

I Introduction

Ce document fait état du travail réalisé lors d'un stage de fin d'études, effectué dans le cadre d'un Master 2 professionnel options Image, Son, Multimédia de l'Université Bordeaux 1. Celui-ci s'est déroulé au sein de l'institut de recherche Inria Bordeaux Sud-Ouest, avec pour sujet *Mise au point de techniques d'interaction pour favoriser la navigation dans des environnements urbains 3D*. Ce sujet a été proposé et encadré par Martin Hachet, responsable de l'équipe Potioc. Le stage s'est vu programmé sur une période allant du 1^{er} Avril 2012 au 30 Septembre 2012, portant la durée totale de celui-ci à 6 mois.

Les lignes qui vont suivre ont pour but de retracer, en bref, l'historique du centre Inria afin de mieux situer le contexte dans lequel le stage s'est effectué. Succédera alors une présentation du sujet proposé ainsi que des explications quant à l'intérêt d'un tel développement.

I.1 Inria

Inria, anciennement nommé l'Iria (Institut de recherche en informatique et automatique), fût créé en 1967 durant la période gaullienne, avec à sa tête d'importantes figures tels que Michel Laudet et Robert Galley, dans le but de pourvoir la France de technologies de pointe en matière d'informatique et automatique. A cette époque, de très nombreuses questions scientifiques étaient soulevées par l'industrie Française, et c'est afin de répondre à ces demandes que l'institut fût mis en place. Des équipes de chercheurs travailleraient alors sur les principaux problèmes posés et ce en collaboration avec le secteur industriel. Ce lien recherche/entreprises est une notion fondamentale dans l'évolution du centre puisqu'encore aujourd'hui, Inria entretient de forts partenariats avec de grandes entreprises Françaises, mais également internationales.

En effet, durant la fin des années 70, la réputation de l'institut, présidé alors par Jacques-Louis Lions, franchit les frontières pour diffuser à l'échelle Européenne les connaissances acquises. C'est alors qu'Iria se voit gagner un 'n' afin de former l'appellation que nous connaissons aujourd'hui : Inria (Institut nationale de recherche en informatique et automatique). Acteur majeur du développement de l'internet en Europe et pionnier d'un réseau de chercheurs européens (ERCIM, European Research Consortium for Informatics and Mathematics), Inria, jouit à présent d'une solide réputation tant au niveau national qu'international.

C'est avec un soucis constant de transfert des technologies nouvelles en direction du secteur industriel qu'Inria s'illustre. Ceci prend la forme de dépôts de brevets, de contrats passés avec des industries, d'animation de Consortia ou encore de soutien aux entreprises innovantes. Pas moins de 80 entreprises se sont créées durant les années 80 - 90 avec l'appui de l'institut et pas moins de 45 sont encore en activité aujourd'hui. On notera également la multiplication des collaborations à l'internationale.

Inria forte de ses 40 ans d'histoire, s'est vue dotée de 8 centres de recherches situés à Rocquencourt, Rennes, Sophia Antipolis, Nancy, Grenoble et plus récemment Saclay, Bordeaux et Lille, dans le but d'y accueillir un personnel toujours grandissant. Inria aujourd'hui, présidé par Michel Cosnard, c'est 4290 personnes dont 3 429 scientifiques, formant un total de 208 équipes de recherche

pour 4850 publications en fin 2010. C'est également 271 brevets actifs, 111 logiciels et 105 sociétés de technologie issues du centre pour un budget total frôlant les 252 Millions d'euros.

I.2 Inria à Bordeaux



FIGURE I.1 – Nouveau bâtiment Inria Bordeaux Sud-Ouest

C'est dans l'un des derniers centres Inria à avoir vu le jour que ce stage s'est effectué. Situé à Bordeaux et présidé par Isabelle Terrasse, l'institut s'est développé sur le campus académique bordelais et palois (Voir figure I.1), avec le soutien de partenaires tels que le Conseil Régional d'Aquitaine, la Communauté Urbaine de Bordeaux, le FEDER ou encore l'Université de Bordeaux 1. Aujourd'hui Inria Bordeaux Sud-Ouest rassemble près de 283 scientifiques de 28 nationalités différentes réparties dans 21 équipes de recherches ayant toujours pour objectif élémentaire le transfert et l'innovation. C'est également 500 publications par année et 24 logiciels déposés. Les grandes thématiques actuellement abordées sur le site de Bordeaux sont les suivantes :

- Mathématiques appliquées, calcul et simulation
- Perception, cognition, interaction
- Algorithmes, programmation, logiciels et architectures
- Réseaux, systèmes et services, calcul distribué

Le sujet du stage entre dans la thématique forte des Perception, cognition et interaction. Cette thématique se subdivise en trois sous-parties (Voir figure I.2) dont une se nomme interaction et visualisation, qui s'avère être les spécialités des équipes Potioc et Manao. Autrefois réunies sous la dénomination Iparla, ces deux équipes se sont aujourd'hui scindées afin de s'orienter vers des aspects plus spécifiques à savoir pour Manao, le côté visualisation, avec une forte dominante ayant attrait aux rendus 3D, là où Potioc s'est spécialisé dans les interactions entre l'Homme et la machine. Bien évidemment ces deux équipes demeurent très liées au quotidien puisque partageant des racines communes ainsi qu'un aspect recherche associé aux environnements virtuels 3D.

Le stage portant sur l'interaction, c'est au sein de l'équipe Potioc que celui-ci s'est déroulé.

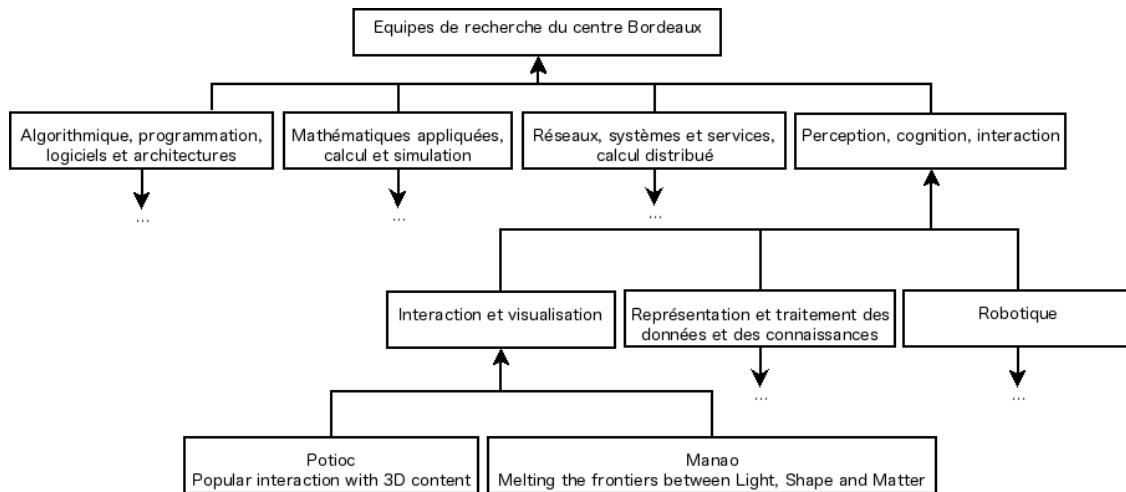
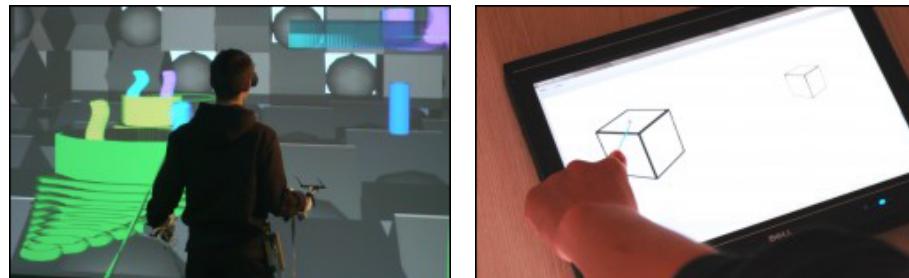


FIGURE I.2 – Organigramme des équipes de recherche Inria Bordeaux Sud-Ouest

I.3 L'équipe Potioc

Potioc (*Popular interaction with 3D content*) est dirigée par Martin Hachet. Son axe de recherche principal portant sur l'interaction Homme-machine en environnement virtuel 3D, son but est d'ouvrir la technologie 3D interactive au plus grand nombre (professionnels, grand public mais également personnes atteintes d'un handicap) afin de permettre à chacun de mieux comprendre, créer, se divertir et communiquer. Dans cette optique, les travaux menés visent à améliorer les différents processus d'interaction entre l'usager et l'environnement virtuel 3D de façon à les rendre le plus accessible possible. Voici les trois principaux points autour desquels s'articulent les recherches de l'équipe :

- Exploration et enrichissement de l'espace d'interaction
- Conception de techniques d'interaction 3D
- Compréhension et évaluation de l'interaction



(a) Dispositif d'interaction 3D pour la réalisation de performances musicales (b) Evaluation de gestes pour la manipulation d'objets 3D sur surface tactile

FIGURE I.3 – Exemples de travaux réalisés dans l'équipe Potioc

Les travaux actuels pointent dans différentes directions, on peut y retrouver à titre d'exemples, la confection d'un simulateur de passerelle aéroportuaire, un logiciel 3D permettant à un orchestre d'ordinateurs d'interagir et confectionner des morceaux musicaux (Voir figure I.3 (a)), une étude utilisateur sur la manipulation d'objets 3D via surface tactile (Voir figure I.3 (b)), etc ... Ceci n'est

qu'un petit aperçu de ce qui y est traité.

