



**HAL**  
open science

# De la Métaphore à la tâche : une bibliothèque de concepts métaphoriques pour le prototypage de techniques d'interactions.

Pedro Martins Alessio

## ► To cite this version:

Pedro Martins Alessio. De la Métaphore à la tâche : une bibliothèque de concepts métaphoriques pour le prototypage de techniques d'interactions.. Interface homme-machine [cs.HC]. Conservatoire national des arts et métiers - CNAM, 2013. Français. NNT : 2013CNAM0877 . tel-00953425

**HAL Id: tel-00953425**

**<https://theses.hal.science/tel-00953425>**

Submitted on 28 Feb 2014

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

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

Ecole Doctorale EDITE de Paris

Centre d'études et de recherche en informatique et communications - Equipe ilj

## THESE DE DOCTORAT

*présentée par* : **Pedro Martins Aléssio**

*soutenue le* : **08 juillet 2013**

*pour obtenir le grade de* : **Docteur du Conservatoire National des Arts et Métiers**

*Discipline / Spécialité* : **Informatique**

### De la métaphore à la tâche

Une bibliothèque de concepts métaphoriques pour le prototypage de techniques d'interactions

#### THESE DIRIGÉE PAR

M. NATKIN Stéphane  
M. TOPOL Alexandre

*Professeur, CNAM*  
*Maître de conférences, CNAM*

#### RAPPORTEURS

M. RAMALHO Geber  
M. ARCHAMBAULT Domi-  
nique

*Professeur, CIN UFPE*  
*Professeur, Université Paris 8*

#### EXAMINATEURS

M. CUBAUD Pierre  
M. CHAMPAGNAT Ronan  
M. DUPIRE Jérôme

*Professeur, CNAM*  
*Maître de conférences habilité, Univ. de La Rochelle*  
*Maître de conférences, CNAM*

Le gardien de troupeaux, IX

Je suis un gardien de troupeaux.  
Le troupeau, ce sont mes pensées  
Et mes pensées sont toutes des sensations.  
Je pense avec les yeux et les oreilles  
Et avec les mains et avec les pieds  
Et avec le nez et avec la bouche.  
Penser une fleur c'est la voir et la respirer  
Et manger un fruit c'est en savoir le sens.  
C'est pourquoi lorsque par un jour de chaleur  
Je me sens triste d'en jouir à ce point,  
Et me couche de tout mon long dans l'herbe,  
Et ferme mes yeux brûlants,  
Je sens tout mon corps couché dans la réalité,  
Je sais la vérité et je suis heureux

Fernando Pessoa

O guardador de rebanhos, IX

Sou um guardador de rebanhos.  
O rebanho é os meus pensamentos  
E os meus pensamentos são todos sensações.  
Penso com os olhos e com os ouvidos  
E com as mãos e os pés  
E com o nariz e a boca.  
Pensar uma flor é vê-la e cheirá-la  
E comer um fruto é saber-lhe o sentido.  
Por isso quando num dia de calor  
Me sinto triste de gozá-lo tanto.  
E me deito ao comprido na erva,  
E fecho os olhos quentes,  
Sinto todo o meu corpo deitado na realidade,  
Sei a verdade e sou feliz.

*Ce travail et mes futures réussites dont le résultat viendrait de l'harmonie entre le savoir  
et la joie, je les dédie à la mémoire d'Alexandre Topol*

## Remerciements

Ce travail n'aurait pas existé sans la confiance, l'égard et le soutien de Stéphane Natkin et de Alexandre Topol. Leurs appels au défi et à l'effort, depuis le DESS, m'ont aidé à forger un regard avide et curieux sur l'art et la technologie, soutenu par une culture riche et précieuse qui m'est aujourd'hui un bagage très cher. Nos rencontres étaient des fenêtres ouvertes et ensoleillées sur mes idées et les projets et missions auxquelles j'ai pu prendre part, grâce à eux, ont marqué pour toujours mon histoire de vie.

Je remercie aussi Rodrigo Almeida qui avec sa lucidité et sa bonne humeur m'a aidé comme un compagnon de voyage, comme un collègue de thèse et comme un guide. Nos longues conversations étaient des sources inépuisables d'idées fertiles et de bonnes rigolades. Et aucune Université ne pourrait substituer le privilège des dîners passés en compagnie de Monsieur José Xavier à Angoulême, à la fois ami et professeur avec qui j'ai passé d'inoubliables moments de mon parcours intellectuel. Sa vision interdisciplinaire et multiculturelle m'a aidé à me retrouver dans l'infinitude des sentiers où il cherchait à me perdre !

Je remercie celles et ceux qui ont toujours été présents dans mon parcours académique et qui m'ont aidé à ne pas perdre la lucidité scientifique et le bon sens culturel, universel et même musical. Je fais allusion à Geber Ramalho, André Neves, Solange Coutinho et Charles Bezerra. Je leur dois la motivation et la rigueur qui me guident dans mes futurs pas. Je remercie les membres de mon jury et les rapporteurs dont les remarques ont été très constructives, encourageantes et essentielles pour les ultimes retouches à ce travail. Je remercie le Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico le CNPq ainsi que le gouvernement brésilien pour l'opportunité et le soutien financier et logistique sans lequel ce travail n'aurait pas existé.

Je remercie aussi Pierre Cubaud et son enthousiasme contagieux. Grâce à lui j'ai pu participer à des projets qui furent essentiels au déroulement de ma thèse. Je voudrais aussi remercier Jérôme Dupire qui dans les moments les plus importants était présent et savait faire preuve d'une amitié précieuse. À Cécile Le Prado pour m'avoir aidé à déconstruire les paradigmes sur l'image et redécouvrir mon ouïe. À Samuel Parfouru pour les opportunités et les idées de projets qui ont aidé à mieux structurer ce travail. Et je voudrais remercier spécialement les personnes qui ont cru en mon travail et m'ont aidé à garder le bon cap comme Viviane Gal, Eric Gressier-Soudan, Christophe Picouveau, Thierry Bowmans ainsi que Sophie Pierson et Thérèse, Emmanuel Guardiola, Isabelle Astic, Bertrand Cousin, Claire Laribe, Didier et Regina pour leur soutien et leur constante sympathie et amitié. Et je n'aurais pu finir sans l'aide des amis que j'ai eu la chance et le privilège de rencontrer et qui sont l'une des raisons d'être les plus fortes de ce voyage. Je pense à Shuo-Hsiu, Olivier, Fatima-Zahra, Areti, Chen et Julien, Guillaume, Delphine, Zaen, Stéphanie, Tiger, Jean-Paul, Jean-Frédéric, José, Xiang Qiu, Amélie, Hélène, Romain.

Ma famille s'est agrandie pendant ce voyage et je n'aurais jamais pu continuer sans leurs soins et affection. Nathalie et Gustavo ont depuis le premier jour en France soutenu de la manière la plus affectueuse notre vie. Ribamar et Madalena nous reçoivent comme leurs enfants à Bordeaux et nous ont motivé et rassuré tout le long de ce séjour. La famille Laroche était toujours là pour nous, de manière inconditionnelle. Chez les Canteneurs j'étais sûr de sourire pendant tout un weekend. Chez Michel et Monique Marchand je me reposais insoucieux et c'est à Maridan, chez Monique Claude-Hermant, que je me sentais le plus proche du Brésil et de Aldeia. Marcelo Barros m'as conseillé et conduit. Et Je dois mon caractère, mon amour pour la France et le Brésil et tout ce que je peux avoir de vertueux, à mes parents et à mes frères, Maria et Filipe. Leur joie, leur obstination et leurs rêves sont ma plus grande source d'inspiration et d'enthousiasme

*à Julieta et Tomás*



# Résumé

Nous présentons dans cette thèse les bases d'un dialogue entre le modèle cognitif dit 'incarné' et le développement de styles et techniques d'interaction pour les interfaces graphiques en 3 dimensions. Ce modèle cognitif, structuré entre autres par Lakoff et Johnson, décrit les correspondances métaphoriques que nous construisons naturellement entre des idées abstraites et les modèles mentaux provenant de notre expérience perceptive. Ce modèle met en évidence le rôle de ces corrélations en tant que source de compréhension et d'action et a fait émerger le concept d'interfaces éenactives. Aujourd'hui elles se présentent comme un regard commun sur les projets émergents d'interfaces homme-machine. Des projets, tels que les interfaces tangibles, les systèmes de capture de gestes et d'autres solutions logicielles et matérielles multimodales, se servent de notre aptitude à structurer métaphoriquement l'information produite par notre action sur le monde, pour créer des interfaces universellement appréhendables. Nous avons illustré l'application de ce modèle sur des projets d'interfaces graphiques pour la réalisation de tâches dans des contextes hétérogènes. Nous avons ciblé les dispositifs multimédia pour le grand public et les stratégies pour la réussite de ces interfaces en tant qu'outil pédagogique pour les musées, expositions et outils de travail collaboratifs. Finalement nous synthétisons les relations entre les ensembles de métaphores pour les appliquer aux composantes d'interaction. La structure résultante se présente sous forme d'un Framework conceptuel d'agents et styles d'interaction qui peut servir en tant qu'outil de prototypage mais aussi comme catalyseur pour la conception d'interfaces innovantes.

**Mots clés :** Interfaces Homme-machine, métaphores incarnées.



# Abstract

Embodied cognition has emerged over the last decades as a new paradigm of the human reasoning system. Large numbers of researchers agree on the influences of perceptual and motor activity on our thinking and representational mechanisms. The importance of embodied mind theory is growing in the field of cognitive science. It is now the conceptual support for innovative projects in human computer interaction (HCI) which seek to increase the meaning of new commands and representations of post-wimp interaction techniques and to build coherent and consistent metaphors between different platforms and embedded devices in our environment. We illustrate this model by analyzing several tasks carried out in heterogeneous environments as museums exhibitions and collaboration tools. Finally, we analyse how embodied metaphors can be used as a design strategy to produce innovative software and multimedia devices with the framework that synthesizes the embodied metaphorical mappings in a large set of components which will be applied as building blocks when prototyping interaction techniques. This structure takes the form of a conceptual Framework of interaction agents which might serve not only as a tool for prototyping interfaces but also as a catalyst for generating innovative ideas.

**Keywords :** Human-computer Interaction, embodied metaphors.



# Table des matières

<b>Introduction</b>	<b>21</b>
<b>I Approche théorique et méthodologique</b>	<b>25</b>
<b>1 Introduction</b>	<b>27</b>
1.1 Contexte et motivation . . . . .	27
1.2 Définition du problème et objectifs . . . . .	29
1.3 Approche ou modèle d'exploration . . . . .	30
<b>2 Métaphores : Une approche cognitive</b>	<b>33</b>
2.1 Technologie et sciences cognitives . . . . .	33
2.2 La cognition incarnée . . . . .	38
2.3 Les métaphores sous forme d'outil . . . . .	43
2.4 Les métaphores de l'expérience incarnée . . . . .	45
2.5 Les types de métaphores incarnées . . . . .	49
2.5.1 Les métaphores structurelles . . . . .	51
2.5.2 Les métaphores ontologiques . . . . .	53
2.5.3 Les métaphores orientationelles . . . . .	54
2.6 La perception 3D - action et expérience . . . . .	55
2.7 Expérience et engagement - Approcher l'information . . . . .	60

<b>3</b>	<b>Métaphores et interfaces émergentes</b>	<b>67</b>
3.1	De la représentation vers l'interaction . . . . .	69
3.2	Interfaces pour environnements numériques en 3D. . . . .	73
3.3	Métaphores incarnées et les jeux vidéo . . . . .	75
3.4	La gestion de documents numériques . . . . .	80
3.4.1	Une médiathèque virtuelle physique . . . . .	81
3.4.2	BumpTop . . . . .	83
3.4.3	Le cube de Rekimoto . . . . .	85
3.5	Métaphores incarnées et interfaces tangibles . . . . .	86
3.5.1	Fitzmaurice ViewCube et Cube desk . . . . .	87
3.5.2	Dispositif pour la visualisation Neurochirurgicale . . . . .	88
3.5.3	La sphère virtuelle. . . . .	90
3.6	L'ordinateur invisible : L'informatique Ubiquitaire . . . . .	94
3.7	Conclusion de la première partie . . . . .	97
<b>II</b>	<b>Applications et prototypes exploratoires</b>	<b>99</b>
<b>4</b>	<b>Borne multimédia numérique - Catalogue d'objets 3D</b>	<b>101</b>
4.1	La technologie dans les musées . . . . .	102
4.2	Borne multimédia pour la consultation d'objets numériques . . . . .	107
4.2.1	De l'usage des bornes multimédia dans les musées . . . . .	111
4.3	Approche multiplateforme . . . . .	117
4.4	Catalogue de Navigation, sélection et manipulation . . . . .	118
4.4.1	Mise en Œuvre du prototype . . . . .	119
4.4.2	Les tâches de sélection . . . . .	124
4.4.3	Scénario d'usage . . . . .	128

## TABLE DES MATIÈRES

---

4.4.4	Manipulation des particules . . . . .	132
4.4.5	Pervasivité de l'expérience. . . . .	133
4.4.6	Entretiens avec chercheurs et professionnels du musée . . . . .	135
4.5	Timeline de visualisation d'information temporelles . . . . .	137
4.6	Dispositif et Techniques d'interaction . . . . .	138
4.7	Prototypage du projet TimeSurface . . . . .	139
4.8	Considérations finales sur la deuxième partie. . . . .	140
<b>III Proposition d'architecture conclusions</b>		<b>143</b>
<b>5 L'architecture logicielle 3D</b>		<b>145</b>
5.1	Moteurs de rendu et API's . . . . .	146
5.2	Unity 3D . . . . .	149
5.2.1	Création d'une scène dans Unity . . . . .	150
5.3	Blender . . . . .	153
<b>6 Agents d'interaction</b>		<b>157</b>
6.1	Organigramme des métaphores . . . . .	158
6.1.1	Métaphores orientationnelles . . . . .	160
6.1.2	Métaphores Ontologiques . . . . .	164
<b>7 L'expérience avec les utilisateurs</b>		<b>169</b>
7.1	Procédés d'entretien : isolés et en groupes . . . . .	169
7.2	Description du public cible . . . . .	170
7.3	La méthode d'entretien . . . . .	172
7.3.1	Mise en place de l'entretien . . . . .	173
7.3.2	Sélection de métaphores et confection de cartes . . . . .	176

## TABLE DES MATIÈRES

---

7.3.3	Premières expériences et conclusions . . . . .	178
7.3.4	Ateliers avec les élèves . . . . .	181
<b>Conclusion</b>		<b>185</b>
7.4	Récapitulatif . . . . .	185
7.5	Conclusions et perspectives . . . . .	187
<b>Bibliographie</b>		<b>188</b>

# Table des figures

1	Interface WIMP du Xerox Star (1979) [Johnson et al. 1989] . . . . .	23
2.1	Cycle de l'action selon Donald Norman . . . . .	36
2.2	Ensemble des domaines liés à l'exploitation de la connaissance dans le design d'interfaces [Dortier 2011a] . . . . .	37
2.3	Bureau réaliste "Magic Cap" et l' Interface de gestion "Bob" de Microsoft [Duit 1991] . . . . .	47
2.4	Tableau des catégories de métaphores selon Lakoff Johnson . . . . .	52
2.5	Le schéma sépare les <i>affordances</i> et informations perceptuelles. Il distingue la présence ou non d' <i>affordances</i> et si elle est perçue ou non. [Gaver 1991] .	57
2.6	[D. Norman 1999]- Gradients de stimulations visuelles associées à la percep- tion de la profondeur. Détail du gradient de texture visuelle produit par la présentation en perspective d'une surface de points [Richelle et al. 1994a]. .	58
2.7	[Le cockpit de l' Airbus A380 est l' exemple d'une interface complexe mais constituée d'éléments simples et ergonomiques. . . . .	61
2.8	Exemple d'approches vers une fonction ou commande d'une interface . . . . .	65
3.1	La foi de Giotto . . . . .	70
3.2	Masaccio, la trinité (1425 - 1428) . . . . .	71
3.3	Système de vérification de la perspective proposé par Brunelleschi . . . . .	72
3.4	Exemples d'usages d'environnements virtuels. Jeux vidéo, Systèmes d'im- mersion (CAVE), Maquettes virtuelles (CAD).[Manders et al. 2007] . . . . .	74

## TABLE DES FIGURES

---

3.5	Complexification des contrôles des consoles depuis 1972. . . . .	76
3.6	Contrôles de jeux gestuels. Wiimote (Nintendo), PlaystationMove (Sony) et la Kinect (Microsoft). . . . .	77
3.7	VIDEOPLACE un dispositif de tracking de silhouette [Krueger et al. 1985]	77
3.8	DoodleJump (C) (Limasky.com) . . . . .	78
3.9	Puddle (puddle-game.com) : Jeu basé sur l'apesanteur, la friction et les propriétés du liquide . . . . .	79
3.10	Jeu World of Goo basé sur la densité. 2dboy.com . . . . .	79
3.11	Widget de manipulation de livres numériques et détail de la page déchirable [Alessio et al. 2009] . . . . .	82
3.12	Bumpton - Un environnement de travaux basé sur des simulations physiques	84
3.13	Tree-Maps : représentation de hiérarchies comme métaphore de la densité[Johnson & Shneiderman 1991] . . . . .	85
3.14	Le cube de visualisation hiérarchique « Information Cube » de Rekimoto [Rekimoto & Green 1993]. . . . .	86
3.15	We feel fine interface de navigation ludique qui affiche des posts de blogs qui commencent par "we feel" une métaphore basée sur les fluides. www.wefeelfine.org	87
3.16	Le ViewCube : cliquer sur la face marquée « front » fait tourner le cube et oriente la scène vers la vue de Face -[Khan et al. 2008] . . . . .	88
3.17	Desk Cube, une solution tangible pour l'orientation des environnements 3D. [Glueck et al. 2010] . . . . .	89
3.18	Interface tangible pour la préparation de neurochirurgies. [Hinckley et al. 1997] . . . . .	90
3.19	IMétaphore de la sphère virtuelle[Shoemake 1992] . . . . .	91
3.20	HeadTracking : lunettes avec émetteurs infrarouge et (b) récepteur wiimote . [Lee 2007, 2008] . . . . .	92
3.21	La ReacTable - Interface tangible de création sonore [Jorda et al. 2005] . .	93

## TABLE DES FIGURES

---

3.22	Schéma de l'intégration du Protocol TUIO et du moteur ReactIVision. . . . .	94
4.1	Bornes multimédia au musée des Arts et métiers . . . . .	102
4.2	Quels outils pour maintenir une relation cohérente entre les contextes d'usage ?	104
4.3	Moments et conditions pour enrichir une expérience multimédia éducative . . . . .	105
4.4	Les divers besoins de l'usage de la technologie dans les musées. . . . .	108
4.5	Plan du Musée des Arts et Métiers avec les différents étages et domaines scientifiques. . . . .	110
4.6	Bornes multimédia individuelles dans le Musée des Arts et Métiers . . . . .	111
4.7	Les bornes d'arcade actuels maintiennent une stratégie de simplification d'interfaces pour l'inclusion de nouveaux joueurs. . . . .	113
4.8	Borne numérique aux Musée des Arts et Métiers. Ce type de dispositif à la tendance de creuser la distance entre le réel et le virtuel. . . . .	114
4.9	Premiers croquis de la mise en place du kiosque multimédia avec les cartes qui serviraient d'outil de recherche et de dispositif d'interaction 3D. . . . .	119
4.10	Sélection et filtrage d'objets. Affichage de contenu multimédia. Détails 3D de l'objet. . . . .	122
4.11	Exemple de toile sémantique créée à partir d'objets similaires. . . . .	123
4.12	Usage en groupe des zones d'interactions individuelles pouvant interagir avec la totalité. . . . .	124
4.13	Métaphores ontologiques appliquées à une interface de visualisation . . . . .	125
4.14	Présentation de l'interface du navigateur d'objets 3D avec les différents domaines. . . . .	126
4.15	Objet rehaussée par la selection montrant les difereents types de médias associés. . . . .	127
4.16	Métaphore magnétique et fluide de la mise en évidence des ressemblances sémantiques entre objets. . . . .	128
4.17	Ticket d'entrée du musée servant de registre de parcours . . . . .	129

## TABLE DES FIGURES

---

4.18	Illustration d'un usage en groupe ou d'une démonstration scolaire . . . . .	130
4.19	Séquence d'actions durant l'expérience d'usage du système de cartes pour la navigation et la manipulation d'objet. . . . .	131
4.20	Correspondance des techniques d'interaction pour le contexte du musée et ensuite à la maison avec une webcam . . . . .	131
4.21	Manipulation des objets 3D grâce aux cartes . . . . .	133
4.22	Projet de dispositif d'interaction en papier pliable. . . . .	133
4.23	Identification des faces par apport au dispositif de manipulation en papier. . . . .	134
4.24	Pervasivité de l'expérience. Les cartes peuvent enregistrer et transporter la structure du réseau sémantique d'objets vers la maison ou l'école. . . . .	134
4.25	Cycle de retour au musée. Le dispositif et sa stratégie pervasive pourraient motiver les visiteurs à revenir plus souvent aux galeries. . . . .	135
4.26	Maquette interactive de la timeline multimédia . . . . .	137
4.27	Timeline de navigation de fichiers multimédia métaphore du couloir défilant . . . . .	138
4.28	Exemples de gestes de contrôle de la timeline : 1. défilement de la timeline 2. changement de densité, soit, du segment de temps relatif. . . . .	139
5.1	Exemple de création de scène 3D avec Quartz Composer . . . . .	147
5.2	Création de textures et shaders dans ShaderFX et Maya. . . . .	148
5.3	Composants d'interaction prédéfinis sur Unity3D . . . . .	149
5.4	Librairie de comportements définis par les textures dans le moteur de jeux Unity3D . . . . .	150
5.5	Exemple de cènes dans unity avec un personnage principal et les objets multimédia représentés par des icônes . . . . .	151
5.6	Librairie de gestes 'FingerGestures' disponible dans Unity Asset Store . . . . .	152
5.7	l'interface de programmation visuelle de Blender avec les 3 éléments nécessaires pour produire une technique d'interaction. . . . .	154

## TABLE DES FIGURES

---

6.1	Représentation schématique des composants inspirées des catégories de métaphores ontologiques et orientationnelles . . . . .	158
6.2	Description des éléments de l’organigramme en tant que composantes dans un rapprochement aux modules de projet UML. . . . .	159
6.3	Description résumée de la catégorie de métaphores dites orientationnelles . . .	160
6.4	Usage de la métaphore de force centrifuge pour divers types de styles et techniques d’interaction. . . . .	162
6.5	Métaphore de friction : Différence visuelle dans la vitesse de déplacement des objets faisant apparaître les différents niveaux de préférences musicales .	163
6.6	Description résumée de la catégorie de métaphores dites ontologiques . . . . .	164
6.7	Projet Weefeelfine.org où des extraits et photos retirées de réseaux sociaux sont représentés sous forme de particules qui ont une densité, et des mouvement particulier. . . . .	165
7.1	Set de cartes qui représente les catégories de Lakoff Johnson . . . . .	177
7.2	Résumé de l’organigramme des métaphores incarnées . . . . .	178
7.3	Formulaire à être utilisée par les élèves. Avec notamment les métaphores et des cases à cocher leurs choix) . . . . .	182

## TABLE DES FIGURES

---

# Introduction

Cette étude se situe dans le domaine de l'ingénierie des interfaces homme-machine et a pour thème le développement d'interfaces et de moyens d'interaction pour les environnements virtuels en trois dimensions (3D). Notre travail a pour objectif d'apporter une contribution à l'enrichissement des composants d'interaction pour les outils de développement d'environnements 3D en temps réel. Ces outils graphiques de nouvelle génération basés sur des composantes prédéveloppées sont issus principalement des plateformes de conception pour les jeux vidéo en 3 dimensions, aussi appelées « moteurs de jeu ». Ces progiciels, ou middlewares, sont des produits représentatifs de l'évolution des technologies graphiques depuis les années 80. Soutenus par la puissance de calcul et les capacités expressives du matériel d'affichage, ces outils de création se sont démocratisés et ont produit des moyens de production d'environnements 3D interactifs qui ont considérablement élargi les domaines et modifié la nature des compétences nécessaires à leur utilisation. Aujourd'hui, ces logiciels, tels que Unity 3D, *UDK*, *CryEngine*, sont les plateformes d'expérimentation essentielles dans la recherche en interaction Homme-machine pour environnements virtuels. Cette diversité d'offre et la gratuité pour des applications non commerciales sont deux arguments qui ont ouvert aux artistes et aux designers (sans pour autant exclure les ingénieurs) un nouvel espace de développement d'applications 3D interactives. Cela a permis des étapes de prototypage pluridisciplinaires et plus créatives avec pour résultat des produits interactifs innovants. Selon Natkin, ces détournements de l'usage initial des moteurs 3D ont produit des solutions nouvelles et hétérogènes pour la manipulation d'environnements virtuels [Ossmann 2004]. Les jeux vidéo et la conception assistée par ordinateur (CAO) ont construit les bases de cette industrie génératrice de produits interactifs. Aujourd'hui, ces deux composantes continuent d'être motrices pour les innovations ayant trait au rendu 3D

et à l'interaction 3D. On constate que les techniques d'interaction qui y sont développées sont destinées à des interfaces et à des dispositifs aussi variés que les usages auxquels ils sont appliqués. Nous pouvons donner de nombreux exemples :

- • Les interfaces de visualisation et de gestion de données [Almeida 2009],[Topol 2002],[Card et al. 1996],[Kulik et al. 2009], [Agarawala & Balakrishnan 2006].
- • La visualisation scientifique comme la simulation des structures de molécules chimiques ou d'évènements physiques [Gallo & Pietro 2009], [Bowman et al. 2004], [Laugier et al. 2003].
- • Les bibliothèques numériques[Cubaud et al. 1998].
- • Les univers virtuels en ligne [Kock 2008], [Warburton 2009].
- • Les bornes multimédia dans les musées, expositions et installations artistiques[Hornecker & Stifter 2006a].

Ces environnements se sont également disséminés dans l'imagerie médicale où les scanners à résonance magnétique produisent des images tridimensionnelles qui peuvent être manipulées en temps réel pour le diagnostic et les traitements liés aux réseaux cardiovasculaires, aux structures du cortex et autres traumatismes.

