

# Conception architecturale et technique

## LE PARTI ARCHITECTURAL : UN ENJEU TECHNIQUE MAJEUR

**Bernard CABANNES**

*Architecte Associé*

SCAU, 35 rue Tournefort, 75005 PARIS

### Qu'est qu'un parti architectural ?

Pour tout projet, le choix du parti architectural est l'acte fondateur du bâtiment. Celui qui porte en germe son développement, sa faculté d'intégration de la complexité d'un site, d'un programme, des usages, en un mot la qualité de vie future d'un bâtiment. Bien entendu, pour mener à bien un projet, chacune des différentes étapes de conception est importante mais aucune ne pourra compenser une erreur initiale de conception commise lors de ce choix fondateur. Depuis que l'hôpital, dans son appellation moderne, existe les différents partis ou concepts historiques ont répondu à des exigences sociales, politiques ou techniques diverses.

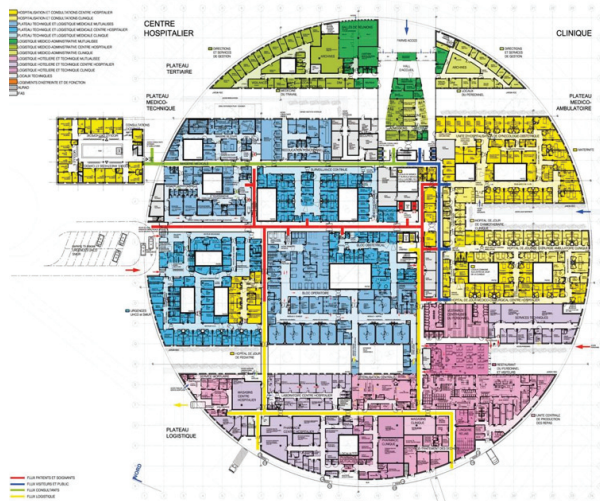


Figure 1 : Etude pour Le Centre Hospitalier d'Arcachon



Aujourd'hui, les évolutions résultent de plus en plus des nouvelles réglementations ou d'habitudes d'utilisation que de réels choix conceptuels. Nous allons cependant montrer que les choix initiaux d'un parti perdurent et que leur pertinence est toujours primordiale.

### A. Une question de formes



Figure 2 : Etude pour Le Centre Hospitalier de Fort-de-France



## I ATELIER 6



Figure III. Etude pour L'Hôpital de Dreux



### B. Un choix stratégique majeur

Véritable choix stratégique pour l'avenir d'un édifice, le parti architectural d'un bâtiment hospitalier voit ses enjeux démultipliés par le nombre de paramètres qui le concerne.

Il s'agit en effet de déterminer les éléments essentiels d'un projet qui porte en germe son propre développement, mais aussi ses évolutions futures, ses capacités à s'adapter à des nouvelles évolutions ou à d'autres enjeux encore inconnus lors de sa conception.

## II. Le choix du bon parti

*Une méthode de conception et d'arbitrage :*

### A. Paramètres et critères

Préalablement à la conception architecturale, peuvent être définis les éléments de décisions permettant de hiérarchiser les critères de

choix. Le coût, l'organisation fonctionnelle, l'insertion urbanistique par exemple peuvent être mis en avant par une pondération qui influencera ainsi les concepteurs. On peut citer parmi ces différents paramètres d'influence :

L'évolution technique :

- L'efficacité médicale
- Le coefficient de surface construite
- Les choix techniques

Mais aussi :

- Le phasage
- Le délai
- Le coût

Les différents éléments qui motivent ce choix sont de plusieurs ordres :

### B. Le site



Figure IV : Perspective aérienne Pointe Noire

Exemple d'un site où la très forte déclivité du terrain a conduit à un plan masse dans lequel les bâtiments suivent les courbes de niveau.

Figure V : Entrée de l'hôpital Sainte Anne de Toulon



### C. Le programme

Exemple de double usage : l'auvent d'entrée est aussi l'hélistation (figure V)

### D. L'environnement social, culturel ou politique :



Figure VI : Hôpital psychiatrique de La Conception Marseille

Exemple où la façade opaque répond à la double volonté d'isoler les patients depuis la rue et de les protéger du soleil.

Figure VII : Vue aérienne Hôpital Fort de France



### E. Le mode constructif ou les données techniques :

Exemple d'un plan masse dont la forme permet une réponse originale aux contraintes sismiques du site. (Figure VII)

### F. Hiérarchie des contraintes

Il existe de nombreux paramètres dans la conception architecturale. S'il appartient au concepteur de les prendre en compte, il lui est néanmoins nécessaire de hiérarchiser leur importance afin de gérer les incontournables contradictions.

Parmi les plus courantes :

- Les contraintes environnementales
- Les contraintes fonctionnelles
- Les contraintes réglementaires
- Les contraintes techniques

## G. Les évolutions actuelles, un choix stratégique majeur

Loin des enjeux actuels concernant le choix d'un parti architectural, sa capacité à répondre à des nombreuses évolutions est primordiale.

### Evolution des besoins

L'évolution des techniques de soin, l'arrivée de nouveaux équipements médicaux imposent une prise en compte des études de toutes ces évolutions prévisibles et imprévisibles. Les évolutions administratives conditionnent l'organisation même des futurs bâtiments. La recherche d'optimisation et de rendements génère des synergies nouvelles entre services, voire entre hôpitaux.

### Evolution des attentes

Les évolutions sociales, du personnel comme des patients, génèrent des attentes nouvelles en termes de condition de travail, de confort, de qualité d'accueil...

### Evolution des normes

L'évolution des normes s'accélère elle aussi. On estime à 800 000 le nombre de normes applicables en France auxquelles viennent s'ajouter quelques dizaines de réglementations nouvelles chaque mois, uniquement dans le domaine des constructions liées à la santé.