Ces différents projets sont souvent le fruit d'une collaboration entre chercheurs et ingénieurs. Le chercheur, bien que parfois impliqué du côté applicatif, s'occupe essentiellement de la partie théorique, pendant que l'ingénieur s'intéresse plus au développement logiciel à proprement parlé. Ce stage s'inscrit directement dans le cadre d'un poste d'ingénieur Inria.

I.4 Ingénieur au sein de l'équipe Potioc

Un ingénieur est, dans la majeure partie des cas, embauché dans le but d'aider à concrétiser sous forme de prototypes logiciels les recherches d'un membre de son équipe. Il s'occupe généralement de tout ce qui est développement informatique, programmation, et nécessite donc d'avoir des compétences précises dans ce domaine. Dans le cas de l'équipe Potioc, des connaissances en programmation 3D est indispensable à la bonne conception d'un tel logiciel. Il lui faut également prendre connaissance du domaine sur lequel il intervient afin de pouvoir comprendre les tenants et les aboutissants des recherches menées en amont.

Le poste d'ingénieur au sein d'une équipe de recherche ne se limite pas au seul projet sur lequel il est affecté. Bien qu'il soit une partie importante de son temps de travail, il se doit également de participer à toutes sortes de tâches de manutention dans le but d'aider et de soutenir les différents projets menés par son équipe. Dans le cadre de l'équipe Potioc, cela va de la gestion du matériel à l'aide à la conception et montage de dispositifs immersifs.

La manutention n'étant pas l'objet à proprement parlé du stage, la suite de ce document ne fait état que du travail effectué sur le projet en lui-même.

II Projet Ville Transparente



Le sujet de ce stage entre dans le cadre d'un projet national nommé "Ville Transparente", projet prévu pour une durée de 36 mois et issu d'une collaboration entre 3 acteurs Français à savoir, l'entreprise européenne PagesJaunes Groupe, l'entreprise Vectuel et Inria Bordeaux Sud-Ouest.

II.1 PagesJaunes Groupe

PagesJaunes Groupe¹ est une entreprise spécialisée dans la recherche d'informations locales, la mise en relation et la publicité locale, sur Internet, mobile et imprimé [?]. Elle propose de nombreux services complémentaires dont Mappy², site internet proposant la visualisation de différents plans urbains, satellites ou schématiques, avec lesquels l'usager peut faire des calculs d'itinéraires. On retrouve également au sein de Mappy, le service UrbanDive³, une fonctionnalité supplémentaire offrant, grâce à des photos panoramiques haute définition prises dans les principales villes de France, la possibilité de vivre une expérience de navigation en environnement virtuel 3D urbain. Son intérêt premier est de permettre à l'usager d'identifier rapidement les services de proximité dont il a besoin. Cela se traduit par l'affichage d'informations par dessus l'environnement susmentionné. On y retrouve des enseignes commerciales, des informations culturelles, pratiques, des avis de consommateurs et des contenus créés par les internautes.



II.2 Vectuel et sa filiale Virtuel City



Vectuel⁴ est une entreprise actuellement en pleine croissance. Elle est spécialisée dans la production de maquettes virtuelles 3D, interactives de surcroît, destinées aux projets de grandes entreprises, liés notamment à l'architecture et l'urbanisation. Elle s'illustre en proposant des reconstructions 3D optimisées de haute qualité de zones urbaines existantes mais également par la vente de logiciels sur-mesures permettant entre autre la navigation dans un espace virtuel 3D urbain. Sa filiale Virtuel City⁵ est dédiée à la représentation 3D de très grands espaces urbains.

II.3 Description du Projet *Ville transparente*

Ce projet vise à fournir aux futurs utilisateurs un outil permettant de rapidement obtenir les informations géographiques dont ils ont besoin à travers la découverte de villes existantes modélisées en 3D. Ces informations se verront accessibles par l'intermédiaire de différentes techniques d'interaction en environnement 3D, lesquelles devront nécessiter un temps d'apprentissage faible afin de faciliter la prise en main de l'outil et ainsi augmenter son accessibilité pour tous. Le logiciel se devra également d'apporter qualité et quantité de données 3D et 2D, notamment en ce

1. <http://www.pagesjaunesgroupe.com/>
2. <http://fr.mappy.com/>
3. <http://www.urbandive.com/>
4. <http://www.vectuel.com/>
5. <http://www.virtuelcity.com/>

qui concerne l'affichage des environnements virtuels 3D urbains et données juxtaposées telles que la position des services publics, des commerces, et autres informations pertinentes. Trois grands points ressortent de la conception de ce projet :

- Visualiser les villes 2D/3D, à l'aide d'une vue au sol et d'une vue aérienne, avec des niveaux de rendu différents, allant de photoréaliste à très schématique.
- Permettre aux utilisateurs de naviguer dans les villes en 3D de façon naturelle et intuitive sur un ordinateur à l'aide d'une simple souris 2D comme sur un terminal mobile ayant un écran tactile multi-points.
- Visualiser les contenus dans les villes en 3D (incluant les contenus dormants publics et commerciaux), ainsi que les parcours calculés en transport multimodal et les informations sur l'état du trafic pour le transport en commun.

Le groupe PagesJaunes apporte donc dans le cadre de ce projet, son expertise dans le domaine de la cartographie 2D et calcul des itinéraires. Elle met également à disposition sa base de données d'images panoramiques des rues des villes de France.

Vectuel et sa filiale Virtuel City apportent quant à elles leur savoir-faire en termes d'optimisation des contenus 3D, proposant notamment des modèles de villes numériques et répondant à de la problématique d'affichage 2D/3D.

Inria Bordeaux, présenté précédemment, intervient dans le but de proposer de nouvelles techniques d'interaction en environnement 3D. Ces techniques devront être intuitives et adaptées au cas particulier de la ville en 3D. Aussi, au-delà de la conception de techniques de déplacement et d'observation, l'institut apporte sa compétence dans la problématique de la cognition et la représentation spatiale, cette dernière étant directement liée au défi de la navigation dans des environnements urbains 3D de grandes dimensions.

Il en résultera un prototype logiciel proposant une ville pouvant à la fois être affichée en 3D via un contenu réaliste de qualité ou en 2D sous forme schématique, qui permettra à un utilisateur de s'informer à travers un environnement clair et fonctionnel dans lequel celui-ci pourra profiter au mieux de la richesse des services publics et des entreprises privées, et exploitera pleinement l'ensemble des opportunités de sa ville numérique et ce, sur ordinateur comme sur terminal mobile. Les technologies issues de ce projet seront par la suite commercialisées au travers des deux services suscités de PagesJaunes Groupe à savoir UrbanDive et Mappy.

II.4 Objectifs du stage

Le stage s'inscrivant dans un projet récent nécessitant plusieurs années d'études et de développements, son sujet s'est vu orienté, dans une première partie, vers la réalisation d'une étude préalable du domaine de l'interaction 3D. Cette étude préliminaire, plutôt théorique, a pour but de présenter lors d'une synthèse rapide les divers éléments fondamentaux indispensables à la bonne confection d'une interaction 3D. Ainsi on y apprend, par exemple, qu'il est nécessaire de faire appel à d'autres sciences telles que les sciences cognitives, la psychologie, etc.

Cette tâche d'introduction au domaine nécessite dans un second temps d'effectuer des recherches sur les diverses techniques existantes permettant de naviguer au sein d'un environnement virtuel 3D, afin d'octroyer à l'équipe une vue d'ensemble des idées et méthodes qui pourraient potentiellement répondre aux différentes questions qui ne manqueraient pas d'être soulevées dans un futur proche. Aussi, cet effort, outre son intérêt premier, permet d'effectuer des analyses plus pertinentes telle qu'isoler les invariants à ces différentes techniques.

Enfin, vient dans un dernier temps, la production d'un prototype logiciel développé en interne coté Inria. Celui-ci est proposé afin de nous permettre de tester ces différentes techniques de navigation dans un environnement virtuel 3D de type urbain, avec pour seul périphérique d'entrée une classique souris 2D ou une surface tactile multi-points (afin de porter le développement sur ordinateur mais également sur terminaux mobiles de type tablettes tactiles). La mise en pratique de ces techniques en situation complexe permettra de mieux comprendre les difficultés rencontrées dans un tel milieu, difficultés desquelles émaneront de possibles idées novatrices pouvant partiellement voir totalement répondre à la problématique première.