Durant de nombreuses années, les études ne concernaient que l'avancée des technologies de rendu 3D. Les moyens logiciels et matériels à mettre en œuvre pour interagir avec les représentations 3D n'ont intéressé que plus récemment la communauté de l'interaction Homme-machine. Maintenant, les jeux et applications doivent s'adapter aux enjeux liés à l'informatique ubiquitaire et à la multiplication des moyens d'accès et d'interaction (dispositifs mobiles, écrans tactiles, interfaces multimodales). Cette offre pléthorique de dispositifs remet en question les méthodologies de conception mais aussi les outils et composants logiciels nécessaires au prototypage et au développement de techniques d'interaction pour ces nouveaux moyens d'accès. Dans cette thèse nous cherchons à enrichir les bibliothèques de composants avec des techniques d'interaction 3D. Ceci afin d'élargir la palette de prototypage pour des usages nouveaux et des dispositifs chaque fois plus variés. Cette bibliothèque se concrétise dans un premier temps par un nouveau regard sur le concept de métaphores. Ces métaphores donnent accès à des techniques d'interaction intuitives car proches de concepts qui nous sont familiers. C'est le cas dans nos interfaces

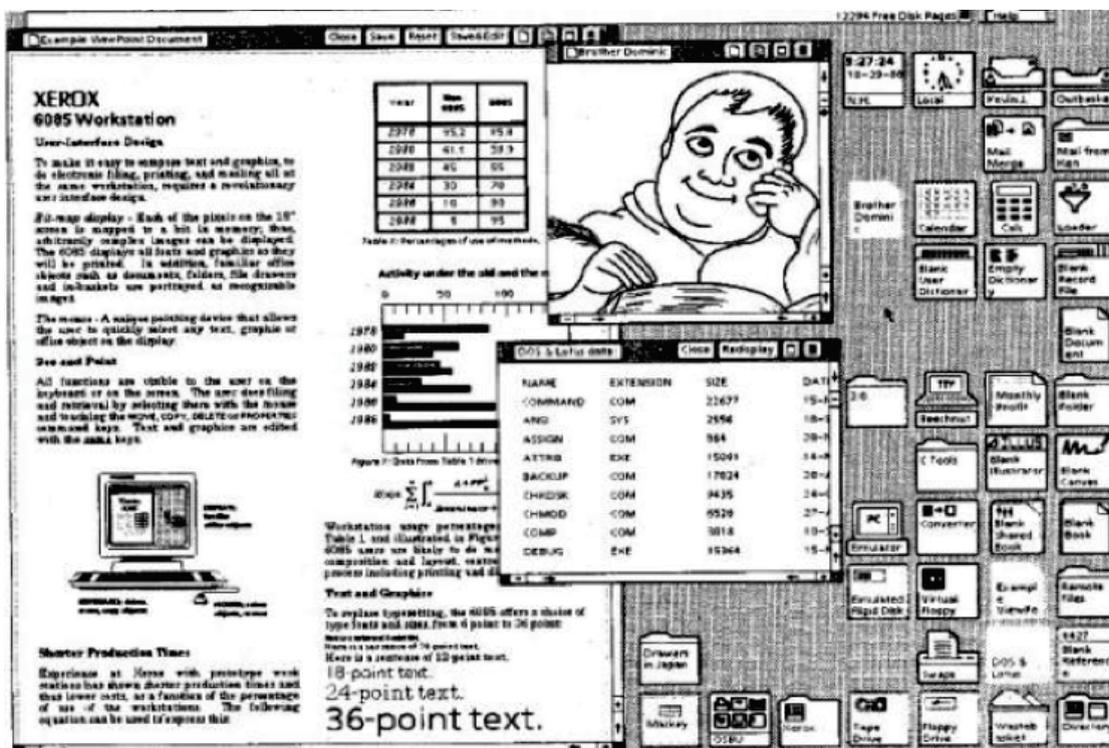


FIGURE 1 – Interface WIMP du Xerox Star (1979) [Johnson et al. 1989]

graphiques actuelles, exploitant le paradigme WIMP, qui, depuis les années 70 avec l'Alto (1973) puis le Star (1981 - voir 1) de Xerox, simule un bureau avec des dossiers de fichiers, une poubelle, ou des feuilles de papier pour écrire du texte. Lakoff et Johnson [Lakoff & Johnson 2003] ont établi un modèle qui préconise que notre système cognitif se base sur notre recours systématique aux métaphores pour créer une correspondance entre notre connaissance acquise par nos expériences énatiques et les concepts abstraits. Ce modèle place donc le recours aux métaphores comme une constante lors de la réalisation de composantes interactives. Toujours selon Lakoff et Johnson, leur approche théorique aboutit à un *framework* conceptuel dont les actions sont basées sur les modèles de notre système cognitif. L'énatique est un modèle de notre système cognitif selon lequel nos systèmes perceptif et cognitif se développent à partir de notre expérience d'interaction dans le monde réel. Ce *framework* conceptuel structure une bibliothèque d'agents d'interaction de haut niveau que nous mettons en situation dans le chapitre 3 à travers une application pour des interfaces destinées au grand public. Plus précisément, nous avons créé un prototype

de catalogue interactif pour le Musée des Arts et Métiers de Paris. Le musée ayant pour projet de numériser des objets stockés dans leur réserve et inaccessibles au public, nous avons proposé de concevoir un dispositif de navigation et de sélection des objets à partir de la visite réelle dans le musée. Les visiteurs sélectionnent leurs objets en collectant des cartes imprimées avec des marqueurs qui permettent, lorsqu'elles sont posées sur une table tactile de type Reactable [Jorda et al. 2005], la sélection et la manipulation d'objets 3D virtuels. L'accès aux objets est également possible depuis d'autres lieux moins bien équipés comme la maison ou les salles de classe, et ce grâce à l'accès à distance à la base de données et par son interrogation à travers des techniques d'interaction basées sur l'utilisation d'une webcam.

Première partie

Approche théorique et  
méthodologique



# Chapitre 1

## Introduction

### 1.1 Contexte et motivation

L'évolution de la puissance de calcul des ordinateurs et l'apparition des interfaces graphiques permettent aujourd'hui un accès universel à l'informatique. Cet accès devient omniprésent et parfois indispensable comme dans le cas des ordinateurs portables, des téléphones mobiles, des guichets de banque ou des jeux vidéo. Pourtant la création de nouveaux outils logiciels n'est pas encore une généralité, malgré les divers efforts consistant à rendre les outils et plateformes de développement également accessibles. Les efforts vers la démocratisation du prototypage et de la production de logiciels jalonnent l'histoire de l'informatique comme les langages de programmation à vocation pédagogique tels que Basic, LOGO, le projet Smalltalk Kay [1996] ou la programmation orientée objet. Suivant cette vision il existe encore de nombreuses solutions de programmation graphique tels que les environnements MAX et Pure Data Hils [1992]. Et finalement les bibliothèques graphiques 2D ou 3D agencées dans des interfaces appelées de moteurs graphiques comme ADOBE-Flash ou Unity 3D ([unity3D.com](http://unity3D.com)).

Ainsi, par exemple, les musiciens, les artistes, les architectes ou les médecins devraient bientôt être capables d'identifier leurs besoins et surtout de pouvoir prototyper l'interface la mieux adaptée aux tâches informatiques qui y répondent en utilisant ces Framework de création. Cette évolution a la particularité d'être artisanale mais aussi très ciblée, c'est-à-dire qu'il est ici question de développer une interface basée sur des techniques d'interaction qui servent à un but précis dans un contexte qui semble pertinent au développeur. Rendre

abordables les logiciels qui nécessitaient auparavant des compétences techniques se vérifie également dans le cadre du développement de nouveaux outils professionnels de création d'environnements virtuels en 3D. Sur la Figure 2, nous pouvons voir une copie d'écran de l'outil d'édition associé au moteur de jeu Unity 3D. Cette interface tente de rapprocher au maximum l'interface de prototypage du jeu final, dans un mode WYSIWYG de développement. On y voit plus précisément dans la partie supérieure gauche la manière de décrire un environnement 3D par opérations de composition des éléments les uns par rapport aux autres. Dans la partie inférieure gauche, on peut voir les animations associées à l'objet sélectionné. Dans la partie supérieure droite, se trouvent l'arbre des objets composant la scène et la fenêtre d'inspection des caractéristiques de l'objet sélectionné. Enfin, la partie inférieure droite contient des outils de profiling pour déterminer les éventuels goulots d'étranglement lors de l'exécution du jeu. Plus globalement, de telles plateformes de création de contenus interactifs 3D favorisent les démarches artistiques expérimentales. Les avancées de ces nouveaux outils de conception ont été accélérées par la grande quantité de contenus multimédia en 3D disponibles gratuitement dans des bases de données comme, par exemple, le catalogue en ligne « 3D Warehouse » de Google. Au-delà de ces ressources prêtes à être consommées, des méthodes de numérisation de plus en plus accessibles comme les scanners 3D, ou des logiciels de modélisation user-friendly, démultiplient les contenus 3D. L'accès à ces ressources ainsi qu'aux logiciels de rendu en temps réel fait émerger de nouveaux contextes et domaines d'utilisation d'environnements 3D tels que les interfaces de navigation web mais également pour mobiles et pour les bornes publiques de consultation. Les bornes multimédia d'expositions publiques cherchent à travers la réalité virtuelle à enrichir les objets statiques présentés dans les divers types d'expositions. Par exemple, le Musée des Arts et Métiers offre la possibilité de montrer des systèmes inaccessibles dont les pièces fragiles ou stockées ne peuvent être présentées directement au public. Par conséquent notre principale motivation est de contribuer à la divulgation de la création d'interfaces pour environnements en 3D. Elle peut ainsi promouvoir l'émergence de nouveaux usages et contextes d'usages grâce à un engagement d'acteurs externes au monde de l'informatique comme les designers ou commissaires d'exposition d'un musée. Mais cet accès au prototypage de dispositifs multimédia en 3D ne peut avoir lieu que grâce à un Framework

conceptuel de métaphores d'interaction de haut niveau pour permettre le développement d'environnements graphiques et interactifs à partir de notions transparentes et facilement appréhendables dans tout contexte d'implémentation. Nous avons pour cible les styles et métaphores d'interaction 3D liés aux tâches de manipulation d'objets virtuels (sélection, translation, rotation et homothétie). Nous voulons concentrer nos efforts sur les techniques liées aux tâches de courte durée et contextuelles.

### 1.2 Définition du problème et objectifs

L'amélioration de l'utilisabilité des interfaces pour environnements en 3 dimensions est un défi multidisciplinaire qui se complexifie à mesure que de nouveaux contextes d'utilisation ainsi que de nouveaux moyens d'interaction émergent (dispositifs d'entrée, d'affichage etc...). Promouvoir l'accès et l'usage de vaste contenus de ressources numériques en 3D relève d'un écosystème complexe de tâches (sélection, navigation, manipulation) et de nouveaux besoins (virtualisation de sites archéologiques, muséologie, imagerie médicale, développement de jeux, visualisation architecturale, entre autres). Pour chaque besoin il existe des solutions plus appropriées et aucune solution ne couvre de façon satisfaisante tous les besoins. De nombreux travaux de recherche se penchent sur les structures de composants capables de s'adapter au développement de solutions hétérogènes et capables d'assurer la consistance de l'interface entre les contextes et plateformes d'accès pour les environnements virtuels. La consistance repose sur le transfert de paradigmes ou la similarité entre éléments visuels et techniques d'interaction entre interfaces et dispositifs. Cette consistance devient nécessaire quand les contextes d'usage se diversifient. A titre d'exemple citons la relation simple entre les plateformes de type desktop et les dispositifs mobiles. Un parcours ludique muséal, basé sur des smartphones, peut être également suivi à la maison sur un ordinateur. Les deux modes d'interaction sont totalement différents mais doivent être cohérents. L'interactivité sur un environnement 3D est l'enjeu le plus important dans la cohérence entre dispositifs d'accès. Ils utilisent pour cela des bibliothèques de fonctions (API) dont les composantes interactives sont restreintes ou développées de manière artisanale ou ciblée dans le meilleur des cas. Même lorsque le langage permettant de décrire les ressources (comme VRML ou son successeur X3D) inclut une gestion simple des interactions, un développeur

est requis : « Les mécanismes classiques d'interaction offerts par VRML ne conviennent pas aux non programmeurs. Les extensions proposées visent à fournir un minimum d'outils pour ces non experts afin qu'ils puissent créer des scènes réactives. » Topol [2002]. Cette affirmation est particulièrement vraie pour les API d'interfaces graphiques qui s'adressent pratiquement uniquement aux programmeurs. L'objet de notre recherche est donc de proposer des extensions sous de nouvelles briques pour l'interaction 3D qui soient adaptées au développement d'interfaces pour un vaste public. Nous cherchons, à partir d'un Framework à proposer une plateforme qui soit capable de faire émerger des outils et des techniques d'interaction innovantes susceptibles d'inspirer un renouveau des moteurs de rendu 3D en temps réel multiplateformes.

### 1.3 Approche ou modèle d'exploration

Les bases théoriques sur lesquelles les propositions de briques logicielles prennent source proviennent des théories de Lakoff et Johnson Lakoff & Johnson [2003] sur les métaphores incarnées. Nous décrivons ce modèle cognitif à partir de leur œuvre « *Metaphors we live by* » avec pour guide les textes d'Alan Blackwell sur la réification des métaphores Blackwell [2006]. Par ailleurs la sélection d'articles par André Delorme dans *Mécanismes généraux de la perception* Richelle et al. [1994a] soutient nos propos dans le domaine des sciences cognitives. La première partie de la thèse décrit l'évolution de la compréhension du concept de métaphore et son implication dans l'origine des interfaces graphiques et des nouveaux paradigmes en interaction Homme-machine. Cette révision permet de présenter l'évolution du concept de métaphores à la lumière des récentes théories cognitives sur les moyens par lesquels notre cerveau construit la connaissance et les modèles de compréhension en reliant notre système perceptif et perception du monde à la construction de la connaissance par le biais des métaphores incarnées. Ces mécanismes de métaphores incarnées sont des correspondances entre les concepts abstraits que nous manipulons quotidiennement et notre interaction avec l'extérieur, c'est-à-dire notre système perceptif. Cette perspective est complétée par une révision des théories de Gibson sur l'affordance en prenant pour cadre la perception tridimensionnelle Blackwell [2006]. Le travail de Gibson nous montre comment notre système perceptif peut être une toile d'intersections d'informations cognitives qui

enrichit l'éventail de possibilités pour ces correspondances métaphoriques incarnées. Ce cadre théorique nous aide à regrouper et à catégoriser les métaphores d'interaction de haut niveau qui serviront de base nécessaire à la création de briques logicielles indispensables à la proposition de nouveaux styles et techniques d'interaction. Ces briques viendront alors alimenter une bibliothèque de composants pour la création d'environnements interactifs en 3D pour des usages dans des contextes applicatifs multiples et avec des dispositifs d'interaction divers. Ce Framework conceptuel sera illustré dans une seconde partie qui décrit une étude sur l'usage des dispositifs et des systèmes multimédia dans les musées. Les projets de numérisation 3D d'objets a engendré une série de questionnements sur la façon d'exposer ce matériel au public et les défis liés à la navigation et à la manipulation intuitive, opportuniste et de courte durée des objets numérisés. Nous avons participé au projet de catalogue numérique pour le Musée des Arts et Métiers de Paris. Ce projet est né du décalage important que nous avons constaté entre les bornes d'accès actuellement présentes dans le musée et ce que permettraient de faire les nouvelles technologies matérielles et logicielles. Après analyse des usages faits par les visiteurs sur ces bornes, on s'aperçoit que leurs attentes sont également en profond décalage avec ce que permettent les bornes. Cet approfondissement sur le besoin d'outils numériques dans les musées a aussi été l'occasion de prendre en compte les travaux d'Eva Hornecker qui préconisent une mise en garde quant à la survalorisation des dispositifs numériques et la prise en compte des différents types de public et leurs attentes dans la conception de kiosques multimédia numériques [Gibson 1950]. Son travail suggère une approche de conception des dispositifs en « couches d'interaction », c'est-à-dire, la création d'expériences interactives avec différents niveaux d'interaction, de l'usage bref et superficiel jusqu'aux expériences d'immersion dans l'univers d'informations proposé. Ces travaux abordent aussi des solutions pervasives d'accès pour combler les différentes attentes des usagers qui voudraient profiter des possibilités numériques dans d'autres environnements et contextes d'usage que celui du musée. Nous décrivons alors le cycle de conception et de prototypage de notre solution d'accès sous forme d'un outil pervasif qui distribue l'expérience multimédia entre différents contextes d'usage (école, musée, maison). A présent, nous allons décrire quatre techniques d'interaction liées à la manipulation d'objets. Chacune de ces techniques a été développée pour des contextes

professionnels différents comme la gestion de la ligne de temps (timeline) chez EDF ou dans des contextes ludiques et pédagogiques comme dans le cas au Musée des Arts et Métiers. La dernière partie de cette thèse porte sur la description d'une architecture logicielle susceptible de recevoir cette bibliothèque d'agents d'interaction et la meilleure façon de les intégrer aux futurs logiciels de développement d'environnements 3D temps réel interactifs. Afin de valider l'usage des métaphores incarnées, nous avons choisi de faire une série d'entretiens avec des acteurs en charge du développement de jeux et de nouveaux médias. Ce public cible est composé de programmeurs, designers et enseignants. Nous avons profité du contexte nouveau d'une école technique dédiée aux jeux et médias pour mettre en pratique et recueillir réactions et insights qui pourraient émerger à partir de l'usage d'une sélection de métaphores. En résumé, cette thèse est composée de trois parties. Dans un premier temps nous décrivons son contexte. Dans un deuxième temps nous listons les principaux usages liés aux interfaces 3D temps réel et les métaphores proposées qui répondent à nos arguments. Dans une troisième partie, nous décrivons les expériences pratiques qui ont aidé à faire émerger les briques essentielles pour une bibliothèque de composants, ainsi qu'une validation qualitative du Framework conceptuel proposé comme application pratique pour les métaphores. Cette API est nécessaire pour permettre de prototyper les interactions 3D temps réel à destination du grand public.

## Chapitre 2

# Métaphores : Une approche cognitive

Nous allons dans cette section présenter l'évolution de l'usage des métaphores dans les interfaces graphiques et les fondements conceptuels qui ont été nécessaires pour surmonter les solutions graphiques basées sur les analogies classiques du paradigme WIMP. Nous présentons ensuite les nouveaux modèles de notre système cognitif basés sur la «cognition incarnée». Cette approche met notre condition corporelle, et fait d'«être-dans-le-monde», au centre de la construction de notre raisonnement. Nos modèles conceptuels sont ainsi basés sur nos expériences perceptives et sensorielles. Par ailleurs cette relation directe entre raisonnement et perception ne peut se faire que par une traduction métaphorique des stimuli. Ce constat se retrouve dans les théories de Lakoff et Johnson [Lakoff 1993] sur notre usage constant et inconscient des métaphores comme principal mécanisme de compréhension du monde et de la construction de nos mécanismes cognitifs. Cette relation entre métaphores et le couplage compréhension/action guident actuellement les recherches de nouvelles formes de médiations pour outils numériques. Cette vision pourrait alors guider les futurs projets de techniques d'interaction et répondre aux questions liées aux nouveaux usages et contextes des systèmes informatiques que les anciens paradigmes d'interaction ne peuvent plus satisfaire.

### 2.1 Technologie et sciences cognitives

En informatique une "interface" est une couche logicielle spécialisée dont le rôle est de permettre un dialogue bilatéral entre les utilisateurs et l'ordinateur. Une interface sert à

traduire et à faciliter l'accès à un mécanisme complexe comme l'est la gestion de données par ordinateur. Le programme réagit ainsi aux entrées de l'utilisateur et celui-ci réagit en fonction des notifications sonores, visuelles ou tactiles du programme qui gère pour lui les flux de bits dans les entrailles électroniques de sa machine. L'interface graphique (par opposition aux interfaces sonores ou mécaniques par exemple) est le médiateur le plus communément utilisé entre l'humain et la machine. Quelle que soit l'utilité d'une telle interface, elle doit offrir une organisation intelligente de l'espace de visualisation et utiliser une représentation compréhensible et adaptée aux types d'informations. Les interfaces graphiques revêtent ainsi deux aspects différents auxquels il faut apporter une attention égale, sans quoi elles ne permettraient pas d'échanges bilatéraux.

- • Le premier concerne la description des outils disponibles grâce à des symboles et autres formes de descriptions visuelles des objets qui composent ce système.
- • Le deuxième aspect, quant à lui, s'attache aux modes d'interactions possibles entre l'utilisateur et l'interface.

Ces deux aspects du développement d'une interface ont en commun le défi d'exploiter et d'amplifier les mécanismes humains de la compréhension et de l'apprentissage. Le rôle des concepteurs est de trouver les symboles et descriptions cohérentes pour qu'une grande majorité d'utilisateurs soient capables d'identifier et de déduire des formes visuelles, des couleurs entre autres stimuli, les moyens par lesquels ils peuvent accomplir leur but. Une interface doit être capable de nous éclairer sur le fait qu'il s'agit d'un outil approprié à notre besoin ou qu'une manœuvre soit une action possible et correcte à réaliser. L'étude de notre système cognitif fournit des bases théoriques aux chercheurs en Interaction homme-machine depuis les premiers pas de ce domaine. La clé du succès d'une interface parfaite reposerait sur le fait de comprendre comment fonctionne nos mécanismes de perception pour pouvoir les utiliser comme réponse aux problématiques émergentes. Ainsi, les modèles de notre cerveau et de son fonctionnement ont évolué en tant que moyens par lesquels les chercheurs en IHM s'approprient ces modèles. Dans tous les cas, ce que l'on espère d'un modèle et de son résultat appliqué est qu'il puisse garantir la bonne compréhension des utilisateurs pour leur permettre d'effectuer leurs tâches de travail ou de création. Norman nous décrit plus en détail les enjeux de cette relation entre compréhension et action dans

son cycle de l'action [Norman 1999]. Dans son texte, il décrit les étapes impliquées dans l'accomplissement d'une tâche. Selon lui, les deux extrémités de ce cycle sont le but et l'environnement (ou le système concerné). Nous devons évaluer l'état dans lequel se trouve cet environnement pour ensuite élaborer des intentions nécessaires à l'exécution de notre tâche. L'action a ainsi deux aspects principaux : exécution et évaluation. L'évaluation est le résultat d'une séquence qui part de notre perception du système vers le traitement de cette information en fonction du but recherché. Le but se traduit en intention qui pourra se traduire en action. Les étapes de la perception et de l'interprétation sont des processus de haut niveau que Norman résume dans ce qu'il appelle le « gouffre de l'évaluation ». Ce gouffre consiste dans la relation entre ce qui est représenté dans le système et ce qui peut être facilement perçu et interprété dans les termes de nos attentes et intentions en tant qu'utilisateurs. Ce gouffre représente alors l'effort nécessaire pour interpréter les états du système pour déterminer ensuite les exécutions convenables. Ce gouffre est réduit quand le système fournit des explications sur lui-même d'une manière adaptée à la représentation que l'utilisateur a du système. Ce schéma préconçu par l'utilisateur est ce que l'on appelle un modèle mental du système. Et ce modèle est une conséquence de notre connaissance sur le monde et plus spécifiquement du système.

Selon Dortier [Dortier 2011a], l'acte de connaître mobilise une série de processus mentaux qui permettent aux humains (mais aussi aux animaux ou à certaines machines) de décrypter leur environnement et de résoudre des problèmes par divers processus. La « cognition », c'est la connaissance sous toutes ses formes : perception, apprentissage, mémoire, langage, intelligence, attention, conscience. L'étude de la cognition relève de plusieurs disciplines à la fois et de nombreux domaines d'application. En interaction Homme-machine, les sciences cognitives recherchent des modèles cohérents qui puissent décrire et exploiter les capacités humaines d'apprentissage et d'exécution des tâches sur des systèmes complexes comme les ordinateurs. Les contraintes liées à l'utilisation d'un outil médiateur (comme une interface graphique) par un être humain posent le problème de la construction de représentations qui soient cohérentes avec les modèles perceptifs, culturels et symboliques de l'utilisateur.

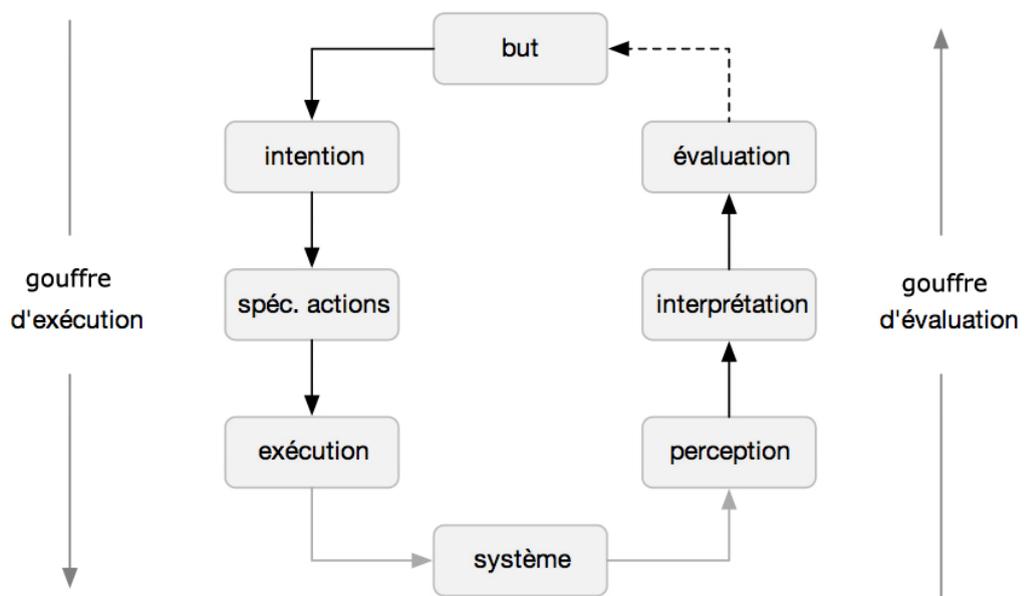


FIGURE 2.1 – Cycle de l'action selon Donald Norman

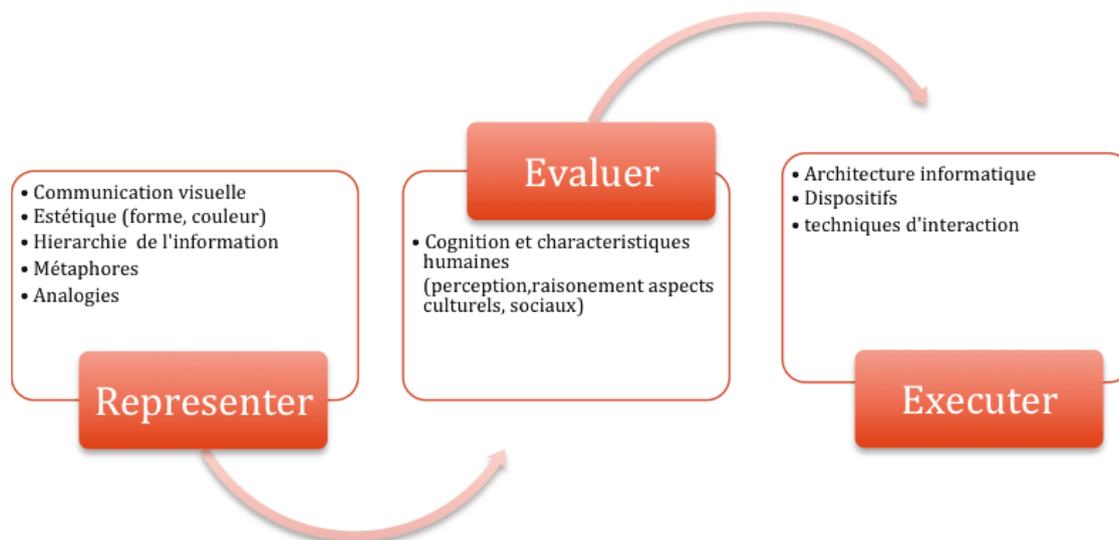


FIGURE 2.2 – Ensemble des domaines liés à l'exploitation de la connaissance dans le design d'interfaces [Dortier 2011a]

La relation entre compréhension et action ainsi que l'évolution de ces modèles cognitifs ont forgé depuis plus de trente ans les interfaces graphiques. La métaphore du bureau a été popularisée par Xerox, Apple, et Microsoft qui ont disséminé l'usage des ordinateurs en facilitant la création et l'organisation de nos activités électroniques. Ces outils sont faciles à appréhender grâce aux ensembles de représentations graphiques agencées selon une logique visuelle inspirée d'un bureau de travail. Cette solution cognitive a été créée dans les années 80 et inspirée des tâches de bureautique dans les grandes entreprises de l'époque [Malone 1983]. Elle s'est enrichie d'une série d'outils abstraits comme des menus déroulants, des fenêtres, des dossiers, ainsi que de techniques d'interaction comme la manipulation directe, la scrolling bar ou le DragDrop. Cet ensemble de solutions fait partie de ce qu'on appelle le paradigme WIMP acronyme des termes anglais Windows, Icons, Menus Pointers. La base de ce paradigme est donc la traduction de tâches complexes numériques, comme la création d'un nouveau document ou le regroupement de fichiers, en une série de métaphores – c'est-à-dire des analogies visuelles au monde physique - comme l'icône d'une corbeille, ou d'une disquette. Cependant les trente ans d'usage du paradigme WIMP et de cette analogie du bureau ne peuvent être interprétés comme si nous avions atteint le paradigme idéal.