### Evolution des mentalités

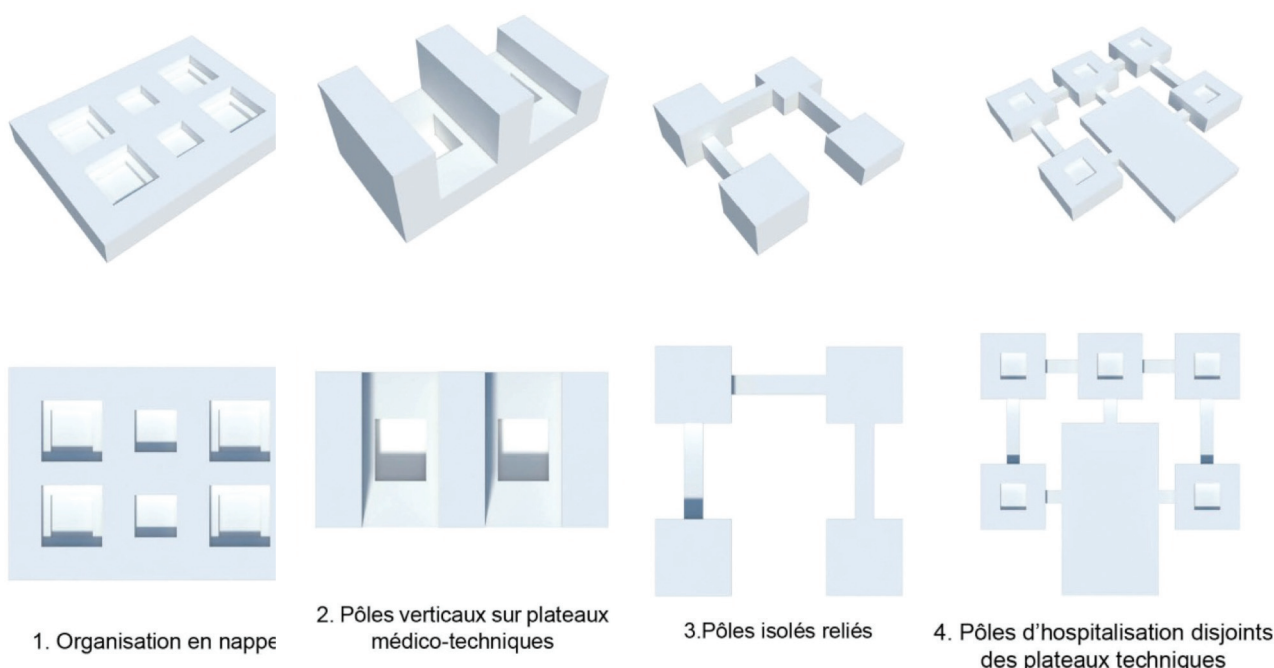
L'évolution des mentalités enfin rend inacceptable aujourd'hui qui l'était hier. Par exemple, les notions de surface et d'éclairage ont connu une évolution importante des exigences du personnel. Ces évolutions ne sont évidemment pas sans incidence sur les coûts de construction. Elles ont conduit à des familles de partis architecturaux beaucoup plus simples et évolutives qui permettent aux bâtiments de s'adapter plus rapidement.

## Conclusion

Ces exemples et les différentes problématiques qu'ils illustrent montrent la grande diversité des options possibles dans le choix d'un bon parti. Au-delà des exigences rationnelles et des critères objectifs, il existe des paramètres plus objectifs dans l'élaboration et le choix d'un concept d'un bâtiment. L'esprit de synthèse qui est une composante majeure de l'architecture doit s'associer à une quête de simplicité afin de répondre à la complexité grandissante des grands programmes hospitaliers.

## III. Le parti Général

Figure VIII : 4 grandes familles de concepts actuels



# PROGRAMMATION ET ESQUISSE : ESQUISSE ET PROGRAMME INTERACTIFS

**Jérôme BATAILLE**

Architecte DPLG, Associé AIA

AIA ASSOCIES

23 rue de Cronstadt - 75015 PARIS

## La génétique du projet

La génétique du projet : elle existe dès la décision de sa création. Son profil se dessine avec sa programmation stratégique, le choix de son site et l'équipe de conception. La recherche architecturale est une quête qui vise à donner corps et vie à cette identité abstraite. Elle combine les intérêts directs du projet et répond à un imaginaire collectif. Une quête perpétuelle de renouvellement, conséquence directe des modifications permanentes des paradigmes contextuels qui redéfinissent les contours de nouveaux enjeux. Ce renouveau est certainement plus tangible dans le monde des établissements de santé que dans d'autres. En effet, la recherche médicale, particulièrement dynamique, les évolutions techniques, tarifaires, réglementaires, ... remettent sans cesse en cause les fondements établis. La nature humaine peine à suivre ces évolutions, souvent vécues comme des révolutions. La démarche de création architecturale se doit donc d'être pédagogique, l'architecture doit séduire, sans complaisance, sans transiger, mais dans l'écoute, le dialogue, la compréhension, animée par la dynamique de la nouveauté et de l'inventivité.

## 1. Le projet porte dans ses gènes les enjeux de ses ambitions

L'acte de création architecturale consiste à mener une recherche pour les cerner, les identifier, les révéler. La question posée est alors : « que doit être le projet ? ». Sur cette base abstraite et conceptuelle, une recherche d'expression spatiale et contextuelle s'élabore : elle pose un regard nouveau libre, apporte une vision génératrice qui induit des réponses volumétriques au programme, choisit l'implantation la plus judicieuse dans le site. Cette démarche de création est ouverte à qui aime rêver et croit en un monde meilleur. C'est un instant à protéger, voire à sacraliser. Les raisonneurs environnent le projet, la réalité pratique de l'architecture s'imposera bien le moment venu.

C'est ensuite une somme de travail qui convoque les multiples compétences de la maîtrise d'œuvre pour agencer, élaborer et conduire le projet depuis sa dimension onirique vers une réalité constructible.

La réalisation qui suit, nécessite encore de l'exigence et une vigilance aigüe pour maintenir et affirmer les gènes du projet dans la réalité des détails constructifs. L'art de construire est en lui-même une dimension qui requiert savoir-faire, ouverture aux nouvelles technologies, curiosité et inventivité. C'est pourquoi il y a quelque chose de schizophrène à rechercher qualité et délais ! Une architecture se pilote comme un paquebot, avec une large anticipation.

## 2. Le projet est une affaire humaine et l'occasion de rencontres.

Les acteurs du projet sont multiples et divers. Les exigences nouvelles, les complexités à résoudre, imposent des compétences plurielles. L'une, essentielle, qui trouve une résonance au-delà du contrat, est celle qui s'établit entre la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre. Une autre, interne à la maîtrise d'œuvre, doit trouver un fonctionnement fluide et durable. Car la conception est faite d'empathie et de convergence de vues. Elle se fonde sur une confiance et un altruisme où chacun fait siennes les ambitions de l'autre. L'avis externe est à rechercher, soit auprès de compétences expérimentées, soit dans des visions décalées : celles de l'artiste, du géographe, de l'écologue, du paysagiste, du patient, ... ! Le dialogue, l'écoute, l'échange s'organisent et le processus décisionnel s'établit. La pluralité des points de vue sur un projet est source de richesse. L'architecture a un immense pouvoir d'absorption et de synthèse. Elle tend vers un but que seul on ne saurait atteindre sans compromis ni allégeance.

## 3. Le projet est un acte culturel

L'archéologue est certainement le mieux placé pour décrire ce phénomène. A partir d'une analyse fine de fondations et de restes artisanaux ou artistiques il reconstitue des civilisations ! La décision politique de construire, d'ériger pour la collectivité un établissement est un acte public majeur. Mettre sur l'espace public au vu et au su de tous des services de santé révèle bien la dimension collective de l'architecture. Une responsabilité forte pèse sur les équipes en charge de l'élaboration. Si les usages programmés sont connus pour les 15 ou 20 années à venir, qu'en est-il au-delà ?