A présent, il est important de définir les termes qui composent le sujet, à savoir notamment qu'est qu'une interaction ? Qu'est ce que naviguer ? En quoi un environnement virtuel urbain 3D modifie la navigation ? C'est pourquoi il est proposé dans la prochaine partie une introduction se voulant plus générale des concepts relatifs à l'interaction 3D.

III Etudes préalables

Le nombre d'outils informatiques permettant à un usager d'interagir dans un environnement virtuel en 3D croît chaque jour un peu plus. Autrefois limités au seul secteur professionnel, bon nombre de logiciels se sont vus aujourd'hui déclinés, simplifiés dans le but d'un usage grand public. Parmi eux se trouvent les outils géomatiques. Ils regroupent divers dispositifs tels que les Systèmes d'information géographique (SIG), les systèmes de Guidage Par Satellite (GPS), les Globes Virtuels (Google Earth par exemple), etc. Ces logiciels sont les successeurs directs de nos cartes géographiques papier. Ils offrent la possibilité de visualiser à l'écran la carte du monde (ou d'une région du monde) sous différents aspects (vue simplifiée, vue satellite), et permettent notamment la juxtaposition de données tels que le trafic urbain, la topologie d'une ville, les transports en commun, etc.

Plus récemment, un ajout majeur a fait son apparition sur ce type de logiciel, la 3D. Bien qu'utilisée depuis longtemps dans un contexte professionnel pour des traitements plus spécifiques, elle permet aujourd'hui à un usager d'observer, de se mouvoir et d'interagir avec un environnement virtuel en 3 dimensions, environnement présentant de fortes similitudes avec le monde réel. Il est désormais possible de réaliser une visite virtuelle du grand canyon ou de la ville de Paris sans quitter son domicile.

Malgré cette importante avancée, l'Interaction 3D demeure un sujet de recherche actif où l'attention se porte désormais sur son utilisabilité pour le grand public. En effet, l'usager n'étant plus un professionnel pouvant bénéficier de formation propre à l'outil utilisé, il est important de penser l'Interaction 3D différemment. Elle se doit d'effectuer toutes les tâches désirées et ce avec une facilité de prise en main accrue.

Ce document s'appuie sur cette notion d'accessibilité pour tous afin de présenter diverses interactions 3D couramment utilisées. Afin de mieux comprendre quels sont les critères d'accessibilité indispensables lors d'une utilisation grand public, il est important de définir ce qu'est une Interaction 3D.

III.1 Interaction 3D

Une interaction 3D est une action bidirectionnelle qui a lieu entre l'Homme et la machine dans le cadre d'un environnement virtuel 3D. Elle nécessite trois composantes de base [5],

- Une interface matérielle motrice (Périphérique(s) d'entrée)
- Une interface matérielle sensorielle (Périphérique(s) de sortie)
- Des techniques d'interaction (Couche logicielle)

Concrètement, l'usager perçoit, prend une décision et transmet un ordre par l'intermédiaire de l'interface matérielle motrice [2]. Celui-ci est acquis et simulé par la couche logicielle, puis restitué à l'interface matérielle sensorielle qui se charge alors de fournir un retour à l'utilisateur (affichage d'une image à l'écran dans le cas d'un retour visuel mais peut également être sonore, haptique ou autres). Voir figure III.1. Dans le cadre de cette étude, l'interface matérielle sensorielle sera composée d'un écran aux dimensions variables pour un retour visuel ainsi que d'un potentiel

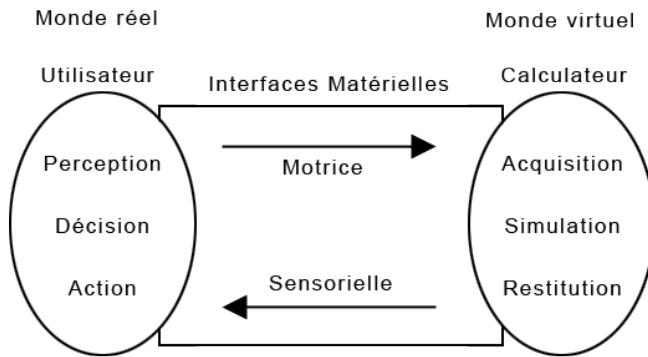


FIGURE III.1 – Cycle d'une Interaction 3D [5]

retour sonore à l'aide d'enceintes ou de casques. Quant à l'interface sensorielle motrice, nous nous intéresserons uniquement à des périphériques d'entrée à 2 dimensions tels que la souris ou les écrans tactiles multi-points.

III.2 Ecrans tactiles

Les efforts consacrés dans la miniaturisation des technologies sont considérables. Il est aujourd'hui tout à fait pertinent de se poser la question de l'utilisation de terminaux mobiles telles que les tablettes tactiles lors du développement d'une application. Elles embarquent à présent une puissance de calculs suffisante à l'affichage de scènes 3D complexes et octroient à l'usager de multiples possibilités d'interaction depuis l'apparition notamment des écrans tactiles multi-points.

Il est régulier de voir les écrans tactiles considérés comme une émulation des événements de la souris de bureau classique, lors d'un clic ou le déplacement de curseur par exemple. Si cette technologie permet effectivement une utilisation proche de la souris, elle n'en demeure pas moins très différente sur certains points. Ces différences [4] se retrouvent essentiellement au niveau de la précision dans la tâche de sélection, du positionnement des doigts, des gestes à effectuer, etc. Il est également important de tenir compte de paramètres extérieurs [4] à l'interaction en elle-même telles que la *préhension*, ou encore la *taille* du dispositif lors de la conception d'une technique d'interaction. Les interactions sur terminal mobile sont donc souvent très différentes de celles usitées sur poste fixe et nécessitent un développement adapté.

III.3 Techniques d'interaction

Les techniques d'interaction constituent en partie la couche logicielle. Ce sont des méthodes qui permettent à l'aide d'un dispositif d'entrée d'interagir avec l'environnement virtuel 3D. Si la technique utilisée fait une analogie avec un mouvement ou une technique employée dans la vie réelle on parle alors de métaphore. Ces techniques font l'objet de multiples classifications telle que celle présentée par Coquillart et associés [3], qui proposent une décomposition en 4 tâches élémentaires que l'on nomme PCV (Primitives Comportementales Virtuelles). Ces PCV sont identifiées comme suit [5] :

- Observer le monde virtuel
- Naviguer dans le monde virtuel
- Agir sur le monde virtuel
- Communiquer avec autrui ou avec l'application pour son contrôle

Dans ce qui suit, nous allons essentiellement nous concentrer sur la notion de déplacement, puisque l'étude porte sur la navigation dans un environnement urbain virtuel en 3 dimensions.

III.4 La navigation

L'acte de se déplacer s'avère être un mouvement incontournable pour l'être humain. Que ce soit à pied ou via un transport quelconque, il lui est nécessaire de se mouvoir d'un point à un autre. C'est cette tâche qui est désignée par le terme de *navigation*. Elle regroupe l'ensemble des fonctionnalités permettant aux utilisateurs d'explorer, de rechercher et/ou de manoeuvrer dans l'espace virtuel. A. Bowman et associés proposent de découper cette tâche en deux composantes principales [1] [7] :

- La composante motrice, qui permet le déplacement effectif d'un point à un autre
- La composante cognitive, qui, quant à elle, permet de se repérer et choisir un chemin au sein d'un environnement. On parle alors généralement de *recherche d'itinéraire*

III.5 Le déplacement

Il est commun, au sein d'un espace virtuel 3D urbain, de déplacer le point de vue utilisateur pour simuler l'exploration de l'environnement. Ce point de vue est souvent appelé *caméra 3D*. Cette caméra possède deux attributs majeurs :

- Une position, définie par un trio de coordonnées (x, y, z) relatives au repère du monde virtuel.
- Un vecteur indiquant la direction du regard.

Les différents mouvements nécessaires à un déplacement libre et cohérent demandent 6 DDL (degrés de liberté) :

- 3 translations, une selon chaque axe.
- 3 rotations, la première selon l'axe x , la seconde selon l'axe y et la troisième et dernière selon l'axe z , afin d'octroyer à l'utilisateur respectivement les mouvements de *tangage*, de *lacet* et de *roulis*. Voir ci-dessous les figures III.2(a), (b) et (c).

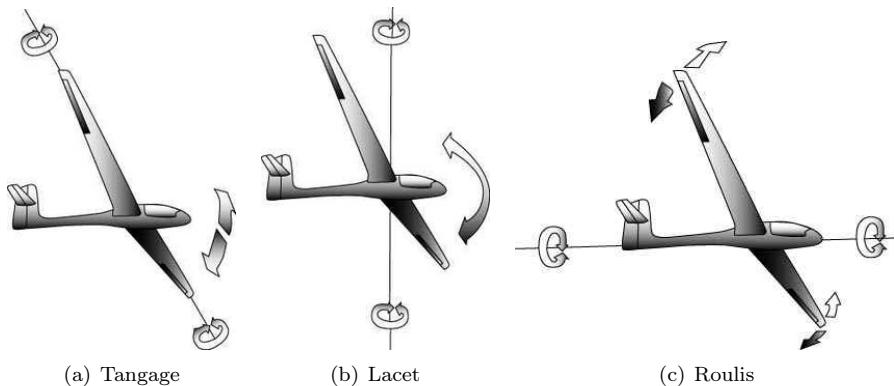


FIGURE III.2 – Représentations schématiques des 3 types de rotation (images provenant de <http://fr.wikipedia.org/>)

Il existe quelques méthodes de navigation utilisant une combinaison de mouvements élémentaires tels que cités ci-dessus, qui demeurent couramment employées au sein du secteur de recherche.

