont comparé les performances de deux groupes. Le premier groupe devait apprendre le parcours dans le bâtiment réel, le second groupe disposait d'un modèle 3D du bâtiment projeté par un casque HMD (EV immersif). La première phase consistait à mesurer les habiletés des sujets via le test psychométrique de Guilford et Zimmermann. Ensuite, les participants, selon leur groupe, avaient quinze minutes pour s'initier au trajet et devait identifier six points de repère. Les chercheurs étaient présents pendant cette période d'entraînement pour les aider et répondre à leurs questions. Finalement, les sujets ont été évalués dans le vrai bâtiment. Ils devaient reproduire l'itinéraire appris et identifier les six points de repère. La mesure des connaissances se faisait par le biais de tests d'estimation de distance et d'orientation,

³⁵ Pour évaluer la qualité esthétique des espaces, Henry s'est basé sur des questionnaires subjectifs comportant des questions du type : la salle est grande ou petite ? La salle est sombre ou éclairée ? Etc.

par le temps mis pour effectuer le trajet et aussi en calculant le nombre de faux virages pris par les sujets (entrer dans les mauvaises pièces, tourner aux mauvais endroits, etc.). Les résultats de l'expérience ne relèvent pas de grandes différences entre les deux groupes, le temps mis pour effectuer le trajet étant presque similaire. Cependant, les membres du groupe « EV » ont commis légèrement plus de faux virages. Ce qui a laissé Witmer conclure que: "These results suggest that VEs adequately represent real world complexity can be effective training media for learning complex routes in buildings."

Dans une même logique, Ruddle, Payne et Jones (1997) se sont intéressés cette fois aux EV non immersifs. Ils ont reproduit une des expériences de Thorndyke et Hayes-Roth (1982) en concevant une maquette numérique de l'édifice à bureaux que ces derniers avaient utilisé dans leur étude (cf. figure 13). Les 24 participants se sont entraînés à la navigation virtuelle dans un modèle 3D représentant un édifice quelconque. Ensuite, les chercheurs ont évalués les connaissances des points de repère et des itinéraires par des tests d'estimation de distances et de directions, en utilisant la maquette numérique du vrai bâtiment. Les résultats de cette expérience qui ont confirmé les conclusions de Witmer et al. (1996) à savoir que l'estimation des distances et le temps mis pour effectuer le trajet était similaire aux résultats obtenus par Thorndyke et Hayes-Roth.

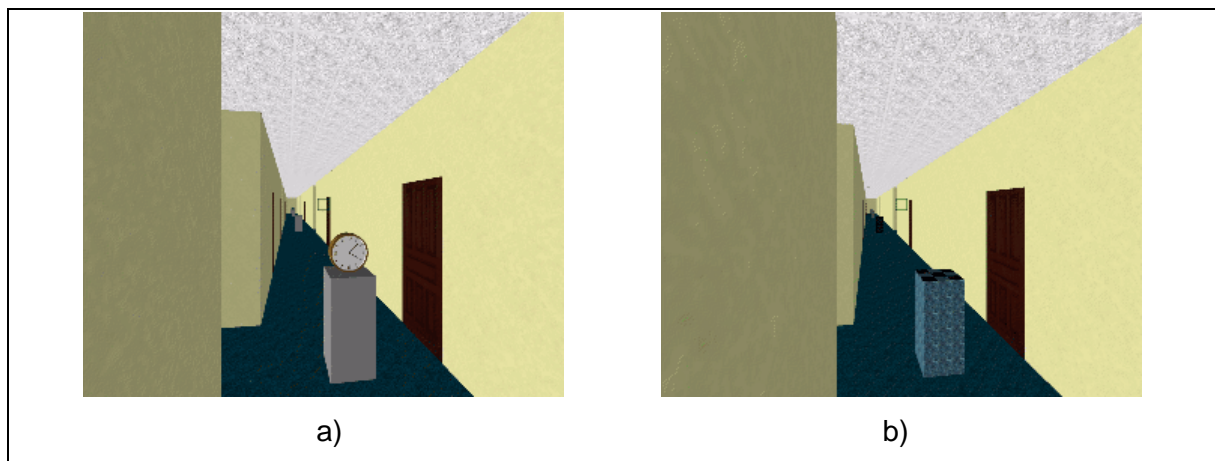


Figure 13 : Expérience de Ruddle, Payne et Jones (1997): a) à gauche, utilisation de points de repère « familiers » (cadrons); b) à droite, pas de points de repère.

Dans une seconde expérience, les chercheurs ont modifié l'apparence des points de repère. Dans un premier temps, ils n'ont employé aucun repère. Puis dans un deuxième

temps, ils ont opté pour des points de repère « familiers » (des éléments reconnaissables, cf. figure 13). Ils ont conclu que l'utilisation de ces derniers améliorerait le temps mis pour effectuer le trajet et permettait du coup, une meilleure connaissance des itinéraires. Pour Ruddle, Payne et Jones (1997), "navigation in real and virtual worlds was comparable".

Koh et al. (1999) se sont intéressés particulièrement à l'acquisition de la connaissance de la configuration d'environnements architecturaux. Dans leur expérience, ils ont comparé un groupe évoluant dans l'environnement réel, un groupe utilisant un EV immersif (HMD) et un troisième utilisant un EV non immersif (écran d'ordinateur). Les sujets utilisant les EV disposaient d'une manette (joystick) pour naviguer. L'expérience comportait trois phases. Durant la première, les participants étaient informés de la tâche à accomplir c'est-à-dire l'estimation des distances euclidiennes. Les sujets ont eu droit à une période pour se familiariser avec les interfaces. La deuxième étape consistait à explorer librement pendant dix minutes l'environnement. Les membres du groupe « environnement réel » ont exploré le vrai bâtiment tandis que les autres sujets se sont entraînés sur le modèle 3D du bâtiment. Enfin, l'évaluation constituait la dernière phase. Des sujets devaient estimer des distances entre leur position et celle d'objets qui n'apparaissent pas dans leur champ visuel (estimation de distances euclidiennes). Leurs résultats prouvent que l'acquisition de la connaissance de la configuration par l'utilisation des EV (immersifs et non immersifs; ils n'ont pas trouvé de grande différences entre les deux types d'interfaces) est comparable à celle acquise en environnement réel.

Dans leur article "the acquisition of route and survey knowledge from computer models », Rossano et al. (2000) sont partis de l'hypothèse que les sujets qui découvrent un nouvel espace en utilisant un EV non immersif (écran d'ordinateur) auraient de meilleures connaissances spatiales que ceux qui disposent d'une carte de celui-ci. Ils ont donc comparé les résultats d'une cinquantaine de sujets, ne connaissant pas le lieu, répartis en trois groupes : 1) EV non immersif, 2) avec cartes et 3) environnement réel. Le site étudié représentait une partie du campus de l'Université de Louisiane (cf. figure 14). Les participants ont subi une série de quatre tests. Les deux premiers tests étaient destinés à évaluer leur connaissance de la configuration. Le premier test de configuration ou d'identification formelle des édifices mesurait la capacité des sujets à reconnaître, parmi une série de maquettes analogiques proposées par le chercheur, la forme des six

édifices présents sur le site. Le second test de configuration consistait à replacer sur une carte les différents bâtiments. Les deux derniers tests devaient servir à mesurer la connaissance des itinéraires. Ainsi dans le troisième test « actual direction test », les sujets sont amenés sur le site et doivent indiquer la direction des cinq autres édifices. Enfin pour le quatrième et dernier test, les sujets doivent se rendre en marchant d'un édifice à l'autre. Cette dernière épreuve est considérée comme réussie si le chercheur n'a pas à intervenir pour modifier le parcours entrepris par le participant. Les auteurs en sont venus à des conclusions qui renforcent les résultats des travaux effectués au début des années 80 (Thorndyke, 1980 et Thorndyke et Goldin, 1983) qui affirmaient que l'usage de la carte permet une meilleure acquisition de la connaissance de la configuration (en comparaison avec une exploration directe du site), ce qui semble conséquent puisque qu'une carte permet de voir l'ensemble de l'information spatiale en une seule fois. Quant aux sujets du groupe « EV », ils ont réalisé de meilleures performances pour les connaissances des itinéraires par rapport au groupe « carte » mais leurs résultats pour la connaissance de la configuration ont été moins performants.

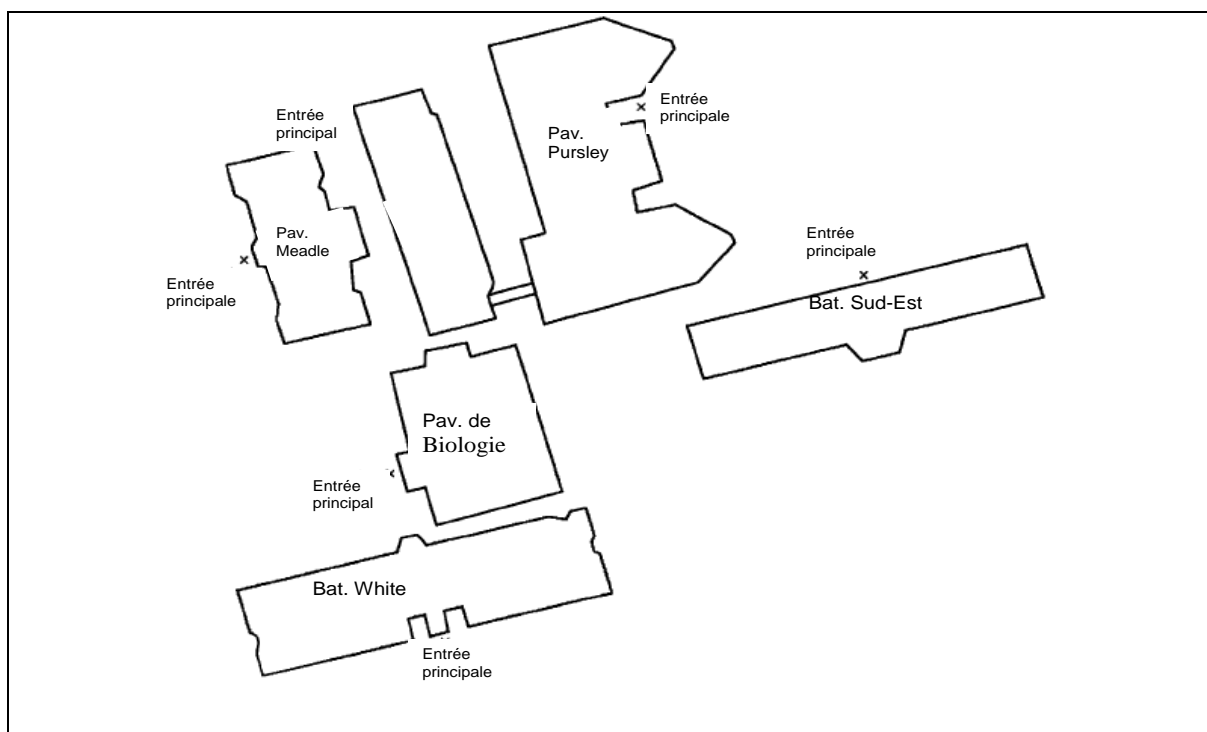


Figure 14: Expérience de Rossano et al. (2000). Plan d'une partie du campus de l'Université de Louisiane

Comme les expériences précédentes semblent le démontrer, l'acquisition des connaissances spatiales est possible dans les EV mais comme le rappelle Johns (2002), on ignore dans quelle mesure le transfert de ces connaissances au monde réel se produit. À l'état actuel des connaissances, la variété des tâches à accomplir, les différentes habiletés individuelles et la multitude d'environnements conçus ne peuvent confirmer la similitude des comportements spatiaux dans le virtuel et le réel.

Dans l'optique des recherches en cours, la présente étude tend à comprendre si l'acquisition des connaissances spatiales est la même dans des environnements virtuels interactifs et non interactifs. Dans la section suivante, les facteurs qui peuvent influencer l'acquisition des connaissances dans les EV sont exposés.

2. Les facteurs d'acquisition de connaissances spatiales

Aujourd'hui encore, les EV sont loin de fournir et de reproduire toutes les propriétés du réel, ce qui peut limiter l'acquisition des connaissances spatiales. Johns (2002) les sépare en deux catégories :

- *Les facteurs physiologiques* : la proprioception³⁶ et la locomotion sont des comportements que l'on retrouve dans le réel (faire une rotation de 180 degrés sur soi-même, tourner la tête, etc.) et qui sont inexistantes dans les EV non-immersifs. Des recherches actuelles essaient de reproduire ses sens dans le virtuel au niveau des EV immersifs.
- *Facteurs technologiques* : les EV fournissent moins de détails visuels que le monde réel (faible résolution des images, inexactitude des couleurs, etc.). De plus, certains EV immersifs (HMD, contrairement aux CAVE par exemple) et EV non-immersifs ne permettent pas d'obtenir une vision périphérique³⁷. L'absence de vision périphérique peut nuire à la compréhension globale de l'environnement puisque des objets peuvent ne pas être vus. Ainsi, plus le champ de vision (Field Of Vision, FOV) est petit, plus les gens doivent tourner leur tête pour fonctionner.

³⁶ Définition de la proprioception : « se dit de sensations issues du corps qui renseignent sur l'attitude, les mouvements, l'équilibre ». À l'inverse des organes dits "extéroceptifs" - l'ouïe, la vue, l'odorat et le goût - qui sont des sens localisés et renseignent le corps sur des événements extérieurs - les organes proprioceptifs quant à eux renseignent le corps sur le corps (dictionnaire des arts médiatiques, UQAM).

³⁷ Partie du champ de vision humaine qui se situe entre la région focale et les limites. Le champ de vision humaine correspond à une ouverture d'angle d'environ 220 degrés horizontalement et 140 degrés verticalement. La région périphérique occupe la plus grande partie de ce champ. Les entités et les déplacements perçus dans cette partie du champ visuel contribuent à la détermination de notre position dans l'environnement réel (dictionnaire des arts médiatiques, UQAM).

2.1. Les types d'interfaces

Avec tant de variétés d'environnements virtuels et de leur interface associée, il est nécessaire d'être plus descriptif sur ce qui les différencie. En effet, les dispositifs et les modèles d'interaction employés par le système informatique fournissent des niveaux différents de stimulation sensorielle à l'utilisateur. L'interface peut permettre une interaction proche du réel (par exemple marche, conduite de voiture, etc.), ce que Waller (2000) appelle la "fidélité d'interface". Waller et al, (1998) mentionnent que peu d'études ont signalé des différences significatives dans l'acquisition des connaissances spatiales par différents types d'EV (immersifs et non-immersifs). Au contraire, les recherches concluent qu'il y a peu de différences entre les types d'environnement, mais en indiquant cependant quelques nuances.

Ainsi, dans leur article « Navigating Large-Scale Virtual Environments : what differences occur between Helmet-Mounted and Desktop Displays », Ruddle et al. (1999) ont comparé les résultats de deux groupes de participants. Les membres du premier groupe disposaient d'un casque HMD muni d'un traqueur de position et les sujets du deuxième groupe utilisaient un EV non immersif (écran d'ordinateur de 21 pouces). Le but de l'exercice était de naviguer à l'intérieur de deux édifices. Chacun des douze participants à l'expérience utilisait un premier type d'interface et explorait une des deux maquettes numériques à quatre reprises, le temps alloué pour cet entraînement variait de 45 à 60 minutes, selon les participants. Ensuite, il devait naviguer dans l'autre maquette en utilisant l'autre type d'interface. Les deux édifices sont similaires formellement (cf. figure 15) et contenaient une soixantaine de pièces presque identiques. Cinq pièces étaient meublées de façon à ce que les sujets reconnaissent leur fonction.

La première étape de l'expérience consistait à suivre les directives verbales du chercheur pour partir du point de départ (Lobby ; cf. figure 15) et explorer les cinq pièces et revenir au lobby. Dans la seconde phase, les sujets refont le même exercice sans directives verbales pour revenir à leur point de départ. A la troisième étape, les participants devaient explorer le plus vite possible les cinq pièces, toujours sans aucunes directives. Enfin, la quatrième phase était identique à la précédente mais cette fois-ci, une fois à l'intérieur d'une pièce, ils devaient estimer, dans une fenêtre graphique qui apparaissait sur leurs écrans (HMD ou écran d'ordinateur), les directions et les distances euclidiennes entre leur position et celles des autres pièces. Quant à la connaissance des itinéraires, elle était

mesurée en fonction du temps mis pour accomplir la tâche. Ruddle et al. (1999), ont trouvé que les distances parcourues et l'estimation des directions étaient comparables pour les deux types d'interfaces. Les auteurs ont par contre noté que l'estimation des distances euclidiennes était meilleure pour les sujets disposant du casque HMD. De plus, ils se sont aperçus que ces mêmes sujets (HMD) marquaient moins de temps d'arrêt lors de la navigation, ils se déplaçaient plus rapidement que ceux qui utilisaient les EV non-immersifs.

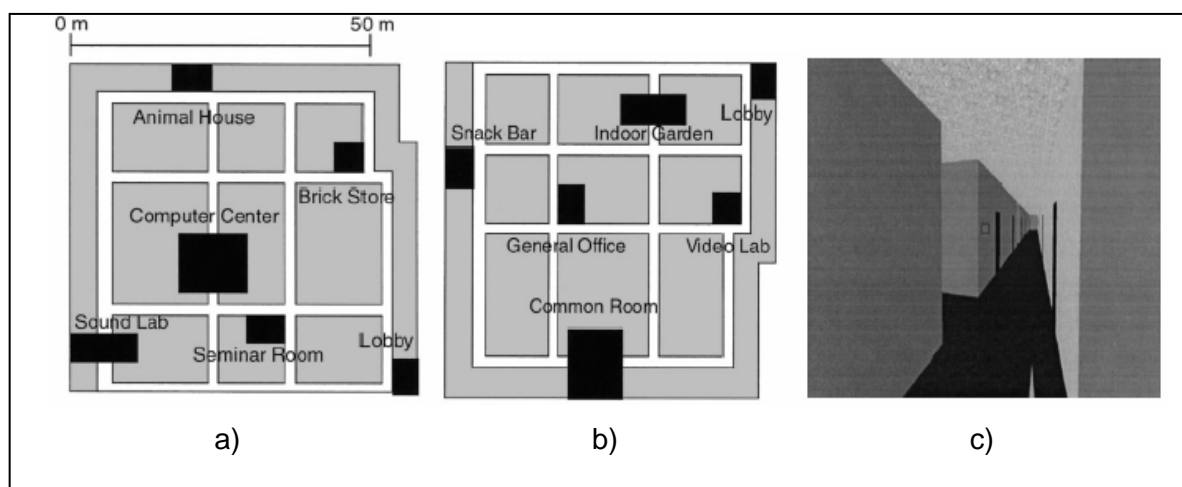


Figure 15: Expérience de Ruddle et al. (1999) : a) et b) plans des deux bâtiments (les points de repères sont en noirs). c) à droite, l'image représente une vue de l'intérieur du second édifice, en direction du snack-bar.

Cette dernière observation s'explique probablement par le fait que les sujets disposant d'un casque de RV peuvent « naturellement » faire une rotation sur eux-même et découvrir plus facilement l'espace. Ces résultats correspondent aux conclusions présentées par d'autres chercheurs, notamment l'expérience de Waller et al. (1998) qui sera traitée plus loin.

Enfin, des recherches ont été entreprises pour évaluer l'influence des champs de vision pour l'acquisition des connaissances spatiales dans les EV immersifs. Péruch et al. (1997) ont mesuré la compréhension spatiale de sujets qui disposaient d'un casque HMD en variant le champ de vision de ce dernier de 40, 60 et 80 degrés. A la suite de cette expérience, les auteurs n'ont pas relevé de différences significatives au niveau des performances des participants. Ruddle et Payne (1998) confirment ces conclusions dans

une expérience qu'il ont réalisée avec des casques HMD, limitant les champs de vision à 45 et 90 degrés.

Comme le souligne Kruijff et al., (2001), nous sommes encore loin de connaître les différents facteurs influençant l'acquisition des connaissances spatiales dépendamment du type d'interface utilisée : « Although through the last two decades much research has been spent on visualisation techniques, and on spatial knowledge effects of VEs, we are still far from the end ». De plus, avec l'évolution constante de la technologie, on peut imaginer que d'autres études expérimentales seront nécessaires pour valider et mesurer l'apport de la technologie.

2.2. Le mode d'exploration

En 1997, Wilson et al. se sont intéressés à l'influence de la navigation sur l'acquisition des connaissances spatiales dans les EV. Plus spécifiquement, ils se sont penchés sur le concept d'exploration spatiale c'est-à-dire une navigation où le sujet ne recherche aucune cible, son but étant une bonne compréhension du nouvel environnement qu'il explore. Ainsi, ils ont proposé une taxonomie du concept d'exploration en fonction de quatre facteurs physique/psychologique et actif/passif:

- *L'exploration physique* est dite active si un individu se déplace librement dans le monde virtuel, en contrôle de ses mouvements et disposant ainsi d'une variété de points de vue afin d'acquérir la connaissance de l'environnement. Et ce, quelque soit l'interface adoptée (avec clavier/souris, joystick, traqueur de position, etc.) et la technique de déplacement (en mode vol, marche, etc.). L'exploration est considérée physiquement passive lorsqu'un individu doit se déplacer dans un environnement selon un itinéraire prédéfini (suivre un parcours pré-enregistré ou une série d'image statiques représentant un parcours).
- *L'exploration psychologique* est dite active lorsqu'une personne peut choisir un itinéraire particulier, sans avoir à suivre de directives (d'un chercheur par exemple) ou un parcours prédéfini par le concepteur de l'espace. Dans le cas contraire, l'exploration est dite psychologiquement passive.

Dans la présente étude, l'acquisition des connaissances spatiales sera comparée selon deux conditions: un groupe disposant d'un EV interactif où les sujets peuvent se déplacer

en mode « marche » (donc une exploration physiquement et psychologiquement active) et un second groupe disposant d'un EV non interactif où les sujets ne peuvent se déplacer (une exploration physiquement et psychologiquement passive). Avec quelques nuances, Wilson et al. (1997) ont aussi évalué l'influence de ces deux modes d'exploration dans un EV non immersif. Ainsi, dans une première expérience, ils ont soumis 72 personnes à l'exploration et à l'identification de points de repère dans un espace virtuel; les sujets devant par la suite esquisser un plan de ce dernier. Les participants étaient répartis en deux groupes. Les sujets « actifs » (qui pouvaient explorer librement un espace) et les sujets « passifs » (qui suivaient une animation d'un parcours prédéfini). Dans une seconde expérience, les sujets devaient réaliser le même exercice mais dans un espace virtuel moins complexe (comportant moins d'objets dans la scène). Les conclusions de la recherche indiquaient que l'exploration active, n'avait aucun effet sur l'acquisition des connaissances spatiales. D'autres recherches, qui ont adopté cette taxonomie de Wilson et al., ont abouti à des résultats qui ne sont pas entièrement identiques.