La conception est une interprétation de modes de vie, de culture locale, d'usages et de fonctionnalités. L'architecture, qu'elle soit publique ou privée s'inscrit dans un contexte souvent urbain. Elle modifie les polarités de la ville, les perspectives, les circulations. Elle recèle la capacité de révéler l'esprit du lieu sur lequel elle installe une conviction sociétale. Elle dessine l'espace privé qui forme l'espace public, et induit les repères urbains pour la vie de demain. Elle a le devoir de correspondre à un imaginaire collectif, un rêve de futur.

Elle est un acte de recherche, invente les solutions techniques nouvelles dans un esprit civique conscient des attentes sociétales et environnementales : innover, surprendre, servir !

# HANDICAP, CONCEPTION ARCHITECTURALE ET RÉALITÉ VIRTUELLE

Thierry BAEUMLE

Florence BAZZARO

Jean-Claude SAGOT

Laboratoire Systèmes et Transports (SeT)

Université de Technologie Belfort-Montbéliard (UTBM)

**MOTS CLES :** Situation de handicap, conception architecturale, accessibilité, réalité virtuelle.

## 1. Introduction

La notion de handicap, longtemps synonyme de déficience, prend dorénavant en compte le rôle des facteurs environnementaux dans leur composante matérielle et sociale (1). Il en découle la notion de « personnes en situation de handicap » qui englobe la population handicapée mais également une population plus large, notamment les seniors, les personnes blessées temporairement, les femmes enceintes, les personnes ayant une poussette... En effet, la notion de personne en situation de handicap inclut toute personne atteinte d'une déficience et/ou d'une incapacité, réversible ou non, pouvant entraîner un désavantage dans sa nécessité d'action dans son environnement (1). Les personnes en situation de handicap représenteraient environ 40% de la population (2). En parallèle, la législation a évolué sur cette problématique. Ainsi, depuis 2005, les architectes et concepteurs travaillant sur des établissements recevant du public se doivent de respecter une obligation légale définie par la loi du 11 février 2005 sur l'égalité des chances. Si, par cette loi et les arrêtés qui en découlent (3), les obligations en matière d'accessibilité du cadre bâti des établissements recevant du public sont clairement définies, la mise en place de ces obligations est encore loin d'être une évidence sur le terrain.

Trois raisons principales peuvent expliquer ces difficultés :

- **La réponse aux besoins d'utilisabilité** pour tous reste complexe. L'objectif est de mettre en adéquation les caractéristiques d'un produit, d'un poste ou d'un bâtiment avec les capacités sensorielles, motrices et cognitives de l'utilisateur ;
- **La définition de l'accessibilité** ouvre la voie à de nombreuses interprétations. En effet, selon la délégation interministérielle aux personnes handicapées (4), l'accessibilité se définit comme « L'autonomie et la participation à la vie en société des personnes ayant un handicap » ;

- **La grande diversité des situations de handicap** rend l'application des normes plus compliquée qu'il n'y paraît. En effet, les différentes situations de handicap ne sont pas traitées de manière identique. Ainsi, les éléments relatifs aux situations de handicap moteur sont intégrés dès l'avant projet sommaire (i.e. au stade des « plans bétons »), alors que les questions liées aux situations de handicap sensoriel et cognitif sont traitées bien plus tard, voire en second équipement. Or il apparaît qu'il existe une interaction directe entre les différentes situations de handicap.

Dans cette étude, notre objectif est de se focaliser sur ce dernier point. En effet, il s'agit d'évaluer en réalité virtuelle immersive (RV) la validité écologique d'un bâtiment numérique au stade de l'avant projet sommaire, pour la prise en compte des éléments d'accessibilité. La mise à l'épreuve d'un diagnostic d'accessibilité au sein du modèle numérique et son éventuelle validation, doivent permettre aux différents acteurs concernés par la question de l'accessibilité d'anticiper, très en amont sur le projet, afin de proposer des solutions qui permettront de prendre en considération les problématiques propres à chaque situation de handicap, mais également de se focaliser sur les conséquences de chaque modification de l'environnement pour chaque situation de handicap.

Dans la partie suivante, nous présentons le cadre théorique de nos travaux qui se positionne autour de trois axes centrés sur la réalité virtuelle : la conception architecturale, la notion de situation de handicap et enfin celle de l'accessibilité. A partir de cette revue de la littérature, nous construisons le protocole de diagnostic d'accessibilité en réalité virtuelle immersive. Nous présentons, ensuite, nos résultats et les discuterons brièvement avant d'ouvrir sur les perspectives de nos travaux de thèse.

## 2. Cadre théorique

### 2.1. Réalité virtuelle et conception architecturale

Jusqu'à aujourd'hui, très peu de travaux dédiés aux projets architecturaux utilisent la 3D, et, moins encore, la réalité virtuelle immersive. Les principaux outils utilisés pour la communication entre les différents acteurs de ces projets restent les plans 2D (5). A titre d'exemple, nous pouvons citer les travaux de Cory (2001) qui a présenté une analyse comparative de l'utilisation de la 2D et de la CAO 3D ou 4D, dans les projets de conception architecturale, notamment pour ce qui concerne les documents relatifs aux processus de conception. Il a conclu que l'utilisation de CAO 3D et 4D pourrait représenter un gain d'argent, mais que son plein potentiel n'est pas encore utilisé. En outre, ce dernier a démontré que les professionnels de la conception architecturale attendent que la preuve de la rentabilité de l'objet soit faite (6). La situation semble identique, et dans une bien plus large mesure encore, pour l'utilisation de la réalité virtuelle immersive.

Cependant, si l'alliance de la RV et de la conception architecturale n'a pas encore atteint son plein rendement, certains exemples sont preuves du bien-fondé de cette association. Ainsi, par exemple, Frost et Warren (2000) ont examiné l'utilisation de la RV immersive

(application de type CAVE (7)) dans le processus de conception architecturale d'un nouveau laboratoire chimique. La RV a permis aux participants non initiés au domaine de la conception architecturale de voir et de comprendre des éléments qu'ils n'auraient pu comprendre avec des outils de présentations traditionnels. Les éléments en question portaient sur le fait d'appréhender plus aisément des volumes et des espaces, des lignes de vue, des hauteurs de fenêtres ou encore des meubles rentrant en collision. Ils ont conclu que la RV pouvait être un outil de conception efficace dans ce qu'ils caractérisent comme « l'architecture de processus », c'est-à-dire le travail collaboratif de tous les acteurs métiers dans la réalisation d'un ensemble de tâches liées aux projets de conception architecturale (8).

Une étude plus récente de Woksepp (2002) a décrit l'utilisation de la RV non immersive (application de type bureau) sur un chantier de construction d'un hôtel et d'un complexe de bureau. La RV fut mise en place pour améliorer les échanges d'informations entre les différents acteurs de la construction, ces derniers étant jugés insuffisants. Pour y parvenir, le modèle en RV du futur complexe était disponible sur le chantier via deux ordinateurs. A la question de savoir si cela représentait un avantage dans leur travail, les personnes ont répondu de manière positive (8).