Toutes possèdent une appellation scientifique propre. Nous utiliserons ces termes durant la présentation des différentes méthodes de navigation [4] :

- Le Panning : Autorise les translations selon x et y
- Le Look Around : Permet de modifier l'orientation de la vue à l'aide des mouvements de *tangage* et de *lacet*
- La Trackball : La caméra 3D se retrouve contrainte à la surface d'une sphère et pointe en permanence en direction du centre de celle-ci.
- Le Flying : Aussi appelé mouvement véhicule qui permet d'avancer et de reculer selon un axe directeur modifiable grâce au mouvement de *lacet*.
- Le Goto : C'est une technique qui consiste à sélectionner un point de la scène afin d'y mouvoir la caméra de façon automatique.

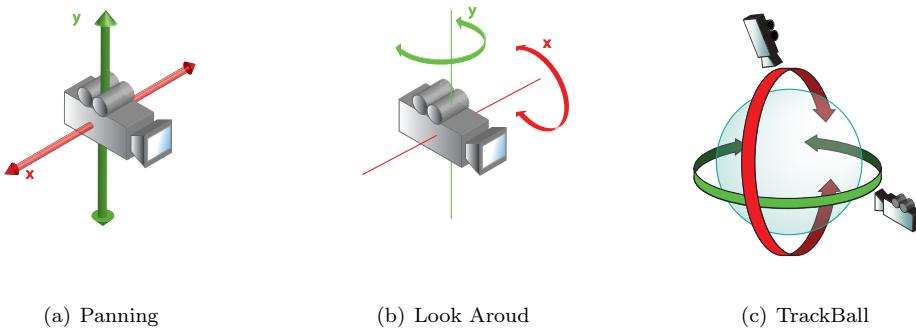


FIGURE III.3 – Représentations schématiques des mouvements réalisés par les techniques *panning*, *look around* et *trackball*

Ces principaux modes de navigation sont régulièrement utilisés et combinés afin de donner des techniques de navigation plus complexes. Par ailleurs il est possible de les utiliser dans le cadre d'un mouvement continu, discret ou planifié :

- Un déplacement est dit continu en temps réel (on entend ici par temps réel un délai inférieur ou égal à 100ms entre l'événement souris et sa répercussion à l'écran [10]) si les actions contrôlées par l'utilisateur sont immédiatement retranscrites sur son déplacement dans l'environnement virtuel.
- Un déplacement est dit discret en temps réel si l'utilisateur n'a besoin que de fournir un jeu de coordonnées dans l'environnement pour se déplacer.
- Un déplacement est dit planifié si celui-ci n'est plus contrôlé en temps réel mais nécessite une phase de planification du déplacement suivi de son exécution.

Ainsi un Panning par exemple, peut être contrôlé via un déplacement continu en temps réel avec les mouvements de la souris ou simplement à l'aide d'un clic dans l'environnement via la technique *GoTo*, faisant alors appel à un déplacement discret en temps réel.

Le déplacement continu implique un plus grand engagement de la part de l'usager, ce qui peut potentiellement augmenter l'immersion cognitive de celui-ci. En revanche, ce déplacement nécessite un certain temps d'apprentissage.

III.6 La recherche d'itinéraire (WayFinding)

L'ensemble des processus cognitifs qui permet à un individu de s'orienter dans un environnement est appelé *Recherche d'Itinéraire* [8]. C'est la mise en commun de toutes nos connaissances acquises sur cet environnement qui permet à une personne de se construire une représentation mentale spatiale de celui-ci et ainsi de choisir la direction vers laquelle elle souhaite se déplacer. On parle

alors de carte cognitive. Ce processus est dévolu à l'acquisition, le stockage et le décodage d'information environnante. Cette représentation spatiale se bâtit à l'aide de plusieurs connaissances [13] :

- La connaissance de points de repères, qui n'est autre que l'action de se référer à des éléments environnementaux connus et souvent importants.
- La connaissance procédurale, qui fait appel aux trajets connus par l'individu.
- La connaissance topologique, qui est une connaissance plus globale de l'environnement où l'observateur peut estimer sa position par rapport à différents éléments. Cette dernière est la plus difficile à acquérir.

La construction de cette carte est un processus automatique ou parfois partiellement conscient qui peut différer d'une personne à l'autre. Certains individus peuvent avoir une approche se basant sur une connaissance topologique, alors que d'autres vont plus facilement solliciter leur connaissance procédurale. Ces deux stratégies ont donné naissance à deux types de référentiel, c'est pourquoi on parle régulièrement de référentiel égocentrique et exocentrique dans le cadre d'une Interaction 3D.

Un référentiel égocentrique est un référentiel où les coordonnées du point de vue sont centrées sur soi-même. On parle souvent de vue à la première personne. L'orientation et les mouvements respectent la position du corps et l'utilisateur s'appuie le plus souvent dans ce genre de configuration sur des points de repères ou sa connaissance procédurale.

Le référentiel exocentrique, quant à lui, implique des mouvements, une orientation et une position définies par des coordonnées extérieures au corps. Il se centre sur des objets environnant et fait d'avantage appel à la connaissance topologique de l'individu.

Ces notions sont importantes. Il est préférable d'utiliser le référentiel le plus adéquat en fonction du style cognitif de l'usager mais également de la tâche à accomplir. Il peut donc être pertinent de proposer une interaction 3D permettant l'utilisation de ces deux référentiels. Il faut néanmoins faire attention si l'on souhaite passer de l'un à l'autre car il est fréquent que cette transition soit source de désorientation.

III.7 La désorientation

La désorientation est un problème récurrent dans le cadre d'une navigation dans un environnement 3D. En effet, il est plus difficile de s'y déplacer qu'en environnement réel notamment à cause d'une réduction du champs de vision due au matériel usité, mais également à cause du manque d'indices sensoriels induis par l'absence de contraintes physiques. C'est pourquoi il est important dans le cadre d'Interaction 3D de subvenir à ces désagréments. A défaut d'aisément pouvoir copier la réalité, l'informatique peut offrir de nouvelles perspectives. Parmi elles se trouvent notamment ce que nous nommons les ALC, les aides logiciels cognitives. Ces ALC sont utilisées afin de mettre en évidence des éléments de l'environnement, souvent à l'aide de propriétés tels que la couleur, l'éclairage ou la transparence. On y retrouve par exemple différents indices environnementaux :

- Un éclairage variable
- Le phénomène d'ombrage
- Les lignes d'horizon
- Les couleurs atmosphériques
- ...

Il est également fréquent de trouver au sein de logiciels 3D des ALC tels que des mini-cartes ou plans semi-transparents. Elles favorisent la construction de cartes cognitives en proposant une vue exocentrique, octroyant ainsi à l'utilisateur un supplément informatif d'ordre topologique, ce qui implique un allègement significatif de la charge cognitive suscitée par la tâche de recherche, augmentant ainsi les performances utilisateur durant le processus de navigation.

Une autre forme d'aide permettant l'amoindrissement de l'effort cognitif est de structurer l'environnement. La construction d'environnements virtuels basés sur la structure des éléments du réel offre à l'usager la possibilité d'utiliser ses diverses connaissances acquises du monde réel ou préalablement acquise dans un monde virtuel. Lynch [9] a identifié les éléments structurants qui permettent à un utilisateur de se repérer dans un environnement urbain. Ce modèle scinde l'environnement en 5 éléments majeurs :

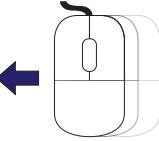
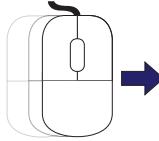
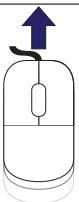
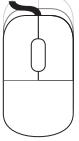
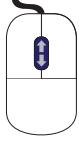
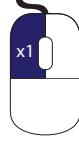
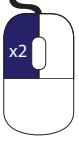
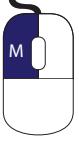
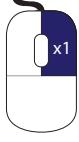
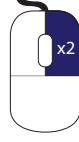
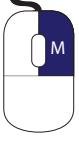
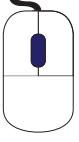
- Les axes : Voies de circulation, rues, chemins de fer doivent avoir une bonne continuité spatiale et une bonne clarté directionnelle.
- Les limites : Ce sont des éléments linéaires tels que les frontières, les rivages, etc. Leur rôle est de maintenir l'ensemble d'une zone.
- Les quartiers : Parties de ville d'une taille suffisamment grande dans laquelle l'utilisateur peut s'aventurer.
- Les noeuds : Lieux stratégiques établissant un lien entre deux systèmes de transport ou points de rassemblement.
- Les points de repères : Ce sont des objets physiques singuliers utilisés comme point de référence.