Chercheurs au Laboratoire de Physiologie et de la Perception et de l'Action du Collège de France, Gaunet et al. (2001) ont publié un article « *Active, passive and snapshot exploration in a virtual environment: influence on scene memory, reorientation and path memory* » qui traite spécifiquement de l'influence du mode de l'exploration sur les capacités mnémiques des individus. Trois groupes de 48 sujets ont participé à l'expérience : les membres du premier groupe « exploration active » pouvaient se déplacer grâce à un joystick dans l'environnement en exécutant les directives verbales des chercheurs (exploration physiquement active et psychologiquement passive). Les sujets se déplaçaient à une vitesse maximale de 15km/h. Le second groupe « exploration passive » suivait, à une vitesse constante de 15km/h, un itinéraire prédéfini par l'ordinateur (exploration physiquement et psychologiquement passive). Enfin, le troisième groupe « exploration par images » disposait d'une série de 47 images statiques représentant l'itinéraire à tous les 4 mètres (cf. figure 16). Chaque image restait affiché sur l'écran pendant 2,25 secondes puis une nouvelle image apparaissait presque sans délai (0,01 s), simulant ainsi une vitesse de déplacement de 15 km/h.

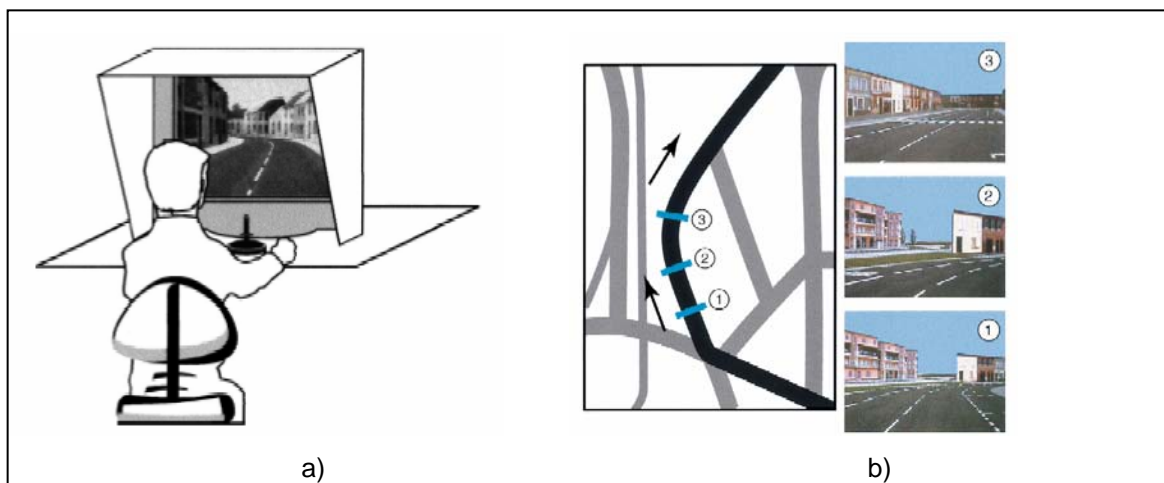


Figure 16 : Expérience de Gaunet et al. (2001). a) à gauche : EV utilisé ; b) à droite : exemples d'images vues par le groupe « exploration par image »

L'expérience fut réalisée avec un EV non immersif composé d'un écran d'ordinateur de dix-neuf pouces auquel on a rajouté des parois latérales (cf. figure 16). De plus, la tête du sujet était placée à 50 cm de l'écran afin de lui fournir un champ visuel de 38 degrés au lieu de 30. Le logiciel de simulation CATS, développé par le laboratoire de recherche de la compagnie RENAULT, a été utilisé pour simuler l'exploration le long d'une route urbaine. Deux environnements fictifs différents ont été employés (cf. figure 17). Un parcours P1 (437 mètres) a été utilisé pour la tâche d'identification de la scène où les sujets devaient reconnaître si les images qui leur sont présentées après l'exploration, appartenaient ou non à la scène. Ensuite, un second parcours P2 (458 mètres) a été utilisé pour les exercices d'esquisse de l'itinéraire et de pointage de direction c'est-à-dire que les sujets, après l'exploration, devaient orienter leur point de vue en déplaçant le joystick vers le point de départ de l'itinéraire (cf. figure 17).

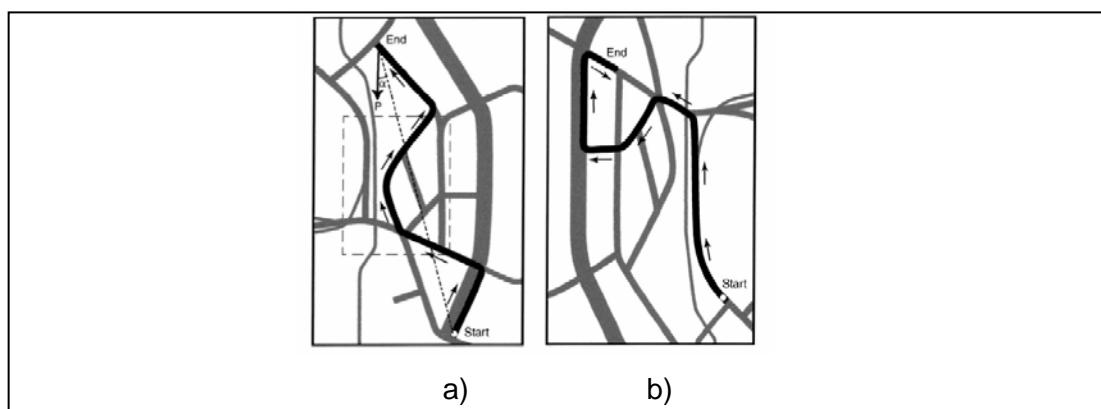


Figure 17: Expérience de Gaunet et al. (2001). a) à gauche : parcours P1 ; b) à droite : parcours P2

Dans leurs conclusions, Gaunet et al. (2001) ne soulignent aucune influence des conditions d'exploration dans l'espace virtuel pour les tâches de pointage de directions et d'identification des points de repère, ce qui signifie que le déplacement en mode « marche » dans le monde virtuel et l'exploration visuelle continue, (exploration active et passive) n'affectent pas plus la mémorisation de l'environnement visité que l'exploration par images statiques.

En revanche, le mode d'exploration a influencé l'esquisse de l'itinéraire. Ce qui fait dire à ces chercheurs que les trois modes d'exploration dans un environnement virtuel ont un effet différent selon la tâche à effectuer et de conclure que :

- Une représentation spatiale de la scène n'exige ni un déplacement actif, ni une continuité de la simulation ; des images statiques 2D peuvent suffire.
- Le pointage de direction n'exige pas un déplacement actif, ni une continuité de la simulation. Il se fonde plutôt sur l'usage d'un cadre de référence égocentrique pendant le déplacement.
- La reproduction du trajet exige une exploration visuelle continue.

Contrairement à Gaunet et al. (2001) qui ne partent pas de l'hypothèse théorique de LRS (Landmark-Route-Survey) de Siegel sur la structure des connaissances spatiales, Carassa et al. (2002) se sont basés sur celle-ci et la taxonomie de Wilson et al. (1997) pour mesurer l'acquisition des connaissances spatiales. Ainsi, ces chercheurs sont partis du principe que la compréhension spatiale varie en fonction de la tâche à effectuer, de la complexité de l'environnement et du mode d'exploration dans un EV. Ils se sont intéressés à ce dernier facteur pour mesurer son influence effective dans un EV immersif. Leur hypothèse était qu'une exploration active, avec un déplacement en mode « marche », permettait une meilleure acquisition de la connaissance de la configuration qu'une exploration passive. 20 sujets, répartis en deux groupes, ont participé à cette expérience qui s'est déroulée en deux phases dans un laboratoire de psychologie cognitive de l'université de Padoue, en Italie. Les membres du premier groupe « actif » pouvaient se déplacer librement dans le monde virtuel à la seule condition de ne pas reprendre plusieurs fois les mêmes parcours. Les membres de la deuxième équipe « passif » devaient suivre un itinéraire prédéfini en suivant un avatar (avatar-guided exploration) dans l'espace virtuel. Ces derniers pouvaient néanmoins se déplacer librement autour de

l'avatar. L'expérience comprenait une phase d'entraînement de 10 minutes avec l'EV immersif soit un casque de HMD, offrant un champ de vision horizontal de 60 degrés, et un joystick. Après cela, les sujets devaient explorer, pendant 40 minutes, l'espace virtuel qui représentait un bâtiment en forme de croix sur deux étages (cf. figure 18). L'expérience était composée de trois tests. Le premier exercice consistait à explorer les différentes pièces de l'édifice selon un certain ordre et de retourner au point de départ en moins de temps possible. Pour le second test, les sujets devaient, à quatre reprises dans leur parcours, pointer vers la direction du point de départ. Enfin, à la troisième étape, les participants devaient esquisser un plan du bâtiment.

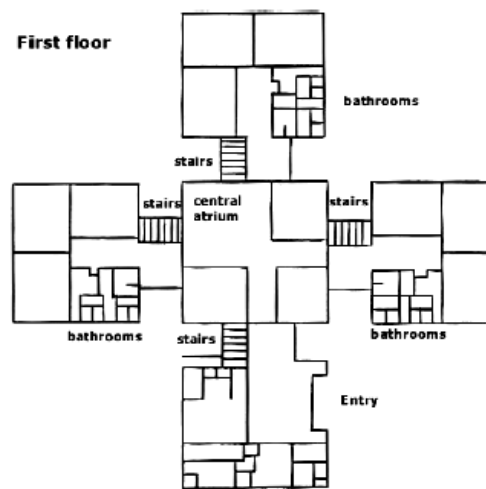


Figure 18 : Expérience de Carassa et al. (2002). Plan de l'édifice ayant servi à l'expérience.

Les résultats de cette expérience ne révèlent aucune différence significative pour les différentes épreuves, comme pour Gaunet et al. (2001) et Wilson et al. (1997). Par contre, en analysant les esquisses des différents sujets, les chercheurs pensent que les deux groupes organisent leurs connaissances de manière différentes. Carassa et al. (2002) terminent leur article en soulignant que la meilleure façon de développer une connaissance de la configuration n'est pas forcément de naviguer librement dans l'environnement sans but précis. D'autres facteurs entrent en ligne de compte.

“A variety of factors affect spatial learning. These include the nature of the activity the spatial knowledge supports (e.g. searching for objects or finding the way to a target), the type of environment (e.g. closed or open, large or small, barren or rich in landmarks) and the mode of learning (e.g. driving a car or traveling as a passenger).”

Carassa et al. (2002)

À un autre niveau, lors d'une exploration active d'un nouvel environnement, selon le mode ou technique de déplacement adopté, un cadre de référence égocentrique ou exocentrique, notre perception et par conséquent notre compréhension de l'environnement change (Darken, 2000). Par exemple, des études empiriques ont prouvé que le mode d'exploration dans un EV, immersif ou non, peut influencer notre acquisition des connaissances spatiales.

Ainsi, l'expérience de Scribante (2000), inspirée du protocole expérimental développé par Hemecker³⁸ (1999), a étudié l'impact de deux facteurs sur l'acquisition des connaissances des itinéraires et de la configuration : le mode de déplacement (mode vol et marche) ainsi que l'utilisation d'une carte virtuelle comme aide à la navigation dans un espace virtuel «réaliste » (cf. figure19). Soixante-dix personnes (33 femmes et 37 hommes), non expertes avec la navigation virtuelle, ont participé à cette étude qui employait des EV non immersifs (écran d'ordinateur avec souris et clavier pour naviguer). L'expérience comportait en premier lieu un entraînement aux techniques de navigation dans les EV, puis les sujets devaient répondre aux questionnaires de Guilford et Zimmerman (GZ) sur leurs habiletés spatiales. La troisième étape qui durait six minutes, consistait à explorer l'espace virtuel afin de s'en faire une représentation mentale. Enfin, après la navigation, les sujets devaient, en dix minutes, répondre à un questionnaire à choix multiple pour tester leurs connaissances spatiales en itinéraires et en configuration. À partir des pré-tests (GZ), quatre groupes ont été créés: marche avec carte, marche sans carte, vol avec carte et vol sans carte. A préciser qu'en mode marche, les participants se déplaçaient en ayant une vue à hauteur d'homme (un mètre soixante-dix du sol) alors qu'en mode vol, les sujets pouvaient explorer l'espace à une hauteur maximale de trois mètres pour ne pas découvrir toute la scène d'un seul coup. Quant à la carte utilisée, elle n'était pas interactive et ne se modifiait pas en fonction du déplacement des sujets dans l'espace. À noter que seule la position de départ était indiquée sur cette dernière (cf. figure 19).

³⁸ L'expérience de Hemecker (1999), qui s'est déroulée dans un labyrinthe, a mesuré les connaissances des itinéraires et de la configuration selon deux modes de déplacement : en vol et en marche. Ses conclusions ont été confirmées par celles de Scribante.

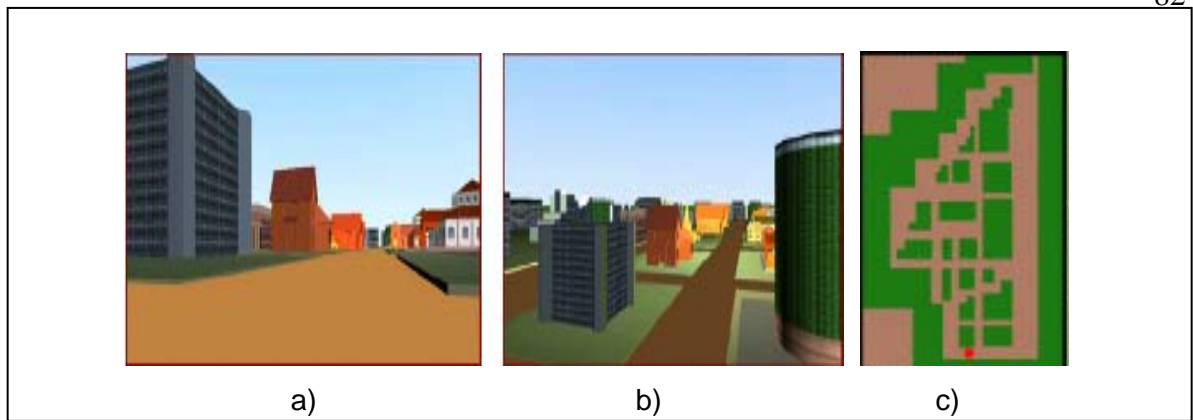


Figure 19 : Expérience de Scribante (2000). a) À gauche : déplacement en mode marche; b) au centre : déplacement en mode vol et c) à droite : la carte virtuelle.

En conclusion de son expérience, Scribante soutient que les sujets en mode marche (cadre de référence égocentrique) obtiennent une meilleure connaissance des itinéraires que ceux en mode vol (cadre de référence exocentrique). Pour les questions relatives à la configuration, aucun mode d'exploration n'influence vraiment l'acquisition des connaissances spatiales. De plus, l'auteure ne relève aucune influence significative de l'utilisation de la carte sur l'acquisition des connaissances, et ce, quelque soit le mode d'exploration. Elle justifie ces derniers résultats par le fait que la carte était non interactive et que les sujets préféraient se concentrer sur la scène virtuelle vu le temps qui leur était imparti pour la navigation.

2.3. La complexité de la scène

La complexité d'un environnement et de sa structure peut influencer négativement l'acquisition des connaissances spatiales. Comment établir qu'un espace est plus complexe qu'un autre? Darken et sibert (1996) ont proposé une classification des mondes virtuels, reprise par de nombreux chercheurs, selon trois caractéristiques :

1. *Leur taille* : un environnement peut être petit (small) ou grand (large). Un espace est considéré comme petit si l'on peut voir toute la scène d'un seul point de vue. Dans le cas contraire le monde est considéré comme large et complexe.
2. *Leur densité* qui réfère au nombre d'objets contenu dans le monde virtuel ainsi qu'à la manière dont ils sont arrangés. Les objets peuvent être regroupés en un

seul endroit ou repartis uniformément. Ces deux facteurs (le nombre et la répartition) déterminent la classe des environnements. Un environnement est considéré comme clairsemé/éparse (sparse) lorsqu'il contient peu d'objets et de points de repère. Alors qu'un environnement est dense s'il contient beaucoup d'éléments.

3. *L'activité* : un environnement est défini comme statique ou dynamique. Statique si les objets ne changent pas de position et d'apparence avec le temps; et dynamique dans le cas contraire. Dans ce dernier cas, la navigation est difficile car les itinéraires sont modifiés et les points de repère changent d'apparence.

Les espaces virtuels par leur diversité entraînent des comportements spatiaux tout aussi différents. Même avec un degré élevé de réalisme, les stratégies de navigation dans les mondes virtuels ne seront pas les mêmes que dans le réel (Golledge, 1999). Par exemple, il est plus facile d'acquérir une connaissance des itinéraires lorsque les routes sont courtes et ne comportent pas trop de virages (Ruddle et al. 1997). De même, la connaissance de la configuration est plus simple à obtenir dans des environnements plus épars, mais dans ce cas, il y a peu de routes et par conséquent de structure alors la connaissance des itinéraires est plus difficile à acquérir (Darken et Peterson, 2002). Ces derniers auteurs soulignent la nécessité d'utiliser une structure sous jacente à l'environnement pour l'organiser : comme organiser les rues sous la forme d'une trame orthogonale régulière dans le cas d'une représentation urbaine. C'est le principe de l'organisation spatiale qui sera développé dans la troisième partie de ce chapitre ainsi que les recommandations de différents chercheurs pour la conception des espaces virtuels.

2.4. Le temps d'exposition

Un facteur qui revient souvent dans les expériences en cognition spatiale mais qui demeure aussi mal documenté, est le temps d'exposition à/dans un EV, immersif ou non, qui serait nécessaire pour l'acquisition des différents types de connaissances spatiales. Pour confirmer l'importance de ce facteur comme support à l'acquisition des connaissances spatiales, rappelons l'expérience de Goerger et al. (1998). Seize personnes ont participé à cette recherche qui souhaitait mesurer l'acquisition des connaissances spatiales dans un EV non immersif en comparaison avec l'utilisation des plans du modèle 3D. Ce dernier représentait un édifice à bureau de sept étages. Les chercheurs ont aussi voulu créer une maquette numérique réaliste du bâtiment (cf. figure

20).



Figure 20 : Expérience de Goerger et al. (1998). a) à gauche : bâtiment réel; b) à droite : modèle 3D de l'édifice.

L'expérience s'est déroulée en trois étapes. Dans la première, les sujets ont passé le test psychométrique de Guilford et Zimmerman sur leur habiletés spatiales. S'en est suivie une phase d'entraînement de 30 minutes pour laquelle deux groupes furent formés. Dans le premier, les participants devaient étudier les plans de l'édifice à bureaux alors que le second groupe disposait de la maquette numérique de l'édifice. Finalement, les sujets devaient parcourir un itinéraire précis sur les sept étages en passant par des chambres spécifiques. Un questionnaire de mesure des connaissances des itinéraires et de la configuration fut ensuite proposé aux participants. Contrairement aux études citées dans la première partie de ce chapitre, Goerger et al. (1998) n'indiquent aucun apport des EV dans l'acquisition des connaissances spatiales par rapport aux cartes. Ne souhaitant pas contredire les études expérimentales précédentes, ces chercheurs ont donc conclu que c'était le temps d'exposition limité dans les EV qui a mené à ces résultats.

Dans une étude plus importante, Waller et al. (1998) ont souhaité étudié spécifiquement le facteur temps d'exposition et son influence sur l'acquisition des connaissances spatiales dans un labyrinthe composé de plusieurs séparations (sous forme de rideaux) et contenant des points de repère placés à des endroits précis. Pour mesurer l'impact de ce facteur, ils ont créé cinq conditions différentes d'expérimentation : (1) naviguer directement dans le labyrinthe; (2) naviguer directement dans le labyrinthe en utilisant une carte de celui-ci ; (3) naviguer virtuellement dans le labyrinthe par le biais d'un EV non immersif (écran ordinateur et joystick); (4) naviguer virtuellement dans le labyrinthe par le biais d'un EV immersif (casque HMD) mais avec une courte durée

d'exposition (douze minutes); et enfin (5) naviguer virtuellement dans le labyrinthe par le biais d'un EV immersif (casque HMD) mais avec un temps d'exposition plus long (trente minutes).

Le protocole expérimental comportait quatre phases. L'évaluation des habiletés spatiales par le test de Guilford-Zimmerman constituait la première étape. Ensuite, les sujets devaient s'entraîner à explorer le labyrinthe en empruntant un parcours spécifique. La troisième épreuve consistait à évaluer les connaissances des itinéraires et de la configuration. Les chercheurs ont modifié la configuration du labyrinthe en bloquant certaines voies de l'itinéraire. Les yeux bandés, le participant devait alors trouver un nouvel itinéraire. La mesure de ces deux types de connaissances se faisait en calculant le temps mis pour effectuer le parcours et le nombre de fois où le sujet accroche les rideaux. Finalement, dans la dernière phase, les participants devaient esquisser un plan du labyrinthe. Les chercheurs ont trouvé que l'utilisation des cartes comme aide supplémentaire à la navigation était plus intéressante pour l'acquisition des connaissances spatiales que l'usage des EV avec un court temps d'exposition (condition 4). Ce qu'ils expliquent par le fait que les cartes ne surchargent pas l'utilisateur avec de l'information qu'il ne peut absorber. Cependant, il s'est avéré que l'utilisation des EV est plus efficace si les sujets disposent de plus de temps, au point de surpasser la navigation directe.

En se basant sur leurs expériences antérieures, Darken et Petterson (2002) supposent de manière informelle l'influence du facteur temps d'exposition (cf. figure 21) : "Note that these curves are hypothetical since we cannot directly compare all the training transfer studies in the literature and even if we could, there are far too few data points to establish the shape of the curves ». En effet, un temps d'exposition limité pourrait rendre l'utilisation d'un EV (immersif ou non) inefficace. Ces deux chercheurs affirment qu'avec un court temps d'exposition, les cartes sont meilleures que les EV pour l'acquisition des connaissances spatiales car elles nécessitent peu de charge cognitive de la part des sujets. Avec un temps d'exposition plus important, Darken et Petterson (2002) croient que les informations fournies par les EV amélioreront l'acquisition des connaissances spatiales. À souligner cependant qu'aucune étude en laboratoire n'a fourni à ses sujets un temps d'exposition assez prolongé pour la formation d'une connaissance de la configuration complète. Comme spécifié sur la figure 21, la bande verticale foncée

représente la tranche de temps d'exposition au EV allouée dans la plupart des études dans la littérature. Ce temps d'exposition limité ne permet pas de développer une carte mentale suffisamment pertinente des espaces explorés. Ce qui explique que la détermination de ce facteur « temps d'exposition » soit encore très difficile à chiffrer. Darken et Peterson (2002), pensent aussi que dans le cas d'une exposition prolongée dans les EV, le type d'interface utilisée fait la différence. Ainsi les (EV+) qui disposent d'éléments supplémentaires (vues aériennes, des murs transparents, etc..) permettent une meilleure acquisition des connaissances spatiales que les (EV) « simple » qui reproduisent à l'identique l'espace réel. Ainsi, ces auteurs mentionnent que des recherches tentent de déterminer quels sont les dispositifs/éléments supplémentaires qui facilitent l'acquisition des connaissances spatiales.