D'une manière générale, l'utilisation de la réalité virtuelle dans le processus de conception d'un bâtiment devient de plus en plus importante, et les recherches actuellement menées pour améliorer les techniques de présentation et de diffusion de la RV ne peuvent qu'amplifier le phénomène (5)(9)(10)(11). L'évolution rapide des techniques liées à la RV immersive semble permettre aujourd'hui de présenter des environnements architecturaux où l'immersion proposée offre à tous les utilisateurs une expérience sensori-motrice et cognitive facilitant la performance vis-à-vis de la tâche demandée.

Dans le cadre de notre recherche, nous pouvons donc faire l'hypothèse que la RV immersive est un outil pertinent pour l'étude de la conception architecturale. Cependant, nous nous plaçons dans le cadre particulier du handicap et de l'accessibilité d'un bâtiment recevant du public. Nous nous intéressons donc à la littérature relative à ces deux domaines.

## 2.2. Réalité virtuelle et situation de handicap

La complexité des démarches de conception dans le domaine du handicap est essentiellement dictée par la difficulté d'appréhender les besoins spécifiques des personnes en situation de handicap. La réalité virtuelle immersive pourrait être un moyen technologique de mieux appréhender cette problématique. L'intérêt de la RV réside dans la possibilité de créer un environnement écologique, c'est-à-dire proche des environnements de la vie quotidienne, pour y définir des scénarios, des situations ou des habitudes de vie, dans un contexte à la fois spatial et temporel (12).

D'une manière générale, les travaux menés en RV ont essentiellement permis de développer de nouvelles approches d'évaluation et de rééducation des fonctions cognitives et motrices (13). Des applications ont déjà fait preuves de leur efficacité, notamment dans les

domaines de l'attention, des fonctions exécutives (fonctions cognitives de haut niveau, de planification de l'action), de la mémoire et des habiletés spatiales (14)(15)(16). Des scénarios plus fonctionnels ont également été construits pour simuler des activités de la vie quotidienne (17), telles que traverser la rue (18), conduire une voiture (19), préparer un repas (20), utiliser les transports publics (21), faire des courses au supermarché (22), ou encore utiliser un fauteuil roulant (23). Enfin, Bartella et al. (2001) ont non seulement examiné les capacités d'orientation mais également utilisé la RV comme outils de diagnostic et d'apprentissage pour des individus atteints de désordre topographique (24).

Ces exemples d'application sont essentiellement tournés vers la neuropsychologie ou les thérapies cognitivo-comportementales et ne répondent pas directement à la problématique de cet article. Peu de travaux semblent dédiés à cette problématique. Nous pouvons néanmoins citer ceux de Li et al. (2006) qui ont étudié le déplacement et l'interaction d'une personne en fauteuil roulant dans son environnement grâce à la RV immersive. L'utilisateur du fauteuil roulant est équipé d'un visiocasque et de capteurs de position (25).

Dans notre recherche, nous proposons d'utiliser la réalité virtuelle immersive pour s'intéresser à cette problématique du handicap, en nous focalisant plus particulièrement sur l'accessibilité dans les bâtiments.

## 2.3. Réalité virtuelle et accessibilité d'un bâtiment

L'accessibilité d'un bâtiment est un défi majeur dans la conception architecturale. L'un des principaux outils utilisés pour répondre à ce défi est le diagnostic d'accessibilité qui permet de valider l'accessibilité d'un bâtiment. En effet, un diagnostic d'accessibilité est réalisé avant toute livraison d'un bâtiment neuf, ou pour le contrôle et la mise aux normes de bâtiment anciens. Ce diagnostic décompose l'environnement selon 17 points (i.e. cheminement intérieur et extérieur, horizontal et vertical, accueil, sanitaire etc.), et énonce pour chacun, les principes d'accessibilité et ses règles d'application (i.e. mesures de portes, accessibilité visuelle à l'information, équipements, etc.). La personne réalisant le diagnostic a ainsi une liste d'éléments à examiner et doit rapporter la présence ou non de cet élément, et, éventuellement sa bonne application. Le diagnostic relève de trois types de tâches, tâches de contrôle (ex : présence ou non d'un plan du bâtiment dans la zone d'accueil), tâches de mesure (ex : hauteur des mains courantes de l'escalier située entre 80cm et 100cm) et des tâches faisant appel à la subjectivité/expertise du diagnostiqueur (ex : entrée principale facilement repérable ou non).

Si à notre connaissance, peu d'études ont été réalisées sur l'accessibilité d'un bâtiment en environnement virtuel, Lindsey et McClain-Kark (1998) se sont notamment intéressés à la perception d'une modification environnementale pour une série d'objets dans un magasin. Ils démontrent qu'il n'y a aucune différence de perception sur la visibilité d'objets, la capacité d'atteindre l'objet indiqué et la capacité de partager ou communiquer avec d'autres personnes entre un environnement réel et un environnement virtuel (26). Si nous corrélons ces résultats, qui accréditent l'hypothèse d'une validité écologique des évaluations faites en réalité virtuelle, à ceux de McGeorges et al. (2001), qui ont démontré l'existence d'une relation

étroite entre performance réelle et virtuelle (27), nous pouvons présager du potentiel de la réalité virtuelle pour l'évaluation de l'accessibilité d'un bâtiment.

Nous nous appuyons sur ce dernier point de littérature pour avancer notre hypothèse principale, selon laquelle le réalisme offert par la RV permet de détecter les éléments architecturaux liés à l'accessibilité d'un bâtiment. Pour compléter notre étude, nous nous intéressons également à l'impact de l'expertise (sur les problématiques accessibilité et handicap) sur la performance en réalité virtuelle immersive. Nous supposons que comme dans un environnement réel, il existe une différence entre les réponses de l'expert en diagnostic accessibilité et les non experts.

### 3. Protocole expérimental

*L'objectif de ce protocole est de valider l'utilisation de la réalité virtuelle pour effectuer un diagnostic accessibilité.*

#### 3.1. Sujets

Deux hommes, ingénieurs en conception mécanique considérés comme non expert sur l'accessibilité et le handicap et deux femmes, l'une ergonome, spécialisée en ergonomie physique et donc sensibilisée aux notions d'accessibilité et l'autre cadre de la santé spécialisée dans l'accessibilité et le handicap ont complété le protocole expérimental. L'ergonome et un des ingénieurs en conception ont une utilisation courante de la réalité virtuelle, le second ingénieur et le cadre de santé sont néophytes dans le domaine. Tous les sujets sont familiers des technologies informatiques. L'âge moyen des sujets est de 30 ans.