Cette structuration permet à un utilisateur de mieux appréhender l'espace dans lequel il évolue et facilite la tâche de recherche d'itinéraire. Ces aides artificielles sont nombreuses et sont encore aujourd'hui un important axe de recherche.

IV Présentation d'interfaces 3D

Dans cette partie nous verrons quelques-unes des techniques de navigation retenues en vue d'explorer un environnement virtuel 3D urbain. Chacune d'entre elles est utilisable (ou possiblement adaptable) à l'aide d'un simple périphérique d'entrée à 2 dimensions telle que la souris ou un écran tactile multi-points. Cette liste n'est bien évidemment pas exhaustive, et se verra grandir à mesure que le projet prendra en maturité. Il ne sera que très peu fait mention de la partie tactile, partie n'ayant pour le moment pas fait l'objet de recherches approfondies.

Afin de mieux visualiser les mouvements qui doivent être effectués pour déplacer la caméra (il est difficile d'expliquer une notion de mouvements avec des mots), voici un tableau récapitulatif des différents mouvements de souris proposés tout au long de ces présentations. Ces différents schémas seront utilisés afin de synthétiser les mouvements possibles de chaque interface présentée ci-dessous. Le but étant de pouvoir rapidement analyser les mouvements fréquents et/ou une association mouvements-caméra et mouvements-souris qui viendrait à ressortir régulièrement.

Déplacements souris			
			
Rotation molette	Clic gauche simple	Clic gauche double	Clic gauche maintenu
			
Clic droit simple	Clic droit double	Clic droit maintenu	Appui continu molette
			

IV.1 UniCam

UniCam est le résultat de recherches menées par R. Zelenik et associés [14]. Elle offre un vaste contrôle de caméra en proposant 8 mouvements différents répartis dans 3 types de navigation. Le principal atout d'UniCam est l'utilisation d'une interface basée sur une découpe virtuelle de l'espace de travail. L'interface est invisible et couvre la totalité de la zone de visualisation. Elle est constituée de deux régions, l'une étant un rectangle centré au milieu de la fenêtre et la seconde étant une bordure d'une épaisseur valant 1/10ème de la taille de la fenêtre. Chacune de ces régions possède sa propre interprétation des mouvements et actions de la souris, voir figure IV.1.

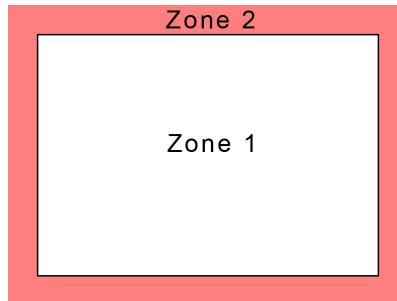


FIGURE IV.1 – Position des différentes zones UniCam sur un écran 800*600

Parmi les mouvements possibles avec UniCam, on retrouve les translations selon les axes x et y ainsi que le zoom de la caméra. Ceux-ci sont initialisés comme suit :

- Un clic gauche maintenu de la souris dans la région centrale suivi d'un mouvement avant ou arrière de celle-ci active un premier mode de navigation. Ce mode fournit à l'usager la possibilité de translater la caméra selon l'axe x en déplaçant la souris de gauche à droite, et permet également de zoomer/dezoomer sur l'environnement en déplaçant la souris d'avant en arrière.
- Le second mode de navigation est déclenché si un clic gauche maintenu de souris est effectué dans la région centrale, suivi d'un mouvement gauche ou droite. Il devient alors possible de translater selon l'axe x en déplaçant la souris de gauche à droite et de translater sur la profondeur via un déplacement de la souris d'avant en arrière.

Il est également possible de faire exécuter à la caméra un mouvement de type *trackball* afin de permettre à l'utilisateur d'orienter le point de vue à sa guise. Pour ce faire deux possibilités :

- Cliquer dans la région bordure permet d'obtenir la mouvement de *trackball* selon le point central de la scène. Celle-ci une fois activée se manipule à l'aide des mouvements de souris avant/arrière et gauche/droite.
- Cliquer dans la région centrale sur l'objet 3D à visualiser afin d'activer un mouvement de *trackball* ayant pour centre un point choisi appartenant à l'objet. Sa manipulation une fois active s'effectue de la même façon que celle précédemment citée, à savoir déplacement à gauche et à droite de la souris ainsi que vers l'avant et vers l'arrière.

Initialisation nav 1	translation sur x	zoom/dezoom
		
Initialisation nav 2	translation sur x	translation sur z
		
Initialisation trackball	mouvements trackball	
		

IV.2 Google Earth

Google Earth¹ est un logiciel de globe virtuel conçu par l'entreprise Keyhole inc. et racheté en 2004 par le géant américain Google Inc. Il a pour particularité de proposer à l'usager une navigation sur la totalité du globe terrestre et ce dans un contexte en 3D. Cet outil présentement utilisable via navigateurs internet, lesquels l'intègrent sous forme de *plugging*, vient compléter le service cartographique en ligne Google Maps, également propriété de Google inc., service qui s'avère être l'un des logiciels cartographiques grand public les plus utilisés par les internautes.

L'interface de Google Earth regorge de fonctionnalités permettant la navigation dans l'espace 3D. On retrouve un mélange de techniques de navigation continue et discrète, essentiellement via l'utilisation de la souris seule ou l'intermédiaire de widgets tels que la barre de recherche ou l'outil de navigation (voir respectivement 1. et 2. figure IV.2).

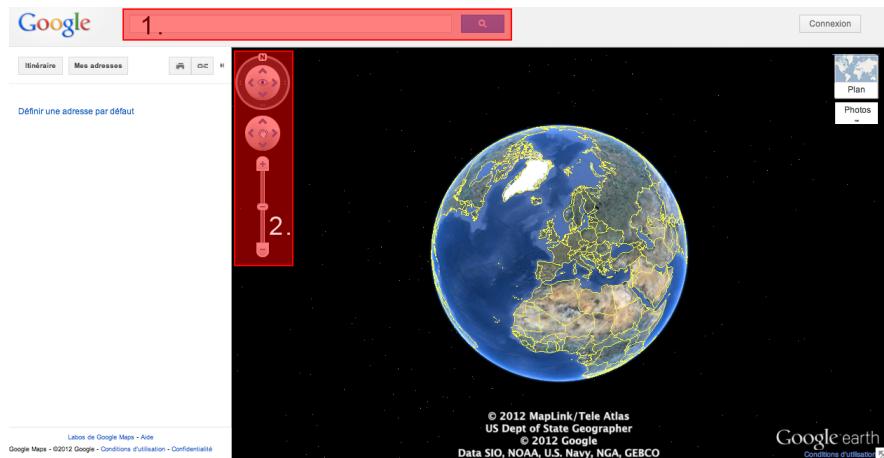


FIGURE IV.2 – Interface Google Earth, 1. barre de recherche, 2. outil de navigation

1. <http://www.google.com/earth/index.html>

IV.2.1 Barre de recherche

La barre de recherche est l'un des outils Google Earth offrant une navigation rapide à condition de connaître la destination souhaitée. Il donne à l'usager la possibilité de saisir des informations géographiques tels que le nom d'un pays, d'une ville, d'une rue. Plus la précision des informations est grande plus il est simple de tomber sur l'élément recherché. Dans le cas d'une recherche peu précise, une ALC apparaît en vous proposant un certain nombre de destinations ayant un potentiel lien avec la saisie.

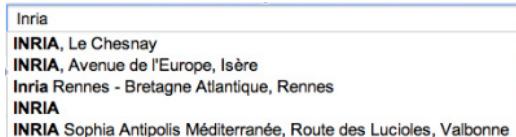


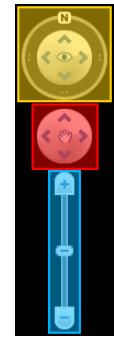
FIGURE IV.3 – Aide à la saisie proposée par la barre de recherche Google Earth

Une fois la destination choisie, une trajectoire géodésique est calculée entre les deux points, de façon à octroyer à la caméra un mouvement curviligne allant du point A au point B et ce, de façon lisse afin de ne pas provoquer de désorientation chez l'utilisateur.

IV.2.2 Widget de navigation

Le widget de navigation est proposé nativement au sein du programme. Il donne à l'utilisateur la possibilité de naviguer entièrement par son intermédiaire. Il est constitué de trois parties, chacune ayant un rôle différent.

La partie jaune, permet à l'utilisateur d'opérer les mouvements de *roulis* et *tangage*. On remarquera la présence d'une ALC indiquant la direction du point cardinal Nord afin d'aider l'utilisateur à se repérer malgré les multiples rotations effectuées. Une autre ALC est l'icône de l'oeil situé au centre du widget. Celui-ci indique qu'il s'agit de la partie du widget s'occupant de modifier l'orientation du point de vue.



La partie rouge se trouve être similaire à l'utilisation d'une caméra de type *trackball*, centrée sur la terre. Ici l'icône représente une main miniature afin de signaler qu'il s'agit ici d'un déplacement de la caméra.