Lafon[Beaudouin-Lafon 2000b] nous résume que le rôle ubiquitaire de l'ordinateur rend chaque jour plus inadapté le modèle de l'«écran-clavier-souris». L'environnement physique de l'usage de l'ordinateur s'étend, comme en témoigne l'explosion des ordinateurs portables de toute taille et le rôle de l'ordinateur a profondément changé. Il a progressivement envahi tous les secteurs de la production à la bureautique avec les tableurs et les traitements de texte mais également celui de la création avec la composition musicale, la création graphique et les effets spéciaux et enfin le marché de l'information et de la communication avec le Web et le commerce électronique. Le paradigme WIMP a beaucoup de limitations, dont la restriction de la manipulation des représentations à deux degrés de liberté de la souris (horizontal, vertical) et la présentation des données contrainte par les bords de nos écrans. Même si ces interfaces ont radicalement changé et démocratisé l'accès aux ordinateurs, elles ne sont plus en adéquation avec les quantités croissantes de nouvelles tâches et de données à manipuler, les nouveaux contextes et dispositifs. Ces nouveaux usages stimulent le changement de paradigme vers une nouvelle forme d'interaction avec l'information numérique. Un écosystème de solutions se construit actuellement au sein de nombreux axes de recherche qui se penchent sur les interfaces dites POST-WIMP [Beaudouin-Lafon 2000b]. Ce mouvement, soutenu par les nouvelles technologies matérielles, cherche à combler les besoins émergents en surpassant la métaphore du bureau mais aussi de la souris et du clavier comme principaux dispositifs d'interaction. Il devient donc essentiel de trouver des nouveaux modèles de compréhension au-delà de la simple analogie, et la clé de ce nouveau modèle repose sur ce dialogue entre action et connaissance.

## 2.2 La cognition incarnée

Pour s'immerger dans ce vaste univers que sont les sciences cognitives nous avons pris pour guide le recueil de textes de Jean-François Dortier [Dortier 2011a]. Il présente d'abord le thème en soulignant que les théories en sciences cognitives comportent en fait plusieurs théories générales. Elles ont vu le jour pour essayer de décrire le fonctionnement de l'esprit humain. Ces théories sont composées d'autres modèles plus restreints comme ceux sur le fonctionnement de la mémoire, de la conscience ou de la perception mais qu'il est cependant possible de repérer les grands « paradigmes » de référence. Ils s'appuient en grande partie

sur une métaphore suggestive : le modèle symbolique par exemple suggère que l'esprit s'appuie sur la métaphore du cerveau ordinateur. Le modèle connexionniste conçoit le cerveau comme une grande fourmilière auto-organisée. Le modèle de la cognition située voit la cognition à partir de systèmes où interagissent plusieurs personnes et des machines où les contextes et situations ont une grande influence. Mais l'on découvre de plus en plus que les émotions orientent notre esprit pour nous aider à décider comment faire face à un environnement incertain et cela d'une manière très liée à notre expérience perceptive de la motricité et de l'action. Selon Dortier

« Marcher, courir, se mouvoir dans l'espace, éviter les obstacles ou saisir un objet sont des formes de cognition en acte. Agir ou se déplacer suppose de mobiliser des représentations de l'environnement et des calculs sophistiqués (souvent inconscients). » [Dortier 2011a]

Ce courant est donc une réaction à une série de modèles qui voyaient notre cognition comme une machine à recevoir des stimuli sensoriels, à gérer l'information et exporter le résultat sous forme d'action. Ces paradigmes symboliques avaient tendance à séparer notre système de raisonnement de notre système moteur. En comprenant que tous deux font partie d'une même structure corticale, ils doivent forcément avoir des origines et des fonctions interdépendantes. Cette relation forte entre la connaissance et l'action porte plusieurs noms comme énaction ou cognition incarnée. Le modèle de la cognition incarnée tente de modéliser nos mécanismes de raisonnement à partir de notre expérience dans le monde réel et inclut nos moyens d'action et de perception dans le mécanisme cognitif lui-même. Ainsi, penser et agir feraient partie d'un même processus. Les anciennes hypothèses visaient à modéliser la pensée humaine à partir de règles logiques basées sur une dichotomie raisonnement-action mais les stratégies mentales ne sont qu'en partie réductibles à un ensemble de procédures logiques. Les moyens par lesquels notre cerveau pense sont multiples. Le raisonnement logique fait partie de ces moyens mais nous verrons que l'analogie et les métaphores font aussi partie de stratégies, plus ou moins fiables, mais qui mettent en question les approches fondées sur un modèle unique. « L'esprit humain est moins calculateur et raisonneur qu'on ne l'avait cru » nous explique Dortier. Le paradigme de l'énaction est décrit par Valérie Buron [Dortier 2011b] comme étant celui qui défend

l'idée que la cognition est d'abord incarnée, c'est-à-dire qu'elle prend en compte le fait que chaque espèce évolue dans son propre monde doté de ses propres règles. Nos différentes capacités s'avèrent ainsi inséparables de notre corps, de notre langage et de notre histoire culturelle. Toute activité cognitive sensori-motrice s'inscrit dans une interaction physique avec l'environnement. Elles nous permettent de donner un sens à notre monde. Dortier va plus loin en nous disant que

« L'idée de cognition incarnée part du constat que notre cerveau est un organe vivant relié à un corps (lui aussi vivant) et est plongé dans un environnement sur lequel il agit. Cette inscription corporelle, vivante et active du cerveau a une incidence majeure sur la pensée (pris dans le sens large de « cognition »). Cela signifie que toutes les idées qui nous passent pas la tête – « citron », « chien », « année », « maman », « dieu », « liberté » – ont donc une composante corporelle issue de système perceptif, émotionnel ou moteur [Buron 2007]. Dortier résume encore dans son article qu'il est facile démontrer ce point de vue pour les notions concrètes comme celle d'un citron. « Il suffit de fermer les yeux et de penser à un citron pour que l'image mentale, dotée de plusieurs contenus perceptifs comme la forme ovale du citron ou sa couleur, de même que ses caractéristiques gustatives acides ou les textures de sa peau, se forge dans notre esprit : « Enfin, selon que l'on apprécie ou non cette acidité, (certains aiment, d'autres non), l'image mentale associée va susciter une réaction d'attraction ou de répulsion. C'est encore plus vrai pour l'idée de chien. On se le représente mentalement d'abord sous une forme imagée (avec ses pattes, ses oreilles, sa queue et sa gueule), mais sa représentation contient aussi une dimension émotionnelle. Pour quelqu'un qui a la phobie des chiens, sa représentation mentale va être associée à une réaction négative. Si, au contraire, on a été habitué à côtoyer de gentils toutous, l'idée de chien évoquera d'autres sentiments : l'affection ou la fidélité. Pour résumer, les idées sont des formes, des couleurs, des odeurs et des colorations émotionnelles : positives ou négatives, agréables ou désagréables (qui correspondent aux caractéristiques perçues et ressenties). Tel est l'idée centrale de la cognition incarnée. »

« L'idée de « cognition incarnée » est assez élémentaire (le jargon scientifique cache souvent des idées assez simples). Elle est même intuitive : l'idée de citron à la forme et la couleur du citron et peut-être même son goût. Mais qu'en est-il des idées abstraites comme le « bien » et le « mal » la « liberté » ou la « théorie de la relativité » ? La théorie de la cognition incarnée peut-elle leur être appliquée ? Autrement dit, des idées générales qui forment le tissu des pensées philosophiques ou scientifiques ont-elles une forme, une couleur, une odeur ? » [Dortier2011].

Ce mécanisme rejoint donc la théorie de la métaphore selon laquelle notre cerveau crée une corrélation entre une idée abstraite et une sensation concrète de manière métaphorique. Aujourd'hui cette vision est actualisée et adaptée aux contextes de l'interaction Homme-machine par des courants comme les interfaces haptiques, et des théoriciens comme Paul Dourish, Alan Blackwell, Iroshi Ishii, Rekimoto entre autres<sup>1</sup>. Leurs études préconisent un dépassement de l'analogie visuelle et symbolique comme solution de traduction d'un concept (une feuille de papier est un fichier de texte) et suggèrent que l'on exploite davantage notre expérience vécue d'interaction avec le monde réel. Il est alors question de capitaliser notre connaissance acquise par l'action, en tant qu'information pour l'usage d'un système quelconque. Cela donne naissance à des interfaces multimodales basées sur les gestes, les sons, et d'autres vecteurs d'informations perceptives comme le goût par exemple. Le recours à ce type de dialogue, entre humains et machines, est plus difficile à concrétiser et à encapsuler sous forme de composants logiciels. Il serait question presque d'une « synesthésie sémantique » pour mettre en place des métaphores entre nos modèles mentaux et les informations perceptives avec lesquelles nous sommes familiers. Pour cela, il devient nécessaire de créer des ontologies de ces briques d'informations extraites de nos sensations. De manière empirique, nous souhaitons regrouper ces métaphores de haut niveau et produire un Framework conceptuel nécessaire pour transformer ces nouveaux modèles de notre raisonnement en outils de conception d'interfaces. Dans le paragraphe qui suit nous allons approfondir ce modèle cognitif basé sur la relation entre nos actions et l'apprentissage en introduisant l'usage des métaphores comme un des mécanismes les plus

---

1. un recueil important peut être vu dans [Dortier 2011a]

importants de la pensée humaine. L'énaction est un courant des sciences cognitives basé sur l'idée de l'action guidée par la perception et la capacité sensorielle comme fruit de notre interaction avec l'environnement. Ce courant théorique est une convergence des divers courants alternatifs aux modèles computationnalistes et connexionnistes [Richelle et al. 1994b] qui pensaient notre raisonnement comme une machine hermétique et modulaire. Piaget, Gibson ou les Gestaltistes suggéraient des modèles où la perception, la cognition et les structures neuronales étaient des mécanismes interdépendants et surtout qui avaient une relation indispensable avec l'environnement et le stimulus extérieur. Francisco Varela ose pourtant introduire la biologie dans les études sur la cognition et ses travaux en collaboration avec Maturana introduisent un modèle dynamique du système cognitif et perceptif qui dépend et n'existe que par notre condition d'être vivant incarné dans un corps (*embodied*) et qui interagit avec l'environnement externe [Richelle et al. 1994a]. Dans cette perspective il est possible de conclure que notre raisonnement n'est plus conçu comme un ensemble de fonctions logico-abstraites, mais comme un système biologique enraciné dans l'expérience corporelle et interconnectées avec l'action et l'interaction avec notre environnement et d'autres individus.

« Dans cette perspective 'action et représentation' ne sont plus interprétées en termes de la dichotomie physique-mentale classique, mais sont étroitement interconnectés. Agir sur le monde, interagir avec les objets et les individus, représenter le monde, percevoir, catégoriser et en comprendre la signification sont des niveaux d'une même liaison relationnelle qui existe entre les organismes et l'environnement local dans lequel ils opèrent, pensent et vivent » [Stewart et al. 2010]

Selon Garbarini notre système moteur nous permet de planifier les actions à exécuter mais aussi de les représenter comme des actions. La représentation se révèle être intrinsèquement liée à l'action et est exprimable dans les mêmes termes que ceux par lesquels elle contrôle. Par conséquent, la représentation ne consiste pas en une duplication de la réalité, mais dans l'activation virtuelle des procédures perceptives et motrices. Les mêmes procédures que lorsqu'elles sont effectivement exécutées, nous permettent de reconnaître des objets et interagir avec eux.

« Le système sensori-moteur, dans la mesure où un système a toujours une composante d'anticipation, est en soi une représentation mentale dans laquelle l'expérience est 'construite' basés sur des catégories, qui ne sont pas plus théoriques, mais pragmatiques, résultant de l'interaction dynamique de l'organisme avec son environnement adaptatif» [Garbarini and Adenzato 2004].

Le paradigme de la cognition incarnée « *embodied cognition* » ou énaïctive, est progressivement adopté dans le domaine de l'interaction Homme-machine en tant qu'interface entre les études des mécanismes de notre système cognitif et des solutions pédagogiques possibles dans l'apprentissage par l'action. La conception de nouveaux modèles et environnements informatiques centrés sur le couplage action/perception entre utilisateur et système est une stratégie qui peut être utilisée à plusieurs niveaux de la conception des systèmes interactifs. Cette stratégie a pour objectif de trouver les moyens d'inciter les utilisateurs à s'engager dans une expérience interactive à travers leur expérience existante, possiblement structurée selon les métaphores (elles aussi incarnées) proposées par Lakoff Johnson. Les travaux de Piaget décrivaient les stades de développement de la cognition chez les enfants provenant de l'action pour construire les capacités linguistiques abstraites et du raisonnement. Bruner recommandait l'usage de ce processus comme une stratégie pédagogique pour l'éducation en général, et pas seulement celle des jeunes enfants. Selon lui les étudiants doivent acquérir de nouvelles connaissances d'abord par activité physique, à la suite de laquelle ils forment des impressions sensorielles "iconiques", et organisent celles-ci dans des structures «symboliques» mentales. Dans ce travail nous évoquerons cette structure symbolique comme les « mappings » conceptuels décrits par les métaphores de Lakoff Johnson

### 2.3 Les métaphores sous forme d'outil

L'usage des métaphores dans les interfaces graphiques est un sujet récurrent et le texte d'Alan Blackwell « *The Reification of Metaphor as a Design Tool* » [Blackwell 2006] décrit l'évolution de la compréhension du concept de métaphore et son implication dans l'apparition des interfaces graphiques et des nouveaux paradigmes en interaction Homme-machine. Ce travail est structuré, entre autres, par la vision de Lakoff Johnson qui placent la métaphore au centre du système conceptuel et du langage [Lakoff & Johnson 2003].

Selon cette approche, le recours aux métaphores serait un mécanisme naturel et structurel de notre raisonnement basé sur notre expérience physique et sociale et non pas un raffinement linguistique fruit d'une création intellectuelle poussée. Selon eux, nos mécanismes de représentation du monde se construisent à partir d'un mécanisme de correspondances (*mappings*) entre les concepts métaphoriques et notre expérience en tant que corps humain (*embodied*) dans un contexte physique et socioculturel. Ce nouveau paradigme contrarie ainsi l'usage des métaphores comme simple outil illustratif et déconstruit la vision schématique rigide de notre système cognitif et perceptif comme une structure logique et uniforme généralisable en tant que modèle d'utilisateur (*user model*).

« À la base de ce développement, il y a l'incarnation sensori-motrice, le fait que toute perception entraîne une action, que toute action entraîne une perception, donc que c'est une boucle perception-action qui est la logique fondatrice du système neuronal. Brooks a adopté le même point de vue : si j'arrive à construire une machine qui ne sait rien à priori de son environnement, mais qui est dotée des boucles sensorimotrices efficaces, que fera-t-elle ? Elle se baladera partout, comme un bon cafard, et testera sa boucle de réaction/action, jusqu'à la rendre tellement robuste que, après de multiples générations, elle se débrouillera dans n'importe quel environnement. L'hypothèse est que sur cette base vont pouvoir émerger des significations telles désirable/indésirable, des catégories universelles de type classes d'objets, voire le langage. » [Blackwell 2006]

Cette vision ouvre la voie à des modèles de conception d'interface considérant l'utilisateur en tant que « *learner* », un apprenti doté d'une structure de représentation dynamique, muable et imprévisible. Ce modèle enrichit les pratiques pédagogiques conçues à partir des théories de Piaget et Bruner qui explorent les moyens par lesquels les enfants construisent eux-mêmes leurs modèles mentaux de représentations de la connaissance. Cette structure de compréhension et d'apprentissage fait émerger un rapport basé sur un dialogue créatif entre concepteurs et utilisateurs qui, au lieu d'imposer un modèle de compréhension d'un système, cherche plutôt des outils qui stimulent l'individu à construire ses propres métaphores conceptuelles par l'expérimentation et la découverte.

### 2.4 Les métaphores de l'expérience incarnée

Le Dictionnaire de la Langue Française définit le mot « métaphore » comme une figure de langage qui consiste à employer un terme concret pour exprimer une notion abstraite par substitution analogique, sans qu'il y ait d'élément introduisant formellement une comparaison. Ainsi, les métaphores traduisent une pensée plus riche et plus complexe en l'exprimant par un vocabulaire descriptif concret ou par une image ou un concept familier à la personne cible. En littérature, les métaphores sont souvent considérées comme un type particulier de figure de langage et ont été étudiées, classifiées et employées dans divers domaines depuis les écrits sur la poétique d'Aristote<sup>2</sup>. En tant qu'outil pédagogique, les métaphores sont considérées comme des outils efficaces dans l'enseignement de la science [J. 1998] et aujourd'hui elles font partie d'axes de recherches liés aux domaines de l'éducation, des sciences cognitives et du langage. Dans ces domaines, on cherche à comprendre et à identifier les diverses typologies et genèses des métaphores qui pourraient aider à traduire des systèmes complexes et abstraits sous forme de concepts plus accessibles à un langage courant ou qui correspondent à un concept ou à une structure connus du spectateur [Duit 1991].

En informatique, l'usage des métaphores a été initialement employé comme un outil de vulgarisation scientifique, autrement dit, pour traduire, par des modèles conceptuels familiers, des systèmes électroniques qui avaient pour seules interfaces des cartes perforés, des lampes clignotantes ou bien des lignes de commande. Les projets pionniers comme sketchpad de Sutherland [Carroll & Mack 1999] et la vision révolutionnaire de Douglas Engelbart [Engelbart 1968] allaient à l'encontre de la pratique de l'époque quand l'ordinateur était exclusivement réservé aux grands laboratoires ou aux grandes entreprises. Selon Engelbart, l'utilisation d'un ordinateur nécessitait une formation intellectuelle d'ingénieur, de physicien ou un niveau de compétence comparable. Ses projets avaient pour ambition de faire des ordinateurs un outil pour améliorer la création humaine et pas seulement pour accomplir le rôle de super-calculateurs. En ce sens, les premiers pas vers l'utilisation des correspondances métaphoriques furent les premières abstractions des langages de programmation qui reposaient sur la métaphore du langage naturel humain. Il s'agissait d'utiliser

---

2. « La Poétique » d'Aristote citée dans [Blackwell 2006]

un langage simple avec une « grammaire » comportant des mots, des phrases, des sujets pour enseigner la programmation de manière plus accessible à des débutants. Alan Dix [Dix 2004] prend comme l'exemple du langage LOGO pour l'enseignement de la programmation. Son créateur, Seymour Papert, cherchait une solution qui soit comprise par les enfants et propose donc l'idée d'un curseur à partir duquel les lignes créées par le code provenaient de la queue d'une tortue qui traîne sur le sable. Ce même système était ensuite retranscrit vers un robot qui ressemblait à une tortue avec un stylo en guise de queue. Les moyens pour faire avancer la « tortue » servaient de traduction aux commandes abstraites mais aussi de stimulus ludique pour les enfants. L'avancée des capacités graphiques des ordinateurs est alors devenue catalyseur de cette recherche. Dans les années 80, avec le développement de la bureautique dans les grandes entreprises, il semblait logique que la construction d'une interface dédiée aux tâches de manipulation de fichiers et de données soit basée sur un environnement visuel qui simulait un bureau. Des représentations graphiques ont alors commencé à traduire les commandes complexes des systèmes informatiques par un ensemble d'analogies visuelles comme des feuilles de papier pour un fichier de texte, les dossiers pour un rangement ou bien une poubelle pour détruire les fichiers. Cet ensemble était agencé dans des fenêtres superposables et les commandes plus abstraites étaient cachées et apparaissaient sous formes de menus déroulants. Cet ensemble fonctionnel fut nommé WIMP (de l'anglais Windows, Icons, Menus et Pointers) et est aujourd'hui la base des interfaces graphiques de tous les ordinateurs personnels. Selon Blackwell, cette solution ne résulte pas d'une étude approfondie des métaphores, mais d'une solution naturelle du problème posée par la conception des interfaces graphiques

« Une approche courante suivie par les concepteurs pour faire face à la complexité est celle de cadrer les interfaces, les actions, les tâches et les buts autour d'un framework de concepts familiers déjà appréhendés par l'utilisateur. Ce framework est ainsi appelé métaphore d'interface utilisateur ». [Dix 2004]

La vision classique des métaphores ainsi que leur usage dans les interfaces graphiques étaient liés à leur condition d'outil de communication et de langage. Une analogie est ainsi considérée comme un outil d'enseignement basé sur une image correspondant à une structure réelle et familière. Cette approche, appelée opérationnelle, propose de surmonter le

## 2.4. LES MÉTAPHORES DE L'EXPÉRIENCE INCARNÉE

---

défi consistant à construire la métaphore la plus adéquate à une tâche ou à une situation complexe. Dans le contexte de l'enseignement de la programmation, il cite des exemples comme celui de comparer un ordinateur à un poste de télévision, ou bien illustrer les espaces dans la mémoire vive par des seaux d'eau à remplir. L'approche opérationnelle décrit la métaphore comme une ressource éducative créée par l'enseignant comme solution pédagogique. Cependant le recours à cette vision classique était devenu un problème lors des premières interfaces graphiques du fait de la surestimation de la capacité de l'utilisateur d'appréhender un nouveau concept par des analogies et surtout du fait de trop faire confiance à une analogie créée qui puisse construire un ensemble cohérent et adapté à un nouvel utilisateur.

« Lorsque les premiers ordinateurs de bureau " métaphoriques " et Windows sont devenus rentables, les chercheurs en interaction Homme-machine des grandes corporations ont développé des interfaces encore plus tournées vers les métaphores visuelles. Comme exemple nous prendrons celui du Cap General Magic en 1994 et Microsoft Bob en 1995. La justification de ces efforts de développement coûteux et le lancement de produits fondés sur l'importance de la métaphore, était si convaincante que les développeurs ont été surpris quand l'extra-réalisme des métaphores picturales n'a pas réussi dans la même mesure que celles relativement abstraites du "bureau" et de "Windows»[Neale et al. 1997]

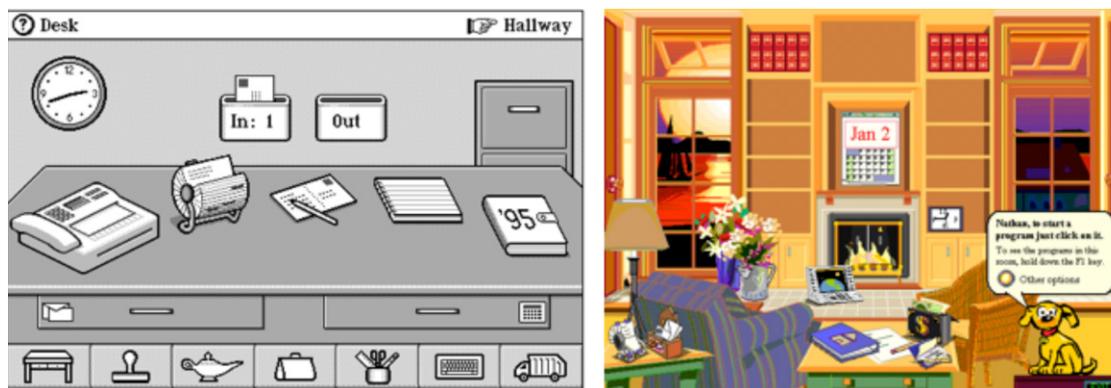


FIGURE 2.3 – Bureau réaliste "Magic Cap" et l' Interface de gestion "Bob" de Microsoft [Duit 1991]

Selon cette approche opérationnelle, un modèle de compréhension est juxtaposé au modèle conceptuel de l'utilisateur dans un seul sens : celui du designer vers l'utilisateur. Celui-ci crée donc une traduction « littéraire » et fidèle de ce que le designer affirme être l'environnement de travail. Mais dès lors les concepteurs se rendent compte que l'on ne conçoit plus une métaphore mais, bien plutôt, que l'on construit un utilisateur. Dans le cas de la métaphore du bureau, les ingénieurs avaient projeté un secrétaire (typist).

« Lorsque nous proposons qu'un ordinateur soit présenté comme un bureau métaphorique ou une machine à écrire, l'une des choses que nous sommes vraiment en train de décrire est l'utilisateur prévu pour cet ordinateur. Nous le décrivons comme un employé de bureau ou un secrétaire. ».

La recherche d'une métaphore efficace et compatible avec un utilisateur s'est traduite ensuite par la recherche d'un modèle uniforme et prévisible de l'utilisateur basé notamment sur des schémas cognitifs objectifs et structurels censés être généraux et immuables. De ce point de vue, décrire un modèle d'utilisateur devrait conduire forcément à une solution générale efficace, apte à faire comprendre un mécanisme par un modèle pragmatique de l'« end-user ».

Malgré un certain nombre de caractéristiques qui peuvent être considérées comme uniformes telles que la mémoire à court terme, la loi de Fitts<sup>3</sup>, ou des mécanismes cognitifs, la vision de l'utilisateur comme composante est une vision réductionniste qui ne prend pas en compte l'imprévisibilité et les contextes socioculturels. Par ailleurs, les nouvelles tâches dérivées d'une nouvelle utilisation imprévue ne peuvent pas faire partie d'une solution ciblée et taillée sur mesure.

Une approche appelée structurelle est alors proposée où l'on cherche non pas un modèle d'utilisateur mais les mécanismes internes responsables de l'interprétation et de l'assimilation de métaphores et de concepts similaires. Ainsi, au lieu de créer une métaphore ou une analogie, on parle alors de concept abstrait structurant donnant une cohérence à tout un système. On parlera donc de « densité » pour un ensemble de fichiers ou bien de concepts comme « plein », « vide » ou « lourd ». Mais le problème reste toujours celui de faire

---

3. La loi de Fitts est un modèle qui prédit l'efficacité et la précision du mouvement humain. Son étude démontre une constance pour les tâches de déplacement pour la relation entre la distance et la taille de la cible. [Card et al. 1983]

confiance à une création, structuration aléatoire et qui pourrait avoir pour base des suppositions ou bien des modèles préétablis de l'utilisateur. Une démarche nouvelle est alors proposée par Alan Kay (Dynabook<sup>4</sup>) et Seymour Papert (LOGO language)[Foundation 2011]. Leurs projets se penchaient sur l'usage des ordinateurs pour les enfants. À cette époque, les ordinateurs étaient très loin de faire partie des cadeaux de Noël et n'avaient pas encore leur place dans la chambre des enfants. L'idée de créer une interface pour des utilisateurs n'ayant aucune métaphore de travail comme support ne faisait pas partie des modèles possibles étudiés par les grandes entreprises. Il fallait un modèle d'apprentissage par la découverte basée sur la capacité créative de l'enfant. Le designer devait donc donner des outils nécessaires pour que l'enfant construise son propre modèle de représentation mentale. Cette approche est née des théories constructivistes de Piaget ou la construction de la cognition vient par les expériences et les actions réelles dans l'acquisition du langage.