#### 3.2. Matériel utilisé

Le protocole s'est déroulé sur une plate forme composée de trois écrans : deux écrans verticaux de 280cm x 210cm et un écran au sol de 280cm x 280cm, d'un système de capture de mouvement optique et d'un système de visualisation stéréoscopique (cf. fig. 1). Le sujet devait se déplacer dans l'environnement virtuel à l'aide d'un joystick. Ce même joystick, couplé à un capteur de mouvement optique positionné sur la main du sujet, permettait de réaliser des mesures de distance dans les trois plans de l'espace. Pour faire référence à cette dernière fonctionnalité, nous parlerons dans le reste de l'article, d'outil de mesure.

#### 3.3. Environnement virtuel

L'environnement virtuel utilisé est celui d'un futur bâtiment d'enseignement supérieur (cf. fig. 2). Le parvis et le hall d'accueil du bâtiment ont été utilisés dans le cadre de cette expérimentation. Pour les besoins de l'étude nous avons complété le modèle d'éléments liés à l'accessibilité, notamment en ce qui concerne la signalétique. Néanmoins, le bâtiment ne répond pas à toutes les normes d'accessibilité, il ne s'agit pas de vérifier/valider l'accessibilité globale du bâtiment. Ainsi, certains éléments d'accessibilité sont délibérément absents pour les besoins du protocole.

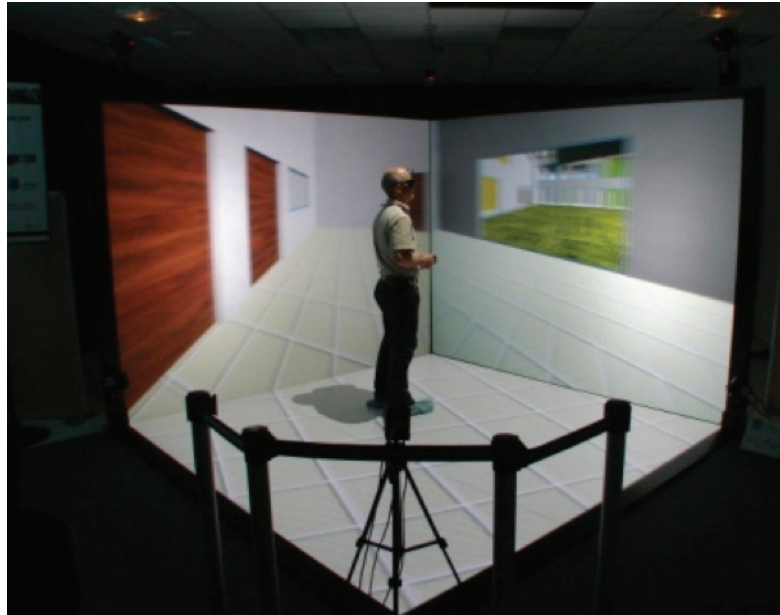


Figure 1 : Vue de la plate forme de réalité virtuelle



Figure 2 : Vue extérieure du futur bâtiment

#### 3.4. Tâche et performance

La tâche consiste à réaliser un diagnostic accessibilité dans un environnement virtuel. En environnement réel, une personne réalisant ce type de diagnostic dispose d'une liste d'éléments à examiner et doit rapporter la présence ou non de cet élément, et, éventuellement leur bonne application. La performance se mesure en termes de présence ou d'absence de l'élément et de conformité ou de non-conformité de l'élément. En environnement virtuel, la performance est similaire. Les sujets peuvent donc uniquement répondre : « Oui », « Non », ou « Je ne peux pas répondre », s'ils considèrent qu'ils ne peuvent pas se prononcer sur l'élément évoqué (cf. Fig 3).

Élément à examiner	OUI	NON	Ne peux pas répondre
Point d'accueil facilement repérable			
Présence de main courante de chaque côté de l'escalier			
Bouton d'ascenseur situé entre 90cm et 130cm			

Les réponses du sujet sont ensuite évaluées en fonction de la réalité du modèle et du potentiel de la technologie afin d'obtenir le nombre de réponse exacte. Ainsi, par exemple, si le sujet doit vérifier la présence d'une signalétique pour indiquer l'accueil du bâtiment, et si cette signalétique est absente dans l'environnement virtuel, alors pour que la réponse du sujet soit considérée comme juste, il doit répondre « Non ». Pour certain élément particulier, le raisonnement est moins trivial, ainsi, si le sujet doit indiquer si le sol n'est pas glissant alors ce sont les limites de la technologie qui donnent la réponse considérée comme exacte. En effet, le sujet doit répondre qu'il ne peut pas juger du caractère glissant ou non du sol.



Lors de la revue de la littérature, trois types de tâches ont été définis comme représentatifs d'un diagnostic accessibilité pour un bâtiment recevant du public : les tâches de contrôle, les tâches de mesure et les tâches subjectives. Les sujets doivent donc réaliser ces trois types de tâches dans l'environnement virtuel. Par exemple, ils doivent contrôler la présence ou non d'un plan, d'un pictogramme, ils doivent mesurer des largeurs de portes afin de valider qu'elles respectent les normes définies, et ils doivent se prononcer sur des contrastes d'équipement, sur la possibilité de repérer facilement la porte principale.

Pour chacune de ces tâches, les éléments à examiner ont été sélectionnés en se basant sur les cinq caractéristiques essentielles à la conception d'une ville accessible pour tous, données par Danford et Tauke (2001) (cf tableau 1). Ces caractéristiques sont les circulations dans le bâtiment, les entrées-sorties, la recherche d'itinéraire, les produits et services et les équipements (28). Elles représentent les principales interactions d'un utilisateur avec un bâtiment (29). Nous les avons donc utilisées pour extraire les 28 éléments à examiner lors du diagnostic. Cette approche nous permet d'obtenir un échantillon d'éléments à examiner représentatifs des divers éléments classiquement observés lors d'un diagnostic complet.

Type de tâche	Contrôle	Mesure	Subjective	Total des éléments à examiner
Caractéristiques				
Circulation				
Entrées et sorties				
Recherche d'itinéraire	9	8	11	28
Produits et services				
Equipements				

Tableau 1 : Répartition des éléments à examiner selon le type de tâches

### 3.5. Déroulement du protocole

Afin de permettre au sujet de se familiariser avec la technologie et les techniques d'interaction utilisées (joypad, outil de mesure), deux scènes d'entraînement sont proposées au sujet.

La première est un environnement virtuel représentant une gare, le sujet dispose de cinq minutes pour évoluer librement grâce au joy-pad dans l'environnement.

La seconde scène représente une caisse en bois que le sujet doit mesurer avec l'outil de mesure. La manipulation de l'outil de mesure est considérée comme acquise lorsque le sujet réussit à mesurer la hauteur, la largeur ainsi que la profondeur de la caisse avec une précision de plus ou moins dix pour cent.

Lorsque le sujet est familiarisé avec la technologie, la phase d'étude commence. Elle se déroule en trois étapes, correspondantes aux trois zones indiquées sur la figure 4 (circulation extérieure ; accueil ; circulation intérieure). Pour chaque zone, un point de vue de départ a été positionné. Le sujet peut être ramené à tout moment, et à sa demande sur ce point de vue.