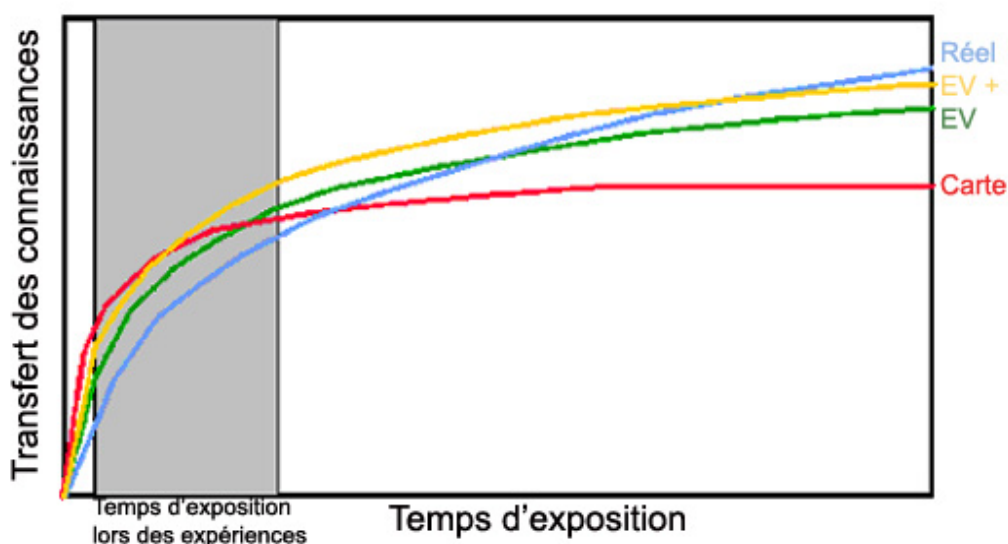


Figure 21 : Influence du facteur temps selon Darken et Peterson (2002)

2.5. Autres facteurs d'acquisition

Comme le souligne Carrassa et al. (2002), plusieurs facteurs sont en interaction lorsqu'il s'agit de former une représentation spatiale d'un lieu. Avec le développement technologique et l'introduction des EV dans les études expérimentales en cognition spatiale, les chercheurs ont voulu tester le potentiel offert par la machine et vérifier si ces « dispositifs » (Waller, 2000) amélioreraient l'acquisition des connaissances spatiales.

Ainsi par exemple, l'usage des cartes est différent selon que l'on se trouve dans un espace réel ou virtuel. Dans un EV, les cartes interactives permettent aux navigateurs

de visualiser en temps réel leur déplacement dans la scène virtuelle et en cliquant sur un point de la carte, ils peuvent se téléporter à l'endroit souhaité. D'autre forme de cartes 3D existent , la plus connue est le WIM (World In Miniature) qui représente la scène virtuelle, dans sa totalité ou en partie, dans une petite fenêtre permettant ainsi aux navigateurs de se positionner dans le monde virtuel (cf. figure 22).



Figure 22 : a) à gauche : carte numérique d'une portion de la ville de Québec; b) à droite : exemple de carte 3D WIM (Source: Kruijff et al., 2001)

Mais dans le cas des espaces très vastes, le problème de l'échelle dans les cartes se pose : il faut « zoomer » sur celles-ci pour connaître sa position. Ce qui influence négativement la perception de l'environnement (Darken et Petterson, 2002). Sur Internet, dans les guides urbains par exemple, il existe de nombreuses cartes numériques représentant les villes et en passant d'une petite échelle à une grande échelle, de l'information sur la configuration du lieu se perd. Il faut donc toujours disposer d'une carte permettant de situer en tout temps la destination recherchée ou sa position dans un contexte plus général comme illustré à la figure 22.

D'autres études en laboratoire, comme celle de Witmer, Sadowski et Finkelstein (2002), ont essayé de vérifier l'apport des éléments que seuls les EV peuvent fournir, afin de combler les limites des EV³⁹ qui réduisent l'efficacité de ce médium. Dans leur article, « VE-based training strategies for acquiring survey knowledge », ces chercheurs ont comparé l'utilisation de plusieurs outils de navigation pour évaluer l'acquisition de la connaissance de la configuration dans un environnement réel et virtuel non immersif.

³⁹ Quelques unes de ces limites sont énumérés au chapitre 3, page 72.

Pendant la première phase d'entraînement qui durait trente minutes, ils ont répartis les participants selon huit conditions :

1. Exploration directe en mode « marche » dans l'environnement réel, aucun outil d'orientation n'était disponible;
2. Exploration directe en mode « marche » dans l'environnement réel avec des outils d'aide à l'orientation : drapeaux et flèches pour indiquer la direction;
3. Exploration directe en mode « marche » dans l'environnement réel avec la possibilité de disposer de vues aériennes de ce dernier;
4. Exploration directe en mode « marche » dans l'environnement réel avec la possibilité de disposer de vues aériennes et d'outils d'orientation (drapeaux, flèches);
5. Exploration en mode « marche » dans un environnement virtuel non immersif, aucun outil d'orientation n'était disponible;
6. Exploration en mode « marche » dans un environnement virtuel non immersif, avec des outils d'aide à l'orientation : drapeaux et flèches.
7. Exploration en mode « marche » dans un environnement virtuel non immersif avec la possibilité de naviguer en mode « vol »;
8. Exploration en mode « marche » dans un environnement virtuel non immersif avec la possibilité de naviguer en mode « vol » à l'aide d'outils d'orientation (drapeaux, flèches).

Que ce soit durant l'exploration directe ou virtuelle, les auteurs n'ont révélé aucun apport significatif des différents outils d'orientation. Seuls les sujets disposant des vues aériennes dans l'environnement réel (conditions 3 et 4) ont obtenu des résultats plus concluants. Cependant, les meilleurs résultats ont été obtenus par les sujets naviguant en mode vol dans l'environnement virtuel non immersif (conditions 7 et 8). Ce qui contredit les résultats de Scribante (2000); ce qui peut s'expliquer par le fait que Scribante a limité la hauteur en mode « vol » à trois mètres lors de son expérimentation.

Dans un tout autre registre, Bernatovich (2000) s'est interrogé sur l'apport de la notion de présence dans un EV pour l'acquisition des connaissances spatiales. Inspiré des travaux de Lawson (1998) qui affirmait que l'ajout de sons 3D dans un EV augmentait

le niveau d'engagement et d'attention des utilisateurs dans les EV et par conséquent leur sentiment de présence, l'auteur a essayé de répondre à la question suivante : est-ce que varier les niveaux de présence dans un EV, en rajoutant divers types de sons, affecterait l'acquisition des connaissances spatiales. Pour les besoins de l'expérience dans un EV non immersif (cf. figure 23), quarante personnes ont été réparties en quatre groupes, selon un ordre croissant des dispositifs immersifs sonores augmentant le sentiment de présence: (1) EV sans son 3D; (2) EV avec des directives sonores fournissant des informations non spatiales⁴⁰ sur l'espace virtuel exploré; (3) EV avec des directives sonores fournissant des informations spatiales sur l'espace virtuel exploré⁴¹; (4) EV avec une combinaison des deux conditions précédentes. Après avoir effectué les tests sur les habiletés spatiales de Guilford et Zimmerman, chaque participant devait utiliser les différentes conditions sonores dans une phase d'entraînement. Puis, par une série de tests d'évaluation sur leurs connaissances spatiales (identification des points de repère, temps mis pour effectuer un trajet et esquisse de l'espace virtuel), les sujets devaient répondre à un questionnaire d'auto-évaluation sur leur sentiment de présence. Les résultats ont indiqué que les différents niveaux de présence n'avaient aucune influence sur l'acquisition des connaissances spatiales : la performance des sujets étant relative à leur habiletés spatiales. Cependant, Bernatovitch confirme les travaux de Lawson, et souligne que l'ajout de sons 3D dans un espace virtuel augmente le sentiment de présence chez les utilisateurs de ce dernier.



Figure 23: Expérience de Bernatovitch (2000). EV non immersif comportant trois écrans permettant aux participants d'avoir un champ de vision horizontal de 133 degrés. Les hauts parleurs sont placés derrière le sujet.

⁴⁰ Les informations fournies sont d'ordre historique et culturel, du genre : l'église est la plus ancienne de la ville, etc.

⁴¹ Les informations fournies sont d'ordre spatial, du genre : l'église à votre droite est à l'ouest de la ville, à deux coins de rue de la bibliothèque.

Quelques un des facteurs qui peuvent influencer la formation d'une représentation spatiale d'un environnement ont été brièvement présentés. D'autres facteurs tels que l'attention des sujets lors de l'exploration d'un nouvel espace ou encore le degré de réalisme de ces derniers, ont été l'objet d'études expérimentales. L'organisation spatiale selon les techniques de la visibilité de Lynch (legibility techniques) et leur application dans les EV constitue un autre aspect important de la recherche en cognition spatiale. En effet, ces techniques sont citées largement dans la littérature, amenant les chercheurs à proposer des conseils aux concepteurs des EV afin de faciliter la navigation dans ces espaces.

3. Recommandations pour la conception d'espaces virtuels

Pour Passini (1994), l'utilisation de « principes organisationnels » comme en architecture peut faciliter la lecture spatiale. Si un espace possède une structure compréhensible qui peut être reconnu par un utilisateur, une trame urbaine orthogonale comme à Manhattan par exemple, ceci influencera les stratégies et la performance de navigation: *“Although the architecture and the spatial configuration of a building [for virtual environments] generate the «wayfinding» problems people have to solve, they are also a «wayfinding» support system in that they contain the information necessary to solve the problem.”* Comme le souligne Darken et Sibert (1996), leurs différentes expériences ont montré que les utilisateurs des EV sont inconfortables dans les espaces qui manquent de structure.

Plusieurs chercheurs ont proposé d'adapter les techniques de visibilité de Lynch à la conception des EV, représentant des espaces réels ou imaginaires, afin d'éviter la désorientation des utilisateurs (Golledge, 1999; Darken et Peterson, 2002; Waller, 2000). Conroy (2001) résume sommairement cette technique de visibilité de Lynch (1960): *“legibility is the ease with which [a city's] parts can be recognized and can be organized into a coherent pattern... a legible city would be one whose districts or landmarks or pathways are easily identifiable and are easily grouped into an overall pattern.”* Lynch identifie cinq éléments physiques perceptibles et descriptifs d'un ensemble urbain : les points de repère, les voies, les limites, les nœuds et les quartiers. Ce sont eux qui apparaissent dans toute description de ville, ou dans les cartes mentales. Ils servent à l'individu à communiquer ses représentations mentales de la ville.

1. *Les points de repère, éléments particuliers* : ce sont des références ponctuelles, des centres d'intérêt comme déjà expliqué dans le chapitre précédent.
2. *Les axes structurants* : ce sont les supports principaux des déplacements de l'individu ou du groupe. Leur image est plus ou moins renforcée selon leurs caractéristiques physiques (largeur, flux, façades particulières, par exemple).
3. *Les limites ou lignes de discontinuité* : ce sont des éléments linéaires qui séparent et entourent. Certains axes peuvent servir de limites, ainsi que certains repères (un cours d'eau par exemple). Ils servent de références latérales et leur fonction est de contenir des zones relativement homogènes ou cohérentes.
4. *Les noeuds (ou carrefours)*: ce sont des points focaux abstraits vers et à partir desquels l'individu se déplace et peut circuler. Ils peuvent être des points de jonction ou points de concentration. Dans le premier cas, les gens sont amenés à y être plus attentifs car c'est là qu'ils doivent prendre des décisions (comme changer de direction). Dans le second cas, il s'agit d'endroits de rencontre, comme des galeries marchandes ou des parcs.
5. *Les quartiers* : ce sont « les parties de la ville, de taille assez grande, que nous nous représentons comme un espace à deux dimensions, où un observateur peut pénétrer par la pensée, et qui se reconnaissent parce qu'elles ont un caractère général qui permet de les identifier » (Lynch, 1976). Ils sont reconnus soit de l'intérieur, soit comme référence externe. Généralement ils représentent des éléments fondamentaux. Leur identité propre peut dépendre de leurs composantes : types d'activités, habitants, types de constructions.

Ces éléments spatiaux de Lynch pour la conception des espaces virtuels compréhensibles et facilement navigables ont inspiré plusieurs auteurs qui ont suggéré des recommandations pour la conception d'espaces virtuels en fonction de ces derniers. Dans ce qui suit, seront présentées les plus pertinentes de ces recommandations. Satalich (1995) en a relevé plusieurs: dans un EV, il serait intéressant que les bâtiments portent des noms et des numéros. Aussi la structure et la forme des édifices doivent être visibles depuis différents endroits dans l'environnement, comme dans le monde réel. Pour faciliter l'acquisition de l'information spatiale, il recommande aussi de diviser l'environnement en sous espaces (chunk) en utilisant les concepts de limites de Lynch, ce

qui aura aussi pour effet de réduire le nombre d'objets dans la scène et de permettre une navigation fluide, en temps réel dans les EV. Chen et Stanney (1999) dans leur article "A theoretical model of «wayfinding» in VE: proposed strategies for navigational aidings" ont travaillé sur l'intérêt de construire des mondes virtuels selon une grille orthogonale et en sont arrivés à la conclusion que la configuration d'un espace a un effet plus important dans les EV que dans monde réel vu qu'il y a moins d'informations dans un monde virtuel. Koh et al. (1999) soulignent que les architectes du virtuel doivent placer les objets importants ou qui aideraient les visiteurs à naviguer à proximité des points importants comme les virages, les carrefours, etc.. Ruddle et al (1998) suggère l'emploi d'objets familiers comme points de repère plutôt que des éléments abstraits pour faciliter l'acquisition des connaissances des itinéraires.

Dans son article « Design Guidelines for landmarks to support navigation in VE », Vinson (1999) opte pour une utilisation stratégique des points de repère dans les EV et propose neuf recommandations pour les concepteurs d'espaces virtuels :

1. Les EV doivent contenir plusieurs points de repère.
2. Les EV doivent inclure des points de repère qui font directement référence aux cinq points de lynch (axes = des rues ou rails de chemin de fer; limites = cours d'eau, les nœuds= carrefours, places publiques, etc.)
3. Les points de repère doivent être distinguables par leur formes, couleurs, textures, etc.
4. Utiliser des objets familiers connus par les navigateurs et non abstraits.
5. Les repères doivent être visibles de très loin; quel que soit la position du visiteur, il doit être capable de voir quelques repères.
6. Chaque côté/face des repères doit être différent pour aider le navigateur à s'orienter et se retrouver.
7. Les repères peuvent être regroupés pour être visibles selon différents points de vue.
8. Les repères doivent être placés à des endroits stratégiques : sur les axes et les carrefours les plus importants par exemple.
9. Il faut arranger les axes et les limites de manière à former une grille/pattern pour faciliter la formation d'une carte cognitive de l'espace.

Adhérant à l'importance accordée aux points de repère, Darken et Petterson (2002) proposent un principe d'organisation spatiale selon une structure implicite, c'est-à-dire non visible mais senti et perçu par l'utilisateur :

1. Il faut employer un principe d'organisation régulier telle une trame orthogonale, et dans la mesure du possible éviter de le violer en brisant le rythme de la trame.
2. Si le principe d'organisation doit être violé, le rendre évident en spécifiant où et pourquoi la violation s'est produite; ainsi le navigateur fournira un moindre effort cognitif pour comprendre la désorganisation de la trame.
3. Placer les points de repère à des endroits stratégiques dans la structure spatiale.
4. Garder à l'esprit les concepts principaux de Lynch et diviser les espaces complexes en un certain nombre de sous-espaces navigables qui sont reliés entre eux d'une manière claire et compréhensible.
5. Choisir une configuration de l'espace basée sur les tâches et activités des navigateurs. Si leur objectif est la recherche naïve par exemple, il faut s'assurer d'organiser l'espace de manière à ce qu'ils explorent plus facilement l'espace en entier sans avoir à reprendre un itinéraire déjà entrepris.

Résumé

La cognition spatiale demeure un domaine de recherche basé essentiellement sur la recherche expérimentale qui étudie le processus cognitif, non pas en s'appuyant sur la complexité des interactions entre les différents facteurs influençant ce processus, mais en se concentrant à chaque fois sur seulement un ou deux facteurs essentiels à la formation d'une représentation spatiale d'un environnement. Les résultats sont donc toujours partiels puisqu'ils ne concernent pas le phénomène dans son entièreté. Par conséquent, il faut prendre en considération plusieurs études pour développer un plan expérimental et des hypothèses de travail valables.

Cela dit, quelques conclusions générales peuvent être données :

- En comparant, les processus de navigation dans les EV et dans le monde réel, les chercheurs assurent que l'acquisition des connaissances spatiales par le biais des EV est possible : "navigation in real and virtual worlds was comparable" (Pour Ruddle, Payne et Jones, 1997).
- Nous savons comment acquérir les connaissances spatiales mais pas comment elle s'organise cognitivement (Darken et Petterson, 2002), cela s'applique aussi bien au réel qu'au virtuel).

En considérant ce dernier point ainsi que l'aspect déterministe des différentes expériences et présentées dans ce chapitre, quelques conclusions, parfois contradictoires, peuvent être données. Ces dernières seront utiles pour la suite de cette recherche :

- Avec les connaissances actuelles dans le domaine de la cognition spatiale, nul ne peut confirmer l'influence directe du type d'interface sur l'acquisition des connaissances spatiales (Kruijff et al. 2001). Cela dit, selon Ruddle et al. (1999), les types d'interfaces (immersif ou non immersif) n'ont pas une réelle influence sur l'acquisition des connaissances spatiales, même si avec un EV immersif, les distances sont moins sous-estimées.
- Les modes d'exploration actif ou passif n'affectent pas l'acquisition des connaissances spatiales dans un EV non immersif (Wilson et al.; 1997, Gaunet et al.; 2001) et dans un EV immersif (Carassa et al.; 2002).
- En mode d'exploration actif, Scribante (2000) soutient que dans un EV non immersif, les techniques de déplacement influencent l'acquisition des connaissances spatiales. Les sujets en mode « marche », obtiennent une meilleure connaissance des itinéraires que ceux en mode « vol » qui dans le cas de Scribante est limitée à une hauteur de trois mètres. Witmer et al. (2002) affirment au contraire que le mode « vol », non limité à une certaine hauteur, influence l'acquisition de tous les types de connaissances spatiales, surtout la configuration.
- Un temps d'exposition plus long peut aider à l'acquisition des connaissances spatiales dans un EV (Darken et Petterson, 2002).

- L'usage des points de repère distinguables facilite la lecture spatiale (Vinson, 1998).
- L'usage des points de repère « réalistes » et « familiers » facilite l'acquisition de connaissances des points de repère et des itinéraires (Ruddle et al. 1999)
- L'utilisation d'une trame et d'un principe organisationnel spatial atténue le sentiment de désorientation et aide à la navigation (Passini, 1994; Darken et Peterson, 2002).

Chapitre 4

Présentation du protocole expérimental, de l'analyse et discussion des résultats

En partant du principe que l'acquisition des connaissances spatiales varie à la fois en fonction de la tâche à effectuer, de la complexité de l'environnement et du mode d'exploration dans un EV, un intérêt particulier a été porté sur ce dernier facteur pour mesurer son influence effective dans un EV non immersif. L'approche adoptée pour cette recherche est de type explicative. Elle fait partie des méthodes de recherche et d'investigation qualitatives. Ce type de recherche tend à expliquer un phénomène afin de saisir et de comprendre son fonctionnement et les influences des différents facteurs en interaction. Lamoureux (2000) indique que cette méthodologie est utilisée « lorsqu'un chercheur entreprend d'approfondir et de raffiner les connaissances existant dans un domaine bien établi ». Une des principales raisons pour l'utilisation de cette approche est « l'étude d'influences et d'impacts » (Paillé et Mucchielli, 2003), soit l'identification et l'étude des facteurs qui influencent et modifient le comportement; ce qui correspond à l'objectif de ce mémoire, c'est-à-dire illustrer l'influence des EV non immersifs et interactifs en temps réel sur l'acquisition des connaissances spatiales par rapport aux EV non interactifs. Une des techniques de la recherche explicative est la méthode expérimentale. Cette dernière est celle qui fut utilisée dans la plupart des études recensées au troisième chapitre, et qui sera utilisée dans le cadre de ce mémoire.

Pour vérifier et valider les hypothèses de recherche, inspirées des lectures théoriques et de la recension des écrits présentée dans les chapitres précédents, une expérience à plans croisés a été réalisée. Le protocole expérimental est présenté dans une première partie, suivi de l'exposition des résultats et leur analyse qualitative.

1. Le protocole expérimental

Cette expérience s'ajoute aux recherches sur l'acquisition des connaissances spatiales dans un EV 3D non-immersif. Elle s'inspire de plusieurs expériences notamment celle de

Scribante (2000) en ce qui a trait au questionnaire soumis aux sujets, mais aussi de l'expérience de Dorta (2001) pour le déroulement de l'expérience. L'objectif de cette étude est d'observer puis de comprendre si le mode d'exploration (actif ou passif) a un impact différent sur l'acquisition des connaissances spatiales.

Plusieurs travaux sur les EV ont essayé de saisir l'influence réelle du déplacement sur la représentation spatiale qu'un sujet se fait lorsqu'il explore un nouvel environnement. Les résultats obtenus jusqu'ici tendent à affirmer que les modes d'exploration n'ont pas un réel impact sur l'acquisition des connaissances des itinéraires et de la configuration, à quelques détails près (cf. Gaunet et al., 2001). Or dans chacune de ces expériences, les techniques de navigation virtuelle, la complexité des environnements, le temps d'exposition et les interfaces utilisées étaient différentes et par conséquent, une généralisation sur l'influence effective des modes de déplacement dans un EV ne peut être établie.

1.1. Les hypothèses de recherche

Un des intérêts de la présente recherche est de vérifier si les résultats obtenus dans les recherches de Wilson⁴² et al. (1997), Gaunet⁴³ et al. (2001) et Carassa⁴⁴ et al. (2002) sont applicables sous d'autres conditions, soit dans un EV non immersif, mais avec des techniques de déplacement légèrement différentes. Cette étude se base sur une comparaison entre deux types d'exploration: un groupe « actif » disposant d'un EV non immersif et interactif en temps réel (donc une exploration physiquement et psychologiquement active) et un second groupe « passif » disposant d'un EV non immersif et non interactif où le sujet est soumis à une série d'images statiques représentant l'espace virtuel (une exploration physiquement et psychologiquement passive). Basée sur les résultats de ces expériences et sur la littérature dans le domaine de la cognition spatiale, une série d'hypothèses sont formulées.