« La où Piaget décrit les stades de développement de la cognition menant des compétences concrètes basées sur l'action vers les compétences linguistiques abstraites, Bruner recommande cette progression en tant que stratégie pédagogique pour toute l'éducation et pas seulement pour les jeunes enfants : les étudiants devraient se heurter à de nouvelles connaissances d'abord par l'activité physique « énactive », à la suite de laquelle ils formeraient des impressions sensorielles « iconiques », et organiseraient celles-ci en structures mentales « symboliques ». » [Blackwell 2006]

## 2.5 Les types de métaphores incarnées

La vision contemporaine de Lakoff et Johnson questionne la métaphore comme une sophistication intellectuelle. Ils suggèrent que le recours aux métaphores est un mécanisme constant dans notre système conceptuel. Beaucoup de concepts qui nous sont essentiels sont souvent trop abstraits ou difficiles à cerner et à délimiter. L'usage de métaphores parsème notre quotidien communicationnel et rationnel en tant que capacité naturelle humaine de faire correspondre ces concepts abstraits comme par exemple les émotions, les

---

4. Le Dynabook est un projet d'ordinateur portable éducatif pour enfants mené par Alan Kay au sein du laboratoire de recherche de Xerox à Palo Alto. [Kay & Goldberg 1977]

idées, le temps en termes d'autres concepts. Ces « autres concepts » vers lesquels nous établissons des correspondances sont souvent retirés de notre quotidien expérientiel comme les relations et orientations spatiales, objets, substances et relations socio-culturelles (religion, politique, etc...). Voici un extrait du texte introductif de Lakoff « The contemporary theory of metaphor » [Blackwell 2006] qui nous présente plus précisément cette approche :

« Dans les théories classiques du langage, la métaphore a été considérée comme une question de langage, et non pas de pensée. Les expressions métaphoriques étaient supposées être exclues du domaine du langage courant et ordinaire : le langage courant n'avait pas de métaphores, et la métaphore était utilisée en dehors du domaine des mécanismes du langage conventionnel quotidien. (...) Le mot « métaphore » avait été défini comme une expression linguistique poétique ou romancière dont un ou plusieurs mots dédiés à un concept seraient utilisés en dehors de leur signification conventionnelle normale pour exprimer un concept similaire »

. (...) Les généralisations régissant les expressions poétiques métaphoriques ne sont pas dans le langage, mais dans la pensée : elles sont en général des correspondances (mappings) entre des domaines conceptuels. En outre, ces principes généraux qui prennent la forme de correspondances conceptuelles, ne s'appliquent pas seulement à de nouvelles expressions poétiques, mais à une grande partie du langage ordinaire au quotidien. En bref, le lieu de la métaphore n'est pas dans le langage du tout, mais dans la façon dont nous conceptualisons un domaine mental dans les termes d'un autre. La théorie générale de la métaphore est donnée par la caractérisation de ces zappings inter-domaines. Et dans le processus, des notions abstraites banales comme le temps, les états, le changement, la causalité, et le but se révèlent aussi être métaphoriques. Le résultat est que la métaphore (c'est-à-dire, le mapping entre domaines conceptuels) est absolument centrale pour la sémantique du langage naturel ordinaire, et que l'étude de la métaphore littéraire est une extension de l'étude de la métaphore au quotidien »

Dans leur ouvrage « Metaphors we live by », Lakoff et Johnson approfondissent et structurent ces correspondances (mappings) en grands ensembles de métaphores. Selon les auteurs notre façon de construire un système conceptuel de manière cohérente ne peut être

basée sur des concepts isolés en établissant des principes généraux de compréhension. Ces principes généraux seraient constitués en termes de domaines d'expérience plus larges. Ces domaines sont en grande partie structurés à leur tour par notre expérience interactionnelle avec le monde en tant qu'humains contraints à un corps, d'où la relation des concepts de métaphores incarnées ou *embodied* en anglais.

« La métaphore est un mécanisme fondamental de notre raisonnement, qui nous permet d'utiliser ce que nous savons sur notre expérience physique et sociale pour comprendre d'autres sujets. Et puisque ces métaphores structurent nos conceptions les plus basiques, elles finissent par donner forme à notre perception et à nos actions sans que l'on s'en rende compte. » [Lakoff 1993]

Cette relation intrinsèque entre cette ontologie expérientielle de base et nos actions sur le monde nous permettent alors d'établir une profonde liaison entre l'action, la perception et la cognition. Cela ouvre alors la voie à des approches objectives sur la construction de systèmes interactifs basés sur les structures métaphoriques expérientielles. Nous verrons par la suite que c'est autour de ces paradigmes que se situent plusieurs axes émergeant de la recherche en interaction Homme-machine comme les interfaces haptiques, tangibles et les notions d'énaction [Lakoff & Johnson 2003]. Le tableau de la figure 2.4 résume de manière simplifiée les grands ensembles de métaphores dont se sert naturellement notre système de raisonnement pour construire des modèles de compréhension cohérents. Il se subdivise en 3 catégories de métaphores : Métaphores structurelles (un concept est structuré dans les termes d'un autre), Métaphores orientationnelles (un concept structure un ensemble de concepts) Métaphores ontologiques (concepts structurants basés sur des entités).

### 2.5.1 Les métaphores structurelles

Les métaphores structurelles renvoient une idée en les termes d'une autre. Cette relation est la plus classique et se rapproche des définitions littéraires de métaphore ou d'analogie. Cependant elle ne prend en compte que deux concepts isolés. L'exemple classique du texte de Lakoff et Johnson est la relation du concept de temps avec celle d'argent : « Time is money » (le temps c'est de l'argent). De cette relation naît un schéma conceptuel robuste qui engendre de nombreuses façons nouvelles d'interpréter le temps (perdre du

## 2.5. LES TYPES DE MÉTAPHORES INCARNÉES

<p><b><u>Métaphores Structurelles</u></b></p> <p>Un Concept isolé structuré en les termes d'un autre.</p> <p>« Le temps c'est de l'argent » Il faudrait économiser notre temps. « Les idées sont des personnes » Donner naissance à une idée.</p>			
<p><b><u>Métaphores Orientationnelles</u></b></p> <p>Un concept qui organise un système de concepts</p> <p><b>Correspondances venues de notre expérience incarnée.</b></p>			
<p><b>Exemples:</b></p> <p><b>Notions de direction :</b> La gloire est en haut, la défaite en bas. l'ascension et la chute d'un président)</p> <p><b>Expériences de douleur:</b> La désillusion fait mal. la vérité qui blesse</p>		<p><b>Mouvement</b> Le temps passe vite. Internet est lente</p> <p><b>Relations spatiales</b> L'homme le plus proche du président. la famille = les proches.</p>	
<p><b><u>Corps/incarnées</u></b></p> <p>Perception motrice Perception visuelle Perception Sonore Chaud/froid Douleur Spatialisation,</p>	<p><b><u>Physique naïve</u></b></p> <p>Gravitation Poids Friction Inertie Vitesse</p>	<p><b><u>Culturelle</u></b></p> <p>R elations sociales Fêtes Symboles Nourriture language Religion</p>	
<p><b><u>Métaphores Ontologiques</u></b></p> <p>Concepts basés sur notre relation aux objet et entités physiques. le cerveau est une machine, Le débit d'informations, un discours vide.</p>			
<p><b><u>Substances</u></b></p> <p>Fluides Solides Limites Poids Frontières Matière</p>	<p><b><u>Entités</u></b></p> <p>Quantification Identification Référencement Création Destruction Fragile</p>	<p><b><u>Containers</u></b></p> <p>Containers Vide Plein Dehors Dedans</p>	<p><b><u>Personification</u></b></p> <p>Personnages Adversaire Ennemi Ami</p>

FIGURE 2.4 – Tableau des catégories de métaphores selon Lakoff Johnson

temps, économiser du temps, donner votre temps à quelqu'un). Le fait de nommer virus un logiciel malveillant est un exemple de ce type de métaphore utilisé dans le domaine de l'informatique. Il en découle alors une structure conceptuelle plus riche comme celle de la contamination, la reproduction, l'incubation, la mutation.

### 2.5.2 Les métaphores ontologiques

Ces types de métaphores, nous les construisons à partir de nos relations et expériences avec des objets et entités en général comme les substances (liquide, solide, visqueux). Les métaphores ontologiques organisent des structures de concepts autour de notre relation quotidienne, aussi bien tactile que visuelle, avec les objets et les entités. Le terme d'ontologie est utilisé ici au sens de la théorie de l'être, c'est-à-dire l'étude des propriétés générales de ce qui existe. Cette structure métaphorique permet alors de manier des concepts en les rattachant à des idées concrètes comme les limites, le volume, le poids ou même la forme ou la texture. Il s'agit, par exemple, de comparer le concept de « patience » à un objet. Nous créons ainsi des abstractions comme « la patience est finie » ou « j'en ai ras le bol ». Un autre exemple est de donner au concept abstrait de « prix » des caractéristiques d'un bloc de glace comme le « gel des prix » ou que les « prix ont fondu ». Des concepts comme « la vie est dure » ou bien la figure « être sur le fil du rasoir », ou parler d'un « argument venimeux » nous montrent avec quelle fréquence nous avons recours à ce type de métaphore. Au voisinage de l'interaction Homme-machine, des exemples illustrent cette correspondance avec des termes tels qu'un fichier « lourd à télécharger », un « disque plein » ou le fait de « vider la poubelle ». La relation avec les objets nous permet de référencer ou de localiser, de quantifier, d'identifier des aspects ou des causes (« les prix du carburant ont cassé mon budget »). Cette relation concrète nous motive à mettre en œuvre des actions ou à déterminer des objectifs plus concrets. Le fait de comprendre les concepts en leur donnant des limites, du poids, des consistances, des qualités des noms ou des caractéristiques, construisent en notre raisonnement des structures basiques de correspondance (mappings) de très bas niveau conceptuel et avec une applicabilité universelle. Les êtres humains, indépendamment de leur culture, ont des relations de bases similaires avec des objets et des entités.

### 2.5.3 Les métaphores orientationnelles

Ce type de métaphore est lié à notre expérience quotidienne, en particulier notre connaissance spatiale, c'est-à-dire les références telles que : haut, bas, devant, derrière, dessus, dessous, proche, loin. Des concepts comme le succès ou l'accumulation sont liés à la hauteur, la dépression et le désespoir sont comparés avec la chute ou liés au sous-sol. De ce fait, un concept provenant de nos « expériences naturelles » en structure plusieurs autres, abstraits ceux-là, comme la richesse, la liberté, la joie, le succès autour d'un concept expérientiel qui est la hauteur. Les choses négatives comme « les dettes nous submergent » ou la « chute du pouvoir » renvoient à des concepts liés au sol ou à ce qui est en bas. Par rapport au concept de cognition incarnée on verra que ces métaphores orientationnelles sont aussi liées aux aspects physiques de notre perception de la réalité tels que la vision (couleurs, formes, intensité de lumière, relations spatiales), la perception sonore, la proprioception et l'écosystème de sensations comme ceux de la gravité (apesanteur), du poids, du mouvement ou de la vitesse. Nous exposerons plus loin qu'en plus d'une perception directe de cette condition incarnée nous avons aussi la perception de concepts comme la vitesse, le déplacement, les relations (proche - loin) qui sont perçus par une association de stimulus (lumière, son, textures). Dans la prochaine section nous exposerons la relation écologique de la perception proposée par Gibson[Gibson 1966] et comment son modèle aide à construire les paradigmes d'énaction. Les métaphores orientationnelles émergent donc dans notre inconscient en fonction de notre action constante avec l'environnement et établissent un écosystème de concepts cohérents aussi influencés par des facteurs sociaux ou culturels. Il existe par exemple des cultures où le futur est en arrière et le passé en avant, ou bien la couleur associée à la mort, noire dans certaines cultures, est blanche pour les cérémonies de deuil dans d'autres pays. Avec cet usage des métaphores il est possible de surmonter les analogies simples des interfaces WIMP et d'évoluer vers de nouvelles solutions didactiques qui stimulent notre créativité par nos propres modèles de compréhension à partir de notre capacité naturelle de créer des correspondances. La recherche actuelle se tourne vers les nouveaux modèles intrinsèques aux tâches particulières de chaque utilisateur. Ainsi le designer doit faire émerger la relation entre le modèle et le contexte d'un utilisateur en se basant sur des structures métaphoriques générales. La section suivante décrit brièvement

le concept d'énaction. Nous tenterons ici de construire une relation plus claire entre ce Framework conceptuel basé sur les métaphores et leur application en tant que bibliothèque de composants.

### 2.6 La perception 3D - action et expérience

Nous avons vu que selon les théories de Lakoff et le concept d'*embodied* cognition, les modèles mentaux que nous créons pour interpréter et conceptualiser notre monde viennent surtout des expériences sensorielles et d'action sur notre environnement. Cependant nous ne pouvons pas nous limiter à lister tous les stimuli perceptifs comme seules source d'inspiration pour une grammaire de métaphores. Gibson montre que la perception d'entités comme la profondeur, la vitesse ou la texture est en fait une convergence d'informations sensorielles. La construction d'un système métaphorique lié à notre compréhension et l'action qui en découle dépend donc de la compréhension de la relation entre les stimuli directs provenant de nos sens (vue, odorat, toucher) et les interprétations croisées comme par exemple la vue et le toucher (texture), la vue et le déplacement de nos yeux et de la tête (profondeur). De ces relations appelées écologiques par Gibson émergent le concept d'*affordance* qui est souvent vu comme le saint graal par les chercheurs en interaction. Ce concept est assez difficile à cerner et à synthétiser et mène souvent à des erreurs d'interprétation. Mais il est important de le présenter dans ce cadre théorique car c'est un concept-clé dans la compréhension du couplage de la construction des entités : perception/action et action/raisonnement. Le concept d'*affordance* a été introduit par le psychologue James J. Gibson en 1977 dans son approche dite « écologique » des mécanismes de la perception [Gibson 1966] [Gibson 1986]. Ce terme concerne les ressources ou caractéristiques qu'un environnement offre ou révèle à un sujet déterminé (homme ou animal) en les indiquant par des informations contenues dans la stimulation reçue. Ainsi un enfant qui observe un ruisseau congelé peut discerner la stabilité de la glace grâce aux variations de l'information visuelle telle que la coloration, la texture, le relief entre autres indices perceptuels inhérents à cette surface. Selon le terme employé par André Delorme [Gibson 1977], on pourrait dire que le ruisseau gelé procure (affords) la sûreté de pouvoir marcher dessus. Les mêmes indices visuels cependant n'offriraient pas autant de sécurité à un adulte cor-

pulent, ce qui conduit à interpréter l'*affordance* comme une relation unique et invariable entre les informations perceptuelles contenues dans un environnement et les capacités et conditions propres à un sujet observateur. Cette alternative de Gibson à la psychologie cognitive traditionnelle a apporté un modèle plus adapté aux attentes des designers. Les modèles traditionnels étaient trop focalisés sur les processus physicochimiques des stimulations nerveuses et sur ses rapports avec la mémoire et les mécanismes de résolution des problèmes. Ces modèles avaient tendance à « surcharger » le système cognitif en donnant trop d'importance aux mécanismes isolés des autres systèmes comme les réseaux des nerfs sensitifs et moteurs. Selon Gaver, ces modèles centrés sur une boîte noire qui contrôlait et interprétait tout, lui semblaient baroques et excessivement compliqués [Richelle et al. 1994a]. Donald Norman fut l'un des premiers à avoir adopté et diffusé l'*affordance* dans les milieux du design. Dans son livre intitulé "The Design of Everyday Things"[Norman 1999], il présente les nombreux moyens existants pour réussir la conception d'objets du quotidien en clarifiant au maximum leurs usages. Ainsi la mise en valeur de ces relations d'*affordance* fait émerger les propriétés d'objets capables d'informer immédiatement leurs possibilités d'actions et d'usages à un utilisateur-cible. A son tour William Gaver synthétise et applique les concepts de Gibson dans le domaine de la technologie et plus particulièrement en interaction Homme-machines avec des méthodes d'analyse et de conception de systèmes centrés sur l'utilisateur.

« L'*affordance* d'un objet, tel que celle de monter, se rapporte à des attributs de l'objet et de l'acteur. Ceci fait, le concept est puissant pour penser aux technologies parce qu'il se concentre sur l'interaction entre les technologies et les personnes qui les emploieront. »

[Gaver 1991]

Depuis, le terme *affordance* a fait irruption dans de nombreux travaux sur le design et l'interaction devenant ainsi un concept-clé dans les recherches en usabilité et auto-apprentissage. Cependant, l'usage de ce concept a été largement détourné ou employé de manière générique [Norman 1999]. Gaver, dans son texte, nous met en garde quant aux types d'*affordance* qui peuvent être invisibles ou fausses sachant que celles qui nous intéressent sont les vraies *affordances* visibles (perçues). Dans le schéma proposé par Gaver

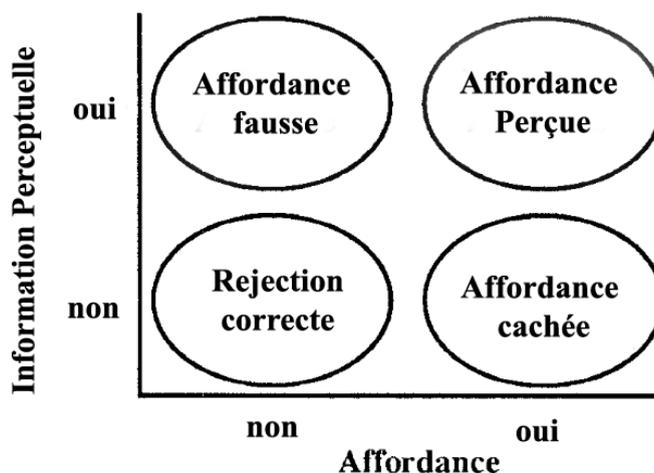


FIGURE 2.5 – Le schéma sépare les *affordances* et informations perceptuelles. Il distingue la présence ou non d'*affordances* et si elle est perçue ou non. [Gaver 1991]

(Figure 4), il éclaire cette différence en distinguant les *affordances* des informations perceptuelles. Il se peut par exemple qu'une information visuelle existe mais pas l'*affordance* : une porte dessinée dans un mur « affine » le passage mais ne laisse pas passer. C'est un exemple de ce qui peut arriver dans la relation entre les concepts de la manipulation directe et des interfaces graphiques. Nous sommes souvent invités (par des moyens graphiques ou des messages) à cliquer sur un bouton à l'écran. L'*affordance* est simple dans le cas d'un écran tactile. Mais, dans un environnement clavier/écran/souris, si une personne ne s'est jamais servie d'une souris, il lui sera impossible de savoir comment cliquer sur ce bouton à l'écran. Evoquer le concept d'*affordance* sur un projet d'interface graphique exige de prendre en compte les dispositifs et les autres types d'intermédiations entre l'information perceptible et les moyens d'actions disponibles.

Norman est alors revenu sur l'*affordance* [Richelle et al. 1994a] pour redonner du contexte, corriger des erreurs quant aux usages du terme et pour relier de manière plus appropriée cette théorie aux projets de design. Le concept d'*affordance* est ainsi un condensé des conclusions de Gibson qui encapsule d'autres modèles de la perception humaine particulièrement utiles aux projets d'environnements 3D virtuels. En effet, ses études sont surtout basées sur la perception visuelle du monde réel, sur la capacité animale de perce-

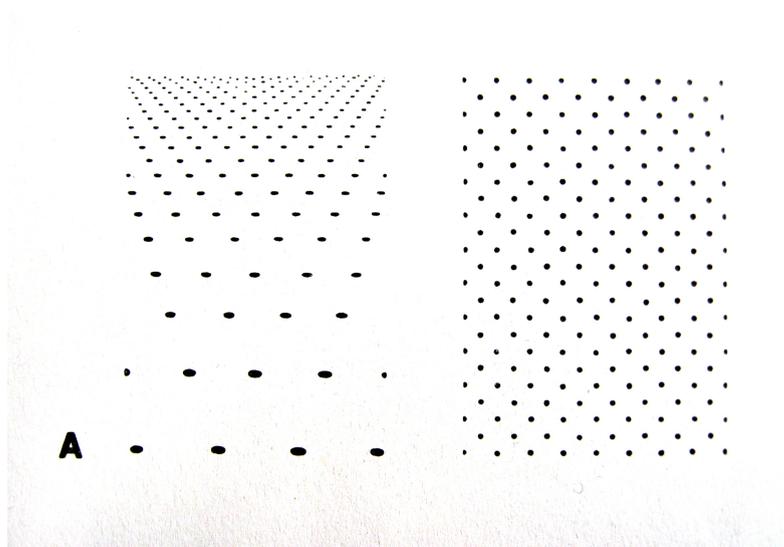


FIGURE 2.6 – [D. Norman 1999]- Gradients de stimulations visuelles associées à la perception de la profondeur. Détail du gradient de texture visuelle produit par la présentation en perspective d'une surface de points [Richelle et al. 1994a].

voir l'espace tridimensionnel et le mouvement. Gibson démontre que, malgré son approche souvent pluri-sensorielle, la stimulation visuelle peut contenir assez d'informations pour ne pas dépendre seulement des conséquences de la vision binoculaire. Il affirme que l'espace visible est constitué de surfaces et de gradients de textures perçus dont la plus importante est celle du sol sur lequel les objets reposent la plupart du temps et qui fournit les informations de vitesse, de hauteur entre autres. Ainsi la notion d'*affordance* et le modèle de la perception de Gibson dans le design d'interfaces pourraient être considérés non seulement comme un révélateur d'actions possibles mais surtout comme un guide de conception d'images générées par une interface qui utilise un écran bidimensionnel. Réaliser des projets d'environnement 3D crédibles qui évoquent et s'approprient la profondeur comme outil dans le projet nécessite de prendre en compte le potentiel complexe de lecture des informations visuelles pour contourner les ambiguïtés. Cependant, l'apport principal de Gibson à la redéfinition du stimulus visuel se retrouve dans sa démonstration du rôle de l'information visuelle dans la perception de la profondeur [Norman 2004] [Gibson 1950]. Pour illustrer son propos, il commence par se démarquer des théories classiques de la perception de l'espace, lesquelles, selon lui, concevaient la troisième dimension comme un espace vide entre

l'œil du sujet et l'objet perçu. Suivant une telle conception, l'explication de la perception devait s'appuyer uniquement sur les conséquences de la vision binoculaire. Mais, selon Gibson, l'espace visible n'est pas vide ; il est constitué de surfaces, dont la plus importante est celle du sol sur lequel les objets reposent le plus souvent, et qui fournissent un ordre spatial permettant la sérialisation des objets dans l'espace tridimensionnel. Ces surfaces sont perçues grâce à leur « texture visuelle », que Gibson conçoit comme un arrangement d'éléments ponctuels variant en intensité lumineuse, de façon cyclique, dans l'espace. Lorsqu'une telle texture est vue en perspective, l'arrangement optique de sa projection rétinienne présente une gradation spatiale verticale, en grosseur et en densité, de ses éléments texturaux, gradation que Gibson appelle un gradient de texture [Gibson 1986]. Ce gradient est source de perception de la profondeur, mais d'une profondeur créée par une surface ou un plan, par opposition à celle que créerait un espace vide, sans limites perceptibles et dans lequel les objets apparaîtraient suspendus. Ainsi, dans un dessin, tout objet présenté sur un fond constitué par un gradient de texture sera perçu d'emblée à une distance donnée. Cependant, le gradient de texture n'est pas conçu comme un simple indice de profondeur à ajouter à la liste des indices classiques. Gibson a montré que, dans un environnement naturel, la plupart des indices de distance relative, dont la perspective, la disparité et la parallaxe de mouvement comportent généralement des gradients. Or, ces gradients constituent des sources essentielles d'information perceptive, éliminant l'incertitude et l'ambiguïté que comporte l'espace vide dépourvu de texture, et fournissent même une échelle de profondeur. Voilà donc un type de stimulation qui semble déjà, par sa complexité, s'écarter notablement du stimulus de la psychophysique classique. En résumé, l'information 3D captée par notre système perceptif renferme en elle d'importantes sources d'informations qui, exploitées de manière cohérente, deviennent un outil de communication puissant et robuste. Cet outil est basé sur nos mécanismes perceptifs mais aussi sur notre connaissance bâtie à partir de notre expérience perceptive de l'environnement. Les correspondances entre cette connaissance construite sur notre environnement et les métaphores orientationnelles citées dans les chapitres antérieurs (expériences motrices, physiques et culturelles) forment un puissant Framework de solutions de compréhension pour la création de systèmes interactifs visuels d'usages universels. Pourtant la construction d'un système interactif facilement appréhen-

dable ne repose pas sur la compilation de solutions parfaites. Même si nous arrivons à déterminer les composantes les plus cohérentes avec le modèle cognitif présenté, la réussite d'une expérience interactive ne se fera que par le biais d'une stratégie cohérente avec le contexte d'usage des dispositifs proposés. C'est ce que nous examinons dans la section suivante.

### **2.7 Expérience et engagement - Approcher l'information**

Le concept d'énaction nous sert de structure conceptuelle et nous guide dans la recherche d'éléments d'interface plus efficaces dans la communication à propos du fonctionnement d'un système interactif. Les métaphores visuelles, sonores ou tactiles qui émergent du couplage action/perception inspirent la création de ces éléments d'interfaces mais aussi des composants d'interaction. Ces composants sont, à leur tour, basés sur des métaphores de notre expérience réelle avec notre environnement. Nous pouvons citer des exemples classiques de techniques d'interaction comme le terme « grab » (attraper), « drag » (trainer) et pourquoi pas « squeeze » (presser). Ces termes proviennent de gestes naturels et quotidiens qui peuvent donc être réifiés en métaphores. Dans notre quotidien d'interaction le geste de 'double-cliquer' a toujours signifié ouvrir ou démarrer. Que pourrait donc signifier le fait de presser, comprimer un objet. Ce geste engendre des sensations liées à la force des poings, de compression des doigts. De cette gamme de sensations et ensembles de stimuli qui peut nous dire qu'une matière est molle ou solide, on passe à la recherche de concepts abstraits provenant du monde numérique pouvant être traduits. On pourrait par exemple lier le concept abstrait de contrôle de version à la consistance des images affichées. Les fichiers mous, gélatineux et encore modelables sont des versions pouvant être envahies, investies, modelées. En revanche une version aboutie est solide donc difficilement modifiable. Nous pourrions donc nous inspirer directement de cette gamme de stimuli et faire ressortir les métaphores naturellement cohérentes avec la médiation souhaitée. Par ailleurs ce genre d'éventail conceptuel est également utile pour contourner les analogies simplistes d'un projet d'interface. Les deux types de matière première sont nécessaires. D'un côté cette gamme de sensations et concepts venus de notre expérience incarnée : dur, mou. De l'autre côté les concepts abstraits susceptibles d'être traduits. Dans notre cas les concepts liés au monde

## 2.7. EXPÉRIENCE ET ENGAGEMENT - APPROCHER L'INFORMATION

numérique. Cette section traite donc des divers types d'entités susceptibles d'être ainsi traitées. Dans ce travail de recherche, nous présentons de possibles solutions pour créer des signes familiers qui peuvent guider nos gestes et intentions durant l'usage d'un dispositif numérique. Mais le recueil de cette 'grammaire' de métaphores conceptuelles doit s'organiser autour d'un objectif contextualisé. Les tâches liées aux outils de textes sont différentes de celles utilisées sur un outil d'édition de son ou d'image. Sauf, bien sûr, si le projet propose une convergence artistique ou un autre type de mixage médias. Cette distinction d'univers interactifs une fois catégorisée peut nous aider à distinguer les usages possibles des métaphores. Dans cette section nous proposons de travailler sur la classification de tâches durant l'usage d'une interface selon les types de données proposée par Ben Shneiderman. Le travail de Shneiderman sur la visualisation de l'information nous a servi de guide et d'inspiration pour une implémentation plus focalisée dans l'usage des interfaces graphiques et qui donne une approche appliquée à notre Framework conceptuel. Les métaphores créées peuvent donc être filtrées et connectées à d'autres usages grâce à un fil conducteur qui est la taxonomie de tâches proposée ici. Comme exemple prenons le cockpit d'un avion qui est souvent vu comme une interface « inappréhensible » et non-universelle. Cet ensemble de commandes a pourtant évolué pendant des dizaines d'années sous l'influence de grands designers industriels. Ce travail n'en fait pas une interface immédiatement compréhensible par n'importe quel utilisateur même si ses commandes sont composées d'unités simples et parfaitement ergonomiques.



FIGURE 2.7 – [Le cockpit de l' Airbus A380 est l' exemple d'une interface complexe mais constituée d'éléments simples et ergonomiques.

La complexité apparente est toujours vue avec appréhension. Dans le cadre des théories de Gibson sur l'affordance, cet excès d'informations trouble notre capacité à décoder un ensemble trop important de structures visuelles en actions possibles à effectuer. John Maeda dans son livre « De la simplicité » [Maeda 2009] suggère comme première consigne, dans la recherche d'une interface facile à appréhender, la réduction de la complexité. Pour y parvenir il n'est pas question d'enlever des fonctions du système puisque cela est parfois impossible, comme c'est le cas pour un cockpit d'avion. Mais on peut adopter la stratégie de filtrer ou masquer temporairement des fonctions selon leurs usages ou bien selon le niveau d'engagement que l'utilisateur souhaite y consacrer. Pour explorer cette problématique nous avons choisi d'adapter la taxonomie des tâches pour la visualisation de l'information proposé par Ben Shneiderman dans son texte « *The eyes have it* » [Shneiderman 1996]. Ce texte nous suggère une approche de la conception de l'interaction pour des systèmes de visualisation de l'information basés sur les tâches selon leurs types de données. Dans toutes les propositions de hiérarchie de l'usage, la consigne principale se résume par un « mantra » c'est-à-dire une séquence de tâches qui suit une complexification selon les besoins de l'utilisateur : « *Overview first, zoom and filter, then details-on-demand* ». En français cela pourrait se traduire par « Vue d'ensemble d'abord, Zoom (rapprochement) et filtrage, détails à-la-demande ». Shneiderman propose cette couche élevée d'abstraction pour regrouper et structurer les grands ensembles de tâches relatives aux moyens d'exploration et la visualisation des données dans un système interactif. Nous avons donc adapté ce "mantra" à l'exploration des fonctions possibles d'un système interactif. Selon l'auteur, il y aurait sept grands ensembles de tâches.