Pour chaque étape, le sujet prend connaissance des éléments à examiner dans la zone concernée. Lorsque le sujet atteste de sa bonne compréhension des éléments à contrôler, il est conduit sur la plate forme et placé dans l'environnement au point de vue défini pour l'étape en cours. Le sujet est alors libre de ses déplacements dans l'environnement. L'expérimentateur se situe à ses côtés sur la plate forme afin de lui permettre de se reporter, via un support papier, aux éléments à contrôler. Les réponses sont données oralement par le sujet et inscrites sur le support papier par l'expérimentateur.

Le temps de pause entre les trois étapes du protocole est libre, et le sujet peut également à tout moment descendre de la plate forme de RV.

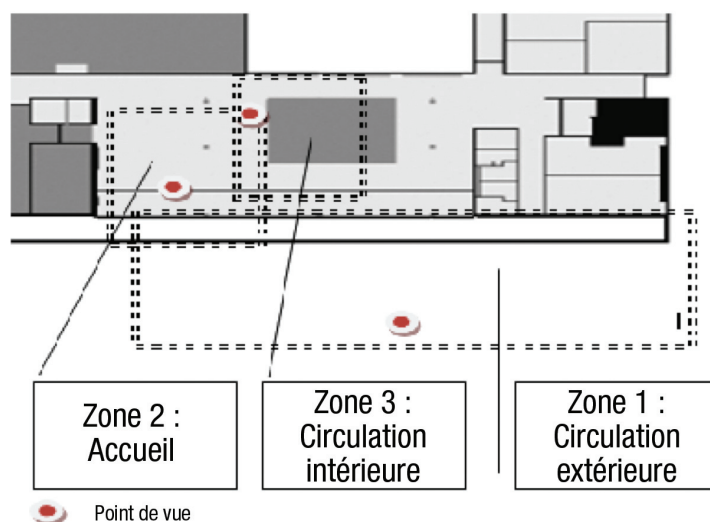


Fig 4 : Vue de dessus des trois zones d'études

Lorsque le sujet a réalisé son diagnostic accessibilité sur les trois zones, il lui a été demandé, grâce à un questionnaire, s'il a souffert du mal des simulateurs. Un sujet, non présenté ici, a été éliminé de l'étude pour cette raison.

Il est à noter que la passation complète du protocole a demandé 26 minutes au sujet le plus rapide et 56 minutes pour le sujet le plus lent.

## 4. Résultats

Sur l'ensemble des réponses des quatre sujets nous avons relevés 72,3% de bonnes réponses pour 27,7% de mauvaises. Nous obtenons des scores de réussite élevés pour les tâches de contrôle et de mesure, respectivement 91,6% et 87,5%. Nous constatons que la majorité des réponses fausses ont été donnée pour les tâches subjectives (45,4% de bonnes réponses, 54,6% de mauvaises) (cf. Graphique 1).

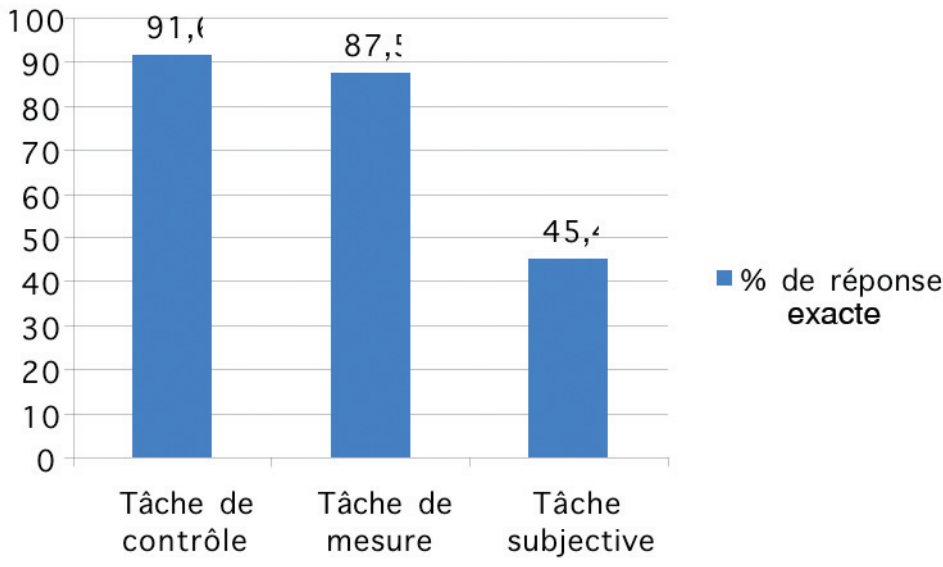
## 5. Discussion

Notre hypothèse principale de recherche est que le réalisme offert par la RV permet de détecter les éléments architecturaux liés à l'accessibilité d'un bâtiment. Cette hypothèse trouve notamment son origine dans les travaux de Lindsey et Mclain-Kark (1998), qui ont montré que des modifications environnementales peuvent être perçues en environnement virtuel, comme en environnement réel (26). Les résultats de l'expérimentation sont en accord avec notre hypothèse et avec les conclusions de Lindsey et Mclain-Kark. En effet, nos données expérimentales en réalité virtuelle montrent un taux de réussite important pour les

tâches de contrôle et de mesure. Cependant, en environnement réel, la performance pour les tâches de contrôle et de mesure est de cent pour cent. Nous n'obtenons pas un pourcentage d'erreur nul sur ces tâches pour tous les sujets. Seul l'expert en RV obtient ce pourcentage d'erreur nul. Les erreurs des autres sujets peuvent donc être imputées au niveau d'expertise en réalité virtuelle.

En ce qui concerne les tâches de mesure, ce taux d'erreur peut être lié à l'utilisation de l'outil de mesure. En effet, certains sujets ont éprouvé des difficultés à détecter les limites des objets à mesurer dans l'environnement virtuel avec l'outil proposé. Pour pallier à cette difficulté, nous pourrions proposer une formation plus approfondie à l'outil ou une modification de celui-ci afin de faciliter la prise de mesure. De plus, il est intéressant de noter que certains sujets n'ont pas utilisé l'outil pour certaines tâches dont la réponse paraissait évidente. Un exemple est la hauteur de la tablette de la zone d'accueil. Le sujet devait vérifier qu'elle était inférieure à 80cm.