⁴² Les conclusions de la recherche indiquaient que l'exploration active n'avait aucun effet sur l'acquisition des connaissances spatiales (itinéraire et configuration)

⁴³ Dans leurs conclusions, Gaunet et al. (2001) ne soulignent aucune influence des conditions d'exploration de l'espace virtuel pour les tâches de pointage de direction et d'identification des points de repères, ce qui signifie que l'interaction dans le monde virtuel et l'exploration visuelle continue (exploration active et passive) n'affectent pas plus la mémorisation de l'environnement visité que l'exploration par images statiques. En revanche, le mode d'exploration continu a influencé l'esquisse de l'itinéraire.

⁴⁴ Les résultats de cette expérience ne révèlent aucune différence significative pour les différentes épreuves, comme pour Wilson et al. (1997).

Les hypothèses générales sont les suivantes :

- L'usage d'un EV 3D non immersif interactif en temps réel par rapport à un EV 3D non interactif augmente la compréhension spatiale.
- Le mode d'exploration actif dans les EV non immersifs interactifs par rapport à un mode d'exploration passif dans les EV non immersifs et interactifs a une influence positive sur l'acquisition des connaissances spatiales

Les hypothèses spécifiques sont :

1. En ce qui concerne la connaissance des itinéraires, les sujets du groupe « actif » (EV interactifs) obtiendront des résultats supérieurs, lors de l'expérimentation, à ceux du groupe « passif » (EV non interactifs).
2. Par ailleurs, en se référant à l'expérience de Gaunet et al. (2001), les différences, d'un mode d'exploration actif à un autre passif, seront « significatives » pour les questions se rapportant aux connaissances de la configuration. Les esquisses des sujets lors de l'exploration active seront plus précises que lors de l'exploration passive.

1.2. L'échantillon

Un groupe de 10 étudiants (9 étudiants et 1 étudiante) de troisième année inscrits à l'automne 2003 à l'atelier de design informatisé de l'école d'architecture de l'université Laval ont participé à cette recherche (cf. figure 24). L'échantillon n'était pas aléatoire mais au demeurant, représentatif d'un atelier d'école d'architecture. Ainsi pour cette dernière raison et sa taille, ce petit groupe ne peut servir à une analyse statistique quantitative, d'où le choix d'une analyse qualitative⁴⁵ des résultats.

Les sujets n'ont participé à aucune séance d'entraînement pour manipuler les EV non interactifs. L'expérience s'étant déroulée à la fin de la session académique de l'automne 2003, les étudiants avaient déjà acquis une certaine aisance et expertise avec la navigation dans les espaces virtuels 3D puisque l'un des objectifs de cet atelier était l'initiation à l'architecture virtuelle via la conception d'espaces virtuels 3D.

⁴⁵ La définition « d'analyse qualitative » sera donnée dans la troisième partie de ce chapitre.

Afin de ne pas biaiser les résultats, essentiellement à cause de l'aspect séquentiel de l'expérience, les sujets ont pris connaissance au préalable des types de questions qui leur seraient posées dans le questionnaire; de même que la tâche durant l'exploration de la scène virtuelle a été expliquée préalablement aux sujets (tâche explicite). Il s'agissait donc de les laisser naviguer librement dans le monde virtuel conçu (sans aucune supervision) mais tout en les rendant attentifs, que durant l'expérience, ils doivent trouver les repères (cubes) et faire attention aux distances euclidiennes entre ces repères, les angles relatifs qui les séparent, etc. Avant l'expérience, des consignes orales et écrites leur ont été fournies dans ce sens. En effet, les sujets devaient se concentrer sur l'exploration de l'environnement et ils ne pouvaient prendre aucune note pendant l'exploration.



Figure 24 : Une partie des étudiants/participants durant l'expérience

1.3. Matériel

Pour les besoins de l'expérience, chaque étudiant dispose de son ordinateur personnel, avec comme périphérique un clavier et une souris, sur lequel est installé une visionneuse VRML. Le langage de modélisation 3D, VRML ('Virtual Reality Modeling Language') a permis de créer les deux espaces virtuels qui ont été utilisés durant l'expérience⁴⁶. Plusieurs modes de déplacement (marche, vol, etc.) sont définis par défaut dans ce

⁴⁶ La visualisation des scènes 3D s'effectue grâce au logiciel Cortona de Parallelgraphics.

plugiciel⁴⁷. Pour les besoins de l'expérience, seul le mode marche est disponible pour les EV interactifs. Ainsi l'utilisateur n'a plus à sa disposition qu'une seule option pour se déplacer. Par ailleurs, la barre de navigation intégrée à la visionneuse a été supprimée afin d'enlever toute charge visuelle supplémentaire (les étudiants connaissaient déjà cette interface).

1.4. Un protocole à plans croisés

Pour cette recherche, l'expérience est dite à plans croisés c'est-à-dire que deux traitements sont consécutivement appliqués au même sujet (Dorta, 2001). L'avantage de cette méthode étant d'éliminer la variabilité entre les sujets. En effet, l'objectif de cette étude étant d'évaluer l'influence de deux modes d'exploration sur l'acquisition des connaissances spatiales, il est plus intéressant de faire subir à un même sujet, les deux types d'exploration plutôt que de se fier aux résultats de deux groupes ayant chacun expérimenté un type d'exploration. Par ailleurs, l'échantillon étant limité, il aurait été encore plus infructueux de constituer deux groupes, chacun ayant utilisé un seul mode d'exploration, pour comparer l'influence de ce facteur sur leur compréhension spatiale.

Comme l'indique la figure 25 à la page suivante, l'expérience commence par une phase de pré-test, de 40 minutes, qui comprend les deux tests d'orientation spatiale et de visualisation spatiale de Guilford et Zimmerman, étape qui sera précisée à la section suivante. Dans une deuxième phase, deux groupes de 5 personnes sont constitués. Le premier groupe A dispose d'un EV non immersif et interactif où les sujets peuvent interagir en navigant à l'intérieur d'un premier espace virtuel (1), en mode marche seulement. Les sujets ont une vision à hauteur d'homme soit à 1,70 mètres⁴⁸ du sol. Ce groupe est dit « actif » car les sujets sont physiquement et psychologiquement actifs selon la définition de Wilson et al. (1997). La tâche principale consiste à trouver six cubes de couleurs différentes à l'intérieur de la scène. Le second groupe B exécute la même activité mais dans un EV non immersif et non interactif et dans le même espace virtuel (1).

⁴⁷ Plug-In ou plugiciel en français : Petit module qui s'installe sur un navigateur pour lui apporter des fonctions supplémentaires. Par exemple, visionner de la vidéo sur des pages Web ou afficher des scènes en trois dimensions. (Issue du dictionnaire de l'informatique et de l'Internet, <http://www.dicofr.com/>).

⁴⁸ Ces mesures ont été choisies afin d'avoir un bon rapport d'échelle avec les objets présents dans l'environnement, par exemple : la taille des maisons, la taille des portes, des fenêtres, etc.

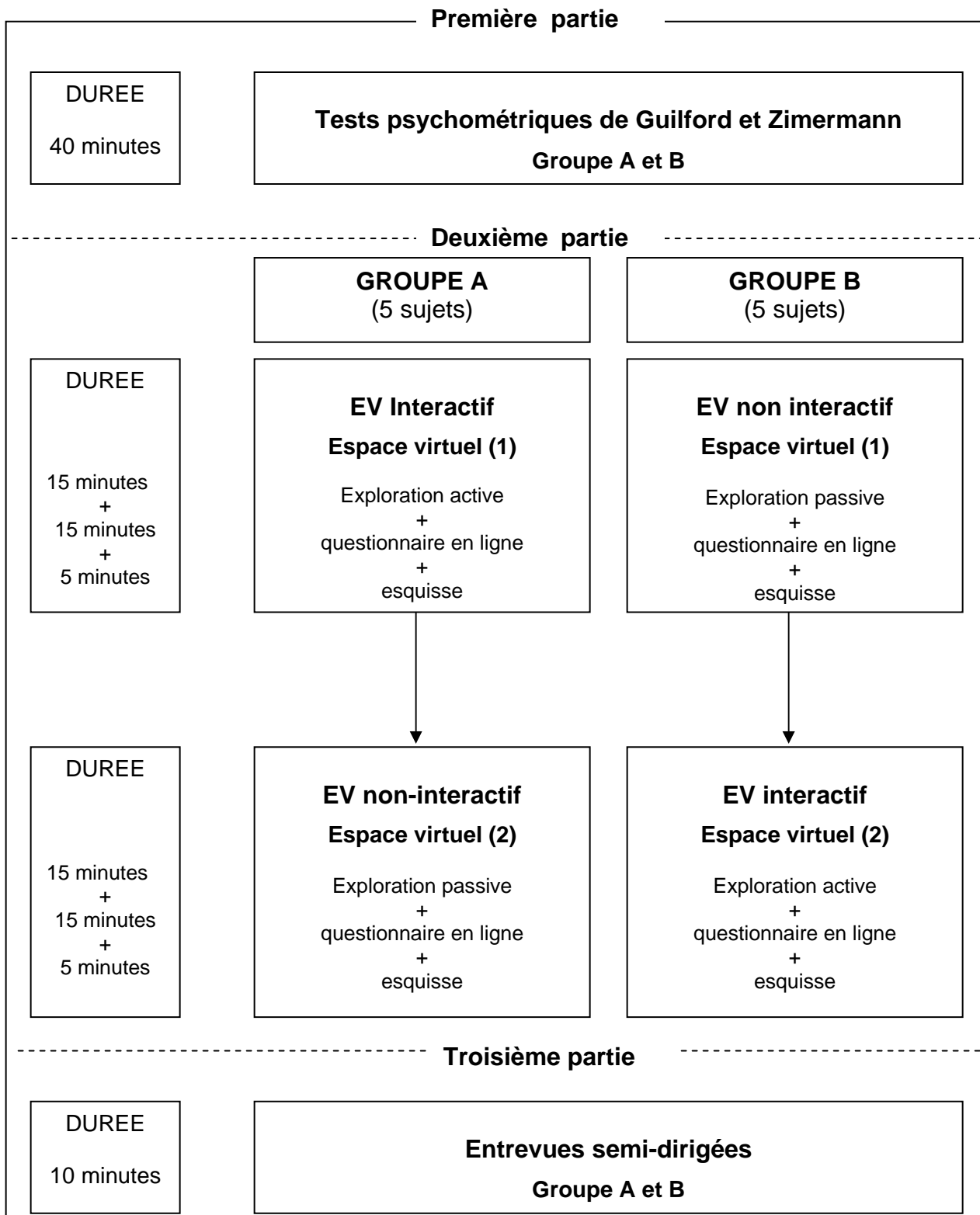


Figure 25 : protocole expérimental croisé

À la différence du groupe (A), les membres du groupe (B) sont physiquement et psychologiquement passifs puisqu'ils ne peuvent explorer cet espace que par le biais d'une série d'images statiques représentant un parcours régulier prédéfini (cf. figure 26). Les membres des deux groupes explorent l'espace durant 15 minutes. Ce temps d'exposition a été établi en fonction de plusieurs tests de navigation effectués dans les deux espaces virtuels par des étudiants du second et troisième cycle en architecture, et ce dans le but de vérifier et valider un temps d'exposition « suffisant ⁴⁹ » nécessaire à l'exploration de ces deux espaces. Ces testeurs n'ont évidemment pas participé à la présente étude.

Après l'exploration, les sujets de l'expérience sont soumis à un questionnaire en ligne sur leurs connaissances spatiales acquises. Ce questionnaire est identique à celui de Scribante (2000). 15 minutes sont nécessaires pour répondre aux 18 questions que comporte ce test; ces dernières sont précisées dans la section 4.4.3. Enfin, les participants ont 5 minutes pour esquisser un plan de l'espace visité. Dans un deuxième temps, les deux groupes refont le même exercice mais en échangeant le type d'exploration et en naviguant dans un second monde virtuel (2), similaire en complexité ⁵⁰ au premier. Le groupe A explore le monde virtuel (2) dans un EV non-interactif et le groupe B utilise un EV interactif. Enfin, la troisième étape comprend une série d'entrevues semi-dirigées d'une dizaine de minutes où chaque étudiant revient sur sa perception des espaces explorés et des tâches accomplies.

1.4.1. Pré-test : les tests psychométriques de Guilford et Zimmermann

Un des tests sur les capacités spatiales le plus utilisé lors des expériences recensées dans la littérature est le test standardisé de Guilford et Zimmerman. Il a été administré à tous les participants afin d'avoir une indication sur leurs habiletés en orientation et en visualisation spatiale. Comme le rappelle Scribante (2000), Guilford a développé différents instruments permettant de mesurer les capacités humaines. Ces instruments sont regroupés dans le « The Guilford Aptitude Survey (GZAS) », qui est scindé en six parties, à savoir :

⁴⁹ Les 4 testeurs, qui savent manipuler l'interface utilisée pour l'expérience, disposaient des questionnaires avant l'exploration des deux espaces virtuels pour les aider à établir le temps minimum nécessaire à l'exploration. Les suggestions variaient entre 10 à 20 minutes. Vu la durée de l'expérience, plus de 3 heures, il a été décidé d'établir un temps d'exposition de 15 minutes pour l'exploration de chaque espace virtuel.

⁵⁰ La complexité des deux espaces virtuels sera abordée dans la section 1.4.3.1.

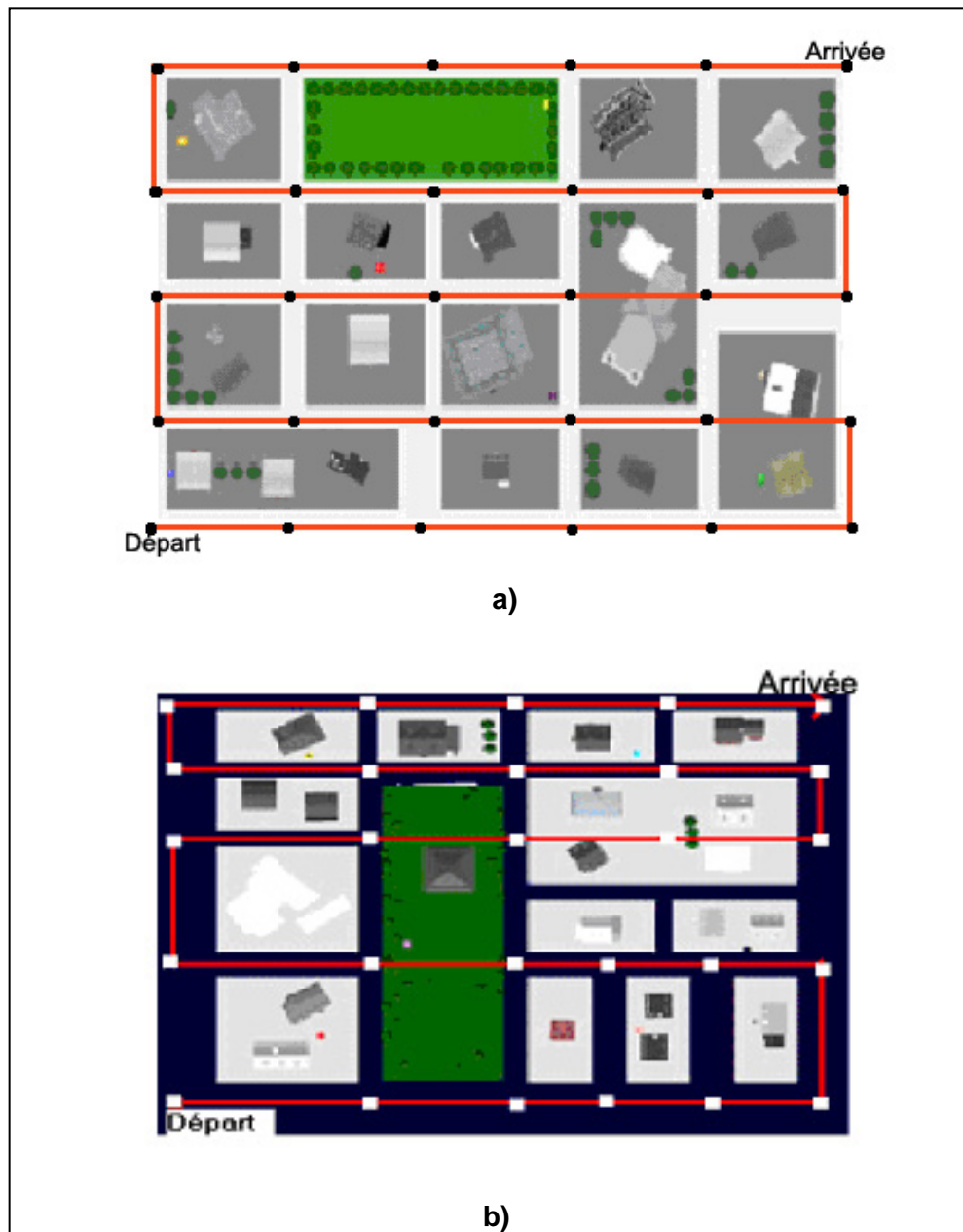


Figure 26 : Trajet prédéfini dans les deux espaces. a) monde 1 (30 points de vue); b) monde 2 (27 points de vue)

- Partie 1 et 2 : Compréhension verbale et raisonnement général
- Partie 3 et 4 : Opération numérique et rapidité de perception
- Partie 5 et 6 : Orientation spatiale et visualisation spatiale

Seules les deux dernières parties (5 et 6) sont pertinentes à la présente recherche. Le test 5 concerne l'orientation spatiale. Il est défini par Guilford comme étant une capacité « qui se réfère à la cognition du système visuel et à la logique de ce dernier ». Le test

mesure la capacité de perception entre les objets visibles ainsi que celle de percevoir les relations entre les différents objets. Le test 6 concerne la visualisation spatiale : « Ce dernier est lié à la cognition des transformations visuelles; c'est-à-dire, à tout ce qui concerne les changements de position, les réarrangements de certaines parties, la substitution d'un objet visible par un autre » (Scribante, 2000). Il s'agit d'une dimension plus dynamique que statique.

Pour les besoins de la présente expérience, les tests 5 et 6, ont été traduits en français (un exemplaire est fourni à l'annexe A). Pour chacun des tests, les dix étudiants devaient lire les instructions et exemples fournis durant 10 minutes pour bien saisir l'exercice avec la possibilité de poser des questions à l'examineur. Ensuite, le sujet a 10 minutes pour effectuer le test.

1.4.2. L'exploration, les questionnaires et esquisses

1.4.2.1. L'exploration

Deux espaces virtuels ont servi à cette expérience⁵¹. Ces espaces représentent deux petits environnements résidentiels comprenant des routes et des maisons texturées, dans un souci de rendre ces environnements proches de la réalité (cf. figure 27 et 28). Les deux mondes sont similaires en complexité⁵². Ils comportent une trame orthogonale, un même nombre de parcelles, des îlots de tailles différentes, un point de repère important (une église et une tour respectivement), les mêmes types de maisons issues d'une maquette numérique du Trait-Carré, du quartier Charlesbourg de la ville de Québec⁵³.

La tâche principale des étudiants, quelque soit leur groupe, était d'identifier l'emplacement de 6 cubes et de mémoriser les différentes relations spatiales qui existaient entre eux : distances parcourues, direction des virages, nombres de virages, distances euclidiennes, positions relatives et angles relatifs. Le choix du cube comme point de repère est directement lié au recherche comme celles de Hemecker (1999) et Scribante (2000) pour qui le cube, le seul objet « abstrait » dans les espaces visités, « devait

⁵¹ Les deux espaces virtuels sont disponibles sur le CD accompagnant ce mémoire. Cf. Annexe C pour plus de détails.

⁵² Les étudiants percevaient les deux mondes de manière différente, pour eux le monde 2 était plus complexe que le premier. Ce point sera développé plus loin dans ce chapitre.

⁵³ Ces modèles numériques 3D de maisons du Trait-Carré de Charlesbourg ont été réalisées par des étudiants de l'atelier de design informatisé au cours de l'année 2002.

permettre une meilleure identification de cet élément ». De plus, le choix d'une couleur différente pour chaque cube et une numérotation distincte (de 1 à 6) devait faciliter « l'identification et la mémorisation des cubes ». Par ailleurs, Scribante (2000) justifie l'utilisation de six cubes par une volonté de ne pas affecter la charge cognitive⁵⁴.

« Lorsqu'il s'agit de processus d'apprentissage, nous savons que la mémoire à court terme, ou mémoire de travail, est largement sollicitée. Par ailleurs celle-ci ne peut traiter qu'un nombre limité d'informations (environ 7 éléments à la fois) d'où le nombre de six cubes. »

Scribante, 2000

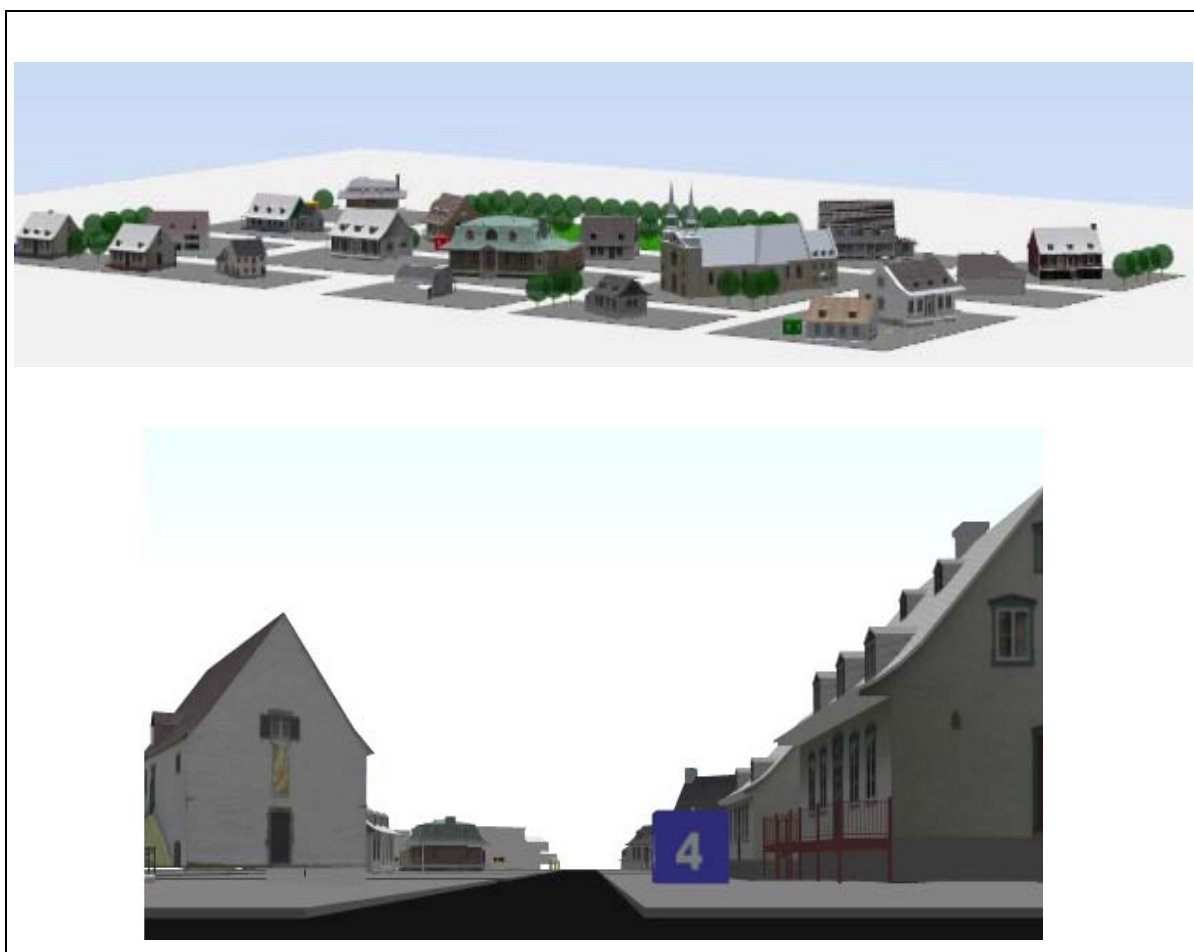


Figure 27 : Aperçu de l'espace virtuel (1).