Table 1 [Shneiderman 1996] – Groupes de tâches pour interfaces de visualisation selon Shneiderman.

Ces tâches sont regroupées, selon Scheidemann, pour combler le besoin de visualiser des ensembles d'informations de la manière présentée dans le tableau 2.2

Aujourd'hui nous savons que ces types de données deviennent hybrides, c'est-à-dire que des types d'informations différents peuvent faire partie d'une même technique d'interaction. C'est le cas des arborescences et autres moyens de visualisation de données décrits par Topol [Topol 2002]. Pour ces tâches liées aux environnements 3D il est possible de manipuler

TABLE 2.1 – Groupes de tâches pour interfaces de visualisation selon Shneiderman. [Shneiderman 1996]

Overview	Avoir un aperçu de la collection entière.
Zoom	Zoomer sur les points d'intérêt
Filtrage	Filtrer les éléments qui n'intéressent pas l'utilisateur.
Détails à la demande	Sélectionner un élément ou un groupe et obtenir des détails si nécessaire.
Relations	Percevoir la relation entre les items.
Historique	Gardez un historique des actions pour une annulation, « replay », et un raffinement progressif de l'usage.
Extraire	Autoriser l'extraction de sous-collections Exporter des paramètres de la recherche.

des données hiérarchisées selon une arborescence de manière spatialisée en 3 dimensions. Il existe plusieurs solutions pour la visualisation et la manipulation de données de natures différentes comme la visualisation et la manipulation de représentations de molécules ou bien la modélisation d'objets et même, dans le cas des musées, pour la visualisation d'objets et leur métadonnées (informations muséales). Ainsi, dans le cas des environnements 3D pour la visualisation, les tâches auxquelles les utilisateurs ont souvent recours sont liées au positionnement des objets dans l'espace et à la relation entre les différentes parties de l'objet (dessous / dessus et intérieur / extérieur). Les utilisateurs doivent comprendre la position et l'orientation lors de la visualisation de ces objets, tout comme ils doivent pouvoir surmonter les problèmes d'occlusion. Les solutions à certains de ces problèmes passent par des techniques diverses mais qui peuvent être séparées selon les étapes décrites dans la figure suivante. Des techniques comme la métaphore du turntable pour les objets 3D s'insèrent dans la vue d'ensemble et le fait de démarrer la présentation d'une fonction vient comme un seconde étape. Des fonctions telles que des aperçus, la transparence et le codage couleur sont des formes de présentation des fonctions possibles à utiliser. Des triggers permettent de montrer différents détails.

**Organisation de la suite de l'exposé** Dans le chapitre 2, nous avons exposé en détails le principe des métaphores incarnées ainsi qu'une classification selon une structure pouvant servir de base de travail pour d'éventuels designers. Cette structure doit être capable d'intégrer les nouvelles inspirations et les techniques d'implémentation de façon à faire évoluer,

TABLE 2.2 – Possibles types de données dont un utilisateur peut manipuler [Shneiderman 1996]

(1D) Unidimensionnel	Données linéaires textuelles comme des documents, codes sources d'un programme ou des listes organisées de manière séquentielle.
(2D) Bidimensionnel	Données planaires ou cartographiés agencées dans des cartes géographiques, plans, schémas ou des journaux. Chaque élément de la collection couvre une partie de la superficie totale et possède des attributs liés à leurs domaines tels que nom, relation, valeur, etc., et des caractéristiques d'interface tels que taille, couleur, opacité, etc.
(3D) Tridimensionnel	Des éléments avec du volume et des relations potentiellement complexes avec d'autres items. Conception de systèmes assistés par ordinateur pour les architectes, modeleurs, et ingénieurs mécaniques sont construits pour traiter les relations complexes en 3 dimensions. Les tâches qui gèrent les adjacences tels que dessus / dessous et intérieur / extérieur ainsi que les graves problèmes d'occlusion. Des solutions à certains de ces problèmes sont proposées dans de nombreux prototypes avec des techniques telles qu'aperçus, repères, perspective, affichage stéréo, transparence, et codage couleur.
Multidimensionnel	La plupart des bases de données relationnelles et statistiques sont facilement manipulées comme un phénomène multidimensionnel dans lequel les éléments avec n-attributs deviennent des points dans un espace à n-dimensions.
Temporel	Les Timelines (lignes du temps) sont largement utilisées et vitales pour les dossiers médicaux, gestion de projet, ou présentations historiques pour créer un type de données multidimensionnelles. La distinction des données temporelles est que les éléments ont un début et une heure d'arrivée et que les points peuvent se chevaucher. Trouver tous les événements avant, après ou pendant une certaine période de temps
Arborescences	Hierarchies ou structures en arborescence : collections ou chaque élément à un lien vers un élément parent (sauf la racine). Les liens entre parents et enfants peuvent avoir plusieurs attributs.
Réseaux	Les relations entre les éléments ne peuvent pas toujours être commodément capturées avec une structure en arborescence et il est utile d'avoir des articles liés à un nombre arbitraire d'autres articles.

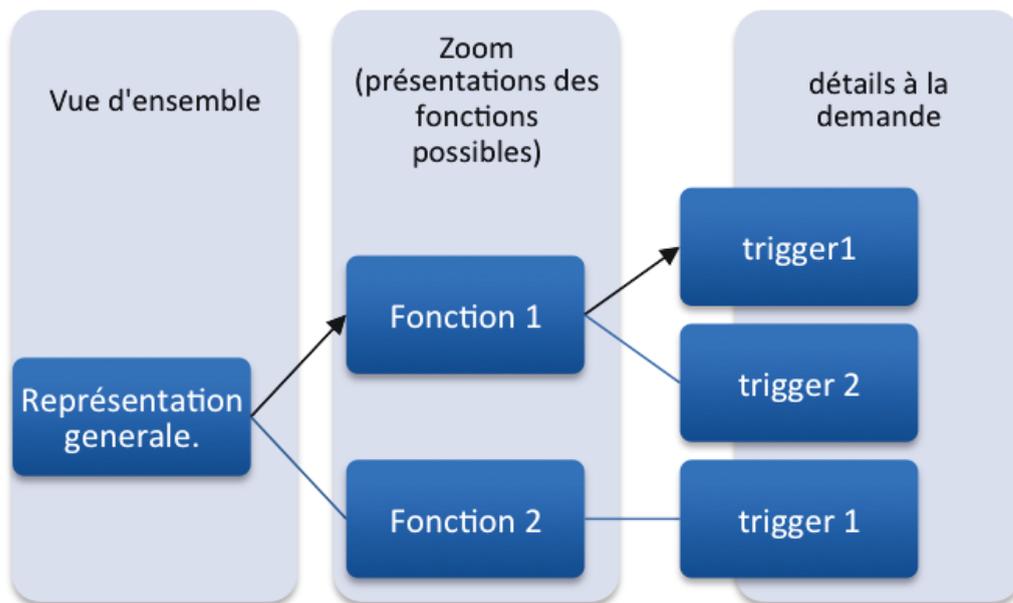


FIGURE 2.8 – Exemple d’approches vers une fonction ou commande d’une interface

presque comme une taxonomie, les interfaces émergentes. Dans le chapitre 3, nous présenterons des exemples d’interfaces et concepts qui peuvent faire partie de cette organisation. Ce sont des exemples concrets de créations basées sur des concepts métaphoriques visuels ou de nouvelles techniques d’interaction.

## 2.7. EXPÉRIENCE ET ENGAGEMENT - APPROCHER L'INFORMATION

---

## Chapitre 3

# Métaphores et interfaces émergentes

Ce chapitre établit une connexion entre la classification des métaphores incarnées proposées par Lakoff et Johnson et des cas de styles et techniques d'interaction émergentes. La désignation d' « interfaces émergentes » est un terme générique pour l'ensemble des nouvelles propositions en systèmes interactifs qui cherchent à surmonter le paradigme WIMP et les dispositifs classiques comme le clavier et la souris. Ces solutions sont regroupées dans divers courants dits *Post-WIMP* [Beaudouin-Lafon 2000b] qui ont comme exemple les interfaces multimodales [Beaudouin-Lafon 2000a], interfaces tangibles [Ossmann 2004], interfaces hybrides ou transactionnelles [Grasset et al. 2006] ou encore les interfaces plastiques [Calvary et al. 2006]. Les interfaces émergentes surgissent dans le but de combler les besoins en modèles d'interaction pour les nouveaux dispositifs tels que les téléphones mobiles, tablettes numériques, les bornes publiques, etc... De nouveaux paradigmes sont nécessaires pour prendre en compte la diversité de ces usages. C'est la « pervasivité » des ordinateurs prévue par Weiser [Mark 1999] comme un nouveau paradigme d'utilisation pour la croissante hétérogénéité des contextes d'usages. Dans cet univers d'interfaces émergentes, un des fils conducteurs qui nous intéresse est donc celui du couplage entre l'action et la perception pour des interfaces qui explorent la relation entre le réel et le virtuel dans le but d'exploiter nos habiletés naturelles. Ce fil conducteur est appelé *reality-based interaction* (interaction basée sur la réalité) [Jacob et al. 2008] ou bien interfaces éenactives ou d'interaction incarnée (*embodied interaction*) [Antle et al. 2009]. Hornecker explique que cette vision englobe une large étendue de systèmes basés sur l'interaction incarnée, manipulation tangible et la représentation physique de données numériques [Hor-

---

necker & Buur 2006]. Ces styles d'interaction surgissent du moment qu'il devient possible avoir les données numériques "incrustées" (embedded) dans l'espace réel en augmentant l'espace physique avec de l'information digitale [Ishii 2008]. Cette vision couvre et inspire donc les approches liées à l'interaction Homme-machine, à l'informatique, au design et aux arts interactifs actuels. Ce chapitre justifie notre recherche d'un approfondissement à propos des mécanismes cognitifs autour des métaphores incarnées comme un nouveau regard envers le changement actuel du paradigme de l'accès à l'information. Ces correspondances métaphoriques que nous créons instinctivement peuvent servir de base pour la recherche de nouvelles techniques d'interaction. Il est nécessaire d'intégrer les métaphores incarnées dans les systèmes d'apprentissage pour les interfaces. Cependant, pour soutenir efficacement l'apprentissage au travers de ces métaphores incarnées il faut identifier les correspondances les plus pertinentes aux concepts abstraits que nous voulons traduire. Cette démarche d'implémentation des métaphores incarnées (embodied metaphors), sous forme de styles et techniques d'interaction facilement appréhendables, a été entreprise surtout pour le cas des interfaces tangibles. Ces interfaces exploitent notre relation naturelle aux objets physiques pour soutenir nos mécanismes d'interprétation et d'apprentissage. Nous pouvons aussi citer comme exemple de l'implémentation de ce courant les jeux ubiquitaires, les interfaces à réalité augmentée et toute autre implémentation qui utilise notre capacité de saisir le monde pour comprendre des concepts non-visuels. Nous verrons que les nouveaux dispositifs d'interaction comme les joysticks de la Nintendo Wii ou les gants de réalité augmentée profitent directement de cette proximité entre nos schémas corporels et nos représentations liées aux systèmes abstraits. Cependant, la diversité des nouvelles interfaces ne peut se baser que sur les correspondances avec les gestes, mouvements et autres métaphores corporelles liées au toucher et la kinesthésie<sup>1</sup>. L'exploration de notre expérience avec le monde réel devrait inspirer la création de techniques d'interaction innovantes sur les correspondances ontologiques comme, par exemple, les notions de limites, de contenants ou de métonymies. Un Framework de dialogue entre un modèle cognitif de haut niveau et des briques d'interactions prêtes à être implémentées peut créer des solutions innovantes qui, combinées, sont un puissant outil d'approche de la complexité et de

---

1. La kinesthésie est une perception consciente de la position et des mouvements des différentes parties du corps.

l'hétérogénéité des contextes d'usage et de solutions matérielles. Dans la première partie de la thèse nous avons introduit deux modèles de la dimension cognitive. Ces deux modèles sont ceux de la cognition incarnée et de la catégorisation de l'information par Shneiderman. Ces modèles seront développés dans le but de bâtir un vocabulaire analytique et conceptuel pour le développement d'interfaces graphiques pour les environnements 3D. Ce vocabulaire peut aider les designers à comprendre les enjeux de leur application ouvrant ainsi la voie à l'innovation grâce à un espace d'alternatives en cohérence avec nos moyens de raisonnement que sont les métaphores incarnées. Cette capacité créative est susceptible de devenir un produit ou dans notre cas, une technique d'interaction. Nous allons, dans les sections suivantes, donner des exemples de recours à notre capacité naturelle à percevoir le monde, et en particulier le monde en 3D, avec les solutions graphiques pour les espaces de travail et pour la manipulation et visualisation de données. Ces solutions se basent donc sur l'addition de la troisième dimension aux interfaces 2D et prennent ainsi en compte toutes les possibilités cognitives décrites auparavant ainsi que dans les ressources d'action contenues dans l'information tridimensionnelle.

### **3.1 De la représentation vers l'interaction**

Représenter la réalité pour mieux la comprendre est un besoin humain depuis que l'humanité a appris à se servir des pigments. Des exemples comme les peintures d'animaux représentés sur des murs en passant par les représentations anatomiques arabes rudimentaires ou encore les croquis de machines de Léonard da Vinci, nous montrent que les représentations picturales sont devenues des représentations capables d'informer sur des détails précis de notre réalité et c'est cette capacité à schématiser et à partager qui nous aide à avancer dans notre connaissance.

Durant les XIV<sup>ème</sup> et XV<sup>ème</sup>, la Renaissance a opéré une révolution portant sur les moyens d'expression visuelle des artistes et architectes. Des innovations dans les techniques de représentation, comme l'utilisation de la peinture à l'huile ou l'utilisation de la toile font partie de cette révolution. Mais c'est Giotto di Bondone (1267-1337 Vespignano) qui franchit un cap qui, selon Gombrich [Gombrich 1982]

### 3.1. DE LA REPRÉSENTATION VERS L'INTERACTION

---



FIGURE 3.1 – La foi de Giotto

marque traditionnellement l'ouverture d'un nouveau chapitre de l'histoire de l'art : celui de la recherche de la réalité. Dans la fresque « La foi » du début du XIV<sup>e</sup> siècle, dans la chapelle de Santa Maria dell'Arena à Padoue, Giotto a développé l'art de créer l'impression de profondeur sur une surface plane. La perspective a été formalisée puis officialisée par l'architecte florentin Filippo Brunelleschi (Florence 1377-1446). On la retrouve dans diverses œuvres de Masaccio (Rome 1401-1428). La perspective a été expérimentée par bien d'autres peintres de la Renaissance et architectes qui ont produit des œuvres mais aussi des travaux formels comme, par exemple, le « Della Pittura » de Leone Battista Alberti (1404-1472) ou les études et travaux de Sebastiano Serlio à Bologne (1475-1554).



FIGURE 3.2 – Masaccio, la trinité (1425 - 1428)

L'avènement de la perspective, avec les innovations de la période de la Renaissance, crée de nouveaux moyens pour accentuer l'illusion de la réalité et pour résoudre les problèmes de composition et de mise en évidence dans les illustrations et icônes médiévales. Avant Masaccio et Filippo Brunelleschi, les artistes composaient les images avec des éléments et personnages distribués en plans successifs par rapport aux sujets secondaires et par rapport au paysage dans lequel ils étaient disposés. Cependant, les moyens de la mise en valeur par cette distribution hiérarchique d'attention était basée sur la différenciation de la taille et de la couleur dans une composition chargée d'éléments et fondée sur une logique symbolique et culturelle : ainsi le roi était toujours plus grand ou plus accentué que ses servants, et peu importait la distance ou la position dans laquelle il se trouvait dans le tableau. La perspective a donc mis au jour de nouveaux moyens de composer une scène selon une harmonie mathématique qui nous était naturellement compréhensible. Cette technique de

### 3.1. DE LA REPRÉSENTATION VERS L'INTERACTION

---

composition était capable de faire tenir la même quantité d'informations de manière claire et cohérente et surtout elle est devenue une méthode pour décrire le réel de manière plus cohérente avec notre système cognitif. Par conséquent, de la même façon que les modèles anatomiques ont permis une meilleure compréhension du corps humain et des moyens d'y intervenir, les représentations graphiques de la réalité ont permis une grande avancée dans les projets architecturaux, urbains et artistiques et dans notre compréhension de systèmes complexes comme les structures urbaines, les structures moléculaires ou bien la géométrie de solides complexes.

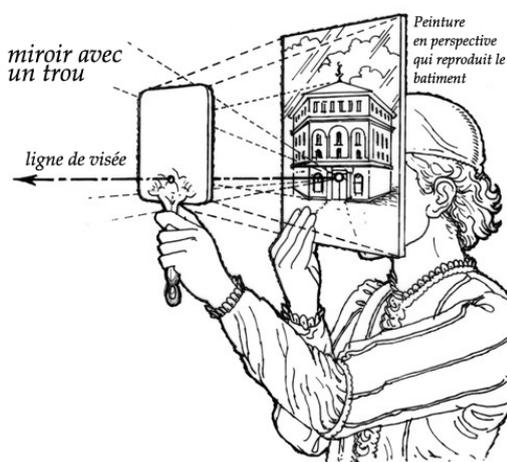


FIGURE 3.3 – Système de vérification de la perspective proposé par Brunelleschi

Ainsi, depuis la Renaissance, les moyens de représenter la réalité nous émerveillent et fournissent des outils de compréhension et d'action plus efficaces et engageants. Aujourd'hui, des projets comme l'architecture du musée Guggenheim à Bilbao n'ont été possible que grâce aux outils informatiques de représentation en 3D. La prévisualisation en 3 dimensions des systèmes cardio-vasculaires générés par les technologies en scanners et imagerie médicale, est une condition impérative pour grand nombre d'interventions chirurgicales. Ainsi, c'est en prenant la Renaissance comme métaphore que nous pouvons faire un parallèle avec nos moyens actuels de représentation des structures complexes. Grâce aux technologies actuelles de représentation graphique nous pouvons mieux comprendre notre réalité pour mieux prévoir nos actions et mieux partager la connaissance.

### **3.2 Interfaces pour environnements numériques en 3D.**

Les techniques de visualisation et d'interaction tridimensionnelles (3D) sont les solutions graphiques, matérielles et conceptuelles qui nous permettent d'interagir avec les environnements virtuels en 3 dimensions. Ces espaces numériques sont produits à partir de données tridimensionnelles et représentés grâce aux techniques de synthèse d'images et du son spatialisé en temps réel. Par temps réel, on entend que le calcul des données tridimensionnelles et la production des éléments graphiques et sonores sont générés très rapidement et de manière fluide en fonction des actions et de la perception de l'utilisateur. Ces simulations peuvent alors réagir instantanément aux actions d'un utilisateur et produire ainsi des expériences comme la navigation dans des espaces virtuels ou bien la manipulation (rotation, translation) d'objets virtuels. Les environnements numériques en 3D font partie du quotidien technologique de travail dans de nombreux domaines industriels, culturels, et scientifiques. Ce sont généralement des applications liées à la compréhension de la réalité ou pour des détournements fantaisistes qui recherchent dans la troisième dimension une solution esthétique ou fonctionnelle. Les systèmes de réalité virtuelle en 3D sont surtout présents dans les jeux vidéo mais aussi dans des produits comme les simulateurs de vol ou d'actions militaires. Ils sont utiles à la cartographie et dans d'autres domaines scientifiques comme dans les logiciels de visualisation de molécules chimiques et pour l'imagerie médicale. On retrouve aussi les environnements 3D temps réel dans le design assisté par ordinateur (CAD) pour la création de maquettes architecturales et d'autres modélisations. Ils sont aussi utilisés dans la production cinématographique pour les effets spéciaux ou dans les studios d'animation. Cependant depuis que la technologie 3D existe il est devenu clair que l'ajout d'une troisième dimension requiert un effort cognitif très important. Le changement de paradigme des interfaces 2D vers des simulations de la réalité en 3D exige de centrer les recherches en outils et techniques d'interaction capables de rendre facile l'appréhension d'interfaces de ce type. Les moyens par lesquels l'action de l'utilisateur sur ces environnements 3D temps réel est rendue possible s'appuient donc sur des dispositifs d'entrée et des contextes d'usages dans lesquels sont contenues les applications. Ces contextes vont des consoles de jeux aux ordinateurs personnels en passant par de grandes installations comme les simulateurs de vol entre autres systèmes immersifs. Les interfaces 3D sont aussi

### 3.2. INTERFACES POUR ENVIRONNEMENTS NUMÉRIQUES EN 3D.

---

présentes dans des interfaces web avec des standards comme WebGL et X3D [Sons et al. 2010] [Behr et al. 2011]. Elles sont expérimentées aussi dans les écrans et dispositifs publics multimédia comme dans les musées et expositions [Carrozzino et al. 2008]. Les dispositifs d'interaction pour les environnements en 3 dimensions ont évolué depuis les joysticks pour les jeux vidéo et les dispositifs classiques, comme le clavier et la souris, vers les nouveaux dispositifs tels ceux dotés de capteurs comme les accéléromètres et gyroscopes présents notamment sur les manettes de jeu de dernière génération (Wiimote, PlayStation Move) jusqu'au système de captation de mouvements par infrarouges présents dans la console de Microsoft appelé « Kinect ». Il existe par ailleurs les solutions dédiées à une expérience immersive comme les casques et gants de réalité virtuelle. Ces systèmes sont perçus à l'aide de dispositifs comme de simples écrans, des images projetées, des lunettes d'affichage entre autres technologies qui pourraient restituer ces informations sensorielles. Ils sont alors enrichis non seulement par du son mais par d'autres stimuli sensoriels comme des retours haptiques et aussi par des simulations de processus physiques comme la gravitation, les fluides ou le comportement des matériaux.

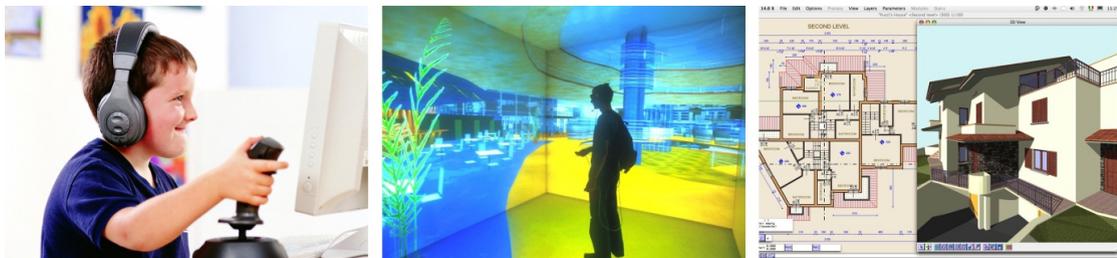


FIGURE 3.4 – Exemples d’usages d’environnements virtuels. Jeux vidéo, Systèmes d’immersion (CAVE), Maquettes virtuelles (CAD).[Manders et al. 2007]

Ces environnements virtuels sont le résultat de l’évolution informatique dans le domaine de l’imagerie. Cette évolution, qui concerne les technologies logicielle et matérielle, a débuté avec des systèmes pionniers de conception visuelle et interactive comme le Sketchpad d’Ivan Sutherland[Sutherland 1964][Johnson 1963] mais aussi avec des dispositifs pour la simulation militaire. Mais c’est l’avènement de l’industrie des jeux vidéo qui a fait qu’aujourd’hui nous avons des ordinateurs grand public suffisamment puissants pour envisager de réaliser des applications 3D temps réel jusque dans les navigateurs web.

### 3.3 Métaphores incarnées et les jeux vidéo

Les jeux vidéo ont une grande part de responsabilité dans le développement des technologies graphiques de l'informatique. Depuis les premiers jeux sur tubes cathodiques d'oscilloscopes jusqu'à l'industrie des cartes graphiques, la technologie a évolué pour combler le besoin des joueurs pour plus de richesse en détails et en effets saisissants. Nous pouvons ainsi attribuer à l'industrie du jeu vidéo les principales avancées en termes de création d'univers virtuels interactifs. Selon Natkin :

«Du fait de l'importance du marché, les jeux sont à l'origine de techniques et de produits très efficaces et peu coûteux. Ces produits sont ensuite repris dans de nombreux autres domaines d'application. Citons quelques exemples de ces « détournements » de la technologie des jeux. Les cartes graphiques, c'est-à-dire les composants d'un ordinateur qui servent à générer en temps réel les images du jeu, ont vu leur prix diminuer par dix, leurs possibilités et performances décupler en moins de dix ans. Ces cartes sont utilisées dans des applications allant de l'imagerie médicale au contrôle de processus industriel.(. . .) »

[Ossmann 2004]. L'industrie du jeu vidéo est donc responsable d'une profusion d'innovations dans le domaine de l'affichage d'univers virtuels mais joue également un rôle moteur dans l'innovation des moyens d'interaction avec ces univers. Selon Natkin le domaine de l'interaction Homme-machine en général commence à s'approprier des méthodes et concepts dérivés des jeux vidéo car ils sont porteurs d'une haute compétence en interaction basées sur un usage très développé. Par ailleurs comme les jeux ont évolué hors des contextes de travail, ils ont été relativement épargnés par l'influence du paradigme WIMP et ont toujours innové en termes d'univers virtuels. Par définition, les jeux sont des œuvres interactives et, en dehors des systèmes d'affichage et des mécanismes de jeu (règles, game-design), les techniques d'interaction pour environnements 3D et les dispositifs de saisie font partie des grandes avancées technologiques héritées de cette industrie. Ainsi, depuis le jeu Pong (1967) et les premières bornes d'arcade, les dispositifs ont eu tendance à se complexifier [Ossmann 2004]. Du joystick à un seul bouton des consoles Atari 2600 jusqu'aux manettes de la console Microsoft Xbox 360, de nombreux nouveaux mécanismes d'interaction ont

### 3.3. MÉTAPHORES INCARNÉES ET LES JEUX VIDÉO

---

été ajoutés : un deuxième joystick, des boutons directionnels, des gâchettes et des écrans d'affichages tactiles.



FIGURE 3.5 – Complexification des contrôles des consoles depuis 1972.

En 2006, la marque Nintendo renverse cette tendance en présentant son nouveau dispositif d'interaction, la Wiimote associé à la console Wii (<http://www.nintendo.com/wii/console>). Cette manette de jeu, dotée de capteurs d'accélération et de direction, permet aux utilisateurs de contrôler le système de jeu avec des gestes qui sont interprétés en tant que commandes de jeu. Avec ce dispositif, Nintendo visait une nouvelle gamme d'utilisateurs en simplifiant les contrôleurs de jeux. Une nouvelle vague d'innovations dans la recherche de la simplicité dans les techniques d'interaction, moins intrusive et dont la courbe d'apprentissage est de plus en plus courte est lancée. Sony à son tour lance sa version de système de capture de mouvement appelée PlaystationMove (<http://fr.playstation.com/psmove>). Microsoft fait alors un nouveau pas en avant en proposant un capteur de mouvements par caméras infrarouges qui détecte les structures basiques de la silhouette et du mouvement du corps en les réinterprétant comme contrôles du jeu (<http://www.xbox.com/fr-FR/kinect>). Ces systèmes couplent la notion d'action/perception et ouvrent de nouvelles voies à l'interprétation de notre système conceptuel basées sur les métaphores expérientielles énaactives.