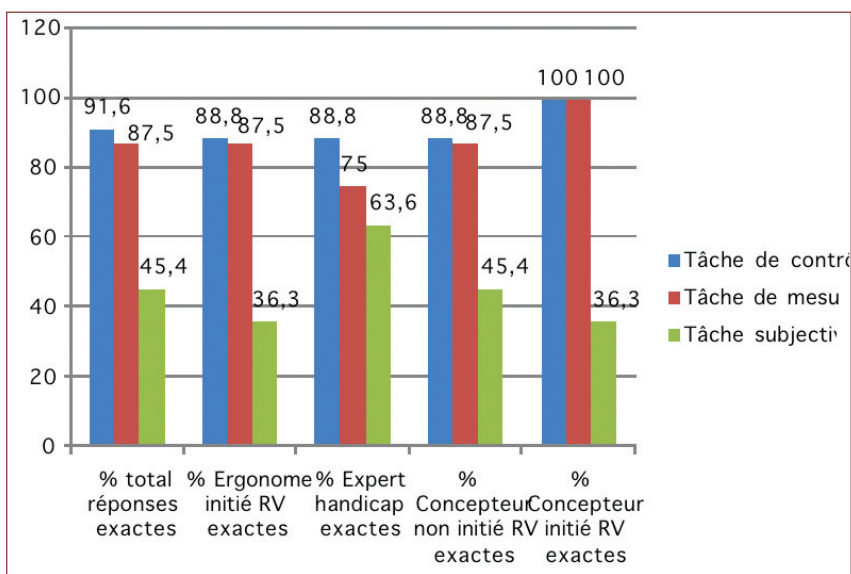
La tablette étant située à 115cm dans le modèle, les sujets avaient une perception relative de la hauteur de celle-ci grâce à leurs propres corps et pouvait conclure sans effectuer de mesures. En effet, il entrait en collision avec la tablette. Par contre, pour toutes les tâches de mesure, où le sujet n'utilisait pas son corps comme référence (mesure sur piliers par exemple), il faisait appel à l'outil de mesure, même si les dimensions étaient évidentes.



Graphique 1 : Pourcentage de bonnes réponses en fonction du type de tâche.

Si nous nous intéressons aux différences inter individuelles, nous constatons peu de différences de performance pour les tâches de contrôle et les tâches de mesures. Nous pouvons noter que le concepteur initié à la RV obtient un score de 100% pour les deux tâches. Le cadre de la santé expert en handicap présente un score légèrement inférieur aux autres sujets pour la tâche de mesure (75% de bonnes réponses). Le concepteur non initié à la RV et l'ergonome obtiennent des scores allant de 87,5% à 88,8% pour les tâches de contrôle et de mesure.

Un résultat particulièrement intéressant à remarquer est celui concernant les tâches subjectives. En effet, il montre que le sujet expert en handicap présente le score le plus élevé (63,6%), là où l'ergonome et le concepteur initiés à la RV obtiennent les scores les plus faibles avec 36,3% (cf. Graphique 2).



Graphique 2 : Différences inter individuelles selon le type de tâche

Concernant les tâches de contrôle, il nous faut préciser que, exception faite du concepteur initié à la RV, tous les sujets se sont trompés sur une question concernant le caractère repérable d'une porte vitrée. L'élément à contrôler était : « *Portes vitrées repérable (présence d'un bandeau sur toute la largeur de la porte* », le réalisme du modèle a amené les sujets à juger la porte repérable malgré l'absence de bandeau. Il est difficile d'interpréter cette erreur des sujets. Plusieurs pistes peuvent être avancées : formulation de l'élément à repérer, tendance à l'acquiescement des sujets sur des réponses dont ils ne sont pas sûrs, mauvaise compréhension des consignes etc.

Pour conclure sur les tâches de mesure et de contrôle, les bonnes performances des sujets dans ces tâches permises par le réalisme du modèle et l'immersion proposée par la réalité virtuelle nous confortent dans l'idée de la validité écologique d'un diagnostic accessibilité en réalité virtuelle.

En ce qui concerne les tâches subjectives, les performances sont proches de la moyenne, et vu que les choix dans les possibilités de réponses sont faibles (oui, non, ne peux pas répondre), certaines réponses peuvent être interprétées comme étant dues au hasard. Il est donc difficile de conclure sur les performances aux tâches subjectives. La réalité virtuelle immersive ne semble pas permettre la réalisation de ces tâches. Il serait intéressant de se questionner sur les spécificités des éléments à examiner et d'identifier leur singularité. Par exemple, les sujets ont répondu de manière erronée sur des éléments à examiner pour lesquels ils ne pouvaient pas se prononcer. Le cas le plus flagrant est que les sujets se sont prononcés sur le caractère meuble, glissant ou réfléchissant du sol virtuel. La technologie utilisée ne permettant pas de juger de cette caractéristique, les sujets n'auraient pas dû se prononcer sur ce dernier. Deux raisons majeures peuvent expliquer cette prise de position : le réalisme de l'environnement et le sentiment de présence associés qui donnent l'impression au sujet de pouvoir se prononcer ; la désirabilité sociale qui l'empêche d'assumer le fait qu'il ne peut pas répondre. Des expérimentations ultérieures devront s'intéresser à ces hypothèses explicatives pour mieux comprendre les spécificités de ces tâches subjectives en RV.

Pour compléter notre étude, nous nous sommes également intéressés à l'impact de l'expertise (sur les problématiques accessibilité et handicap) sur la performance en réalité virtuelle immersive. Nous avons fait l'hypothèse que comme dans un environnement réel, il existe une différence entre les réponses de l'expert en diagnostic accessibilité et les non experts. Nos résultats montrent effectivement une différence entre le cadre de la santé expert en handicap et les trois autres sujets, spécifiquement sur les tâches subjectives. Les performances obtenues sont largement supérieures à la moyenne pour le cadre de santé expert en accessibilité. Ce résultat permet de moduler nos conclusions précédentes sur l'utilisation de la RV pour les tâches subjectives. En effet, ces tâches sont dépendantes de l'expertise, au contraire des autres tâches et ceci peut donc expliquer, en partie, les faibles performances obtenues. La réalité virtuelle peut donc être potentiellement utilisée, par un expert en accessibilité, pour les tâches subjectives. Néanmoins, il serait intéressant de mettre ces résultats à l'épreuve en augmentant le nombre de sujets et en faisant varier leur expertise.

## 6. Conclusion

Comme énoncé dans le cadre théorique, et partant du constat que nos hypothèses de départ se sont vues confirmées, nous pouvons avancer que la réalité virtuelle semble être un outil permettant de tester et de valider des éléments architecturaux liés à l'accessibilité du cadre bâti avant même que ce dernier soit érigé. Bien que nous évoquions là les premiers résultats d'un travail de thèse qui demande à être complété et généralisé, ces derniers laissent présager de l'intérêt pour l'utilisation de la RV immersive pour ce domaine. Tout d'abord, nous pouvons évoquer les gains en termes de temps, par la validation, avant même sa construction, de solutions qui légalement se doivent d'exister. Les concepteurs ne sont donc pas confrontés aux problèmes de modification a posteriori (i.e. une fois le bâtiment livré et un premier diagnostic effectué) et aux coûts supplémentaires que cela engendre. En parallèle, si nous nous plaçons dans une optique de réponse au besoin d'utilisabilité pour tous, la RV peut permettre de mener une réflexion prenant en compte les éléments liés aux nécessités d'action des personnes en situation de handicap, par le biais de situations « écologiques » pouvant valider ou invalider les solutions choisies.