⁵⁴ La complexité des espaces utilisés pour notre recherche est presque similaire à celle de Scribante.

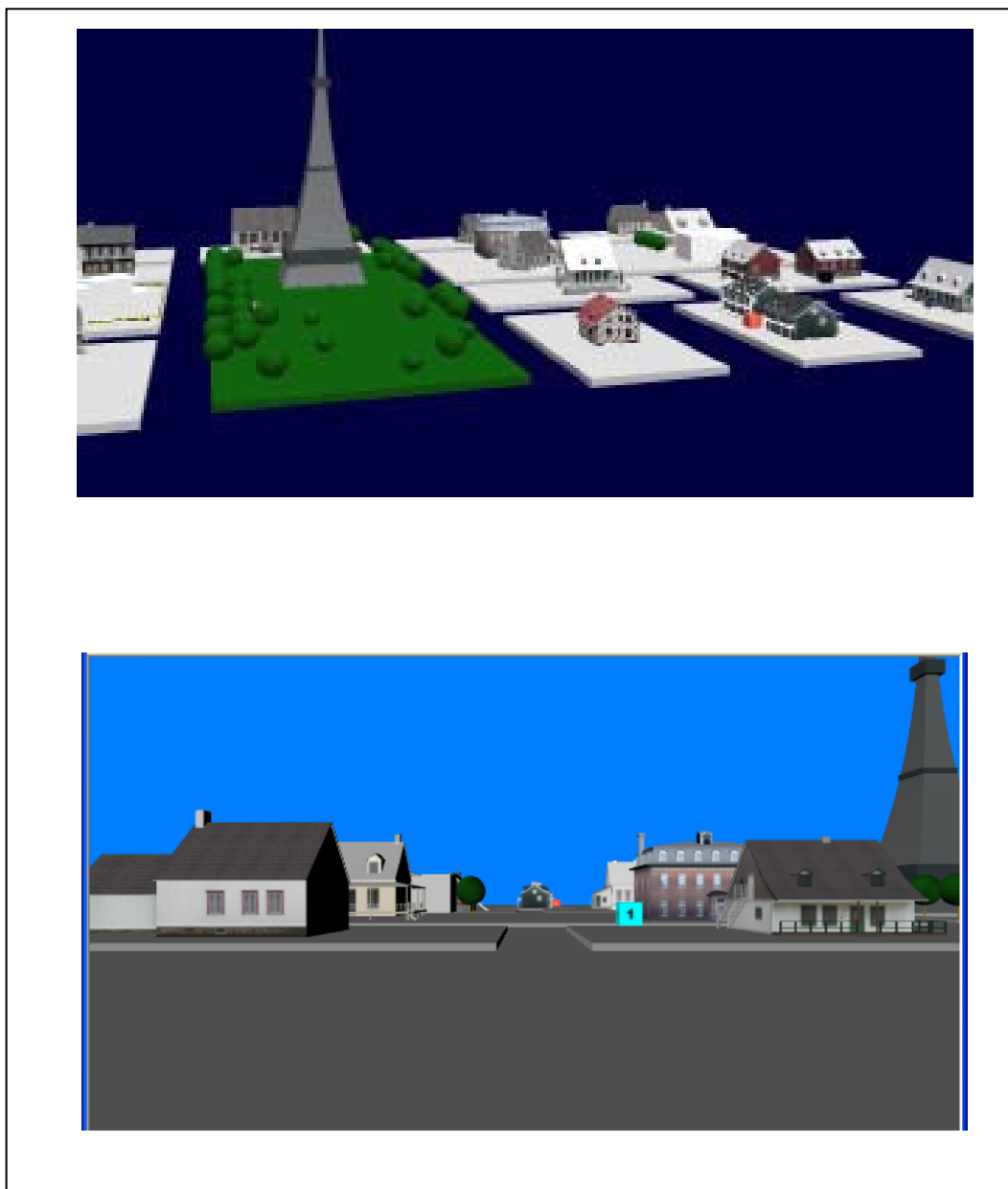


Figure 28 : Aperçu du l'espace virtuel (2).

1.4.2.2. Le questionnaire

L'élaboration du questionnaire⁵⁵ s'est effectuée en s'inspirant des expériences de Henry (1993) et Satalich (1995) ainsi que celle menée par Scribante (2000). Il comporte 18 questions destinées à évaluer deux types de connaissances spatiales : celles des itinéraires et de la configuration. Ainsi la connaissance des itinéraires regroupe trois

aspects/facteurs qui la définissent. Chacun de ces facteurs contient à son tour 3 questions similaires dans leur formulation reproduites à la figure 29 :

- La distances parcourue au sol
- Le nombre de virage
- La direction des virages

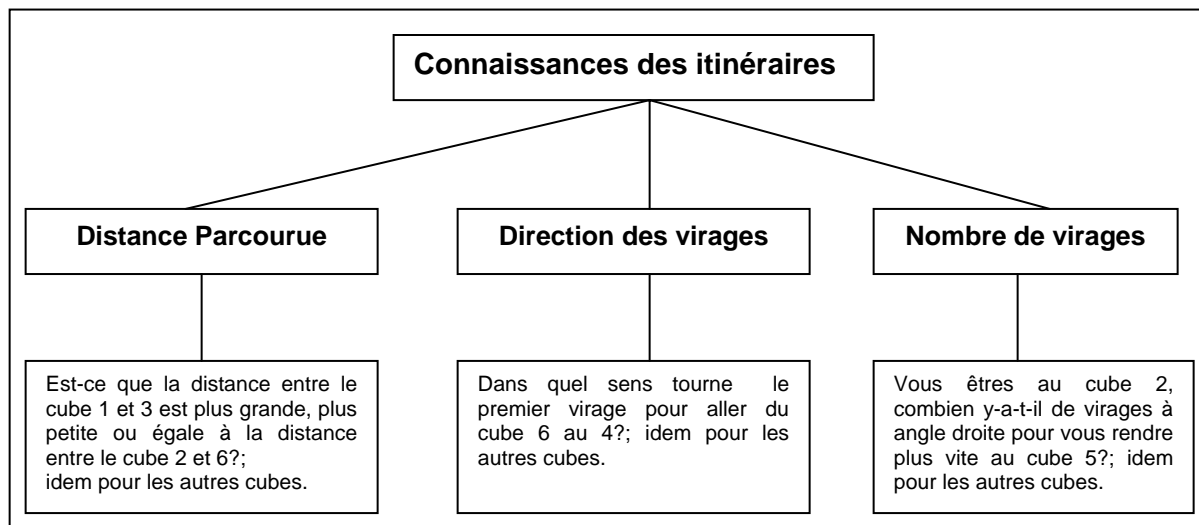


Figure 29 : les questions relatives à la connaissance des itinéraires

De même, pour la connaissance de la configuration, trois aspects/facteurs la définissent. Chacun de ces facteurs comprenant trois questions données à la figure 30.

- Distance à vol d'oiseau
- Positions relatives
- Angles relatifs

⁵⁵ L'accès au questionnaire en ligne est disponible en annexe.

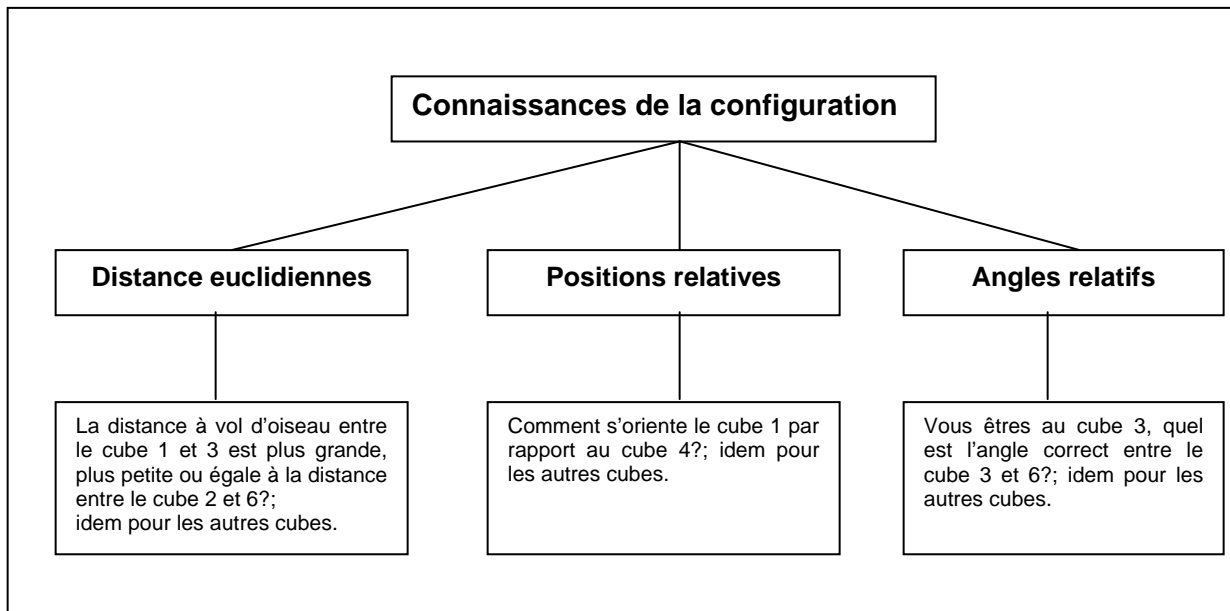


Figure 30 : les questions relatives à la connaissance de la configuration

Enfin les sujets devaient répondre au questionnaire immédiatement après la navigation et ils mettaient généralement moins de 15 minutes pour y répondre.

1.4.3.3. L'esquisse

Après avoir répondu au questionnaire, les étudiants devaient esquisser un plan de l'espace exploré afin d'évaluer leurs facultés mnémoriques mais surtout pour extérioriser la compréhension qu'ils avaient acquis de cet espace. Les consignes pour cet exercice de 5 minutes, étaient de ne pas accorder trop d'importance à l'esthétique du croquis mais plutôt d'identifier l'emplacement des six cubes, d'identifier la trame de l'espace et des éléments qui leur semblaient importants.

1.4.4. Les entretiens

Après que les sujets aient répondu aux différents questionnaires et esquissé un plan pour chaque espace virtuel, ils participaient à un entretien semi-dirigé d'une dizaine de minutes. Des questions générales y sont abordées mais surtout un retour sur leurs deux expériences. Le but de cet ultime exercice étant d'une part, d'évaluer leur compréhension des espaces et l'influence perçue des deux modes d'exploration. D'autre part, d'analyser

les perceptions permettant de valider ou non les résultats des tests et questionnaires. Voici la série de questions posée aux étudiants :

- Quel type d'EV vous a semblé le plus indiqué pour explorer efficacement l'espace?
- Quel questionnaire pensez-vous avoir le mieux réussi?
- Est-ce que le degré de réalisme de l'espace virtuel était suffisant?
- Quel espace vous a semblé le plus complexe?
- Lors de la navigation dans l'EV non interactif, y avait-il un ordre dans le défilement des images?
- Que pensez-vous de la 3D interactive/VRML?

2. Présentation des résultats

L'échantillon de cette expérience étant limité, aucune statistique sur les résultats des pré-tests et ceux des questionnaires n'est fournie. Le choix de classer les résultats dans un tableau récapitulatif a semblé pertinent et suffisant pour faire émerger les données nécessaires à l'analyse explicative (qualitative). Avant de présenter ce tableau, voici une présentation des résultats de chaque phase de l'expérience.

2.1. Résultats des tests de Guilford et Zimmerman

Pour les deux tests (orientation et visualisation spatiale), les résultats ont été classés en deux groupes en fonction du nombre de réponses données et des erreurs commises :

- Les « bons » c'est-à-dire ceux ayant obtenu des scores satisfaisants à élevés;
- Les « faibles » c'est-à-dire ceux ayant obtenu des scores faibles, ayant commis plus que 10 erreurs.

En effet, Scribante (2000) indique que les personnes ayant commis moins de 10 erreurs sont à classer dans le groupe des « bons », du moment que le nombre des questions auxquelles ils ont répondu avoisine la moyenne des réponses engendrée par la totalité des participants. Pour le test sur l'orientation spatiale, les sujets ont en moyenne répondu à 38 questions. Pour le test sur la visualisation spatiale, la moyenne est de 33 questions.

Il s'est avéré que les étudiants qui ont obtenu des bons résultats pour le test d'orientation spatiale, obtiennent également de bons résultats pour le test de visualisation spatiale. Le tableau 2 qui suit présente ces premiers résultats qui confirment les conclusions de travaux précédents de Scribante (2000) et de Darken et Peterson (2002),.

Tableau 2 : résultats des tests psychométriques de Guilford et Zimmermann

Sujet	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Orientation spatiale	24/40	41/45	34/39	37/39	34/38	47/52	36/42	13/25	2/21	35/43
visualisation spatiale	26/36	32/36	36/46	25/28	38/39	35/39	35/39	28/39	18/28	31/31
Groupe	faible	bon	bon	bon	bon	bon	bon	faible	faible	bon

2.2. Résultats du questionnaire

Le dépouillement des résultats du questionnaire s'est fait en fonction de deux catégories de 9 questions énoncées précédemment (cf. figure 29 et 30) qui concernent les connaissances des itinéraires (distance parcourue, nombre de virages et direction des virages) et celle de la configuration (distance euclidienne, positions relatives et angles relatifs). Quant au dépouillement des résultats, il convient de signaler qu'il y a eu trois types de réponses : les réponses fausses, les réponses correctes et celles pour lesquels les sujets ont répondu qu'ils ne savaient pas ("je ne sais pas "). Ces réponses ont été traitées comme les réponses fausses. La valeur 1 a été attribuée aux réponses justes et la valeur 0 aux réponses fausses ainsi qu'aux réponses « je ne sais pas » comme l'on fait Scribante (2000) et Hemecker (1999). Le tableau 3 qui suit présente les résultats obtenus.

À la lecture de ce tableau, il apparaît que majoritairement (les sujets 1,3,5,6,8,9 et 10) ont obtenu de meilleurs résultats (itinéraire et configuration) lors de l'exploration en mode actif qu'en mode passif, et ce, quelque soit l'ordre dans lequel ils ont subi les deux tests. Cependant, il est à noter qu'il n'y a pas de grande différence entre les deux types de connaissances. Les étudiants ont fourni presque autant de bonnes réponses pour les questions relatives aux connaissances des itinéraires que ceux de la configuration.

Par rapport au temps imparti pour répondre au questionnaire, il faut remarquer que certains sujets ont réussi à fournir jusqu'à 7 bonnes réponses sur 9 aux questions liées à la configurations alors que d'autres n'ont pas été capable d'en fournir une seule. De plus, le nombre de bonnes réponse au questionnaire qui peut sembler relativement faible peut s'expliquer par le temps d'exposition limité à quinze minutes.

Tableau 3 : résultats des questionnaires

Sujet	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Première expérience											
Mode d'exploration	actif	passif	passif	actif	passif	actif	actif	passif	actif	passif	
Monde virtuel	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Itinéraire	4/9	8/9	4/9	0/9	3/9	5/9	4/9	4/9	4/9	4/9	40/90
Configuration	3/9	5/9	3/9	0/9	3/9	3/9	4/9	4/9	4/9	4/9	33/90
Seconde Expérience											
Mode d'exploration	passif	Actif	Actif	passif	actif	passif	passif	actif	passif	actif	
Monde virtuel	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Itinéraire	1/9	8/9	5/9	1/9	6/9	1/9	3/9	7/9	1/9	7/9	40/90
Configuration	0/9	6/9	6/9	1/9	7/9	0/9	5/9	7/9	0/9	8/9	40/90

Par ailleurs, d'après le tableau 3, la complexité des sites semble comparable puisque les réponses données varient en fonction du mode d'exploration et non de l'espace exploré. En effet, la somme de bonnes réponses fournies (itinéraire+configuration) dans le monde 1 (73 réponses) est comparable à celles fournies dans le monde 2 (80 réponses). Les 7 réponses supplémentaires fournies dans le monde 2 proviennent des questions relatives à la configuration qui a été jugé plus complexe par les sujets.

2.3. Résultats des esquisses

L'évaluation des esquisses s'est basée sur des critères objectifs trouvés dans la littérature. Appliqués pour les besoins de cette étude, ils ont permis de classer les esquisses. Ces critères sont :

- La trame/grille du monde virtuel est identifiable et reconnaissable, même si elle comporte de légers défauts.
- les cubes sont bien identifiés et correctement placés (Scribante, 2000).
- Le point de repère (église ou tour, respectivement dans chacun des deux espaces) est bien identifié.

Selon ces critères, les esquisses peuvent être considérées comme faible, moyenne ou bonne. Ci-dessous, la figure 31 présente quelques exemples d'esquisses produites par les étudiants.

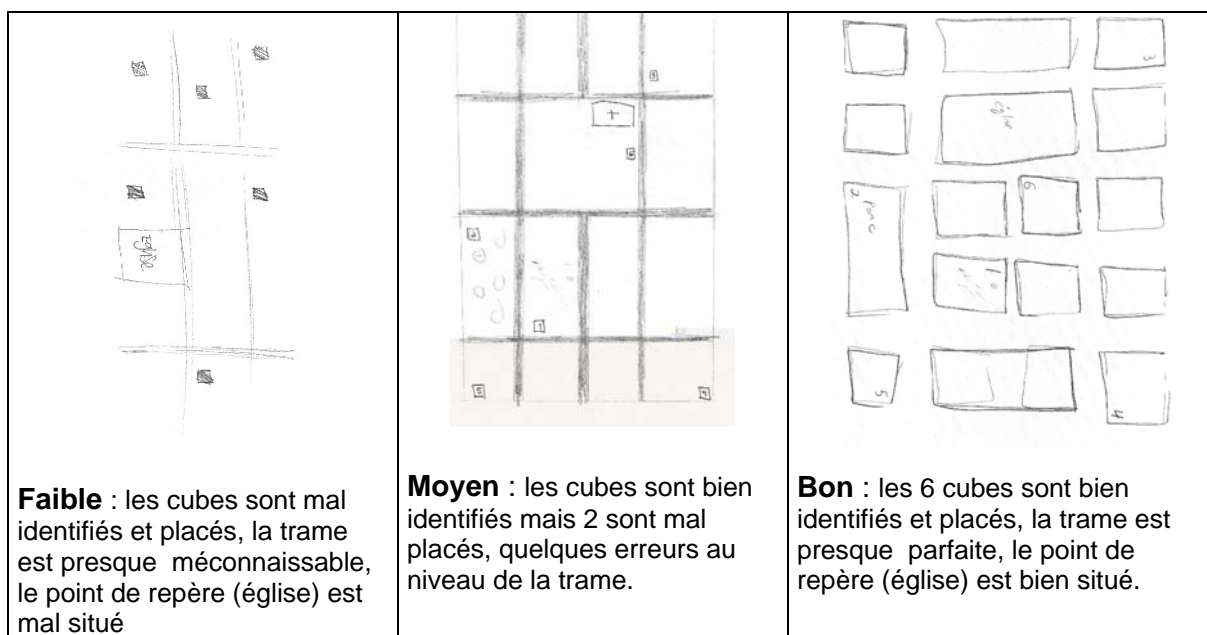


Figure 31 : Exemple d'esquisses produites par les étudiants du même espace (1) selon un mode d'exploration passif dans les trois cas

L'analyse des esquisses indique qu'il y a eu une légère influence des modes d'exploration sur la formation d'une carte mentale d'un environnement chez les étudiants. Quelques améliorations apparaissent entre les modes d'exploration passif et actif, mais en aucun cas ne se produit une contradiction, c'est-à-dire, d'une esquisse qui répond peu aux critères énoncés ci-dessus (faible) à une autre de très bonne qualité. Ce point sera discuté ultérieurement. Le tableau 4 suivant présente ces résultats.

Tableau 4 : résultats des esquisses

Sujet	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Première expérience										
Mode d'exploration	actif	passif	passif	actif	passif	actif	actif	passif	actif	passif
Qualité des esquisses	moyen	bon	moyen	faible	faible	moyen	bon	faible	moyen	moyen
Seconde Expérience										
Mode d'exploration	passif	Actif	Actif	passif	actif	passif	passif	actif	passif	actif
Qualité des esquisses	faible	bon	moyen	faible	moyen	faible	bon	moyen	faible	bon

De même, la figure 32 dans la page suivante présente les esquisses de certains sujets où l'impact du mode d'exploration actif devient plus clair.

2.4. Résultats des entrevues

En analysant les entrevues, plusieurs points semblent récurrents dans les réponses fournies par les sujets. La perception des étudiants au niveau des modes d'exploration, de la complexité des espaces visités, du réalisme de ces derniers et au temps alloué pour effectuer la tâche a conduit à ces commentaires :

- Le mode d'exploration actif permet une meilleure compréhension de l'espace visité : « ...en se déplaçant, on a une idée de l'espace, des distances, de la position des objets entre eux... » (sujet 6); « ...avec le non interactif, on sait pas les distances entre chaque vues... » (sujet 3); « ...dans l'espace interactif, on choisit les infos que l'on veut... » (sujet 10); « ...c'est beaucoup plus facile dans l'espace interactif... » (sujet 5).
- Le mode d'exploration passif nécessite plus de concentration et de temps pour atteindre une bonne connaissance de l'espace : « ... il faut plus de temps pour se faire une idée de l'espace... » (sujet 3); « ...on reconnaît qu'il y a un parcours mais parfois c'est difficile à saisir le point de vue... » (sujet 5); « ... on reconnaît le parcours mais j'aurais aimé plus de point de vues... » (sujet 1); d'autres réponses vont dans ce sens.