Nous pouvons citer des exemples de métaphores incarnées qui vont de la simple analogie avec des gestes et des mouvements inspirés du monde réel comme l'acte de pointer ou bien les gestes provenant de sports (une raquette de tennis, un volant de voiture) mais aussi il existe des gestes naturels humains comme les gestes liées à la caresse ou pour une agression par exemple (coup de poing etc..). Il y a ceux qui représentent les distances par rapport au corps (éloigner ou approcher la Wiimote du corps) et toute une gamme qui

### 3.3. MÉTAPHORES INCARNÉES ET LES JEUX VIDÉO

---



FIGURE 3.6 – Contrôles de jeux gestuels. Wiimote (Nintendo), PlaystationMove (Sony) et la Kinect (Microsoft).

se complexifie grâce à des dispositifs de capture de mouvement comme la La Kinect qui permet une liberté plus importante par apport à la Wiimote puisqu'elle ne se limite pas aux mouvements ou aux accélérations de la main, elle peut aussi interpréter des positions de notre corps en tant que commandes.



FIGURE 3.7 – VIDEOPLACE un dispositif de tracking de silhouette [Krueger et al. 1985]

Lever les bras en pliant les genoux, ou bien se mettre sur une seule jambe et balancer la tête, quelles seraient donc des commandes facilement comprises par un utilisateur ? Dans son expérience des années 80, le travail pionnier de Myron Krueger [Krueger et al. 1985] avait identifié des gestes primaires comme le pointage, mais aussi le changement de taille avec la main, ou bien le fait de secouer la main pour faire partir l'objet qui s'y trouve. Tous ces gestes sont des actions naturelles qui doivent être transformées en techniques d'interaction et non le contraire, quand un ingénieur décide de créer une métaphore qu'il pense être correcte. En plus d'une cohérence avec le modèle de l'utilisateur, le recours à un modèle général basé sur une ontologie des métaphores incarnées doit permettre de garantir une consistance entre les interfaces, c'est-à-dire l'usage des mêmes gestes et métaphores entre

### 3.3. MÉTAPHORES INCARNÉES ET LES JEUX VIDÉO

---

logiciels différents mais pour des fonctions similaires. D'autres exemples de métaphores incarnées sont donnés par des jeux simples comme le fameux jeu pour mobile Doodle Jump. Le principe de ce jeu est de monter le plus haut possible grâce à des plateformes et aux petits sauts du personnage sur ressorts. La règle de base est de ne pas tomber sous l'effet de la pesanteur.

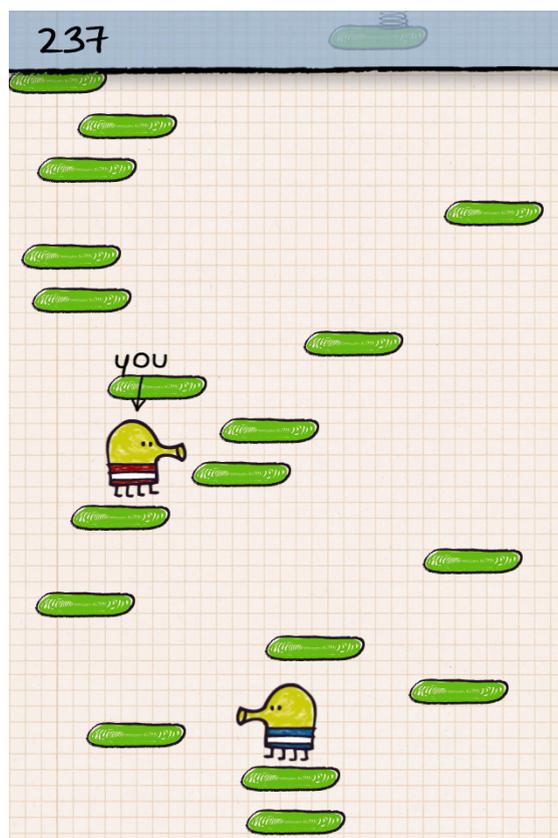


FIGURE 3.8 – DoodleJump (C) (Limasky.com)

Le personnage est guidé par le fait de pencher le téléphone vers la droite ou la gauche. Plus vous penchez le téléphone, plus le personnage se déplace vite. D'autres jeux comme Angry Birds ([angrybirds.com](http://angrybirds.com)) ou Crayon Physics ([crayonphysics.com](http://crayonphysics.com)) utilisent ainsi la pesanteur et les lois simples de la physique pour créer des règles immédiatement appréhendables par l'utilisateur. D'autres métaphores comme celles liées à des propriétés de matériaux (métaphores ontologiques) sont aussi utilisées pour définir des règles de jeu.

### 3.3. MÉTAPHORES INCARNÉES ET LES JEUX VIDÉO

---



FIGURE 3.9 – Puddle (puddle-game.com) : Jeu basé sur l’apesanteur, la friction et les propriétés du liquide

Le jeu indépendant Puddle (puddle-game.com), produit au sein de l’école française de Jeu vidéo (ENJMIN.fr), est un jeu dont le but est de faire couler un liquide vers un récipient. Pour cela, le joueur contrôle l’inclinaison de la scène avec deux boutons et doit faire pivoter les plateformes du niveau ou éviter des obstacles comme le feu. Cette fois-ci, le joueur fait face aux contraintes liées à la pesanteur mais aussi à la friction du liquide sur les plateformes. Un autre jeu qui utilise les métaphores ontologiques est Word of Goo (worldofgoo.com) où le joueur doit bâtir des structures administrées par la densité de petites boulettes faites d’une matière visqueuse et élastique.



FIGURE 3.10 – Jeu World of Goo basé sur la densité. 2dboy.com

Les propriétés des matériaux sont toutes très familières et utilisables directement comme source d’inspiration pour l’interaction avec les objets du jeu. Il y a cependant différents niveaux d’implémentation de ces métaphores. Les fluides et les matériaux élastiques sont des exemples qui se tiennent entre les analogies et les correspondances ontologiques. Le fait de coller ensemble plusieurs items d’un système est plutôt une métaphore alors que représenter les propriétés de la colle en soi reste une analogie. Nous verrons, dans la section suivante, comment cette limite entre ce qui est une analogie ou une métaphore est tenue

et faite de plusieurs niveaux d'abstraction.

## 3.4 La gestion de documents numériques

Les techniques de visualisation et d'interaction 3D sont de plus en plus utilisées pour l'affichage et la gestion de documents numériques. Cette démocratisation de la 3D est directement liée au succès des jeux vidéo qui pousse le développement des architectures matérielles et logicielles 3D. Les aptitudes acquises au travers des jeux vidéo pour la manipulation des interfaces 3D et l'atout esthétique de la 3D pour le grand public sont devenus des attraits pour les grandes marques de systèmes d'exploitation (Linux, Microsoft Windows et MacOSX d'Apple). Les interactions 3D ont fait naturellement leur apparition dans les interfaces graphiques de ces trois systèmes. Elles offrent maintenant des outils 3D pour la manipulation des fenêtres, des bureaux virtuels, voire même des documents. On pourra regretter le côté gadget ou inutile des composantes 3D proposées. En particulier, le basculement des tâches sous Windows Vista n'apporte véritablement rien de nouveau. Cependant, certaines autres interfaces, telles que la time machine ou le mur de signets de Safari sur MacOSX, exploitent véritablement la troisième dimension pour représenter les informations (respectivement, l'utilisation de la profondeur pour représenter une chronologie et la répartition 3D pour favoriser les heuristiques visuelles basées sur la mémoire spatiale). Des approches mêlant documents 2D et interface 3D pour la navigation, gestion et lecture détaillée de livres et autres documents, ont été étudiées dans différents travaux de recherche comme le Webook et le Web Forager [Card et al. 1996], la Task Gallery [Robertson et al. 2000], le Perspective Wall [Mackinlay et al. 1991] ou encore le Métisse [Chapuis & Roussel 2005]. Pour ce qui est de la visualisation de l'information nous pouvons citer des projets comme le Information Cube [Rekimoto & Green 1993], Cone Tree [Robertson et al. 1991], The Page Wall [Almeida et al. 2009], Bumptop [Agarawala & Balakrishnan 2006] ou COMPIZ, une couche graphique pour Linux (<http://www.compiz.org>).

D'autres domaines, tels que la C.A.O., l'architecture, ou encore la numérisation d'objets pour les musées [Alisi et al. 2005] exploitent des technologies de visualisation 3D. Ces types d'applications rendent particulièrement nécessaire l'utilisation de métadonnées textuelles pour enrichir le modèle 3D brut, mais leur présentation et utilisation restent

complètement isolées de l'interface de navigation et de l'ensemble de la collection d'objets 3D. Ces informations sémantiques attachées à un objet 3D ne servent en général qu'aux moteurs d'indexation et de recherche.

La réussite de ces interfaces du point de vue graphique se base sur les nouvelles dimensions et sur les métaphores d'interaction appropriées à chaque représentation. Les méthodes de développement pour jeux vidéo et architecture ont imposé durant ces 20 dernières années une grande partie des techniques qui continuent d'être adoptées. Par exemple, l'une des techniques de manipulation les plus utilisées pour la manipulation d'objets virtuels est l'« Arc-Ball » [Shoemake 1992] qui permet la rotation des objets par la métaphore d'une sphère qui englobe l'objet sélectionné. Elle a été complétée par la métaphore représentationnelle appelée Virtual Sphere [Chen et al. 1988]. Ainsi ces projets d'interfaces sont des assemblages de techniques d'interaction dont nous ferons un recueil non-exhaustif pour tenter de construire un lien entre les classifications des métaphores éactives et les solutions existantes. Nous tenterons, dans les exemples des prochaines sections, d'illustrer les relations métaphoriques conceptuelles dans les styles et techniques d'interaction proposées pour la gestion de données numériques.

#### 3.4.1 Une médiathèque virtuelle physique

L'organisation spatiale des documents 3D permettant la lecture de multiples documents ouverts simultanément est un sujet traité par A. Topol, P. Cubaud et l'équipe ILJ du laboratoire CEDRIC depuis plusieurs années [Topol 2002] [Cubaud et al. 1998]. L'utilisateur a donc la possibilité de gérer lui-même son espace de lecture en ouvrant plusieurs livres au format PDF et en les répartissant spatialement sur une surface en perspective. Pour ce faire, il traduit et oriente indirectement les livres 3D par l'intermédiaire de la métaphore d'un poste de lecture interactif appelé trépied. Cette métaphore représente un livre doté de pages manipulables par l'utilisateur. Cette représentation fait office de widget de manipulation, c'est-à-dire que le composant, sous forme d'un trépied, est en même temps un composant graphique et une technique d'interaction. Ainsi le widget encapsule les opérations et les feedbacks visuels réalisables avec un livre numérique. Ces opérations (tourner les pages, positionner) se font facilement à l'aide d'une souris standard à deux degrés de liberté car

### 3.4. LA GESTION DE DOCUMENTS NUMÉRIQUES

les trépieds sont posés sur un plan 2D représentant le sol. Le premier apport évident de l'ajout de la physique est la prise en compte de la gravité pour gérer la contrainte du sol et des collisions entre objets. Dans la version préliminaire du poste de lecture, un trépied que l'utilisateur est en train de manipuler peut interpénétrer les autres éléments de la scène 3D afin de le positionner derrière un autre trépied. Cette fonctionnalité est rendue possible par une gestion de la transparence des trépieds inactifs. Dans les versions suivantes, l'ajout des algorithmes de collision apporte plusieurs nouvelles possibilités d'interaction mais aussi des problématiques liées à la gestion d'un nombre trop important de trépieds.



FIGURE 3.11 – Widget de manipulation de livres numériques et détail de la page déchirable [Alessio et al. 2009]

La page physique est le deuxième apport de la physique dans la conception de bibliothèques virtuelles. Elle concerne plus particulièrement les pages d'un livre. Un système masse-ressort a alors émergé depuis la problématique de l'aplatissement de la page acquise lors d'un précédent travail portant sur la numérisation 3D de livres par la technique de photogrammétrie [Topol Alexandre & Boris 2009]. Certains moteurs physiques utilisent ces systèmes masse-ressort pour simuler des textiles. Cette gestion de vêtements a été détournée pour que cela convienne pour nos pages de livres. Le but avoué était, dans un premier temps, de reproduire un feuilletage réaliste et, dans un second temps, de permettre des interactions riches sur les pages. Après réduction du nombre de sommets et réglages des contraintes des ressorts, nous sommes arrivés à une page « textile » tout à fait exploitable. Les calculs nécessaires pour la déformation étant peu coûteux, nous avons pu introduire la notion de feuilletage multi-pages (voir figure 3.4.1). Par ailleurs, le moteur physique utilisé

permet de gérer le déchirage des textiles en spécifiant quels sommets du système masse-ressort peuvent être désolidarisés des autres. Ceci nous a permis de mettre en place un système de déchirage des pages. La possibilité de casser la structure préétablie d'un livre et d'en recréer d'autres à partir de pages déchirées est désormais devenue envisageable, et ceci de manière entièrement physique. Dans un deuxième temps, nous avons étudié une autre possibilité des systèmes masse-ressort : la rupture des ressorts liant les masses. Cela permet d'intégrer la fonctionnalité de déchirage réaliste de pages ou de parties de pages ; ceci afin de permettre à l'utilisateur de supprimer des éléments d'un document ou de constituer lui-même un livre composé de différentes sources d'information. Pour cela, nous avons adjoint aux images des livres manipulés une description XML des blocs composants pour chaque page.

#### 3.4.2 BumpTop

Parmi les métaphores orientationnelles et ontologiques proposées par Lakkof Johnson, nous avons listé comme possibles correspondances de concepts ceux liés à la gravité, à l'apesanteur et autres phénomènes physiques. Dans cet espace d'alternatives, il existe des projets d'interface qui exploitent cette notion expérientielle. Le projet Bumptop en est un exemple. Ce projet utilise une simulation physique d'apesanteur et de collision entre les fichiers d'un bureau traditionnel et la structure l'organisation en empilant les icônes au lieu de les distribuer en remplissant l'espace. Les objets peuvent être glissés, jetés et sont influencés par des caractéristiques physiques telles que la friction et la masse, simulant la manipulation d'objets légers dans le monde réel.

La visualisation de l'information est un domaine de recherche qui exploite, en tant que stratégie de design, la capacité humaine à identifier de nouvelles informations à partir des motifs et autres structures contenus dans une image ou une structure d'informations visuelles. Ce domaine a été introduit dans les recherches en interaction Homme-machine entre autres par Shneiderman, Card entre autres [Card et al. 1999]. La visualisation de l'information est devenue une méthode importante pour afficher des informations associées à divers domaines notamment des modèles scientifiques, les données d'entreprise et économiques et des structures d'information en général. Ainsi, d'un autre point de vue, le choix

### 3.4. LA GESTION DE DOCUMENTS NUMÉRIQUES



FIGURE 3.12 – Bumptop - Un environnement de travaux basé sur des simulations physiques

des représentations utilisées peut influencer la façon dont les gens perçoivent l'information et comment ils naviguent à travers cette structure.

Si une présentation de l'information est très encombrée et désorganisée, l'utilisateur aura des difficultés à comprendre et à accéder au système. Cela est particulièrement vrai si la présentation ne ressemble pas à une analogie du système qu'il représente. Dans ce cas, si les utilisateurs ne possèdent pas un modèle mental du système, ils seront obligés de se baser sur leur représentation cognitive ou sur d'autres informations comme la mise en page ou le type d'informations utilisées dans la présentation. Ainsi, la représentation utilisée pour présenter l'information doit être compatible avec les structures et les métaphores déjà familières de l'utilisateur. Ces structures familières peuvent alors être sélectionnées auprès de la catégorisation des métaphores de haut niveau énaactives selon leur contexte et cohérence avec la tâche. Plusieurs équipes de recherche multidisciplinaires se sont penchées sur ces méthodes d'exploration de l'information et ont proposé des techniques d'affichage et d'interaction pour optimiser cette capacité humaine. Nous pouvons citer à titre d'exemple les « tree-maps » [Johnson & Shneiderman 1991] [Fekete & Plaisant 2002] et le page wall [Almeida et al. 2009]. Ils illustrent les relations métaphoriques basées sur nos relations avec

### 3.4. LA GESTION DE DOCUMENTS NUMÉRIQUES

---

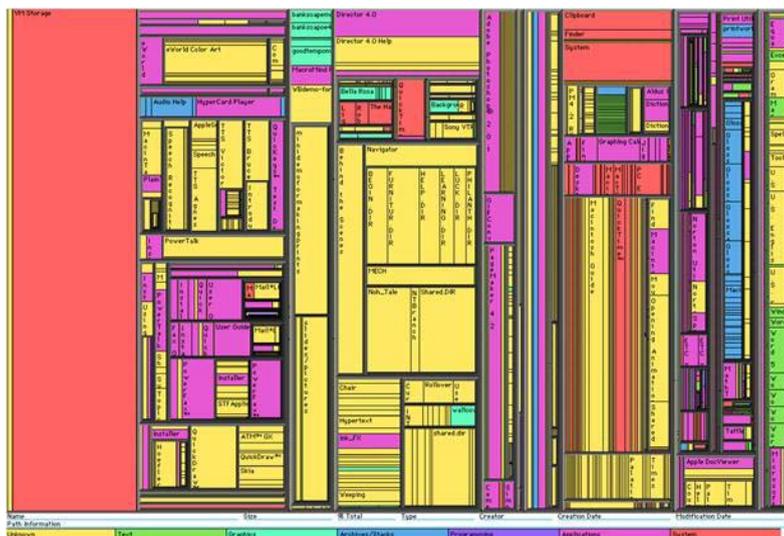


FIGURE 3.13 – Tree-Maps : représentation de hiérarchies comme métaphore de la densité[Johnson & Shneiderman 1991]

des expériences concrètes visuelles telles que la densité et la viscosité pour les solutions d’affichage de l’information.

#### 3.4.3 Le cube de Rekimoto

Le cube d’informations Information Cube est une technique développée par Rekimoto et Green [Rekimoto & Green 1993] pour visualiser des informations hiérarchiques en utilisant des cubes translucides imbriqués. L’Information Cube s’est inspirée des cartographies d’arbres hiérarchiques treemaps. Dans ces cartes, les informations sont affichées dans un cadre rectangulaire 2D en essayant de maximiser l’espace d’affichage. Pour le prototype de Rekimoto le cadre est un cube en 3D qui est divisé en cubes internes pour représenter les éléments hiérarchiques. Les éléments parents sont subdivisés en boîtes qui représentent leurs enfants, et ainsi de suite. A chaque information peuvent être associés un degré d’intérêt ou une mesure d’importance qui auront comme conséquence l’attribution d’une plus ou moins grande portion de l’espace d’affichage. Cette représentation utilise des concepts de type « containers » comme : extérieur, intérieur, vide ou plein. Il contient aussi des concepts de substance comme la matière transparente, la viscosité ou la densité, ou de limite. La figure qui suit illustre le cube de Rekimoto. Les figures suivantes présentent d’autres exemples



FIGURE 3.14 – Le cube de visualisation hiérarchique « Information Cube » de Rekimoto [Rekimoto & Green 1993].

de cette correspondance entre technique d’affichage et concepts métaphoriques à partir des entités physiques.

### 3.5 Métaphores incarnées et interfaces tangibles

Le concept d’enaction ou de cognition incarnée constitue aujourd’hui une base pour le dialogue de convergence entre différents styles d’interaction émergents. Actuellement, les concepts d’interfaces tangibles ou haptiques occupent une grande partie des discussions dans la communauté de l’interaction Homme-machine. Iroshi Ishii est un des pionniers de ce renouveau de l’interaction et, selon lui, les interfaces tangibles fournissent une forme physique à l’information numérique en facilitant la manipulation directe des bits. Cette approche a pour but de donner plus de possibilités au travail collaboratif, à l’apprentissage ou à la conception, en utilisant les technologies numériques en même temps que l’on exploite les capacités sensori-motrices sur des objets physiques et des matériaux.[Ishii & Ullmer 1997] La manipulation tangible est considérée comme une forme d’interaction engageant tout ou partie du corps avec des objets réels. Ces objets sont couplés avec des commandes d’interfaces et ont une correspondance directe ou indirecte avec des objets virtuels. Ce pourrait être le cas de la souris du poste informatique. Elle est cependant très souvent

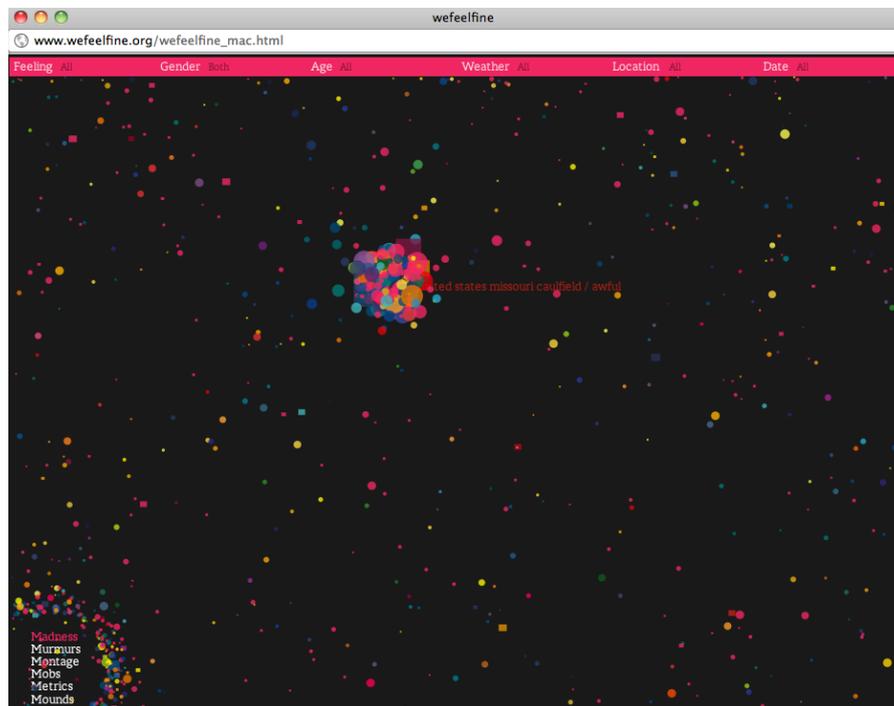


FIGURE 3.15 – We feel fine interface de navigation ludique qui affiche des posts de blogs qui commencent par "we feel" une métaphore basée sur les fluides. [www.wefeeelfine.org](http://www.wefeeelfine.org)

considérée comme un agent générique intermédiaire. Selon Hornecker [Hornecker & Buur 2006], l'interaction a lieu avec des objets matériels qui sont simultanément interface, objet d'interaction et dispositif d'interaction. Almeida [Almeida 2009] approfondit cette relation par le concept introduit par Gibson de «toucher actif», qui désigne l'action exploratoire des mains d'un sujet sur un objet. Lorsque l'on saisit un objet inconnu, les mains le touchent, le font tourner et se déplacent sur lui pour repérer les détails de forme et de texture. Dans son texte, Almeida dévoile des applications enrichies grâce à l'adoption de dispositifs qui correspondent visuellement (prop) et sémantiquement (mapping absolu ou relatif) à la tâche. Ainsi, la forme particulière de ces outils permet une orientation ou un ajustement rapide et peu coûteux en ressources cognitives.

#### 3.5.1 Fitzmaurice ViewCube et Cube desk

Le couplage entre action et perception peut être illustré par l'exemple du widget utilisé pour l'orientation des scènes dans les logiciels de conception 3D. Ces applications per-

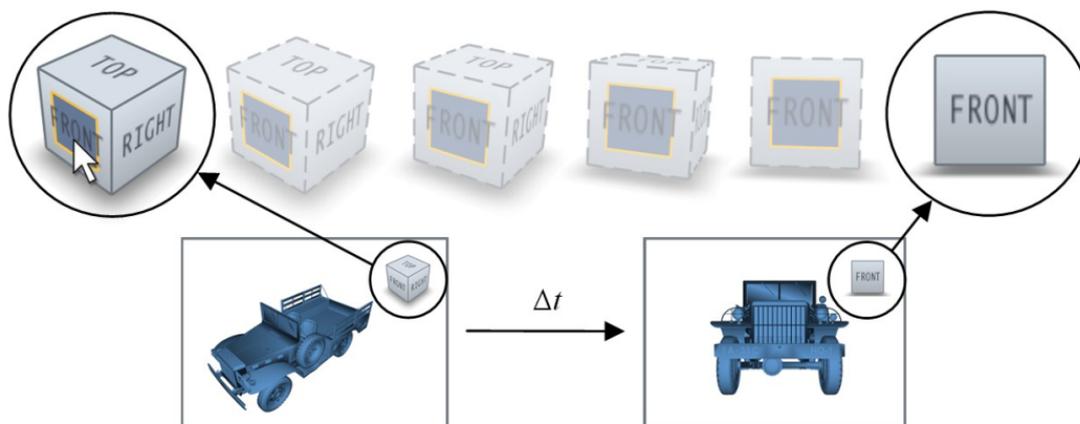


FIGURE 3.16 – Le ViewCube : cliquer sur la face marquée « front » fait tourner le cube et oriente la scène vers la vue de Face -[Khan et al. 2008]

mettent aux utilisateurs de créer, manipuler et visualiser des objets en 3D à l'écran. Ainsi, les tâches liées à l'orientation des objets peuvent se montrer très abstraites et difficiles à appréhender. Contrôler le point de vue de la caméra virtuelle et comprendre la position du point de vue relativement à l'objet est une tâche complexe pour les nouveaux utilisateurs de la 3D. Pour faciliter cette transition entre les outils graphiques en 2D et la manipulation en 3D, Fitzmaurice a proposé une représentation des commandes de positionnement de la caméra basée sur les bords et les faces d'un cube. Saisir et manipuler un cube est une opération qui nous paraît immédiatement réalisable. L'ajout de l'idée du sol comme référence, grâce à son ombre portée, traduit parfaitement cette métaphore d'interaction.

Dans un autre contexte [Almeida 2009] introduit le DeskCube, qui a été conçu comme une analogie tangible pour le ViewCube. Chaque côté du DeskCube représente ainsi l'une des six vues possibles de la scène 3D : haut, bas, gauche, droite, devant et derrière. Le DeskCube est une solution tangible couplée à la représentation virtuelle d'une technique d'interaction (dans ce cas celle d'orienter un point de vue). Le dispositif possède un poids, une taille et pourrait possiblement avoir différentes textures pour chaque face.