## Référence

- (1) Article L. 114 du Code de l'action sociale et des familles, loi no 2005-102 de 2005 sur « l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapés ».
- (2) MORMICHE, P., (2000). « Le handicap se conjugue au pluriel », INSEE Première, n° 742.
- (3) Arrêté du 22 mars 2007 "consolidé" (modifié par l'arrêté du 3 décembre 2007) JO du 5 avril 2007 - NOR : SOCU0612415A et JO du 21 février 2008 - NOR : MLVU0766528A
- (4) Délégation interministérielle aux personnes handicapés (2006). Le nouveau concept d'accessibilité : tous handicap, toutes activités.
- (5) WESTERDAHL, B., SUNESON, K., WERNEMYR, C., Mattias ROUPE, M., JOHANSSON, M. & ALLWOOD, C.M., (2006) Users' evaluation of a virtual reality architectural model compared with the experience of the completed building. *Automation in Construction* 15. 150 - 165
- (6) CORY, C. A., (2001) Utilization of 2D, 3D, or 4D CAD in construction communication documentation, in: E. Banissi, F. Khosrowshahi, M. Sarfraz, A. Ursyn (Eds.), *Information Visualisation*, 2001. Proceedings. Fifth International Conference on (Practical, Dept. of Comput. Graphics Technol., Purdue Univ., West Lafayette, IN, USA), pp. 219-224.
- (7) CRUZ-NEIRA, C., SANDIN, D.J., & DEFANTI, T.A., (1993). Surround-screen Projection-Based Virtual Reality: The design and Implementation of the CAVE. *ACM Computer Graphics*, 27, 135-142

- (8) FROST, P. & WARREN, P., (2000) Virtual reality used in a collaborative architectural design process, in: E. Banissi, M. Bannatyne, C. Chen, F. Khosrowshahi, M. Sarfraz, A. Ursyn (Eds.), *Information Visualization. Proceedings. IEEE International Conference on (Practical, Interactive Inst., Malmö Univ. Coll., Sweden), 2000*, pp. 568–573.
- (9) WOKSEPP, S., (2002). *Applied Virtual Reality for Construction Engineering*, licentiate thesis, Department of Structural Mechanics, Chalmers University of Technology, 2002.
- (10) Staub-French, S., & Fischer, M., (2001). *Industrial case study of electronic design, cost, and schedule integration*, Technical Report, vol. 122, Center for Integrated Facility Engineering, Stanford, 2001.
- (11) ZHANG, J.P., Z.Y. MA, Z.Y. & PU, C. (2001). 4D visualization of construction site management, in: E. Banissi, F. Khosrowshahi, M. Sarfraz, A. Ursyn (Eds.), *Information Visualisation, 2001. Proceedings. Fifth International Conference on (Practical, Dept. of Civil Eng., Tsinghua Univ., Beijing, China), 2001*, pp. 382- 387.
- (12) ROSE, F.D., ATTREE, E.A., & JOHNSON, D.A., (1996). Virtual reality: an assistive technology in neurological rehabilitation. *Curr Opin Neurol*, vol. 9, 461-7.
- (13) KLINGER, E., (2008) *Apports de la réalité virtuelle à la prise en charge du handicap*.
- (14) PUGNETTI, L., MENDOZZI, L., ATTREE, E.A., BARBIERI, E., BROOKS, B.M., CAZZULLO, C.L., MOTTA, A., & ROSE, F.D., (1998). Probing memory and executive functions with virtual reality : Past and present studies. *CyberPsychology and Behavior*, 2, 151-161.
- (15) RIZZO, A., BUCKWALTER, J.G., NEUMANN, U., KESSELMAN, C., & THIEBAUX, M., (1998). Basic issues in the application of virtual reality for the assessment and rehabilitation of cognitive impairments and functional disabilities. *CyberPsychology and Behavior*, 1, 59-78.
- (16) BROOKS, B.M., McNEIL, J.E., ROSE, F.D., GREENWOOD, R.J., ATTREE, E.A., & LEADBETTER, A.G., (1999). Route learning in a case of amnesia : a preliminary investigation into the efficacy of training in virtual environment. *Neuropsychological Rehabilitation*, 9, 63-76.
- (17) GOURLAY, D., LUNK, C., LEEY, N., & TAY, J., (2000). Virtual reality for relearning daily living skills. *International Journal of Medical Informatics*, 60, 255-261.
- (18) STICKLAND, D., (1996). A virtual reality application with autistic children. *Presence : Teleoperators and Virtual environments*, 3, 130-144.
- (19) LIU, L., MIYAZAKI, M., & WATSON B., (1999). Norms and validity of the DrivR: a virtual reality driving assessment for persons with head injury. *CyberPsychology and Behavior*, 2, 53-68.
- (20) CHRISTIANSEN, C., ABREU, B., OTTENBACHER, K., HUFFMAN, K., MASSEL, B., & CULPEPPER, R., (1998). Task performance in virtual environments used for cognitive rehabilitation after traumatic brain injury. *Archives of PhysicalMedecine and Rehabilitation*, 79, 888-892.
- (21) MOWAFI, L., POLLACK, J., (1995). Train to travel. *Ability*, 15, 18-20.
- (22) CROMBY, J.J., STANDEN, P.J., NEWMAN, J., & TASKER, H. (1996). Successful transfer to the real world of skills practised in a virtual environment by students with severe difficulties. In P.M. Sharkey (ed.), *Proceedings of the 1st European Conference on Disability, Virtual Reality and Associated Technology* (pp 103-107). Maidenhead,U.K.,University of Reading.
- (23) INMAN, D.P., LOGE, K., & LEAVENS, J. (1997). VR education and rehabilitation. *Communication of the ACM*, 40, 53-58.
- (24) BERTELLA, L., MARCHI, S. & RIVA, G., (2001). Virtual Environments for Topographic Orientation (VETO): Clinical rationale and technical characteristics. *Presence* 10(4):440-449.
- (25) LI, K., DUGGY, V.G. & ZENG, L., (2006). Universal accessibility assessments through virtual interactive design. *Int. J. Human Factors Modelling and Simulation*, Vol. 1, No 1.
- (26) LINDSEY, P. F., & MCLAIN-KARK, J. (1998). A comparison of real world and virtual world interior environments. *Journal of Interior Design*, 24(1), 27-39.
- (27) McGEORGE, P., PHILLIPS, L., CRAWFORD, J.R., GARDEN, S.E., DELLA SALA, S., & MILNE, A.B., (2001). Using virtual environments in the assessment of executive dysfunction. *Presence : Teleop Virt* 10, 379-387.
- (28) DANFORD, G.S. & TAUKE, B., (2001). *Universal Design* New York. Vanguard Direct, New York.
- (29) AFACAN, Y. & ERBUG, C., (2009). An interdisciplinary heuristic evaluation method for universal building design. *Applied Ergonomics* 40 (2009) 731-744