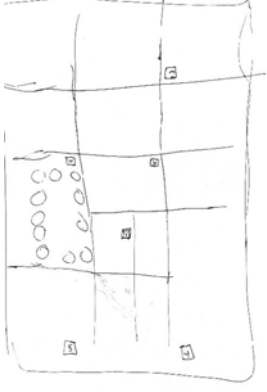
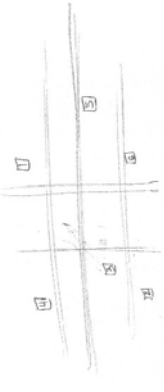

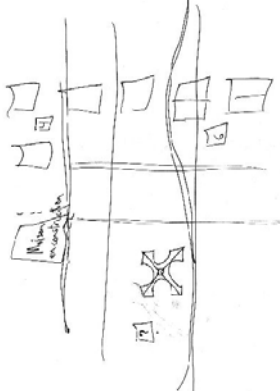
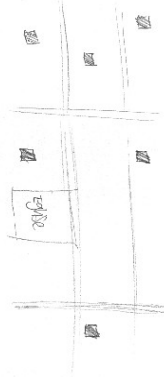
 <p>Première expérience : Déplacement passif</p>	 <p>Première expérience : Déplacement actif</p>	 <p>Première expérience : Déplacement passif</p>
 <p>Seconde expérience : Exploration active</p>	 <p>Seconde expérience : Exploration passive</p>	 <p>Seconde expérience : Exploration active</p>
<p>Sujet 7 : Bonnes esquisses dans les deux cas.</p>	<p>Sujet 6 : D'une esquisse moyenne lors de l'exploration active à une esquisse faible lors de l'exploration passive</p>	<p>Sujet 8 : D'une esquisse moyenne lors de l'exploration active à une esquisse faible lors de l'exploration passive.</p>

Figure 32 : Exemples d'esquisses fournies par 3 étudiants

- Le réalisme des espaces visités était suffisant : « ...le réalisme est suffisant mais on sait que c'est une représentation abstraite... » (sujet 6); « ...suffisant mais manque un peu de dynamisme dans l'espace interactif... » (sujet 8); « ...je suis visuel, les textures ajoutent beaucoup au réalisme... » (sujet 2); d'autres réponses vont dans ce sens.
- Le premier environnement (monde 1) est moins complexe que le second : A l'exception des sujets 2 et 4 pour qui les « ...deux mondes sont faciles... », tous les autres sujets ont trouvé que le monde 2 était plus complexe que le premier :

« ...la trame du monde 2 est irrégulière... » (sujet 3); « ...il y a plus de maisons dans monde 2... » (sujet 6); « ...dans le monde 2, les cubes sont placés proches, j'ai eu du mal à me retrouver... » (sujet 9); d'autres réponses vont dans ce sens.

2.5. Synthèse des résultats

Dans le tableau 5 récapitulatif, les résultats des différentes phases de l'expérience sont présentés. Les trois sujets marqués en noir (2, 4 et 7) sont ceux qui n'ont subi aucune influence du mode d'exploration : les résultats de leurs esquisses et de leurs questionnaires en témoignent.

2.5.1. Relation entre résultats des pré-tests psychométriques et ceux du questionnaire

L'analyse des résultats des tests psychométriques de Guilford et Zimmerman indique l'existence d'une relation entre les résultats de ces derniers et ceux du questionnaire.

Les 3 sujets (1, 8 et 9) qui ont obtenu de faibles résultats aux prétests, n'ont pas produit des esquisses de bonnes qualités ni des résultats dépassant la moyenne au questionnaire. Seuls les étudiants qui avaient de bonnes habiletés spatiales ont pu produire des esquisses de bonne qualité.

2.5.2. Relation entre les résultats du questionnaire et ceux des esquisses

Le tableau 5 montre qu'en général la qualité des esquisses est intimement liée aux résultats du questionnaire. Lorsque le score de ces derniers est relativement bas alors l'esquisse produite est de faible qualité; et plus les résultats du questionnaire s'améliorent, plus les esquisses gagnent en qualité. Ces résultats semblent cohérents puisque pour répondre aux questions, certains étudiants affirmaient au cours des entrevues qu'ils se faisaient une carte mentale de l'espace exploré.

Tableau 5 : tableau récapitulatif des résultats de l'expérience

Sujet	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Résultats des prétests	faible	bon	bon	bon	bon	bon	bon	faible	faible	Bon
Première expérience										
Mode d'exploration	actif	passif	passif	actif	passif	actif	actif	passif	actif	passif
Monde virtuel	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Itinéraire	4/9	8/9	4/9	0/9	3/9	5/9	4/9	4/9	4/9	4/9
Configuration	3/9	5/9	3/9	0/9	3/9	3/9	4/9	4/9	4/9	4/9
Qualité des esquisses	moyen	bon	moyen	faible	faible	moyen	bon	faible	moyen	moyen
Seconde Expérience										
Mode d'exploration	passif	Actif	Actif	passif	actif	passif	passif	actif	passif	actif
Monde virtuel	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Itinéraire	1/9	8/9	5/9	1/9	6/9	1/9	3/9	7/9	1/9	7/9
Configuration	0/9	6/9	6/9	1/9	7/9	0/9	5/9	7/9	0/9	8/9
Qualité des esquisses	faible	bon	moyen	faible	moyen	faible	bon	moyen	faible	bon

2.5.3. Relation entre les résultats quantitatifs et ceux de l'entrevue

Les perceptions des étudiants par rapport à leur performance lors de l'expérimentation semblent rejoindre les différents résultats contenus dans le tableau 5 de synthèse. En effet, les étudiants semblaient plus satisfaits de leur expérience en mode actif qu'en mode passif. Cependant, une des conclusions qui revient souvent dans les entretiens mais pas dans les chiffres, est le niveau de complexité plus élevé perçu du monde 2. Toutefois, les résultats des questionnaires indiquent au contraire qu'il y a eu plus de bonnes réponses lors de l'exploration du monde 2. Et généralement, les sujets qui ont obtenus des bons résultats les ont obtenus dans les deux espaces. Ces résultats peuvent s'expliquer par le fait que tous les étudiants ont commencé à naviguer dans le monde 1 (mode actif et passif) ce qui a pu faciliter l'exploration du monde 2. Il peut aussi s'agir de l'effet de la

concentration accrue utilisée pour explorer le monde 2, perçu plus complexe. De plus, même si la plupart des sujets ont affirmé, au cours de l'entrevue, que le fait de commencer par le monde 1 et de répondre au premier questionnaire n'a pas influencé l'exploration du monde 2 et les réponses du second questionnaire, il s'avère que cette perception demeure relativement faussée.

Enfin, il est à noter que les 3 sujets qui ont obtenu de mauvais résultats aux prétests et des résultats en dessous de la moyenne pour les deux questionnaires et les esquisses, avaient très bien perçu leurs lacunes et en ont témoigné, au cours de l'entrevue, de leur insatisfaction face à leur performance.

3. Discussion

La littérature indique qu'une évaluation uniquement subjective, soit une auto-évaluation des sujets par le biais d'entrevues post-expérimentales, peut nuire et fausser les conclusions d'une recherche. Ainsi, plusieurs auteurs ont choisi de combiner une évaluation subjective aux résultats « objectifs » des chiffres et autres données quantitatives. C'est cette approche d'analyse, combinée aux conclusions des recherches expérimentales abordées dans le chapitre précédent, qui enrichiront la discussion qui suit. Tout en sachant que l'échantillon est trop faible pour une validation statistique des résultats de la recherche.

Pour bien discuter des résultats obtenus lors des différentes phases de l'expérience, un retour sur les hypothèses de recherche s'impose.

3.1. Première Hypothèse

La première hypothèse porte sur l'influence positive d'un mode d'exploration actif par rapport à une exploration passive d'un même espace sur l'acquisition de la connaissance des itinéraires. Les résultats des différentes phases de l'expérience montre la validité de cette hypothèse. La théorie soutient les résultats obtenus puisqu'elle souligne qu'en mode marche, les sujets possèdent une bonne connaissance des itinéraires qui fonctionnent dans un cadre de référence égocentrique.

Par contre, certaines études comme celles de Wilson et al. (1997) ou encore de Carassa et al. (2002), rapportent des conclusions qui ne vont pas dans le même sens de celles

obtenues dans la présente étude. Plusieurs raisons peuvent expliquer ces divergences. Dans le cas de Wilson et al., le principe qui stipule que l'acquisition des connaissances spatiales varie en fonction de la tâche à effectuer, de la complexité de l'environnement et du mode d'exploration dans un EV rend plausible le fait que les résultats des deux expériences soient différents puisque dans leur expérience, Wilson et al. mesuraient l'influence de deux modes d'exploration différents de celui utilisé dans la présente recherche⁵⁶.

Quant à la recherche de Gaunet et al. (2001), dont les conditions expérimentales ressemblent les plus aux présentes⁵⁷, ses conclusions ne soulignent aucune influence des conditions d'exploration de l'espace virtuel. Pour ces auteurs, une compréhension spatiale de la scène n'exige ni un déplacement actif ni une continuité de la simulation ; des images statiques 2D peuvent suffire. Les résultats obtenus dans la présente étude sont en contradiction avec l'étude de Gaunet et al., probablement à cause de l'itinéraire suivi par les sujets, qui est presque en ligne droite alors que dans la présente expérience, les deux espaces virtuels proposés reposent sur une trame urbaine orthogonale irrégulière et un trajet en « S ». Par conséquent, les étudiants devaient donc effectuer un travail mental plus important surtout lors de l'exploration passive. De plus, alors que dans la présente expérience les sujets pouvaient explorer les espaces virtuels de manière psychologiquement et physiquement active, dans l'étude de Gaunet et al., les sujets devaient suivre les indications verbales des chercheurs (exploration physiquement active et psychologiquement passive), ce qui a peut-être favorisé un nivellement (par ces instructions) de la tâche à accomplir dans les deux EV actif et passif.

3.2. Seconde hypothèse

La seconde hypothèse se réfère directement aux conclusions de l'expérience de Gaunet et al. (2001) qui indiquent que le mode d'exploration influence l'esquisse de l'itinéraire. Les esquisses des sujets lors de l'exploration active seront plus fidèles que lors de l'exploration passive. Dans la présente recherche, les résultats obtenus confirment cette hypothèse de travail puisqu'en effet lorsque les étudiants passaient d'un mode de

⁵⁶ Wilson et al. (1997) disposaient d'un EV non immersif où les sujets pouvaient explorer un espace soit en mode marche (actif) ou par le biais d'une animation prédéfinie (passif).

⁵⁷ Trois groupes de 48 sujets exploraient l'espace virtuel : les membres du premier groupe « exploration active » pouvaient naviguer grâce à un joystick dans l'environnement en exécutant les directives verbales des chercheurs (exploration physiquement active et psychologiquement passive) . Le second groupe « exploration passive » disposait d'un itinéraire prédéfini par l'ordinateur (exploration physiquement et psychologiquement passive) ; enfin, le troisième groupe « exploration par images » disposait d'une série de 47 images statiques comme mode d'exploration.

d'exploration actif à un autre passif, la qualité de leurs esquisses conservaient leur niveau (faible, moyen ou bon) ou accédaient à un degré supérieur. Par extension, il est possible de déduire de cette hypothèse que le mode d'exploration influence positivement l'acquisition de la connaissance de la configuration. Les recherches expérimentales de Wilson et al. (1997) et Carassa et al. (2002) ne vont pas dans le même sens que l'hypothèse soulevée dans ce travail pour les mêmes raisons évoquées dans le point précédent.

Au cours des entretiens avec les étudiants, plusieurs pensaient que le temps imparti était insuffisant dans le cas de l'exploration passive, qui nécessite plus de concentration et de temps pour atteindre une bonne connaissance de l'espace visité. Les résultats de la recherche semblent démontrer le bien fondé de cette perception des sujets puisqu'en mode passif, les étudiants ont fournis 55 bonnes réponses (itinéraire + configuration) alors qu'en mode actif, ils ont réussi à répondre à 99 questions soit presque le double.

Résumé

Les résultats de l'expérience ont confirmé les hypothèses de recherche sur l'influence positive d'un mode d'exploration actif sur l'acquisition des connaissances spatiales par rapport au mode passif.

Même si les résultats obtenus divergent des conclusions obtenues dans d'autres recherches expérimentales, il est légitime de penser que plusieurs facteurs ont permis ces résultats. Lors de la réalisation/conception des espaces virtuels utilisés pour l'expérimentation, les principes énoncés dans la littérature sur la conception de mondes intelligibles ont été globalement respectés. Ainsi, les deux espaces sont organisés et structurés selon une trame orthogonale (irrégulière) qui selon Passini (1994) atténue le sentiment de désorientation, de même l'utilisation de points de repère distinguables (les six cubes numérotés et de couleurs différentes) facilite la lecture spatiale (Vinson, 1998).

Par ailleurs, les sujets/participants à l'expérience sont des étudiants en architecture de troisième année. Cela peut constituer un autre facteur expliquant les résultats obtenus puisque ces sujets sont habitués à manipuler l'interface utilisée pour l'expérimentation, en plus d'accorder, par « déformation » académique, un intérêt particulier à la configuration spatiale de tout nouvel environnement qu'ils explorent. Ainsi, les résultats obtenues par ce

faible échantillon composé uniquement de personnes « expertes », ce qui limite d'autant la généralisation des résultats de la présente recherche, suggère que l'expertise des utilisateurs dans la manipulation des EV joue un rôle dans l'acquisition des connaissances spatiales. En comparant les résultats de cette recherche avec celle de Gaunet et al. (2001), il est compréhensible que les sujets « non experts » (dans le cas de Gaunet et al.) performant de manière similaire dans les deux conditions d'exploration (active et passive) puisqu'ils doivent produire dans les deux cas un effort cognitif plus important que les sujets « experts » (comme dans la présente recherche). Mais ceci n'invalide en aucun cas l'apport des EV interactifs sur l'acquisition des connaissances spatiales puisque tous les sujets étaient des experts.

Conclusions

La conception architecturale, abordée comme un processus itératif de recherche d'une solution « acceptable » à partir d'hypothèses de design initiales (Simon, 1969), sollicite le besoin en représentations. Ces dernières sont essentielles à tout acte créatif et à toutes les phases du processus de design puisqu'elles constituent un moyen de projection de la pensée de l'architecte et de son savoir-faire. La représentation demeure l'outil indispensable à la boucle de rétroaction qui elle-même est consubstantielle au processus d'évaluation des hypothèses de design. À propos du processus de conception, Prost (1992) avance qu'il « faut agir en pensant et penser en agissant » ce qui incite à penser que les représentations internes (mentales) et externes doivent se faire de manière interactive et dynamique pour atteindre une solution jugée acceptable. L'outil qui facilitera l'extériorisation de ces idées, doit donc jouer un rôle déterminant dans le processus de conception puisqu'il influence directement le processus de design.

Ainsi, cette recherche s'inscrit dans ce questionnement général qui porte sur la 3D interactive en temps réel comme outils de représentation. Dans le cadre d'une approche expérimentale empruntée à la psychologie cognitive, il s'agit d'illustrer l'influence de la 3D interactive en temps réel, versus la 3D non interactive, sur l'acquisition des connaissances spatiales par l'étude du mode d'exploration dans deux espaces virtuels similaires en complexité. Les résultats de la recherche soulignent une influence positive de la 3D interactive sur la formation d'une compréhension spatiale des environnements visités lors de l'exploration « active » alors qu'en mode « passif », il s'est avéré que les esquisses représentant les espaces virtuels comportaient plus d'erreurs de configuration spatiale. Ces conclusions, qui ne peuvent être généralisées du fait du nombre limité de sujets, ne coïncident pas avec les résultats déjà obtenues par d'autres chercheurs ce qui pourrait être expliqué en partie grâce à des facteurs empiriques qui font consensus chez ces mêmes chercheurs (Carassa et al., 2002; Gaunet et al., 2001; Scribante, 2000; Waller et al, 2000) qui stipulent que l'acquisition des connaissances spatiales passent par trois facteurs ; l'environnement, la tâche à effectuer dans ce dernier et enfin la technique de navigation. Bowman (2002) rajoute un élément qui est sous-jacent à ces trois facteurs :

l'utilisateur. Dans le cadre de cette recherche, ce facteur, les « sujets/utilisateurs de l'interface », des étudiants en troisième année d'architecture, habitués à manipuler des données spatiales et à utiliser des EV 3D non immersifs, a sûrement joué un rôle déterminant dans les résultats obtenus. Cette « expertise » des étudiants nécessitait probablement moins d'effort cognitif lors de l'exploration des espaces virtuels. Les travaux aussi bien dans le domaine de la psychologie cognitive que dans celles des interfaces homme machine soulignent que plusieurs facteurs humains et technologiques influencent la navigation dans un espace virtuel mais il demeure, aujourd'hui, impossible de quantifier et classer ces différents facteurs. Ainsi, d'autres études restent à faire pour démontrer la réelle influence de la 3D interactive et quels en sont les facteurs déterminants.

Difficultés rencontrées

Au cours des différentes étapes de la réalisation de ce travail, plusieurs questionnements ont émergé nécessitant parfois un repositionnement des hypothèses de recherche et de la méthodologie. Ainsi, dès les premières étapes de l'étude, s'est imposée la notion de compétence puisqu'il fallait puiser dans des connaissances en cognition spatiale, un domaine de recherche qui n'est pas intégré directement dans le cursus académique traditionnel en architecture. Mais ayant été introduit au concept de la complexité et étant convaincu qu'un phénomène complexe nécessite l'utilisation de plusieurs facteurs/connaissances pour le comprendre, il semblait enrichissant (voire naturel), intellectuellement, de s'ouvrir et de découvrir un autre champ de recherche, qui est en relation d'interdépendance avec la conception architecturale.

Au niveau méthodologique, deux problèmes ont soulevé des interrogations. Le premier concerne la conception des espaces virtuels ayant servis à l'expérimentation. Définir deux espaces similaires en complexité par leur configuration n'a pas été un travail commode surtout que dans la littérature il n'existe pas, à notre connaissance, des études ayant spécifiée des critères objectifs de conception de ces espaces virtuels, sinon des recommandations par certains auteurs pour la conception d'environnements intelligibles. Recommandations qui ont été suivies dans le cadre de ce travail. Ce questionnement fut amplifié lors des entrevues réalisées à la dernière phase de l'expérimentation, puisque les étudiants pensaient généralement que le second espace virtuel était plus complexe que le

premier. Cependant, les résultats de l'expérience montrent que la complexité des deux mondes virtuels n'a pas eu un impact comme en témoigne les résultats des questionnaires relatifs l'acquisition des connaissances spatiales.

La seconde difficulté est survenue lors de l'analyse des résultats obtenus durant les différentes phases de l'expérimentation. Analyser de manière qualitative des données quantitatives (questionnaires) auxquelles s'ajoutent des données qualitatives (entretiens) ne s'est pas déroulé spontanément. L'utilisation de tableaux récapitulatifs a cependant beaucoup aidé à la synthèse des résultats, à la discussion, à l'émergence et la formulation des conclusions.

Travaux futurs

La présente étude souligne l'importance de l'acquisition des connaissances spatiales sur l'extériorisation des idées de design. Toutes les études consultées portant sur la conception architecturale ont statué la nécessité de recourir aux représentations durant tout le processus quelque soit le médium utilisé. En effet, comme le souligne Gross et al. (2001), un seul type de représentation ne permet pas le dévoilement de tous les aspects d'un projet et surtout, ce dernier varie en fonction de l'étape du processus dans lequel il se situe. Une œuvre architecturale et sa représentation doivent être compréhensibles et accessibles par tous les acteurs du projet. Aujourd'hui, en plus des medias traditionnels de représentations (esquisses, maquettes, etc.) existent les medias numériques (logiciels de CAAO, animations, EV, etc.). Il faut sortir du faux débat de la comparaison entre medias traditionnels et l'utilisation de la 3D et articuler un discours plus respectueux des compétences et des intérêts de chacun ; chaque outil pouvant répondre à des besoins ponctuels chez chaque concepteur. Il faut penser l'ordinateur avec les potentiels que lui seul peut offrir et avoir une vision plus large qui prône une utilisation intelligente de l'outil comme moyen d'expression et de projection de la pensée de représentation. Il faut mettre en avant la capacité des jeunes architectes et/ou utilisateurs de la 3D à produire des systèmes syncrétiques. Systèmes qui prennent la forme de « bricolages » très personnels, révélant une part de liberté dans l'utilisation du langage pluriel qu'offre la 3D.

« Fini la répétition et l'uniformité des immeubles fonctionnels. Grâce aux nouvelles techniques de construction et à la conception par ordinateur, les architectes peuvent inventer et gérer une plus grande complexité », c'est ainsi que débute un article du

Courrier International (avril, 2004) en présentant le nouvel édifice⁵⁸ de l'architecte Frank O. Gehry. Ainsi, avec le développement technologique, les capacités de traitement des ordinateurs, qui permettent notamment un affichage plus rapide et plus réaliste grâce à l'évolution des algorithmes de rendus en temps réel, proposent de nouvelles options formelles et conceptuelles aux designers. Actuellement, les logiciels de CAO (FormZ, Maya, ArchiCAD, etc.) permettent de visualiser des maquettes numériques de bâtiments en temps réel avec cependant une qualité de rendu réduite (encore pour un temps). Cela laisse néanmoins penser à une évolution dans un usage plus « intelligent » de la 3D interactive en temps réel notamment avec des langages de description de scènes 3D comme le X3D, qui permet de produire en temps réel des rendus réalistes avec des effets de transparence, de reflets et d'ombrage de très bonne qualité. Quant aux EV immersifs, après l'avenir prometteur et idéalisé par les médias de ce genre d'interface, il reste encore du chemin à parcourir au niveau des coûts et d'une utilisation intuitive de ces interfaces comportementales (Fuchs et al., 2001).

En ce qui a trait à la conception des mondes virtuels, il faudrait penser à résoudre leurs problèmes d'orientation dans l'espace. Lorsqu'il s'agit d'espaces virtuels reproduisant le réel, ces difficultés sont moins dramatiques puisqu'il est plus simple de reproduire des gestes de la vie courante (Waller et al., 2000). Dans le cas d'espaces purement fictifs, comme c'est le cas avec les jeux vidéo, l'architecture virtuelle, ou les espaces conçus en atelier académique, en plus des travaux qui s'inspirent des recherches en cognition spatiale sur les environnements réels et le transfert de ces connaissances dans le virtuel, il faut s'orienter vers l'étude des mondes virtuels et de leurs spécificités. Les architectes ont ici un rôle important à jouer, voire déterminant puisqu'il s'agit toujours du domaine de l'organisation esthétique et fonctionnelle de l'espace. Les ateliers et cours sur l'architecture virtuelle qui se développent dans les écoles confirment l'importance et l'intérêt de cette démarche.

⁵⁸ La salle de concert Walt Disney, à Los Angeles.

Références

Alexander, C. (1971). *De la synthèse de la forme*. Paris : Dunod.