Reste la partie bleue qui, quant à elle, s'avère être la fonction de zoom. A noter que ce zoom possède la particularité d'être continu dans son mouvement, ne provoquant ainsi pas de désorientation chez l'utilisateur.

IV.2.3 Navigation libre

La navigation peut également se faire sans intermédiaire. En effet, il est possible de piloter la caméra directement via des raccourcis souris. Dans le premier cas, un clic maintenu sur le globe suivi de déplacements de la souris entraîne une utilisation similaire à la partie rouge du widget. Il est alors possible de déplacer la caméra à la façon d'une *trackball*. Un clic droit maintenu suivi des déplacements souris gauche et droite permet d'exécuter le mouvement de *roulis* de la partie jaune du widget, tandis qu'un mouvement d'avant en arrière produit un mouvement identique à celui proposé par la partie bleue du widget, à savoir les zoom/dezoom.

Il est également possible de *zoomer* via la molette de la souris ou tout simplement de faire un double clic sur le lieu désiré (à la façon d'un *GoTo*). Cette dernière fonctionnalité se doit d'être répétée à plusieurs reprises si l'on veut *zoomer* au maximum puisque celui-ci ne peut s'exécuter en continu et fait intervenir différents paliers. On retrouve toujours ce mouvement lissé dans le but d'éviter de désorienter l'utilisateur.

IV.2.4 Passage de l'exocentré à l'égocentré

Il subsiste un cas de figure intéressant à étudier. Lorsque l'on pousse au maximum la fonctionnalité de zoom, on remarque que la caméra opère un lent mouvement de *tangage* afin de positionner son point de vue parallèlement au sol. On passe alors d'une vue *exocentrique* à une vue *égocentrique*. Ce phénomène donne à l'utilisateur la possibilité de naviguer au sol à la première personne, offrant alors une vue en 3D des divers reliefs existants.

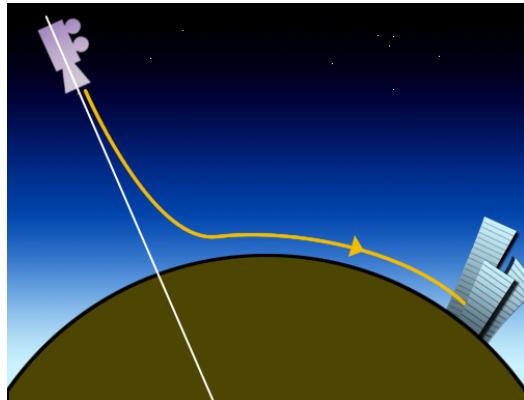
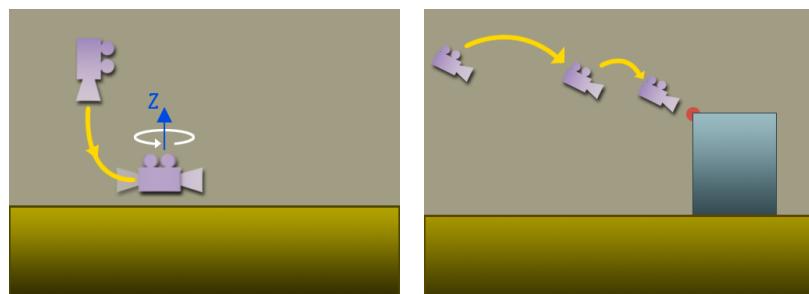


FIGURE IV.4 – Passage d'une vue exocentrique à une vue égocentrique

La caméra ayant effectuée cette rotation, chaque mouvement préalablement étudié s'en retrouve modifié. On peut par exemple noter que le mouvement de roulis affecté au bouton droit de la souris proposé en vue *exocentrique* permet en vue *égocentrique* d'orienter le point de vue de gauche à droite.

Autre particularité disponible : le double clic qui proposait un zoom à plusieurs paliers en vue *exocentrique* devient réellement un *GoTo* en vue *égocentrique*. Il est dès lors possible de double cliquer sur un bâtiment en 3D pour faire effectuer à la caméra un bond dans cette direction (voir figure IV.5 - b.). L'avancée possède toujours un certain nombre de paliers afin que la caméra ne se retrouve pas proprement collée à la première façade venue.



(a) Transformation de la caméra lors d'un *zoom* maximal

(b) GoTo Google Earth

FIGURE IV.5 – Utilisation de la caméra en mode égocentré

trackball	translation x et z	zoom/dezoom
zoom/dezoom	Goto	lacet

IV.3 Google Street View

Street View est un autre service de l'entreprise Google proposant de naviguer à travers le monde. Il donne à l'utilisateur l'opportunité de visiter les rues des villes du monde à travers une succession de vues en 2D constituées de photos issues de la réalité. Le mode de navigation pourrait s'apparenter à de la 3D puisqu'il permet de passer d'une position à une autre à l'aide d'une notion de profondeur. On retrouve des éléments identiques à Google Earth, ayant déjà été mentionnés, ceux-ci ne feront pas l'objet d'explications.



(a) Méthodes de navigation 1 et 2

(b) Méthode de navigation 3

FIGURE IV.6 – Méthodes de navigation par widget google Street View

Comme on peut le voir sur les figures IV.6 a. et b., il existe 3 outils principaux pour naviguer :

- 1. Le premier, ici représenté par une zone rectangulaire ou elliptique, permet de sélectionner une zone d'intérêt afin de s'y déplacer ou d'y zoomer/dezoomer. Ces deux opérations s'effectuent en déplaçant le curseur souris à l'endroit voulu puis en cliquant une fois son le bouton gauche. Dans le cas où il est possible de se déplacer sur la zone ciblée, on fait en réalité appel à la technique *Goto*. En revanche, si la zone ciblée constitue un décor dans lequel il n'est pas possible de pénétrer, une loupe apparaît à la place du curseur souris (ALC) permettant ainsi de zoomer et non de se déplacer. Le fait que la zone puisse être rectangulaire ou elliptique vient de la position du curseur. En effet, celui-ci suit systématiquement le relief, solution de parcours que nous n'avions pas encore vu (voir figure IV.7). Ainsi le curseur prendra la forme d'une ellipse si la zone considérée se trouve être le sol, et une forme rectangulaire si celle-ci est une façade.
- 2. Ce second outil montre le chemin qu'il est possible de suivre durant la navigation. Il n'est à l'heure actuelle pas possible de naviguer à l'extérieur de ce chemin. La caméra ne peut qu'avancer et reculer sur celui-ci. Les deux boutons fléchés sont à disposition pour permettre l'avancée et le recul de la caméra.

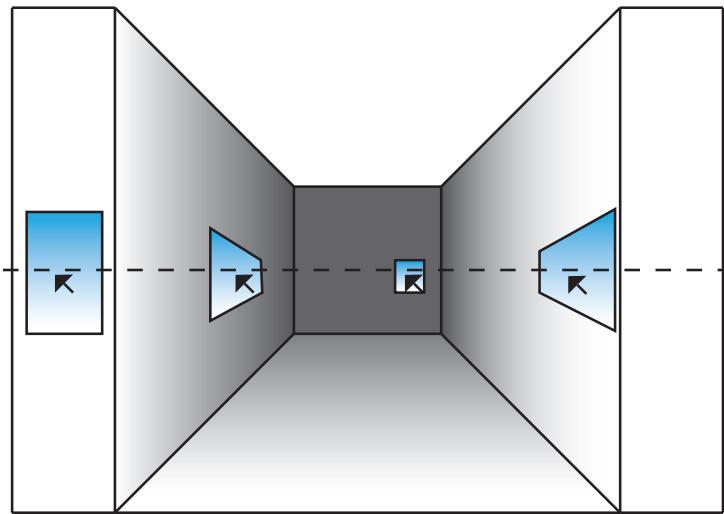


FIGURE IV.7 – Mode de parcours du curseur souris

- 3. Ce dernier outil est l'outil plan. Cet outil donne à l'utilisateur la possibilité de déplacer la position de la caméra directement sur le plan 2D et ce par l'intermédiaire d'un simple clic maintenu et d'un déplacement souris. Il n'est pour le moment pas autorisé à déplacer la caméra sur la totalité du globe. Seules les zones ayant été photographiées et ne portant pas atteinte à la vie privée des citoyens sont disponibles à la navigation. C'est pourquoi, des zones bleues représentant celles pouvant être visitées sont affichées sur la partie 2D.

Outre ces possibilités, il est permis à l'usager d'effectuer une rotation de la caméra à la façon d'un *look around*, afin de pouvoir visualiser l'ensemble de la scène. Cette rotation est liée au déplacement conjoint de la souris et du maintien de son bouton gauche. Aussi, un zoom sur la scène peut également être effectué à l'aide de la molette de la souris.

look around	déplacement suivant relief	zoom/dezoom global
zoom/dezoom précis	Goto	

IV.4 Nokia maps

Dans un genre proche de Google Earth, on retrouve d'autres outils de type globe virtuel dont notamment la version proposée par l'entreprise Nokia². Toutefois, la façon de naviguer de ce logiciel nokia s'avère assez simplifiée en comparaison de ce qu'on a pu voir ci-dessus. L'interface graphique

2. <http://maps.nokia.com/>

proposée pour la navigation n'est ici composée que de 4 options.