#### 3.5.2 Dispositif pour la visualisation Neurochirurgicale

Ce projet décrit l'usage d'un objet appelé « prop » qui a une forme de tête de poupée. Le prop est la représentation physique d'une tête faisant partie intégrante du dispositif

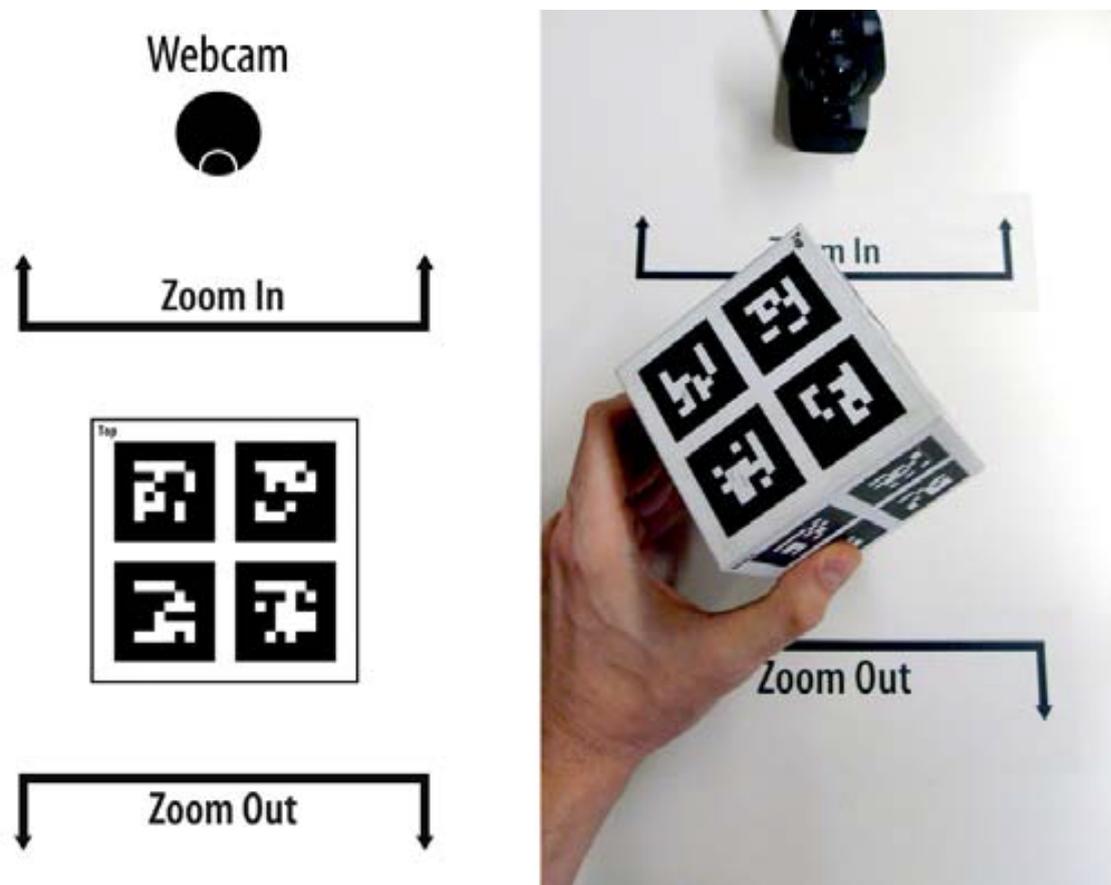


FIGURE 3.17 – Desk Cube, une solution tangible pour l’orientation des environnements 3D. [Glueck et al. 2010]

d’interaction, destiné à la manipulation de données du patient. Le chirurgien utilise l’accessoire pour manipuler les données tridimensionnelles du patient issues de l’IRM (Imagerie par Résonance Magnétique). Le « prop » est une petite tête de poupée qui peut être tenue dans une main. La tête devient alors un dispositif de rotation absolue et la rotation de la poupée fait pivoter à l’écran le modèle 3D du cerveau du patient. L’utilisateur peut alors contrôler l’image ainsi que des facteurs de zoom en déplaçant la tête de la poupée.

Dans l’exemple précédent, le dispositif tangible est couplé à une tâche et à une technique spécifique, avec un aspect physique proche de la représentation virtuelle. D’autres projets misent sur la stratégie pour un usage générique avec un couplage à des techniques diverses. Le projet Toolstone [Rekimoto & Sciammarella 2000], par exemple, propose un dispositif pour la manipulation bi-manuelle qui prend en compte notre capacité naturelle à déterminer

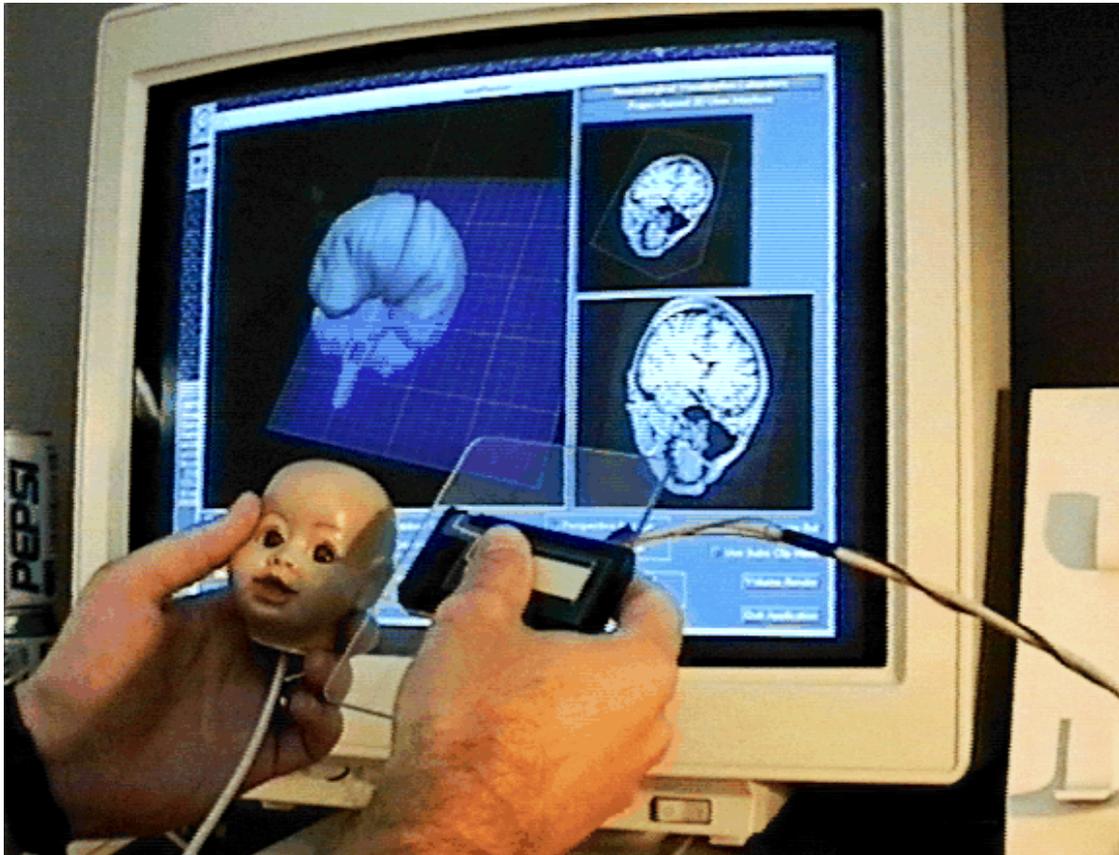


FIGURE 3.18 – Interface tangible pour la préparation de neurochirurgies. [Hinckley et al. 1997]

l'orientation du dispositif mais qui peut manipuler des tâches différentes selon des mappings non-absolus. La souris rotative de R. Almeida [Almeida & Cubaud 2006] propose un dispositif qui exploite notre capacité à déterminer finement l'angle d'un objet que nous saisissons. Ce dispositif a été développé pour être couplé avec des tâches de rotation d'objets 3D de manière absolue mais aussi pour la manipulation de palettes ou de menus abstraits sans relation directe entre la représentation de la tâche et le dispositif d'interaction.

#### 3.5.3 La sphère virtuelle.

Nous avons expérimenté une proposition technique pour les tâches de « vue d'ensemble » (overview) proposée par Shneiderman pour la visualisation de produits en 3D, notamment pour la manipulation d'un objet par la métaphore de la « Sphère Virtuelle » grâce à un

### 3.5. MÉTAPHORES INCARNÉES ET INTERFACES TANGIBLES

---

système de headtracking basé sur la captation de points infrarouges par la caméra de la Wiimote. La technique de la sphère virtuelle est d'abord une solution pour faire pivoter un objet virtuel en 3D grâce à une souris 2D en simulant un trackball physique. L'objet virtuel est affiché sur l'écran et lorsque l'utilisateur clique et fait glisser le pointeur de la souris sur l'objet virtuel, l'ordinateur interprète ce tracé en tirant sur une sphère qui englobe l'objet. L'objet virtuel [Shoemake 1992] tourne en conséquence en suivant les coordonnées de la sphère englobante pour ainsi fournir le troisième degré de liberté en rotation au dispositif de la souris. Cette sphère est généralement représentée par un simple cercle dessiné autour de l'objet et lorsque l'utilisateur clique et fait glisser dans la zone qui se trouve à l'extérieur du cercle, la rotation est limitée à environ de l'axe perpendiculaire à l'écran de l'ordinateur. Les détails de cette technique se trouvent dans [Shoemake 1992].

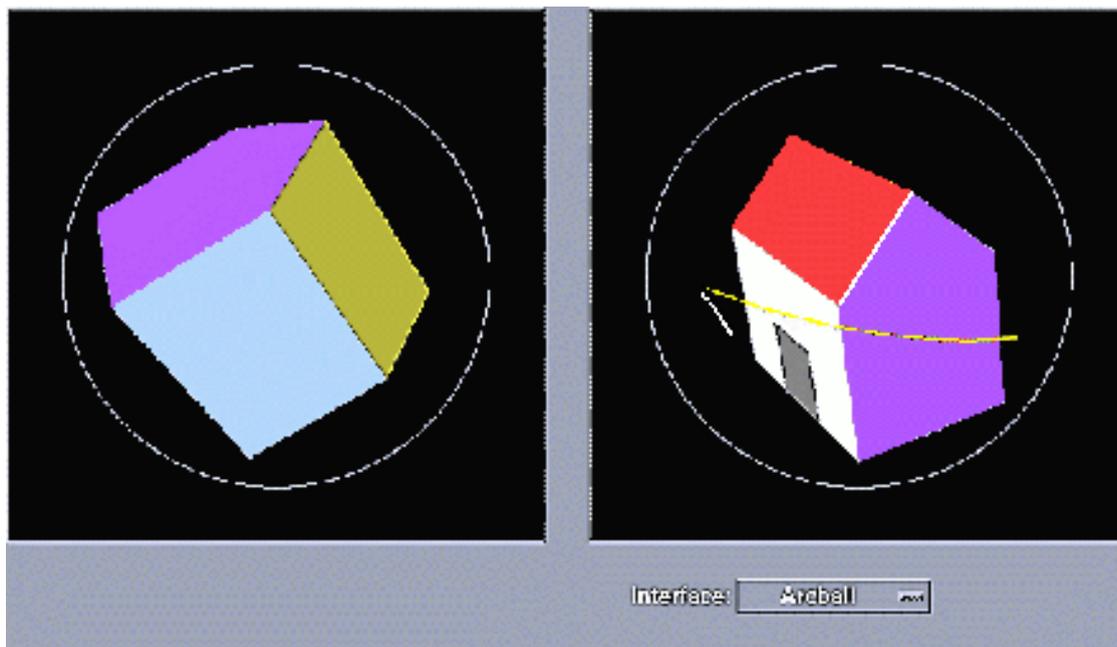


FIGURE 3.19 – IMétaphore de la sphère virtuelle[Shoemake 1992]

Le système de headtracking est basé sur le prototype de Johnny Chung Lee (Carnegie Mellon University) élaboré à partir d'une Wiimote [Lee 2007, 2008]. Le système proposé par Lee est basé sur une paire de lunettes dotée de deux LED infrarouges, captées par la caméra embarquée dans la wiimote, qui déterminent la position de la tête. La solution peu coûteuse et présentée par l'auteur a fait de cette expérimentation un grand succès. Suite à

### 3.5. MÉTAPHORES INCARNÉES ET INTERFACES TANGIBLES

---

ces travaux, un grand nombre de kits de développement et de compatibilité a été produit. Prototyper des systèmes en utilisant un dispositif commercial dépendait d'une communauté active et compétente car les outils de développement de marques comme Nintendo ne sont pas mis à disposition du grand public et les interfaces de connexion et de gestion de ces dispositifs ne sont pas directement adaptées aux ordinateurs classiques.

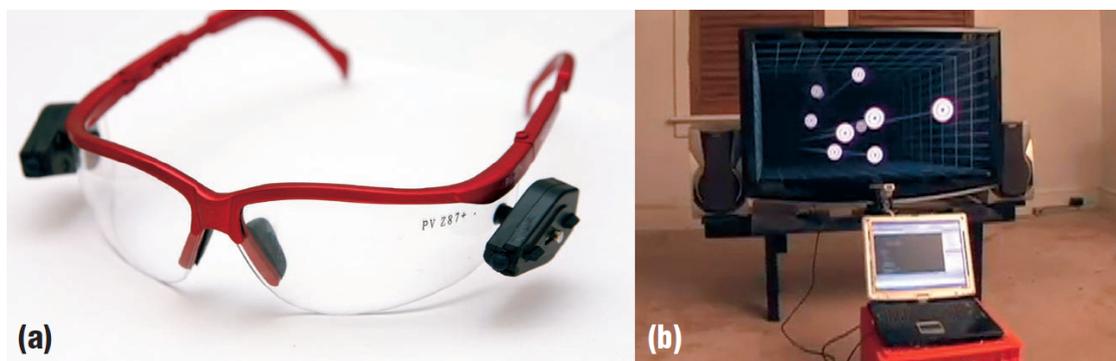


FIGURE 3.20 – HeadTracking : lunettes avec émetteurs infrarouge et (b) récepteur wiimote . [Lee 2007, 2008]

Nous avons alors développé un prototype qui fait pivoter un objet du Musée des Arts et Métiers avec un mapping entre le mouvement de la tête et la rotation de l'objet. Le résultat est un système capable de donner un aperçu à 180 degrés de l'objet, ce qui est suffisant pour afficher des détails extérieurs. La principale limite de cette technique est celle de la rotation et le besoin de porter un dispositif externe. Cette technique a maintenant été remplacée par une captation directe des mouvements de la tête par reconnaissance faciale, via une simple caméra de type webcam. Cette solution associée à un deuxième dispositif de rotation à un degré de liberté (potentiomètre) permet un accès complet aux représentations de l'objet.

La Reactable La ReacTable est le nom de l'instrument de musique électro-acoustique basé sur une table tactile et un système de vision par ordinateur appelé « ReacTIVision » [Jordà et al. 2007]. Ce dispositif multimédia est un synthétiseur créé à l'université Pompeu Fabra qui permet de créer et modifier les éléments sonores de manière tangible et collaborative. La ReacTable est un instrument de musique électronique avec une interface qui transforme la musique en une expérience haptique et visuelle. Chacun peut créer sa musique, individuellement ou en groupe, par le déplacement et la rotation de différents objets

### 3.5. MÉTAPHORES INCARNÉES ET INTERFACES TANGIBLES

---

en acrylique posés sur le dessus de la table. Les signaux sonores sont alors modifiés par la rotation des objets et en reliant les objets les uns aux autres par leur approximation. Lors de la lecture, ces objets s'allument et les signaux produits sont représentés sur la surface.



FIGURE 3.21 – La ReacTable - Interface tangible de création sonore [Jorda et al. 2005]

Les objets en acrylique sont marqués d'un identifiant visuels appelés « fiducial mark ». Ces identifiants visuels sont détectés par une caméra placée en dessous de la table translucide du dispositif. Elle analyse et retransmet en permanence les informations sur la position et l'angle de chaque composant physique. Par ailleurs, un projecteur placé sous la table, crée des connexions visuelles et virtuelles entre les objets. Ces connexions ressemblent à des circuits électriques qui représentent le comportement du signal qui découlera de la position et des types de composants placés. L'utilisateur peut alors modifier les interactions entre les composants en faisant varier la distance qui les sépare. Il peut modifier la fréquence du signal en faisant pivoter l'élément et l'amplitude en déplaçant son doigt autour de l'élément. La plupart des éléments tangibles, qui représentent des parties du synthétiseur, sont sur une même surface plane, avec un repère sur la face inférieure. D'autres composants ont la forme de cubes, avec des « fiducials marks » attachés à plusieurs côtés. De cette manière un objet cube peut servir à des fonctions multiples. Le flux vidéo temps-réel provenant de la caméra numérique est traité par le logiciel open-source ReactIVision. Initialement développé par Martin Kaltenbrunner et Ross Bencina pour le projet ReacTable, ce logiciel détecte la position et l'orientation des repères sur la surface de la table. Le logiciel ReactIVision transmet alors les données de position des objets et des doigts à travers le protocole open-source TUIO ([tuio.org](http://tuio.org))[Jorda et al. 2005] vers le logiciel de rendu et visualisation.

Le projet ReacTable rend alors concrets et palpables les concepts abstraits des synthétiseurs et des relations des composants de traitement du signal. En plus des bases de

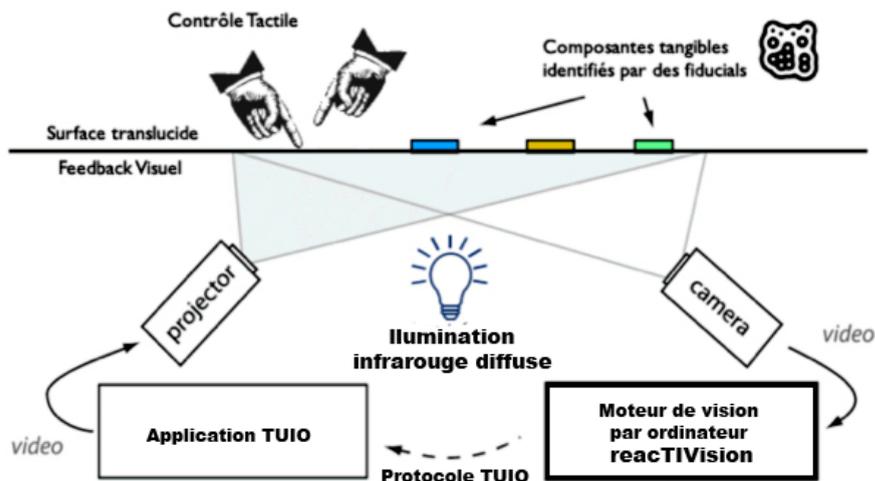


FIGURE 3.22 – Schéma de l’intégration du Protocol TUIO et du moteur ReactIVision.

l’interaction tangible, nous pouvons dire que des métaphores incarnées comme les vibrations visuelles et la distance entre objets servent de modèle familier pour l’usage de cette interface. Nous nous sommes beaucoup inspirés de ce projet, notamment pour les solutions d’usage collaboratif. Plusieurs autres projets ont aussi utilisé cette façon d’identifier les objets à travers ces identifiants visuels, qui fournissent des données de translation et de rotation [Cheng et al. 2010]. Dans le prochain chapitre, nous expliquerons comment cette solution peut aussi servir d’interface intuitive et de possible souvenir numérique de la visite. La mise en place de l’expérience Reactable est bien adaptée pour les lieux publics et/ou clients institutionnels, tels que les musées, les centres de loisirs, les écoles ou les universités.

## 3.6 L’ordinateur invisible : L’informatique Ubiquitaire

Quelles interfaces et quelles métaphores pour des interfaces qui n’ont pas de retour visuel ? Dans cette section nous présenterons brièvement le défi des interfaces ubiquitaires comme source de questionnement sur les moyens de créer des interfaces pour des types d’accès infiniment diversifiés. Ces questionnements confortent nos convictions sur le fait

qu'une approche nouvelle des métaphores est nécessaire en vue d'un futur technologique sans qu'il y existe une indispensable expérience visuelle ou que les interfaces soient basées sur des analogies directes et des symboles réutilisées. Avec la popularisation des systèmes mobiles et le déploiement des réseaux (internet, 3G, 4G, etc.) les interfaces d'accès aux ressources numériques sont à la fois nombreuses et hétérogènes. L'utilisateur n'est plus immobile et il est doté de plusieurs dispositifs d'accès. Marc Weiser a prévu ce scénario dans les années 80 en l'appelant « la 3ème vague » de l'informatique ou "l'informatique ubiquitaire"[Mark 1999] . Pour lui, le but ultime de l'informatique est d'être au service de l'humanité de manière discrète, sinon invisible, comme les mécanismes de la parole durant un dialogue entre deux personnes.

« (...)There is more information available at our fingertips during a walk in the woods than in any computer system, yet people find a walk among trees relaxing and computers frustrating. Machines that fit the human environment, instead of forcing humans to enter theirs, will make using a computer as refreshing as taking a walk in the woods. »

Mais pour arriver à ce stade d'évolution, Weiser suppose que les systèmes informatiques doivent passer par une phase où les ordinateurs se multiplient, se fauflent, pénètrent et s'infiltrant dans notre routine en intégrant peu à peu les tâches que les ordinateurs pourraient optimiser. Les ordinateurs deviennent pervasifs. Le développement de cette phase, enrichie par la minutieuse analyse socio-culturelle qu'elle pourrait engendrer, esquisse la forme de cette future soupe de transistors qui sera notre vie dans quelques années quand l'accès à l'intelligence, au divertissement électronique et à la connaissance communautaire globale sera simple et naturelle : une Intelligence Ambiante. Cette étape intermédiaire est aujourd'hui réelle, marquée par la multiplication d'ordinateurs ou de microprocesseurs dans le quotidien des personnes. Et aujourd'hui les utilisateurs possèdent souvent un ordinateur portable, un ordinateur de bureau (au travail ou à la maison) et un téléphone-intelligent. On retrouve des foyers équipés avec une console de jeux liée à un poste de télévision, un lecteur de livres numériques. Pour acheter des tickets de train, on utilise un ordinateur relié à internet ou une borne publique dans une gare, opérant à l'aide d'une interface graphique. A l'université, un professeur utilise un tableau interactif en classe, une tablette numérique

pour prendre des notes et ensuite il partage les documents générés sur le site internet de la discipline. Nous consultons le solde de notre compte en banque sur des terminaux différents et aux caisses de supermarché, nous pouvons utiliser notre compte bancaire en tapant le code de notre carte sur un dispositif prévu à cet effet. La dissémination des accès est une réalité aujourd'hui mais, pour l'instant, l'hétérogénéité des interfaces de systèmes d'exploitation ne rend ni facile, ni naturel, l'accès aux tâches. Les batailles industrielles pour le monopole des standards matériels, des protocoles de sécurité et ainsi que les différentes approches de cette problématique par des groupes de recherche, ont permis de mettre en évidence des problématiques et des solutions, mais elles ont aussi contribué à morceler l'écosystème informatique actuel qui devrait pourtant avoir pour inspiration une homogénéité et une grande bande passante entre les différents agents. Le cheminement vers cette intelligence ambiante s'est fait grâce à de nombreux projets de plus en plus pluridisciplinaires. Les jeux vidéo sont le secteur de l'industrie la plus visionnaire et également la plus influente de cette transformation technico-socio-culturelle. Les jeux ubiquitaires [Mark 1999] relèvent les défis liés aux aspects techniques mais aussi définissent aussi les enjeux des systèmes aux multiples modes d'interaction. Selon Natkin, la nouvelle génération de jeux se base sur le cross media uniform platform. Le principe est que l'utilisateur peut interagir avec le même environnement multimédia en utilisant tous les dispositifs disponibles : home-cinéma, ordinateurs, postes de télévision interactive, téléphones, PDA. L'interface du média devient un écosystème de solutions qui ne peut être envisagé que de manière dynamique et adaptative.

« The essence of gameplay is to be designed according to the point of view of a potential user » [Natkin & Yan 2006].

Un exemple simplifié de cette plateforme est la transformation d'une page sur internet d'un ordinateur de bureau vers l'affichage sur un téléphone [Ossmann 2004]. Et comme l'a prévu Weiser, la dissémination de l'information numérique passerait d'abord par des interfaces intermédiaires, comme les dispositifs cités précédemment, pour finalement disparaître dans un de ces écosystèmes d'interface qui nous serait accessible par des usages et métaphores de plus en plus liés à notre expérience réelle. Le grand défi d'un futur sans une frontière entre l'humain et la machine serait donc que les catégories de métaphores analysées tout au

long de cette thèse trouvent ici leur plus grand défi d'implémentation afin que la réification de ces catégories en systèmes concrets soit aussi complète que notre propre raisonnement. Au sein de la communauté de l'interaction homme-machine, cet effort de dialogue entre les agents qui composent cette toile de dispositifs et de systèmes se concrétise doucement au sein de nombreux projets traitant des interfaces multimodales ou hybrides et des interfaces transitionnelles et plastiques [Ossmann 2004][Natkin 2003] [Nigay 1994]. Les recherche sur les interfaces multimodales ont émergé de projets comme celui de Bolt « put-that-there » [Bolt 1980]. Cette approche visait à permettre aux utilisateurs d'interagir avec leur système par de multiples moyens ou « modes », c'est-à-dire par différents canaux de communication comme la parole, les gestes, et toute autre capacité que nous pourrions avoir afin d'émettre une information. Dans ce nouvel univers de possibilités, quels pourraient donc être les métaphores et les nouveaux moyens utiles pour l'usage d'une interface multi-facettes ?

### **3.7 Conclusion de la première partie**

Tout au long de cette première partie, nous avons fait une synthèse des nouveaux modèles de notre système cognitif basé sur notre perception comme source principale de compréhension des concepts abstraits. Les théories sur les métaphores incarnées nous ont servi de guide pour comprendre comment les nouvelles interfaces utilisent de plus en plus nos capacités sensori-motrices pour produire des solutions visuelles, tangibles ou acoustiques, afin de nous faire comprendre le fonctionnement d'un outil numérique. Tout comme les interfaces multimodales, nous avons émis quelques considérations à propos des modèles mentaux ou de compréhension des usages de ces nouvelles métaphores, dans des cas illustrés par des techniques d'interaction et des interfaces. Dans la partie suivante, nous allons envisager un processus plutôt empirique. Cette partie est une proposition de borne numérique d'accès à du contenu multimédia en 3D pour le musée des Arts et Métiers de Paris. Cette expérience pratique a pour but d'illustrer les diverses manières dont les métaphores incarnées peuvent être utiles pour enrichir une expérience éducative. Nous allons surtout faire émerger quelques styles d'interaction à partir d'un outil très courant dans les musées : les bornes. Les bornes numériques multimédias évoluent pour être à la fois un attrait des galeries muséales et un outil pédagogique moderne. Dans ce cadre d'expérience, nous en

### 3.7. CONCLUSION DE LA PREMIÈRE PARTIE

---

profiterons pour faire quelques réflexions sur les modes d'usage des bornes et de la technologie en général, dans le musée et hors les murs du musée. Le choix de l'environnement du musée a servi comme espace permettant d'expérimenter de nouvelles stratégies pour accroître l'engagement des utilisateurs envers les outils numériques. Dans cette prochaine partie, nous entamerons l'analyse des usages et des métaphores pour que nous puissions arriver à une proposition, avec des modèles d'interaction et des directives qui vont au-delà de l'usage des dispositifs que l'on trouve généralement dans le cadre d'une visite au musée. Nos propositions s'insèrent dans un contexte plus contemporain de partage de l'information en fonction des nombreuses situations du quotidien comme l'école ou la maison, et en fonction des divers supports et formats existants. Le second projet que nous aborderons est celui d'une borne numérique pour le laboratoire d'interaction homme-machine d'EDF. Cette proposition se concrétise en une ligne de temps en 3D pour l'analyse des données multimédias extraites des processus des centrales nucléaires. Dans ce cas d'étude, nous spécifions des gestes liés à un quotidien moins généraliste que les bornes d'un musée. Nous abordons ici l'usage en groupe d'outils de présentation et de brainstorming et qui font tout de même émerger des gestes et des usages susceptibles d'être enrichis par des métaphores incarnées. La principale métaphore est celle d'un tunnel avec la distance comme source d'information.

Deuxième partie

Applications et prototypes  
exploratoires



## Chapitre 4

# Borne multimédia numérique - Catalogue d'objets 3D

Dans ce chapitre nous présenterons le projet de borne interactive multimédia en association avec le Musée des Arts et Métiers de Paris. Dans ce projet nous associons notre approche théorique aux questions liées à l'engagement auprès d'un dispositif numérique et les stratégies pédagogiques de la découverte individuelle et personnalisée. L'environnement du Musée des Arts et Métiers nous permet de mieux envisager les stratégies d'usage des métaphores incarnées et ce, afin d'atteindre deux objectifs principaux.

- 1. Surmonter les barrières initiales de l'usage des bornes interactives. Motiver les visiteurs à enrichir et augmenter leur expérience muséale avec des supports à usage court et donc rapidement appréhendables.
- 2. Etudier les métaphores capables de construire une expérience pervasive. C'est-à-dire une approche individuelle d'apprentissage qui s'appuie sur la technologie en tant que médiateur de la relation entre l'école, le musée et le foyer. Cette relation repose sur des contextes et des dispositifs différents mais l'expérience doit garder un style d'usage cohérent.

Les métaphores incarnées nous servent de piste de recherche pour trouver des outils capables d'assurer cette complémentarité avec des solutions d'interaction consistantes entre les différents contextes (cohérence entre les techniques d'interaction). ?