Arthur, P., Passini, R. (1992). *Wayfinding: People, Signs and Architecture*. New York : McGraw-Hill Publishing Company.

Akin, O. (1986). "An exploration of the design process," *In Developments in Design Methodology*, (eds). New-York: Wiley. 189-208.

Allen, B. (1999). "Individual differences and the conundrums of user-centered design: two experiments". *Journal of the American society for information science*, 51(6), 508–520.

Ballard, J.G. (1988). *Le jour de la création*. Paris : Flammarion.

Barfield, W. and Hendrix, C. (1995). "The Effect of Update Rate on the Sense of Presence within Virtual Environments, Virtual Reality". *The Journal of the Virtual Reality Society*, 1(1), 3-16.

Baudrillard, J. (1995): *Le crime parfait*. Paris : Galilée.

Beaumont, P. B., Gray, J., Moore, G.T. et Robinson, B. (1984). « Orientation and wayfinding in the tauranga department building : a focused post occupancy evaluation ». *Environmental Design Research Association Proceedings*, 15, 77-91.

Beck, R. et Wood, D. (1976). "Cognitive transformation of information from urban geographic fields to mental maps". *Environment and Behavior*, 8, 199-238.

Bélisle, C. et Linard, M. (1996). « Quelles nouvelles compétences des acteurs de la formation dans le contexte des " TIC " ? » dans *Éducation Permanente*, no 127, p. 19-47.

Bermudez, J. (1994). "Virtual Architectural Experiences. Implications of a Representational Revolution". Université de Utah. [En Ligne]. <http://faculty.arch.utah.edu/people/faculty/Julio/ark.htm>

Bernatovich, D. (2000). " The effect of presence on the ability to acquire spatial knowledge in virtual environments". Mémoire de maîtrise. Naval Postgraduate School. Californie.

Bertol, D. (1997). *Designing digital space: an architect's guide to virtual reality*. New York : Wiley.

Bosselmann, P. (1992). *Visual simulation in urban design*. Berkeley: Université de Californie.

Boudon, Ph. (2002). *Échelle(s) : l'architecture comme travail d'épistémologue*. Paris : Anthropos.

- Bowman, D.A. (2002). "3D User Interface Design for Virtual Environments". [En Ligne]. <http://courses.cs.vt.edu/~cs5754/lectures/3DUIs.pdf>
- Bowman, D.A., Hodges, L. et Bolter, J. (1998). « The Virtual Venue: User-Computer Interaction in Information-Rich Virtual Environments ». *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 7(5), 478--493
- Bret, M. (1988). *Image de synthèse : méthodes et algorithmes pour la réalisation d'images numériques*. Paris : Dunod.
- Bricken, M. (1991) "Virtual reality learning environments: potential and challenges" *Computer Graphics*, (25)3, 178-84.
- Broadbent, G. (1966). "The Development of Design Methods," *Design Methods and Theories*.
- Burdea, G. et Coiffet, P. (1996). *La Réalité Virtuelle*. Paris: Hermès.
- Buttenfield, B.P. (1986). "Comparing Distortion on Sketch Maps and MDS Configurations » *Professional Geographer*, 38(3):238-246.
- Butler, D. L., Acquino, A.L., Hissong, A.A et Scott, P.A. (1993). « Wayfinding by newcomers in a complex building ». *Human Factors*, 35(1), 159-173.
- Cadoz, C. (1994). *Les réalités virtuelles*. Paris : Dominos-Flammarion.
- Campbell, D.A. (1994). *A Critique of Virtual Reality in the Architectural Design Process*. Université de Washington HITL. [En Ligne]. <http://www.hitl.washington.edu/publications/r-94-3/>.
- Carassa, A., Geminiani, G., Morganti, F. et Varotto. D. (2002). "Route and survey descriptions of paths: The effect of experience of a large-scale environment". *Bulletin of People-Environment Studies*. Special Issue on Spatial Cognition.
- Chandrasekaran, B. (1999). "Multimodal Perceptual Representations and Design Problem Solving". [En Ligne]. <http://www.cis.ohio-state.edu/~chandra/>
- Charitos, D. (1997). "Designing Space in VE's for Aiding Wayfinding Behaviour" *Proceedings of the 4th UK Virtual Reality Special Interest Group Conference*. Brunel University : Brunel University Printing Services.
- Chen, J., Stanney, K. (2002). "A theoretical model of wayfinding in virtual environments: Proposed strategies for navigational aiding". *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 8, 6.
- Clark, A.C. <http://www.clarkefoundation.org/>
- Conan, M. (1990). *Concevoir un projet d'architecture*. Paris : L'Harmattan.

- Conroy, R.A. (2001). *Spatial Navigation in Immersive Virtual Environments*. Department of Architecture. London : University College London. [En Ligne]. <http://undertow.arch.gatech.edu/homepages/rdalton/thesis.htm>.
- Cruz-Neira, C. (1993). "Surround-screen projection-based virtual reality: The design and implementation of the CAVE". *ACM Computer Graphics*, 27(2), pp 135-142.
- Darken, R.P., Sibert, J.L. (1996). "Navigating *Large Virtual Spaces*". *International Journal of Human-Computer Interaction* 8(1).
- Darken, R. P. (2000). « The Transfer of Strategies from Virtual to Real Environments: An Explanation for Performance Differences? ». *Virtual Worlds and Simulation '99*.
- Darken, R.P., Petterson, J. (2002). "*Spatial Orientation and Wayfinding in Large-Scale Virtual Spaces II*". *Presence* 8(6).
- Davidson, J., Campbell, D. (1996). "Collaborative Design in Virtual Space - GreenSpace II: A Shared Environment for Architectural Design Review ". Actes de la conférence ACADIA. *Design Computation: Collaboration, Reasoning, Pedagogy*. Tucson (Arizona / USA). [En Ligne]. <http://www.hitl.washington.edu/vrml/greenspace/index.html>.
- Desbois, D., Leflon, S., Bagnol, F., Guyomarch, N. et Hanin, F. (1998). *Système IDOS*. Université de Bretagne Occidentale - Institut de Geoarchitecture.
- De Vries, B. (2001). *DDDoolz: VR-based sketching tool for architectural design*. [En Ligne]. <http://www.ds.arch.tue.nl/Research/DDDoolz>
- De Vries, B. et Achten, H. (1998). "What offers Virtual reality to designers?". Conference on integrated Design & process technology. Berlin.
- Dorta, T.V. (2001). *L'influence de la réalité virtuelle non-immersive comme outil de visualisation sur le processus de design*. Thèse de Doctorat. Université de Montréal.
- Dumas, C. (2000). *Un modèle d'interaction 3D: Interaction homme-machine et homme-machine-homme dans les interfaces 3D pour le TCAO (Travail Collaboratif Assisté par Ordinateur) synchrone*. Thèse de Doctorat. Université de Lille. [En Ligne]. <http://www.lifl.fr/~dumas>.
- Durlach, N., Allen G., Darken R., Garnett R.L., Loomis, J., Templeman, J., et von Wiegand, T.E. (2000). « Virtual Environments and the Enhancement of Spatial Behavior: A Proposed Research Agenda ».
- Downs, R. M., Stea, D. (1977). *Maps in Minds: Reflections on Cognitive Mapping*. New York: Harper & Row.
- Ellis, C. (1994). "A Conceptual Model of Groupware", ACM Conference on Computer Supported Collaborative Work (CSCW'94). [En Ligne]. <http://www.ic.unicamp.br/~wainer/genpap.html>. (consulté en Decembre 2002).
- Elvins, T. (1997). "Wayfinding2: The Lost World". *Siggraph Computer Graphics Newsletter*.

- Estevez, D. (2001). *Dessin d'architecture et infographie : l'évaluation contemporaine des pratiques*, Paris : CNRS Éditions.
- Foley, J. (2000). *Introduction à l'infographie*. Paris : Vuibert.
- Fuchs, J. Moreau, G et Papin, J.P. (2001). *Le traité de la réalité virtuelle* . Nantes : Les Presses de l'Ecole des Mines.
- Gale, S. (1990). "Human Aspects of Interactive Multimedia Communication". *Interacting with Computers*. 2, 175-189.
- Gärling, T. (1986). "Spatial Orientation and Wayfinding in the Designed Environment: A Conceptual Analysis and Some Suggestions For Postoccupancy Evaluation". *Journal of Architecture, Plans and Resources* (3): 55-64.
- Gaunet, F., Vidal, M., Kemeny, A. et Berthoz, A. (2001). "Active, passive and snapshot exploration in a virtual environment: Influence on scene memory, reorientation and path memory". *CognitiveBrain Research*, 11, 409-420.
- Gero, J.S. (2002). "Computational models of creative designing based on situated cognition" *In* T Hewett and T Kavanagh (eds), *Creativity and Cognition 2002*, ACM Press, New York, NY, pp. 3-10.
- Gluck, M., (1990). "Making Sense of Human Wayfinding: A Review of Cognitive and Linguistic Knowledge for Personal Navigation with a New Research Direction". Myke Gluck School of Information Studies, Syracuse University, Syracuse, NY.
- Goel, V. (1995). *Sketches of Thought*. Cambridge, MA: MIT Press
- Goerger, S. R., Darken, R., Boyd, M., Gagnon, T., Liles, S., Sullivan, J. et Lawson, J (1998). "*Spatial Knowledge Acquisition from Maps and Virtual Environments in Complex Architectural Spaces*". 16th Applied Behavioural Sciences Symposium, U.S. Air Force Academy. Colorado Springs.
- Golledge, R. (1999). *Wayfinding behavior: Cognitive mapping and other spatial processes*. Baltimore: John Hopkins University Press.
- Gordon, W. J. J. (1961). *Synectics, the development of creative capacity*. New York: Harper.
- Gross, M. et Do, H. (1996). Demonstrating the Electronic Cocktail Napkin: a paper-like interface for early design. *ACM Conference on Human Factors in Computing (CHI '96)*.
- Gross, M., Do, H., McCall, R.J., Citrin, W.V., Hamill, P. et Warmack, A. (2001). "Collaboration and Coordination in Architectural Design: Approaches to computer mediated work". *TeamCAD symposium on collaborative CAD*. Georgia Institute of Technology. Atlanta. [En Ligne].<http://faculty.washington.edu/>. (consulté en Juin 2002).

- Guilford, J.P et Zimmerman, W.S. (1981). *Guilford-Zimmerman Aptitude Survey: Manual of instructions and interpretations*. Minneapolis : Consulting psychologists press.
- Heim, M. (1995). *The Design of Virtual Reality*, in M. Featherstone and R. Burrows (Eds.). London : Sage.
- Henry, D. (1992). *Spatial perception in virtual environments: Evaluating an architectural application*. Proceedings. VRAIS'93. [En Ligne].
<http://www.hitl.washington.edu/publications/henry/th-92-1.pdf>.
- Huriet, C. (1998). *Images de synthèse et monde virtuel : techniques et enjeux de société. Rapport d'information*. [En Ligne]. <http://www.senat.fr/rap/o97-169/o97-169.html>
- Huska-Chiroussel, V. (2000). *Le guidage dans les transports : Intérêt d'une information figurative. Analyse expérimentale et comparative de différents types d'aide*. Thèse de doctorat. Université Lumière Lyon 2.
- Ingram, R., Benford, S. (1995). "Improving the Legibility of Virtual Environments". Selected Papers from The Eurographics Workshops in Barcelona. Springer.
- Iordanova, I. et Tidafy, T. (2001). "Functional Modelling of Object-Types in Architecture - Figurations Supporting Knowledge-Based Creativity". In De Paoli, G. et Tidafi, T. Montréal : ACFAS.
- Jolival, B. (1995). *La réalité virtuelle*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Johns, C. (2002). *The spatial learning method*. Mémoire de maîtrise. Université de Cap Town.
- Jones, W. (1994). « Computer use and cognitive style ». *Journal of research on computing in education*, 26 :514.
- Kalawsky, R.S. (1993). *The Science of Virtual Reality and Virtual Environments*. New-York: Addison-Wesley.
- Kim, T. et Biocca, F. (1997). "Telepresence via television: Two dimensions of telepresence may have different connections to memory and persuasion". *Journal of Computer-Mediated Communication* 3(2) [En Ligne].
- Kitchin, R. M. (1994). "Cognitive maps: What are they and why study them?" *Journal of Environmental Psychology* 14: 1-19.
- Kitchin, R. M. (1996). "Methodological convergence in cognitive mapping research: Investigating configurational knowledge." *Journal of Environmental Psychology* 16: 163-185.
- Koh, G., von Wiegand, T.E., Garnett, R.L., Durlach, N.I. et Shinn-Cunningham, B. (1999). "Training Spatial Knowledge Acquisition using Virtual Environments" Department of Electrical Engineering and Computer Science, MIT.

- Krueger, M. (1991). *Artificial Reality*. New-York: Addison-Wesley
- Kruijff, E. (2001). *Supporting Shared Architectural Understanding*. Université de Hong-Kong.
- Kruijff, E., Donath, D. et Regenbrecht, H. (2001). "Spatial Knowledge Implications During Design Review in Virtual Environments". *ACADIA'03*. pp. 332--333.
- Kuhn, T. (1993). *The nature of science*. Cambridge: MIT Press.
- Kvan, T. (2003). "Revelation through re-presentation". *eCAADe 2003*. Université de Varsovie.
- Lamoureux, A. (2000). *Recherche et méthodologie en sciences humaines*. Laval : Éditions Études Vivantes.
- Lanier, J. (1986). *A Vintage Virtual Reality Interview*. <http://www.well.com/user/jaron/>
- Lawson, J.P. (1998). "Level of Presence or Engagement as a Function of Disengagement from a Concurrent Experience". Department of Computer Science, Naval Postgraduate School, California.
- Lebahar, J.C. (1983). *Le dessin d'architecture : simulation graphique et réduction d'incertitude*. Roquevaire : Parenthèses.
- Léglise, M. (2001). « Conception assistée : modélisation et interprétation ». In De Paoli, G. et Tidafi, T. Montréal : ACFAS.
- Lévy, P., 1990, *Les technologies de l'intelligence*. Paris : La Découverte.
- Liben, L. S. (1988). « Conceptual issues in the development of spatial cognition ». In J. Stiles-Davis, M. Kritchevsky, & U. Bellugi (Eds.). *Spatial cognition: Brain bases and development* (pp. 167-194). NJ: Erlbaum Associates.
- Lohman, D.F. et Snow, R.E. (1979). "Effects of aptitudes, strategy training and task facets on spatial task performance ». *Journal of Educational Psychology*, 76 (1), 130-145.
- Loomis, J. M. (1992). "Distal attribution and presence". *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 1, 113-119.
- Lynch, K. (1960). *The Image of the City*. Cambridge : MIT Press.
- Maher, M. L., Simoff, S., Gu, N. et Lau, K. H. (2000a). "Designing virtual architecture », *Proceeding of CAADRIA2000*, pp. 481-490.
- Maher, M.L., Cicognani, A., Simmof, S. (2000b). *Understanding Virtual Design Studio*. London: Springer-Verlag.
- Maher, M. L., Gu, N. and Li, F. (2001). "Visualisation and Object Design in Virtual Architecture" In J. S. Gero, S. Chase and M. Rosenman (eds), *CAADRIA2001*, University of Sydney, p. 39-50. [En Ligne]. <http://www.arch.usyd.edu.au/~mary/home.html>

- Marshall, T.B. (1992). *The computer as a graphic medium in conceptual design*. In Noble, K. (eds). ACADIA'92. Californie.
- Milon, A. (1999). *La valeur de l'information*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Moles, A. (1958). *Théorie de l'information et perception esthétique*. Paris : Flammarion.
- Montello, D. R. et Pick, H. L. (1993). « Integrating knowledge of vertically aligned large-scale spaces ». *Environment and Behavior*, 25, 457-484.
- Montello, D.R. (1998). "A new framework for understanding the acquisition of spatial knowledge in large-scale environments." In Golledge, R.G., Egenhofer, M.J. (Eds.), *Spatial and temporal Reasoning in Geographic Information Systems*. New York : Oxford University Press.
- Heilig, M. L. The father of virtual reality. [En ligne]. <http://www.mortonheilig.com/index.html>
- Norman, D.A. (1981). « Categorization of action slip ». *Psychological review*. Vol 88-1. pp1-15.
- Osborn, A. F. (1963). *Applied imagination; principles and procedures of creative problem-solving*. New York: Scribner.
- Ott, D. (1999). *Collaboration dans un environnement virtuel 3D : influence de la distance à l'objet référencé et du 'view awareness' sur la résolution d'une tâche de 'grounding'*. Mémoire de maîtrise. Université de Genève.
[En Ligne]. <http://tecfa.unige.ch/~ott/proxima/>
- Paillé, P. et Mucchielli, A. (2003). *L'analyse qualitative en sciences humaines et sociales*. Sherbrooke: Éditions Armand Colin.
- Passini, R. (1994). *Wayfinding in Architecture*. London : Van Nostrand Reinhold.
- Péruch, P., Vercher, J.L. et Gauthier, G.M. (1997). "Acquisition of spatial knowledge through visual exploration of simulated environments". *Ecological Psychology*, 7 (1), 1-20.
- Pausch, R., Burnette, T., Brockway, D. et Weiblen, M.E.(1997). "Navigation and locomotion in virtual worlds via flight into hand-held miniatures". In *Proceedings of ACM Siggraph '95, Computer Graphics*.
- Pellegrino, J.W. et Goldman, S.R. (1983). "Developmental and Individual Differences in Verbal and Spatial Reasoning". In R.F. Dillon and R.R. Schmeck, (Eds.) *Individual Differences in Cognition*, 1, 137-180. NY: Academic Press.
- Perraya, D. (1999). *Internet, un nouveau dispositif de médiation des savoirs et des comportements ?*
[En ligne].<http://tecfa.unige.ch/tecfa/teaching/>.

- Pimentel, K. , Teixeira, K. (1993). *La réalité virtuelle... de l'autre côté du miroir*. Paris : Addison-Wesley France.
- Poinssac, B. (1994). *L'infographie*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Porada, P. (1994). *Au carrefour des arts et des sciences, création spatiale en image de Synthèse*. In Vettraino-Soulard. Paris : Colloque.
- Porter, T. (1997). *The architect's eye : visualization and depiction of space in architecture*. New York : E & FN Spon.
- Presson, C.C., and Hazelrigg, M.D., (1984). « Building Spatial Representations Through Primary and Secondary Learning ». *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 10, 716-222.
- Prost, R. (1992). *Conception architecturale: une investigation méthodologique*. Paris : L'Harmattan.
- Psotka, J. (1995). *Exploring immersion in virtual reality*. New York: SIG-Advanced Applications.
- Queau, P. (2000). *La planète des esprits : pour une politique du cyberspace*. Paris : O. Jacob.
- Raynaud, D. (2002). *Cinq essais sur l'architecture : études sur la conception de projets de l'Atelier Zô, Scarpa, Le Corbusier, Pei*. Paris : L'Harmattan.
- Robertson, G.G., Card, S.K. et Mackinlay, J.D. (1993). « *Information Visualization using 3D Interactive Animation* ». Acte de colloque UIST'93. ACM press.
- Rosenman, M. A. et Gero, J. S. (1998). "Purpose and function in design". *Design Studies* 19(2): 161-186.
- Rossano, M.J., Warren, D.H. et Kenan, A. (2000). "The acquisition of route and survey knowledge from computer models." *Journal of Environmental Psychology* 19, 101-115.
- Rovine, M. et Weisman, G. (1989). "Sketch-map variables as predictors of way-finding performance". *Journal of Environmental Psychology* 9 , 217-232.
- Ruddle, R.A., Payne, S.J., Jones. D. (1997). "Navigating Buildings in "Desk-Top" Virtual Environments: Experimental Investigations Using Extended Navigational Experience". *Journal of Experimental Psychology: Applied* 3(2).
- Ruddle, R.A., Payne, S.J. (1998), "Navigating Large-scale "Desk-Top" Virtual Buildings: Effects of Orientation Aids and Familiarity". *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 7(2).
- Ruddle, R. A., Payne, S. J. et Jones, D. M. (1999). « Navigating large-scale virtual environments: What differences occur between helmet-mounted and desk-top displays? »

Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 8, 157-168.

Sadalla, E. K. et Montello, D. R. (1989). « Remembering changes in direction ». *Environment and Behavior*, 21, 346-363.

Sadowski, W. et Stanney, K. (2002). "Presence in virtual environments". In K. M. Stanney (Ed.), *Handbook of virtual environments: Design, implementation, and applications* (pp. 791-806).

Satalich, G. (1995). *Navigation and Wayfinding in Virtual Reality: finding proper Tools and Cues to Enhance Navigation Awareness*. Mémoire de maîtrise. Université de Washington. [En Ligne]. <http://www.hitl.washington.edu/publications/satalich/home.html>.

Schneider, D.K. (2001). *Le rôle de l'Internet dans la formation supérieure: scénarii et technologies*. Colloque International "Enseignement des Langues et Multimédia. Alger.

Schnabel, M.A., Kvan, T., Kruijff, E., Donath, D. (2001). "The First Virtual Environment Design Studio". Actes de la 19^{ième} conférence eCAADe: Architectural Information Management. Helsinki (Finlande). [En Ligne]. www.hut.fi/events/ecaade/E2001presentations/14_06_schnabel.pdf.

Schnabel, M.A. (en cours, 2005). *Are Computer Generated Virtual Environments Analogous to Architecture?*. Thèse de doctorat en cours.

Scholl, M.J. (1993). "Cognitive Maps as Orienting Schemata". *Cognition*, 4, 615-628.

Schön, D.A. (1983). *The reflective practioner: How professionals think in action*. New-York: Basic Books.

Schön, D.A. (1987). *Educating the reflective practitioner : toward a new design for teaching and learning in the professions*. San Francisco : Jossey-Bass.

Scribante, V. (2000). *Impact de deux facteurs d'influence sur l'acquisition des connaissances spatiales*. Mémoire de maîtrise. Université de Genève. [En Ligne]. http://tecfu.unige.ch/staf/staf-e/vanessa/theorie_1110b.pdf.

Seipel, S. (2003). Visualizations technologies. [En Ligne]. http://www.it.uu.se/edu/course/homepage/igs/ht03/lectures/igs_07_visualization_techniques.pdf

Sheridan, T.B. (1992). "Musings on Telepresence and Virtual Presence" . *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 1, 1992, MIT Press, 120-126.

Shubber, Y. (1998). « Les réalités virtuelles et la présence: de la conceptualisation à l'opérationnalisation » In *Recherches en communication* n° 10, Image(s) et cognition, Université Catholique de Louvain, Département de communication.

Siegel, A. W. et White, S.H. (1975). *The development of spatial representations of large-scale environments*. New York : Academic Press.