Le premier bouton de ce widget, le rouge, fait office de croix directionnelle. Il permet de déplacer la caméra selon les axes x et z . Ces déplacements sont également possibles en déplaçant la souris tout en maintenant le clic gauche. Le second bouton, le violet, permet d'effectuer une rotation du monde, rotation trouvant son centre au milieu de la scène. Ainsi la caméra se déplace circulairement autour du centre de rotation. Le bouton suivant, le vert, permet de zoomer et dezoomer, action également possible via l'utilisation de la molette de la souris. Enfin,

le dernier bouton, le jaune, permet d'incliner la caméra dans un mouvement *tangage*, afin de donner à l'usager la possibilité de regarder la carte en vue de dessus, à la façon d'une carte traditionnelle, ou de s'immerger en vue à la première personne.

Un mouvement de type *trackball* est également fourni en déplaçant la souris conjointement avec le maintien du clic droit. Le centre de rotation de cette *trackball* se trouve être le point d'intersection entre le vecteur donnant la direction du regard et la surface du globe.

trackball	déplacement sur x et z	zoom/dezoom

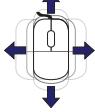
IV.5 Speed-coupled Flying with Orbiting [12]

Cette technique égocentrique et continue sépare la navigation de l'inspection d'objets 3D. Elle se base sur un geste consistant à glisser la souris (drag) tout en maintenant le bouton gauche enfoncé. Deux choix sont possibles. Le premier est d'effectuer le mouvement dans une zone dite "libre" de l'environnement virtuel 3D, c'est à dire tous les endroits vides d'objets 3D, tels que le ciel ou le sol. La seconde solution est d'effectuer le mouvement directement au dessus d'un objet 3D que l'on souhaiterait inspecter. Pour aider l'usager à départager les deux types de zone, l'icône du curseur de la souris change de façon à préciser si oui ou non, celui-ci se trouve sur un objet 3D ou sur une zone libre.

Pour ce qui est de la navigation en zone libre, l'usager est équipé de mouvements tels qu'avancer/reculer, tourner à gauche/droite. Ces mouvements sont associés aux gestes de glissement de souris, glissement s'effectuant dans le même sens que le mouvement auquel il est rattaché. Ainsi, avancer nécessitera de glisser la souris vers l'avant, reculer vers l'arrière, etc. Plus l'utilisateur effectuera le geste de glissement rapidement, plus le mouvement de la caméra sera rapide. En outre, le mouvement permettant d'avancer est couplé à une méthode de dezoom. Plus l'utilisateur ira vite dans son geste, plus la caméra prendra d'altitude tout en continuant à pointer en direction de la scène, octroyant ainsi la possibilité à l'utilisateur d'avoir une vue générale de l'environnement. Dès que l'utilisateur ralentit ou relâche le bouton de la souris, la caméra retombe doucement en direction du sol.

La tâche d'inspection permet à l'utilisateur de graviter autour d'un objet 3D en particulier. Pour cela, il suffit d'effectuer le même mouvement que pour initier une navigation libre mais cette fois au dessus de l'objet considéré. Ainsi un simple clic maintenu ajouté à un glissement de souris au dessus de l'objet fait passer en mode inspection. Une fois ce mode lancé, il est possible d'effectuer une rotation autour de l'objet, en glissant la souris vers la gauche ou vers la droite, rotation contrainte

à un cercle parallèle au sol et ayant pour centre le centre de gravité de l'objet. Il est également possible d'avancer en direction de l'objet ainsi que de reculer, en glissant la souris en avant ou en arrière, mouvement ayant pour but d'agrandir le rayon du cercle de rotation.

Init mode 1	déplacement sur x et z	dezoom
		
Init mode 2	rotation circulaire d'axe y	agrandir cercle de rotation
		

IV.6 Cities XL 2012

Cities XL 2012 est un récent jeu de gestion urbaine développé par Focus Home Interactive. Il est possible au sein de ce jeu de naviguer à l'aide d'une souris dans un environnement urbain 3D très dense. La navigation y est assez intuitive et reprend un concept proche d'UniCam, à savoir l'interface invisible découplant la fenêtre de visualisation en deux régions (centrale et bordure). Voici son fonctionnement :

- Positionner la souris sur la gauche ou la droite de l'écran permet de faire translater la caméra à l'horizontale. La translation est plus ou moins rapide en fonction de l'emplacement du curseur dans la bordure. Si le curseur est proche du bord intérieur alors la translation est lente, si au contraire il est proche du bord extérieur alors la translation devient plus rapide. Le même concept est appliqué pour une translation verticale en déplaçant le curseur sur les parties haute et basse de la bordure.
- La molette de la souris est utilisée pour permettre à l'utilisateur de zoomer. Il existe plusieurs niveaux de zoom, chacun proposant un angle de vue légèrement différent (mouvement de *tangage*), allant du niveau de zoom le plus faible, proposant une vue de dessus de la zone urbain, au niveau de zoom le plus fort, ayant une vue égocentrique parallèle à la ligne d'horizon. Ce système se trouve être assez proche du mouvement de zoom proposé par Google Earth, puisqu'il suit une courbe passant d'une vue exocentrique vers une vue égocentrique, mais ne propose en revanche qu'un zoom ne possédant que quelques paliers, voir figure IV.8.



(a) Niveau de zoom 0

(b) Niveau de zoom 1

(c) Niveau de zoom 1

FIGURE IV.8 – Différents paliers proposés par le zoom Cities XL 2012

- Une fois au niveau de zoom maximal, une vue égocentrique est proposée. Il est alors possible de déplacer la souris afin d'opérer un changement d'orientation du point de vue, on retrouve alors notre mouvement nommé *Look Around*. Les mouvements de translation sont alors remplacés par un simple *Go To* commandé par un clic souris sur la zone souhaitée.

- La dernière possibilité est de pouvoir exécuter une rotation complète du monde selon l'axe y en maintenant un bouton de la souris enfoncé et en la déplaçant de gauche à droite. Cette rotation est automatiquement centrée sur la milieu de la fenêtre de visualisation et peut atteindre les 360 degrés.

translation x et z	look around	zoom/dezoom
Goto	rotation du monde suivant y	

IV.7 Représentation d'un espace et repères visibles [11]

Cette interface est conçue dans le but d'aider l'utilisateur à s'orienter dans un environnement virtuel 3D. Prévue pour les grandes distances, elle s'appuie sur l'idée que les personnes commencent par localiser un point de repère proche, un lieu important, afin de naviguer par rapport à celui-ci. La problématique ici est qu'il est régulier de devoir perdre de vue son point de repère, pour cause d'occlusion ou de grande distance le séparant de l'usager. C'est pourquoi il est ici question de repère visible.

Afin de permettre à l'usager d'avoir une vue sur ces différents points de repère, cette méthode d'aide à la navigation propose d'afficher à l'écran les modèles miniatures des points de références connus tels que la tour Eiffel, la cathédrale de Notre Dame de Paris, etc, en fonction de la distance à laquelle ils se trouvent du point de vue de l'usager. Ainsi, lors d'une balade dans un environnement virtuel 3D tel que Paris, l'utilisateur verra une copie miniature de la tour Eiffel à l'écran, symbolisant ainsi la direction où elle se trouve, et ce malgré la quantité de bâtiments les séparants. Un redimensionnement est appliqué à la copie miniature afin d'ajouter l'information pertinente qu'est la distance à laquelle se trouve le repère réel. Ainsi plus la copie est petite, plus le repère réel est loin du point de vue utilisateur.

Afin de mieux visualiser ces modèles miniatures dans le cadre d'un environnement fortement chargé, un halo blanc semi-transparent s'est vu ajouté autour de chacun afin d'octroyer une meilleure visibilité.



FIGURE IV.9 – Affichage de repères visibles

Il existe également une hiérarchie pour les copies miniatures, laquelle est appliquée en fonction de l'importance du point de repère en regard de la position du point de vue utilisateur, dans le but de ne pas surcharger l'affichage. Si par exemple l'usager souhaite voir la France dans son intégralité, seuls les points de repère les plus importants apparaîtront. Ainsi la ville de Paris se verra attribuée un modèle miniature de la tour Eiffel, monument emblématique à l'échelle mondiale. Un zoom ne prenant que le plan complet de Paris intra-muros permettra, quant à lui, de voir afficher la tour Effet, la cathédrale de Notre-Dame, l'Arc de Triomphe etc. Ceci pouvant bien évidemment être utilisé à des échelles bien plus petites ou bien plus grandes et ce en fonction du but recherché.

IV.8 Navidget [6]

Navidget est un procédé de navigation discret en temps réel conçu pour souris classique et surfaces tactiles multi-points. Il se base sur la technique connue sous le nom du *Point of interest*. Cette technique est assez similaire à un *Goto* vu précédemment, à la différence près qu'elle propose l'amélioration de l'une des limitations liées à cette dernière, à savoir la sélection d'un unique point de la scène. En effet, la technique du *Point of interest* fournit à l'utilisateur la possibilité de sélectionner une zone complète de la scène 3D dans laquelle il navigue, donnant ainsi l'opportunité d'avoir des points de vue comprenant plusieurs objets. Les avantages à se baser sur une technique issue du *Point of interest* sont nombreux, on peut notamment noter :

- Qu'il n'est nécessaire d'utiliser qu'un simple périphérique d'entrée 2D puisque seul le pointage et un signal à deux états sont requis pour la faire fonctionner. On retrouve donc la souris 2D classique ainsi que les écrans tactiles un-point et multi-points.
- Son fonctionnement est très simple et rend le dispositif intuitif.
- Il permet à l'utilisateur de traverser rapidement de très grandes distances.
- Les déplacements sont réalisés au complet à l'aide d'un mouvement logarithmique. Cela permet notamment à l'utilisateur d'éviter le phénomène de désorientation cité plus haut.

La sélection d'une zone, dans le cadre de Navidget, peut être occasionnée par l'intermédiaire de deux méthodes. La première, la plus simple, consiste à effectuer un geste visant à encercler la zone souhaitée. Une fois le geste réalisé, la caméra est automatiquement déplacée en direction de la zone pointée.

La seconde méthode n'est en réalité qu'une extension de la première. Celle-ci vient une fois de plus améliorer une limitation liée à la technique du *Goto*, limitation qui concerne le choix de l'angle sous lequel on souhaite regarder la zone préalablement sélectionnée. Ceci se fait par l'intermédiaire d'un Widget 3D spécialement conçu à cet effet. Ce widget n'est mis à disposition de l'usager qu'à la suite du mouvement d'encerclement de la zone et du maintien du doigt sur l'écran (ou du clic souris) durant quelques instants.

Une fois le geste réalisé avec succès, le Widget fait son apparition (Voir figure IV.10). On y retrouve différents éléments dont notamment les principaux à savoir la demi-sphère et l'ensemble caméra virtuelle curseur objet. Ces éléments permettent de modifier l'orientation de la caméra. En effet, en plus de contraindre le mouvement de la caméra à un mouvement de type *trackball*, la demi-sphère offre également une meilleure visualisation de la position de la caméra dans l'espace 3D, évitant ainsi tout phénomène de désorientation. De ce fait, il demeure intuitif pour un usager de déplacer son point de vue autour de la zone préalablement ciblée.

Quelques fonctionnalités supplémentaires viennent intégrer le dispositif. Il est notamment possible de faire exécuter une rotation de 180 degrés à la demi-sphère afin de permettre à l'utilisateur d'avoir un point de vue derrière la zone sélectionnée. Il est également possible de modifier les

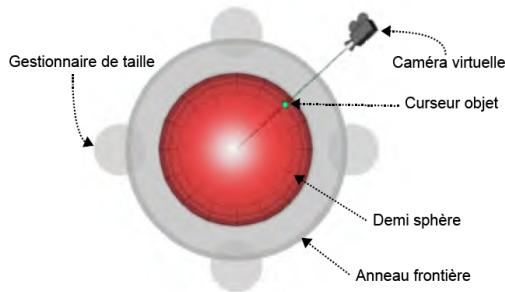


FIGURE IV.10 – Widget 3D utilisé pour la navigation au sein de Navidget

dimensions du Widget à l'aide des 4 contrôleurs de taille, afin d'augmenter ou diminuer la distance entre la zone et la caméra. Enfin l'anneau frontière est ici utilisé afin de rendre plus aisé le positionnement de la caméra sur la ligne de coupe de la demi-sphère.

Par ailleurs, outre l'utilisation du Widget 3D, on retrouve les possibilités de mouvements octroyées par un *look around*. Ces déplacements sont réalisables à l'aide de gestes simples et intuitifs. A l'instar de l'encerclement, si l'utilisateur souhaite tourner la caméra vers la droite, celui-ci devra pratiquer un geste du doigt ou de la souris traçant un trait allant de gauche à droite. Il est également possible de se balader par l'intermédiaire d'un simple *Goto*.

Goto	Afficher Widget	trackball widget
Gestes à dessiner sur tablette tactile		
look around	Point of interest	Position précédente

IV.9 Autres techniques intéressantes

Les techniques suivantes sont d'un intérêt certain mais ne présentent pas de mouvements uniquement liés à l'utilisation d'un périphérique à 2 dimensions. Malgré tout, il est intéressant de voir les idées qui y sont proposées.

IV.9.1 Maya

Maya est un logiciel de modélisation 3D conçu par l'entreprise Autodesk. Afin de travailler sur les différents modèles 3D, Maya dispose d'un système de navigation propre, qui, malgré qu'il ne soit pas conçu pour la visualisation de milieu 3D urbain, s'avère intéressant à étudier. Le logiciel se voulant à vocation professionnelle, sa manipulation nécessite un certain temps d'apprentissage. Cela implique des manipulations s'appuyant sur l'utilisation des clavier et souris, et non de la souris seule.

Maya dispose principalement d'une navigation par mouvement de type *trackball* afin d'observer la scène en cours de conception sous différents angles. La navigation s'effectue en modifiant les paramètres de la sphère sur laquelle est contrainte la caméra. Pour ce faire 3 outils sont disponibles.

- Le premier permet d'augmenter ou diminuer le rayon de la sphère et fait donc office de zoom/dezoom.
- Le second propose de déplacer le centre de la sphère selon 2 axes, *x* et *y*.
- Le dernier donne la possibilité de faire graviter la caméra sur la surface de la sphère.

IV.9.2 Ghost Copy ou copie fantôme pour la manipulation d'objets 3D [12]

Cette technique de navigation se base en partie sur la manipulation à proprement parler d'un objet 3D pour choisir le mouvement de caméra à opérer. L'idée est de permettre à l'utilisateur de sélectionner un objet 3D de la scène, d'en créer une copie dite fantôme qu'il est alors possible de pivoter selon les 3 axes de rotation via l'utilisation d'une *trackball* centrée sur celle-ci, puis, une fois la copie positionnée selon l'angle de vue désiré, faire effectuer à la caméra le mouvement qu'il est nécessaire d'exécuter afin de rallier sa position initiale à la position terminale souhaitée, de façon à obtenir une vue sur l'objet 3D équivalente à celle choisie via copie fantôme.

IV.9.3 Technique de l'Inverse Fog/Scaling [12]

Cette technique permet d'occulter/diminuer les objets 3D se voulant gênants durant la tâche de recherche qu'effectue l'usager. Pour ce faire, l'utilisateur a à sa disposition un mouvement de caméra *trackball*, centré sur lui même, *trackball* dont il est possible d'augmenter ou diminuer le rayon. Chaque objet se trouvant à l'intérieur de la sphère décrite par la *trackball* se voit alors gagner en transparence (dans le cas de l'*inverse Fog*) ou rétréci (dans le cas de l'*inverse Scaling*).

Ceci n'est bien évidemment qu'une petite partie des techniques de navigation pouvant répondre à des problèmes liés à l'interaction dans un environnement virtuel urbain 3D. Cette liste ne manquera pas de s'étoffer au fil du temps.

IV.10 Analyse

En faisant une rapide comparaison des tableaux récapitulatifs dans lesquels se trouve les différents mouvements de souris associés aux déplacements de caméra, on arrive assez aisément à faire sortir des points importants.

- On remarque qu'il est fort régulier de retrouver les mouvements de zoom/dezoom affiliés à la molette de souris. Le mouvement de la molette d'un point de vue mécanique s'accorde assez bien avec cette idée de descendre et monter puisqu'il s'agit de faire tourner une roue suivant l'axe *x*. C'est sans doute cette similitude dans le geste qui rend la manœuvre relativement naturelle.
- La technique de navigation du *GoTo* ressort très fréquemment parmi les techniques utilisées. Comme mentionné dans le cadre de la présentation de Navidget, c'est une technique qui possède de nombreux avantages pour une utilisation grand public via des périphériques ayant peu de degrés de liberté. Egalement, il est important de noter que l'action de pointer est naturellement utilisée au quotidien, notamment dans le but de montrer quelque chose.

- Une dernière remarque importante concerne l'utilisation d'un même mouvement de souris pour différentes méthodes de navigation. On retrouve très régulièrement les déplacements de souris liés aux techniques *trackball*, *look around* et translation selon les axes *x* et *z*. Ceci n'est pas anodin, puisqu'une fois de plus les mouvements de souris vont dans la direction du déplacement de caméra souhaité. On note donc ici, qu'une fois de plus, il est important d'associer un mouvement et un déplacement ayant un sens commun. Ceci semble être en mesure de faciliter l'usage de la navigation en environnement 3D chez les utilisateurs.

Tout cela corrobore avec le fait qu'il est important lors de la création d'une nouvelle méthode de navigation, de prendre en compte le plus de facteurs humains possible, que ce soit d'ordre physiologique, mécanique, cognitique ou même psychologique. Tous ces secteurs sont nécessaires à la bonne confection d'une liaison homme-machine permettant la navigation dans des espaces virtuels 3D.