- Simon, H. A. (1969). *La science des systèmes: science de l'artificiel*, Paris : Épi.
- Slater, M., & Usoh, M. (1993). "Presence in immersive virtual environments". IEEE Virtual Reality International Symposium. Seattle, WA.
- Slater, M., Usoh, M. (2001). "Taking steps: the influence of a walking technique on presence in virtual reality." *ACM Transactions on Computer- Human Interaction* 2(3): 201 - 219.
- Slater, M., Linakis, V., Usoh, M., Kooper, R., (2001). Immersion, Presence and Performance in Virtual Environments: An Experiment with Tri-Dimensional Chess, *ACM Virtual Reality Software and Technology (VRST)*.
- Smith, C. D. (1984). « The relationship between the pleasingness of landmarks and the judgement of distance in cognitive maps ». *Journal of Environmental Psychology*, 4, 229-234
- Steuer, J. (1992). "Defining virtual reality: Dimensions determining telepresence". *Journal of Communication* 42 (4), pp.73-93.
- Stoakley, R., Conway, M.J., et Pausch, R. (1995). "Virtual Reality on a WIM: Interactive Worlds in Minature ». *CHI Proceedings 1995: Mosaic of Creativity*. pp 265-272.
- Suller, J. P. (1999). *Cyberspace as Dream World: Illusion and Reality at the "Palace"*. [en ligne] <http://www.rider.edu/%7Esuler/psycyber/cybdream.html>
- Suwa, M. et Tversky, B. (1996). "What architects see in their sketches: Implications for design tools". *CHI'96 Conference Companion*, ACM Press, Vancouver, B.C., pp.191-192.
- Suwa, M. et Tversky, B. (1997). "What do architects and students perceive in their design sketches? A protocol analysis". *Design Studies*, 18(4), pp.385-403.
- Tapley, S. M. et Bryden, M. P. (1977). "An investigation of sex differences in spatial ability: Mental rotation of three dimensional objects". *Canadian Journal of Psychology*, 31, 122-130.
- Thalmann, D. (2003). *Infographie*. École polytechnique fédérale de Lausanne. [en ligne] <http://ligwww.epfl.ch/~thalmann/infographie.html>
- Thorndyke, P.W. (1980). "Performance models for Spatial and Locational Cognition". Washington, D.C., The RAND Corporation.
- Thorndyke, P. W., Hayes-Roth, B. (1982). "*Differences in Spatial Knowledge Acquired from Maps and Navigation*." *Cognitive Psychology* 14: 560-589.
- Thorndyke, P.W. et Goldin, S.E. (1983). "Spatial learning and reasoning skill". In H.L. Pick and L.P.Acredolo (eds.). *Spatial orientation: Theory, research, and application*. New York: Plenum Press,195-217.

- Tisseau J. (2001). *Réalité Virtuelle : autonomie in virtuo*. Habilitation à Diriger des Recherches en Informatique, Université de Rennes I.
[En Ligne]. <http://www.enib.fr/~tisseau/doc/hdr/hdrJTuk.pdf>
- Tlauka, M. et Wilson, P. N. (1996). "Orientation-free representations from navigation through a computer-simulated environment". *Environment and Behavior*, 28(5), 647 - 664.
- Tversky, Barbara. (1993). *Cognitive Maps, Cognitive Collages, and Spatial Mental Models*. Berlin: Springer-Verlag,
- Vinson, N. G. (1999). "Design Guidelines For Landmarks to Support Navigation in Virtual Environments". CHI'99 Conference Proceedings.
- Virilio, P. (1999). *La bombe informatique*. Paris : Galilée.
- Walker, G.A. (1998). *Through the looking glass and what Alice found there*. New-York: Addison-Wesley.
- Waller, D., Hunt, E., Knapp, D. (1998). "The transfer of spatial knowledge in virtual environment training". *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*.
[En Ligne]. <http://depts.washington.edu/huntlab/vr/pubs/blocks.pdf>
- Waller, D. (2000). "Place learning in humans: The role of distance and direction information". *Spatial Cognition and Computation*, 2, 333 - 354.
- Ward, S. L., Newcombe, N. et Overton, W. F. (1986). « Turn left at the church, or three miles north. A study of direction giving and sex differences ». *Environment and Behavior*, 18, 192-213.
- Weisman, J. (1981). "Evaluating Architectural Legibility: Way-Finding in the Built Environment." *Environment and Behaviour* 13(2): 189-204.
- Werner, S. & Long, P. (2001). « Cognition meets Le Corbusier: Cognitive principles of architectural design ». In C. Freksa, et al. (Eds.), *Spatial Cognition III*. Berlin: Springer.
- Wickens, C.D. (1987). *Information processing, decision making, and cognition*. New-York: Wiley & Sons.
- Wilson, P.N., Foreman, N., Gillett, R. et Stanton, D (1997). "*The effect of landmarks on route-learning in a computer-simulated environment*". *Journal of Environmental Psychology* 14: 305-313.
- Witmer, B.G. Bailey, J.H. et Kline, P.B (1996). "*Virtual spaces and real world places: Transfer of route knowledge*". *International Journal of Human-Computer Studies*.
- Witmer, B. G., Singer, M.J. (1998). "*Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire*." *Presence* 7(3): 225-240.

Witmer, B.G. Sadowski, W.J. et Finkelstein, N. (2002). "VE-Based Training Strategies for Acquiring Survey Knowledge". *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*. Vol. 11, Issue 1.

Zeisel, J. (1984). *Inquiry by design: tools for environment-behaviour research*. Cambridge: Cambridge University Press.

Zelter, D. (1992). "Autonomy, Interaction and Presence". *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 1, 1992, MIT Press, 127-132

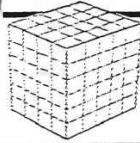
Annexes

Annexe A.1

Test de Guilford et Zimmermann

Partie 5 : Orientation spatiale

The Guilford-Zimmerman Aptitude Survey



Part 5/Spatial Orientation

Partie 5 : L'orientation spatiale

Nom :

Date :

15 Dec

Résultat :

Sexe :

M

Instructions :

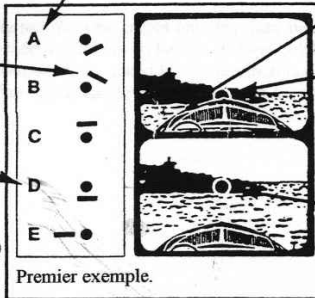
Ceci est un test de vos habilités à percevoir les changements de direction et de position. Pour chaque figure, vous devrez noter le changement de position du bateau survenu dans la seconde image par rapport à sa position originale du bateau dans la première.

Voici un premier exemple :

Ce sont les 5 réponses possibles

Ceci est la bonne réponse. Elle montre que la proue du bateau a baissé par rapport au point de mire.

si la proue s'était élevée au lieu de baisser alors la bonne réponse aurait été C)



Premier exemple.

Ceci est la proue (partie avant) d'un bateau motorisé sur lequel vous naviguez

Ceci est le point de mire. C'est le point exact que vous verriez sur la terre ferme si vous regardiez directement par-dessus la proue.

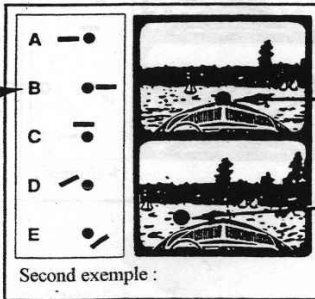
Ceci est le même point de mire que montré ci-dessus; Notez que la proue a baissé par rapport à lui.

Pour chaque figure : premièrement regarder le haut de l'image et regarder où le bateau se dirige. Deuxièmement, regarder l'image du bas et notez le changement de la direction du bateau. Troisièmement, marquez la réponse qui montre le même changement sur votre feuille de réponse.

Essayez ce second exemple :

Ceci montre aussi que la proue du bateau est à droite du point de mire. Donc, ceci est la bonne réponse.

(Si le bateau avait tourné à gauche, au lieu de tourner à droite, la bonne réponse aurait été A)



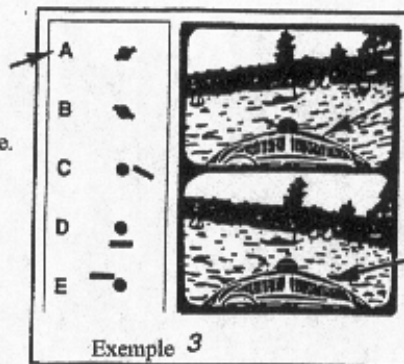
Second exemple :

Ceci est le point de mire.

Ceci est le même point de mire. Le bateau est maintenant Se dirige maintenant vers à sa droite.

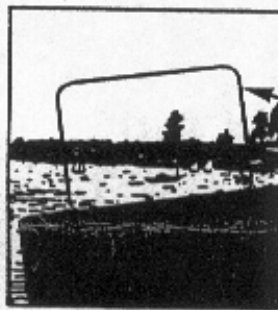
Essayez ce troisième exemple :

Ceci est la bonne réponse.
Il montre que le bateau a modifié
son inclinaison vers la gauche,
mais il reste diriger vers le point de mire.



Ici le bateau est incliné
légèrement à droite. (Notez
que l'horizon apparaît incliné
dans l'autre direction)

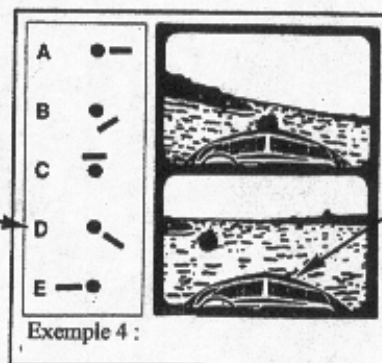
Ici le bateau a changé son
inclinaison vers la gauche.
(Pour revenir à niveau, il
faudrait que le bateau s'incline
vers la droite)



Imaginez que ces images ont été prises avec une camera vidéo. La camera est
attachée rigidement au bateau de sorte qu'elle suit fidèlement le mouvement
du bateau. Ainsi quand le bateau s'incline vers la gauche (comme dans la figure
du bas de l'exemple 3) la scène, vue à travers la camera, sera inclinée comme ceci.

Essayez ce quatrième exemple :

D est la bonne réponse. Elle montre
que le bateau a modifié en même
temps sa direction vers la droite et
s'est incliné vers le bas. Il a aussi
modifié son inclinaison vers la droite.

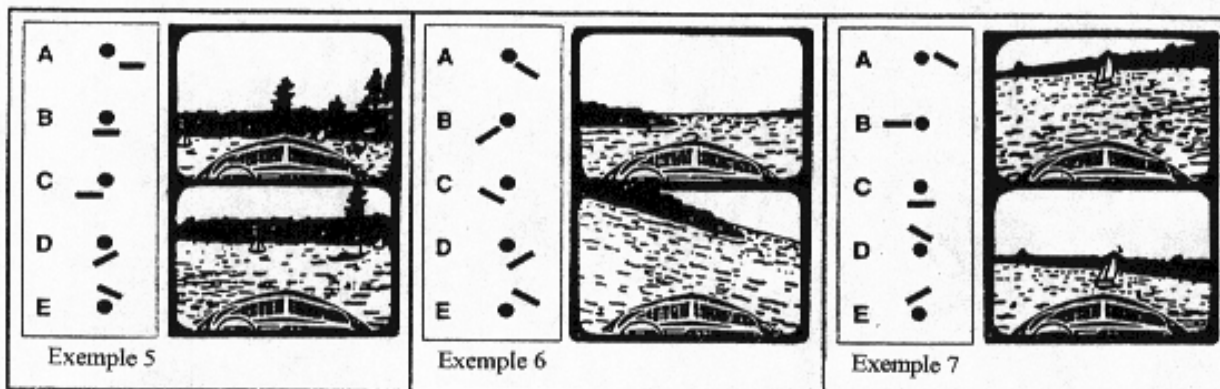


La proue du bateau s'est inclinée
vers le bas en se dirigeant vers la
droite. Le bateau s'est aussi incliné
vers la droite.

Noter vos réponses sur la feuille de réponse qui vous a été remise. Le point de mire n'est plus spécifié. Vous devrez remarquer le changement de la position du bateau sans l'aide des points.

Remarques :

1. Regarder l'image du haut. Remarquer où le bateau se dirige
2. Regarder l'image du bas et notez le changement de direction du bateau.
3. Marquez la réponse qui montre le même changement. (en référence au point de mire avant le changement de cap)



C est la bonne réponse. La proue du bateau s'est déplacée vers la gauche et s'est inclinée vers le bas. Il n'y a pas eu de changement d'inclinaison vers la gauche ou vers la droite.

B est la bonne réponse. La proue du bateau s'est déplacée vers la gauche et s'est inclinée vers le bas. Le bateau a aussi changé son inclinaison vers la gauche.

E est la bonne réponse. Le bateau s'est incliné vers le haut et vers la gauche. Mais il n'a pas changé de direction.

Si vous avez des questions posez les maintenant.

Au signal des l'examinateur, pas avant, tournez la page et commencez le test. Marquez toutes vos réponses sur votre feuille de réponses. Travaillez rapidement. Si vous n'êtes pas certain de la bonne réponse, vous pouvez essayer de deviner la réponse, mais évitez l'estimation aveugle/aléatoire. Pour chaque bonne réponse, vous obtenez un point et pour chaque mauvaise réponse, vous perdez un demi point.

Vous aurez dix minutes pour travailler sur ce test.
Attendez le signal pour commencer.

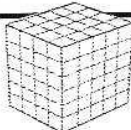
Annexe A.2

Test de Guilford et Zimmermann

Partie 6 : Visualisation spatiale



The Guilford-Zimmerman Aptitude Survey



Part 6/Spatial Visualization

Partie 6 : La visualisation spatiale

Nom : _____ Date : 16 dec _____ Résultat : _____ Sexe : _____

Instructions :

Ceci est un test de vos habilités à visualiser les positions spatiales. Pour chaque cas de figure, vous devrez remarquer comment la montre s'oriente si elle se déplace selon l'indication de la flèche sur la sphère.

Voici quelques exemples :



La première image à gauche montre un cadran. La seconde image représente une sphère avec une flèche. La flèche indique le mouvement que le cadran doit effectuer. Ce mouvement est illustré (en deux étapes) ci-dessous. Lorsque le cadran est déplacé d'un quart de tour, tel qu'indiqué par la flèche, sa position est alors celle montrée en B. B est donc la bonne réponse. Vous devez noter cette réponse en noircissant l'espace juste en dessous de B sur votre feuille de réponse.



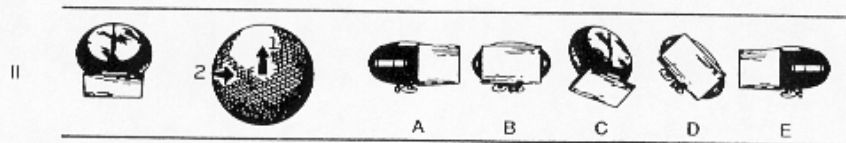
Position originale

Position après que le mouvement eut été effectué

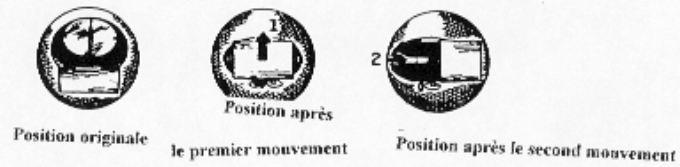
CPP Consulting Psychologists Press, Inc., 3803 E. Bayshore Road, Palo Alto, California 94303

GZAS Part 6 © 1976 by Consulting Psychologists Press, Inc. This copyrighted publication is not offered for sale; it is for licensed use only, and then only by qualified professionals whose qualifications are on file with and have been accepted by CPP. CPP reserves all rights beyond the limited scope of this license, including, without limitation, all rights under U.S. and international copyright and trademark laws. No portion of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or media or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of CPP. This copyrighted publication may not be reprinted, sublicensed, exported, redistributed, otherwise transferred, or used in any manner by any party other than the person or entity to whom it is licensed for use by CPP; any violation of these restrictions may infringe CPP's copyright under 17 U.S.C. §106(3), and any such violation shall automatically terminate any license to use this publication.
Printed in the United States of America. 02 01 00 99 11 10 9 8 7

0041R

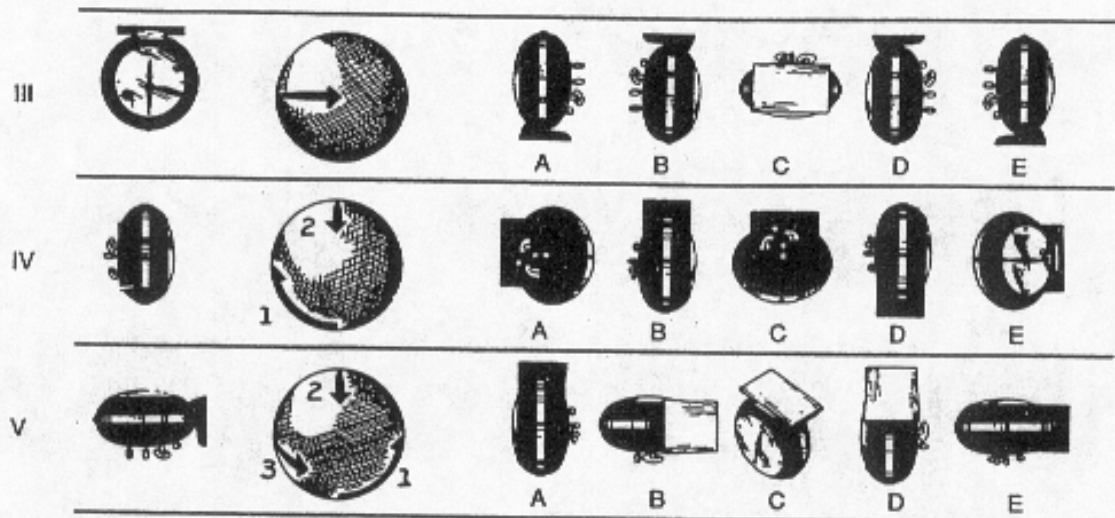


Deux mouvements du cadran sont indiqués par deux flèches sur la sphère. Le mouvement numéro 1 doit être visualisé en premier. Le mouvement numéro 2 doit débiter à partir de la position du cadran, une fois le premier mouvement effectué. Dans l'exemple 2, chaque flèche indique un mouvement de un huitième de tour. Si les deux mouvements sont visualisés correctement, le cadran devrait prendre la position A. Les images ci-dessous illustrent, en deux étapes, comment les deux mouvements doivent être visualisés l'un après l'autre.



Dans certains cas, il peut y avoir jusqu'à quatre mouvements

Pratiquez vous maintenant avec les exemples III, IV et V.



Les bonnes réponses sont : III, B; IV, C; V, C.

Si vous n'avez pas obtenu ces réponses, reprenez à nouveau ces exemples pour connaître vos erreurs.

Si vous avez des questions, posez les maintenant.

Vous aurez dix minutes pour travailler sur ce test. Ne consacrez pas trop de temps pour chaque figure. Si vous vous finissez avant les dix minutes, vous pouvez compléter ou vérifier vos réponses.

Si vous n'êtes pas certain de la bonne réponse, vous pouvez essayer de deviner la réponse, mais évitez l'estimation aveugle/aléatoire. Pour chaque bonne réponse, vous obtenez un point et pour chaque mauvaise réponse, vous perdez un demi point.

Vous aurez dix minutes pour travailler sur ce test.

Attendez le signal pour commencer.

Annexe 2

Questionnaire d'évaluation de l'acquisition des connaissances spatiales

NOM

PRENOM

Estimation des distances:

1. La distance estimée en ligne droite entre le cube 2 et le cube 6 est " plus petite", "plus grande" ou "égale" à la distance entre le cube 4 et le cube 5 ?

plus petite

égale

plus grande

ne sais pas

2. La distance estimée en ligne droite entre le cube 3 et le cube 4 est-elle "plus petite", "plus grande" ou "égale" à la distance entre le cube 2 et le cube 5 ?

plus petite

égale

plus grande

ne sais pas

3. La distance estimée en ligne droite entre le cube 1 et le cube 2 est-elle "plus petite", "plus grande" ou "égale" à la distance entre le cube 4 et le cube 5 ?

Les distances parcourues au sol:

4. Est-ce que la distance parcourue (par la route) entre le cube 1 et le cube 2 est "plus petite", "plus grande" ou "égale" à la distance entre le cube 4 et le cube 6 ?

plus petite

égale

plus grande

ne sais pas

5. Est-ce que la distance parcourue (par la route) entre le cube 1 et le cube 5 est "plus petite", "plus grande" ou "égale" au chemin entre le cube 1 et le cube 4 ?

plus petite égale plus grande ne sais pas

6. Est-ce que la distance parcourue (par la route) entre le cube 1 du cube 6 est "plus petite", "plus grande" ou "égale" à la distance entre le cube 2 et le cube 3 ?

plus petite égale plus grande ne sais pas

Le nombre des virages:

7. Vous êtes au cube 4. Combien y-a-t-il de virages à angle droit (90°) pour aller au plus vite au cube 1?

Pas de virage 1 virage 2 virages 3 virages ne sais pas

8. Vous êtes au cube 1. Combien y-a-t-il de virage à angle droit (90°) pour aller au plus vite au cube 3?

Pas de virage 1 virage 2 virages 3 virages ne sais pas

9. Vous êtes au cube 5, combien y-a-t-il de virages à angle droit (90°) pour aller au plus vite au cube 1 ?

Pas de virage 1 virage 2 virages 3 virages ne sais pas

La direction des virages:

10. Dans quel sens tourne le premier virage pour aller du cube 3 au cube 1 ?

à gauche à droite ne sais pas

11. Dans quel sens tourne le premier virage pour aller du cube 2 au cube 4 ?

à gauche à droite ne sais pas

12. Dans quel sens tourne le premier virage pour aller du cube 4 au cube 6?

à gauche à droite ne sais pas

Les positions relatives:

13. Comment se positionne le cube 6 par rapport au cube 2?

a) à gauche b) en face c) à droite ne sais pas

14. Comment se positionne le cube 1 par rapport au cube 3

a) à gauche b) en face c) à droite ne sais pas

15. Comment se positionne le cube 5 par rapport au cube 6 ?

a) à gauche b) en face c) à droite ne sais pas

Les angles relatifs:

16. À partir du cube 2, quel angle font entre eux les cubes 1 et 3?

0° 45 ° 90 ° ne sais pas

17. À partir du cube 3, quel angle font entre eux les cubes 5 et 6?

0° 45 ° 90 ° ne sais pas

18. À partir du cube 6, quel angle font entre eux les cubes 3 et 1 ?

0° 45 ° 90 ° ne sais pas

Annexe 3

Accès au site Web de l'expérimentation

Le lecteur trouvera en annexe à ce mémoire le site Web de l'expérimentation sur support CD-ROM. Il pourra alors accéder aux différentes phases de l'expérience en cliquant sur le fichier suivant « index.html ».

Pour visionner les deux espaces virtuels qui ont servi à l'expérimentation, il est conseillé de télécharger le plugiciel VRML Cortona (des copies PC et Mac de l'application sont disponibles sur le CD).

Enfin, il est recommandé d'utiliser un ordinateur assez puissant : un Pentium III et une mémoire vive de 256 Mo est le minimum requis.