FIGURE 4.1 – Bornes multimédia au musée des Arts et métiers

### 4.1 La technologie dans les musées

Les musées, et en particulier les musées sur les sciences et techniques, ont évolué ces dernières décennies en proposant des stratégies efficaces d'éducation pour enfants et adultes. Durant l'évolution de cette coopération entre la conservation des objets et les outils pédagogiques, le rôle de l'école, ainsi que celui des infrastructures et équipes pédagogiques, a progressé pour arriver à une participation équilibrée des deux institutions. Cela dans le but de faire naître chez les élèves le plaisir et la curiosité d'apprendre par la découverte. Le rôle du musée dans la formation à la culture scientifique a été largement discuté [Hawkey 2004] [Hornecker & Stifter 2006b] [Damala et al. 2008]. Actuellement, les principales préoccupations tournent autour des moyens d'éveiller et de promouvoir cette curiosité par la médiation des technologies de l'information tout en évitant le danger de la scolarisation des musées. En effet, selon Hawkey, les visites scolaires doivent se distinguer le plus

possible des situations de classe. Quand les visites sont guidées par des professeurs, cela provoque chez les élèves un sentiment de lassitude car dans ce cas l'expérience extrascolaire emploie les mêmes méthodes que celles employées en salle de classe. Il peut arriver que les objets muséaux soient utilisés en tant qu'illustration pour des sujets de cours et les galeries considérées comme une extension des salles de classe. Les paradigmes actuels de cette coopération école-musée affirment que les deux institutions ont leurs méthodes spécifiques pour créer du savoir solide et durable et que ces méthodes devraient être respectées chacune dans leur contexte et dans leurs stratégies de complémentarité [Dufresne 1996]. En pratique, l'usage de la technologie dans les écoles et les musées tente de combler le vide entre les deux méthodes spécifiques d'enseignement dans un musée : celle du cours magistral et celle centrée sur l'objet muséal.

Les technologies de l'information et de la communication devraient donc servir à stimuler cette coopération pédagogique avec des moyens visant à accroître l'engagement et la découverte envers le contenu du musée et soutenir le dialogue entre les méthodes scolaires et le foyer. Ainsi, dans le musée, il est nécessaire de penser les outils pour cette stratégie pédagogique (de la curiosité et de la découverte) comme les facilitateurs pour l'assimilation de nouveaux schémas ajoutées aux informations importées depuis l'école, qui serait ainsi augmentées grâce aux objets prédisposés par le musée, mais aussi par la possibilité d'accès à une grande quantité de nouvelles informations. Mais encore faudrait-il que l'accès à cette information soit accessible et que ces nouvelles connexions aient un sens et une façon d'en garder les traces. Cette approche doit alors inciter la découverte de manière personnelle et opportuniste des objets car c'est sur les modèles propres de l'individu qu'il faut agir. Par opportuniste, on entend par là le fait que l'enfant (ou l'adulte) devrait idéalement construire un modèle de savoir propre à lui-même, qui serait construit selon une expérience de choix personnels ou même à partir d'événements aléatoires. Cette connaissance pourrait ensuite être complétée, guidée et vidée de ses lacunes par les relations avec d'autres domaines enseignés dans d'autres contextes (voir figure 4.2

« Les technologies de l'information et de la communication permettent à l'utilisateur de travailler à son rythme en suivant son propre chemin. Potentiellement elles facilitent aussi l'offre d'une grande variété de documents sur un même sa-

voir. Avec les technologies de l'information, varier les contenus semble pouvoir devenir plus facile avec les environnements d'apprentissage où un même savoir peut être donné selon plusieurs points de vue qui peuvent être facilement comparés, et où plusieurs stratégies et activités pédagogiques sont disponibles pour acquérir le même savoir. [Giordan & Platteaux 1996]»

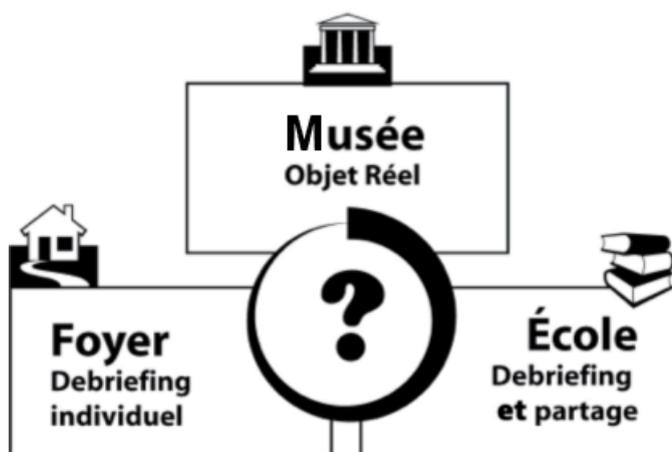


FIGURE 4.2 – Quels outils pour maintenir une relation cohérente entre les contextes d'usage ?

L'expérience de flânerie enrichie propose ainsi les moyens de transporter une expérience entre les divers contextes. Les enseignants sont encouragés à choisir les musées comme un outil éducatif mais le « gavage graphique » que subit la nouvelle génération de visiteurs exige des expériences interactives nouvelles et de courte durée. Les réponses que les différentes recherches sur le sujet proposent pour améliorer l'impact éducatif des expériences muséales reposent sur les façons de remodeler une narrative de visite aux galeries (animations, médiations) mais aussi sur les stratégies d'enrichissement de l'après-visite soit à la maison, soit à l'école. Il y a des solutions largement utilisées comme les guides imprimés, les audioguides, les dispositifs de visualisation de contenus multimédia et les sites internet. Mais aujourd'hui, les limites de ces solutions se ressentent notamment dans leur usage en groupe et dans les liens entre l'expérience réelle (au musée) et virtuelle (au musée et en dehors : écoles et foyers).

Il y a déjà plusieurs années que la solution en technologies multimédias ont pris place dans la plupart des galeries des musées. Des solutions innovantes comme la réalité aug-

#### 4.1. LA TECHNOLOGIE DANS LES MUSÉES

---

mentée, les interfaces multimodales et les identifiants numériques (puces RFID, QR codes) s'ajoutent à ce domaine de recherche devenu très riche sur l'interaction homme-machine. Grâce à cette nouvelle infrastructure numérique, il est possible de créer de nouveaux types d'activités ludiques comme des chasses aux trésors ou des jeux de piste interactifs et renouvelables. Il existe donc aujourd'hui des possibilités plus riches de combler l'imaginaire des enfants et des adultes qui attendent d'une visite au musée non seulement une mise à jour scientifique et culturelle mais aussi un moment de distraction ludique. Le projet PLUG [Simatic et al. 2009] en est un exemple. Ce projet met en avant la capacité motivationnelle des jeux implémentés sur une architecture de technologies mobiles et embarquées. Grâce à des puces RFID, des capteurs et des téléphones mobiles, il est possible de surmonter les narrations rigides des galeries, programmées et proposées par le musée, pour créer des parcours variés et engageants. Ainsi les expériences, facilement modifiables par le musée, peuvent créer des jeux nouveaux à chaque visite. Il devient aussi possible de proposer des narrations choisies par l'utilisateur ou construites par un professeur suivant le contexte de son cours. Dans un futur proche, nous pourrions imaginer des expériences développées en collaboration entre le professeur et le musée pour des contenus très spécifiques et à la demande. Cette solution proposée dans le projet Plug est un des exemples de solution aux nombreux enjeux liés au développement d'expériences numériques au musée. Dans le tableau ci-dessous, nous décrivons brièvement les défis qui nous semblent les plus pertinents et que devront affronter les recherches actuelles sur les solutions technologiques dans les musées.

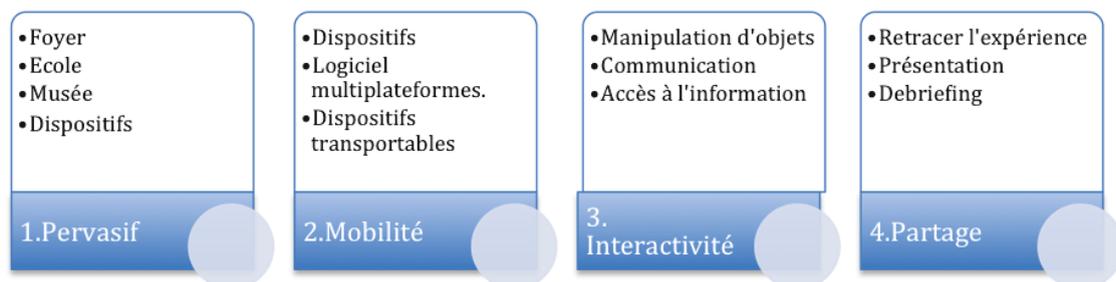


FIGURE 4.3 – Moments et conditions pour enrichir une expérience multimédia éducative

La pervasivité fait allusion au besoin de transporter la visite vers d'autres contextes comme l'école ou le foyer. Dans les musées, il est question d'utiliser des bornes, des dispositifs mobiles ou les deux dispositifs dans une même expérience. Cette possibilité de disséminer les dispositifs parmi les visiteurs permet d'envisager des moyens de rechercher individuellement des expériences ciblées (mobilité). Pour cela, il est nécessaire de donner à l'utilisateur les moyens de modifier ses choix et ses rythmes (interactivité et engagement) et de partager cette expérience entre différents contextes. La technologie participe ainsi à un écosystème de solutions pour les institutions de transmission du savoir comme les musées. Les projets multimédia qui profitent de cet écosystème, basés sur les technologies de l'information et de la communication, cherchent, de manière ludique, à inciter les utilisateurs à approfondir le contenu d'une visite au musée. Pour cela, en plus de créer et de proposer des jeux et d'autres moyens d'animer une visite, il est nécessaire de rendre disponible plus de contenus autour d'un simple objet : des contenus comme des informations générales (dates, auteurs, etc...), des informations contextuelles liées au musée ou à d'autres objets similaires et du contenu multimédia (images, registres sonores, vidéos). Ce contenu est en partie disponible sous forme de plaquettes ou dans les bornes multimédia classiques, mais explorer d'avantage d'informations sur un objet complexifie le système. Ainsi, la découverte personnalisée préconisée par [Giordan & Platteaux 1996] et la création de nouveaux liens sémantiques entre objets devraient toujours être disponibles. Elles devraient par ailleurs être libres de s'établir en fonction de critères chronologiques, techniques, artistiques, bibliographiques, de contenus ou même construites à partir d'indices visuels (emplacement, couleurs, liens) dans le musée. La volonté de revenir à un contenu pédagogique actif passe donc par l'enrichissement des galeries à travers des nouveaux modes de visites et des narrations différentes mais aussi par l'augmentation des objets et des œuvres aux contenus explicatifs, avec de la mise en contexte des objets et de la mise en relation avec d'autres sources d'informations et d'objets maintenus hors de portée du public. Ceci est une tâche complexe qui ouvre, à son tour, sur de nombreuses problématiques :

- Quel devrait être le contenu et quel corpus devrait être mis à disposition ? quel moment de la visite l'expérience d'un approfondissement de contenu doit-il avoir lieu ? cette expérience pourrait être optimisée pour être effectivement vécue en groupe et

plus seulement gérée par un médiateur ? type de matériel pourrait être utilisé pour transporter l'expérience du réel au virtuel, mais aussi du musée à la maison ou en salle de classe ?

### **4.2 Borne multimédia pour la consultation d'objets numériques**

Cette approche de l'apprentissage par la découverte décrite précédemment peut être considérée comme le propos naturel des galeries d'un musée. Les visites externes proposées par l'école sont en soi une expérience nouvelle qui sème cette graine de curiosité et promeut naturellement une expérience d'approximation de nouveaux thèmes et objets. La construction de nouveaux modèles de connaissance commence par le simple fait de contempler une galerie et sa structure. Les outils numériques sont un moyen en plus pour permettre l'ajout d'informations à cette flânerie ludique. Ces outils doivent permettre une meilleure intégration entre les divers sujets et objets pour fournir plus de contenu aux visiteurs de façon immédiate durant leur visite. Un exemple de cet enrichissement des galeries consisterait à surmonter les contraintes physiques du musée pour permettre une relation totalement libre de choix et de cheminement dans les galeries. Cette rigidité naturelle et inévitable des niveaux et des étages d'un musée et le manque d'accès aux objets non-exposés (dans la réserve) peut nuire à une vision d'ensemble et à une possible mise en relation d'éléments autour d'une même visite. Cette mise en relation des éléments dans le concept de découverte est une des principales activités que nous abordons ici et dont la technologie peut aider à en augmenter l'expérience.

Nous allons nous intéresser, dans ce chapitre, à un moyen de permettre cette expérience de liberté dans les choix et le rapprochement entre objets distants mais sémantiquement similaires. Dans le Musée des Arts et Métiers, par exemple, il existe un étage consacré à l'histoire des mécanismes tels que les roulements et les engrenages, qui est un étage se situant au-dessus de celui dédié aux transports. Il est très difficile de faire un parallèle visuel direct entre les roulements d'un moteur et les différents types de roulements présentés à l'étage au-dessus. Les propositions que nous ferons se basent sur les technologies de visualisation de l'information capables de proposer une solution pour rapprocher dif-

## 4.2. BORNE MULTIMÉDIA POUR LA CONSULTATION D'OBJETS NUMÉRIQUES

---

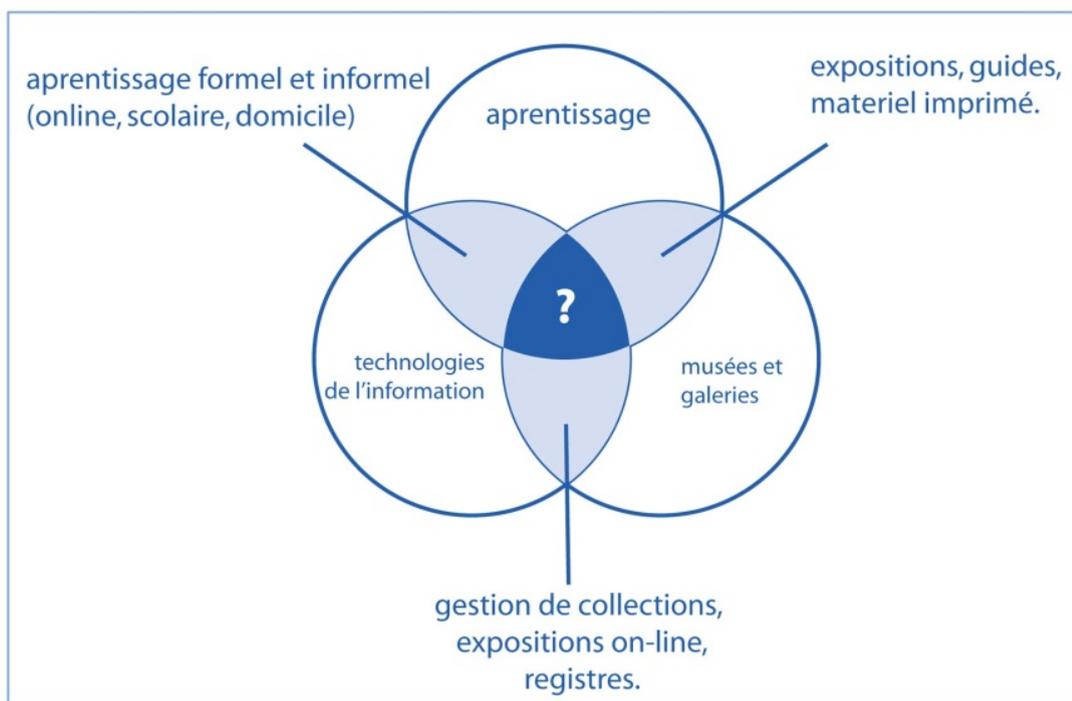


FIGURE 4.4 – Les divers besoins de l’usage de la technologie dans les musées.

férents objets. Les outils multimédia de ce type peuvent faire de la visite d’un musée un moment ludique augmenté, avec des niveaux d’engagement variables. Par augmenté nous voulons dire que l’approche virtuelle, c’est-à-dire celle de la substitution des expériences réelles par une représentation, n’est pas suffisante et représente une petite partie de la solution. Il est nécessaire d’ajouter des possibilités à l’expérience réelle de la visite grâce à une technologie qui l’améliore et la motive mais qui ne la remplace pas. Une stratégie pédagogique basée sur la technologie se veut une stratégie d’encouragement de l’usage du musée en incluant des outils motivants dans les divers contextes d’apprentissage. Dans notre cas, il s’agissait d’un environnement de construction de nouvelles relations et de liens de connaissance. Nous avons pris comme application pratique le projet de navigateur du catalogue multimédia 3D du Musée des Arts et Métiers de Paris. Le projet de catalogue numérique a débuté avec la recherche de solutions d’interaction 3D devant permettre un accès virtuel aux objets provenant de la collection de pièces stockées à la réserve du Musée. Nous verrons ensuite comment l’évolution des bornes d’arcade et autres dispositifs publics nous ont inspirés pour le développement de cette solution. Le Musée des Arts et

## 4.2. BORNE MULTIMÉDIA POUR LA CONSULTATION D'OBJETS NUMÉRIQUES

---

Métiers de Paris est le précurseur des musées technico-scientifiques en Europe. Il est né en 1794 d'un travail de recueil d'inventions et d'améliorations de machinerie et d'outils et il se différencie aujourd'hui des autres institutions destinées à la découverte des sciences et techniques par l'étroite relation qu'il entretient avec l'objet historique [Ferriot 1992]. Le musée possède une réserve à l'extérieur de la ville, où sont stockées la plus importante partie de la collection d'objets de l'ancien conservatoire et, comme dans la plupart des musées, les objets présentés au public représentent seulement un infime échantillon de cette collection. Cet échantillon en particulier sert à raconter l'évolution de la technologie dans un ordre précis, et selon une narration préétablie par des contraintes d'espace physique et selon un aménagement qui peut suivre un ordre chronologique ou comme dans le cas des arts et métiers, un ordre par contenu : Instruments Scientifiques, Matériaux, Construction, Communication, Energie, Mécanique, Transports et Eglise .

La difficulté liée au besoin de démontrer le fonctionnement des objets d'un musée technique et la fragilité des objets exposés a naturellement mené le musée à produire des outils multimédias pour combler ce manque d'illustration des mécanismes et de la fonction des objets. Actuellement ces outils sont des bornes multimédia dotées d'un écran tactile, proposant une interactivité limitée, qui présentent des vidéos pédagogiques déclenchées par le toucher de l'utilisateur sur l'écran. Il existe aussi des bornes qui présentent une navigation multimédia plus avancée, mais aux contenus statiques et locaux (sans connexion externe ou mise à jour en temps réel).

Le musée avait démarré un programme de numérisation en 3D d'objets stockés dans leur réserve. Notre projet devait trouver des solutions physiques (dispositifs) et logicielles pour procurer les moyens de mettre à disposition du public ce matériel numérisé. L'objectif général était de permettre une manipulation virtuelle des objets de la réserve en identifiant et associant des informations à ces objets tels que le nom de l'auteur, la date, l'information textuelle. Notre proposition devait également dépasser les problèmes d'occlusion pour pouvoir donner un aperçu des mécanismes internes d'un objet. Le principal défi de ce projet était celui de représenter et de rendre interactif l'accès aux fonctions de l'objet, nécessaire à la compréhension de son usage et de ses mécanismes.

Dans un deuxième temps, la problématique a évolué vers la question de l'interaction

## 4.2. BORNE MULTIMÉDIA POUR LA CONSULTATION D'OBJETS NUMÉRIQUES

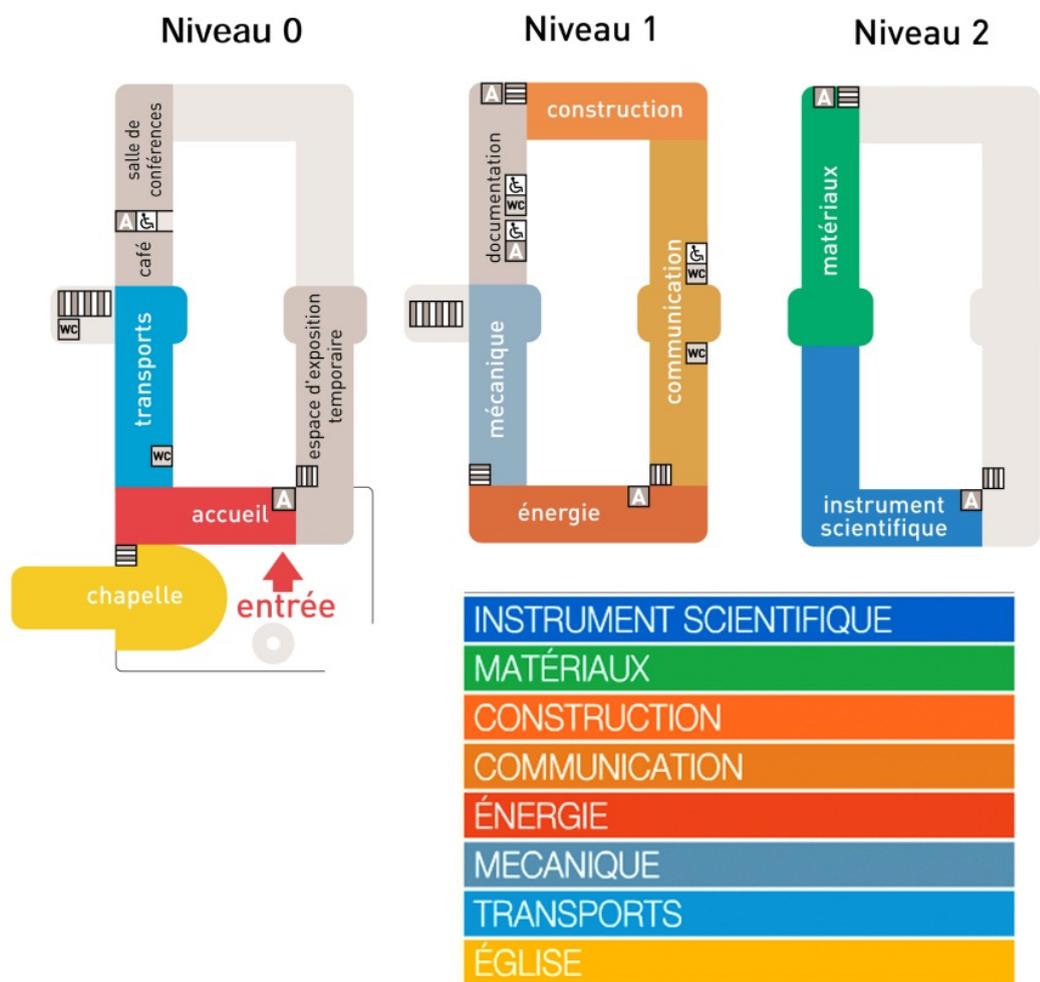


FIGURE 4.5 – Plan du Musée des Arts et Métiers avec les différents étages et domaines scientifiques.

avec des objets tridimensionnels et vers le besoin de naviguer dans des grands corpus d'objets 3D. L'enjeu portait sur les technologies de navigation et de visualisation qui pourraient se montrer s'avérer être des moyens efficaces d'apprentissage personnalisé basé sur la construction de la connaissance par de nouvelles relations entre objets. Nous avons constaté que, malgré les nouvelles approches et les solutions mobiles décrites antérieurement, les bornes numériques sont toujours un dispositif essentiel dans l'implémentation de cette augmentation de la visite. Ils constituent une étape intermédiaire et moins invasive dans cette quête d'information. Comme dit précédemment, aujourd'hui, ces bornes sont aussi un attrait pour inciter les visiteurs. Ainsi les bornes deviennent des structures

## 4.2. BORNE MULTIMÉDIA POUR LA CONSULTATION D'OBJETS NUMÉRIQUES

---



FIGURE 4.6 – Bornes multimédia individuelles dans le Musée des Arts et Métiers

chères et imposantes : écrans géants, tables tactiles, matériaux et machines complexes ou autres dispositifs qui ne peuvent exister que sur le site du musée. Les tentatives visant à reproduire ce genre d'expérience hors les murs sont encore limitées aux adaptations sur les sites internet. Nous verrons dans la section suivante les particularités liées au dispositif physique que sont les bornes de consultation. Nous verrons leurs avantages et inconvénients et nous retournerons ensuite à notre solution de navigateur pour approfondir en détails les techniques d'interaction et le choix des métaphores.

### 4.2.1 De l'usage des bornes multimédia dans les musées

Une borne interactive est avant tout un point d'accès à l'information. C'est une structure informatique qui se doit d'être accessible à tout type de public. C'est une solution de communication qui hérite de la culture des guichets automatiques mais aussi des bornes d'arcade de jeux vidéo et d'autres technologies utilisées dans un contexte occasionnel mais de grand stress pour les dispositifs. Les bornes se présentent en général sous forme de gui-

## 4.2. BORNE MULTIMÉDIA POUR LA CONSULTATION D'OBJETS NUMÉRIQUES

---

chets en libre-service, offrant un écran tactile coloré et attrayant. Par le passé, les bornes étaient des machines difficiles à gérer et les coûts des mises à jour étaient élevés. Aujourd'hui, la diminution des coûts du matériel et l'évolution des ressources multimédia ont contribué à disséminer leur utilisation dans des contextes diversifiés. Une borne est d'abord un mobilier urbain et sa consultation est liée à une utilisation en milieu "hostile", c'est à dire exposés à des agressions par un usage intensif comme des cabines téléphoniques ou des distributeurs d'argent. L'usage de ces dispositifs est opportuniste, c'est-à-dire qu'il se caractérise par des expériences de courte durée qui ne se répètent pas à grande fréquence. Les entreprises emploient des bornes interactives afin d'améliorer la rapidité du service à la clientèle. Dans d'autres contextes, comme dans des villes touristiques, elles servent d'outil de guidage et permettent en apport complémentaire en informations. Dans le cas des musées, les bornes furent beaucoup utilisées pour compléter les galeries avec du contenu additionnel. Dans les musées de sciences, ces bornes sont devenues des attractions en soi, avec des démonstrateurs chaque fois plus impressionnants comme pour les maquettes de corps humains ou des expériences basées sur la physique [Thierry 1993]. Un autre cas particulier de bornes numériques publiques sont les jeux vidéo. Selon [Ossmann 2004], les bornes publiques ne sont que des jeux vidéo adaptés à un contexte et à un contenu spécifique. Et si on compare l'évolution des bornes publiques avec celle des bornes d'arcade pour les jeux vidéo, on s'aperçoit que, pour la plupart des pays occidentaux, les bornes d'arcade ont évolué vers un usage privé et ne peuvent plus concurrencer les consoles et ordinateurs personnels. Ces bornes de jeux survivent toujours grâce aux contextes de festivités des foires, alors qu'au Japon, elles représentent une niche d'innovations, liées au contexte socioculturel. Au Japon, les jeux vidéo ont évolué dans une relation d'association historique avec l'industrie des jouets [Sambe 2009] et aux Etats-Unis l'industrie du jeu s'est rapidement centrée sur les consoles et ordinateurs personnels. Les bornes d'arcade sont des solutions technologiques qui ont une caractéristique en commun : elles sont interactives et très attractives. Cette capacité de captiver l'attention, surtout, celle des enfants, est un atout indéniable qui repose sur ce pouvoir de changer et de modifier un contenu très stimulant. Mais si en Orient ces bornes interactives ont été préservées, les consoles, elles, ont suivi une direction vers une complexification des moyens de contrôle des interfaces. Durant

## 4.2. BORNE MULTIMÉDIA POUR LA CONSULTATION D'OBJETS NUMÉRIQUES

---

les 20 premières années d'existence des jeux vidéo, il était question d'une complexification qui venait d'une stratégie de spécialisation des joueurs (hardcore gamers) au détriment des joueurs occasionnels (casual gamers) [Ossmann 2004]. Les bornes d'arcade et les guichets de service public ont plutôt été projetés dans un esprit d'inclusion et d'universalisation de l'accès aux interfaces d'informations, comme les jeux de danse, de tir ou de voitures dotés d'interfaces simples et facilement appréhendables (voir /refig :arcade).



FIGURE 4.7 – Les bornes d'arcade actuels maintiennent une stratégie de simplification d'interfaces pour l'inclusion de nouveaux joueurs.

Depuis 2006, et avec le lancement de la console de Nintendo, la Nintendo Wii (wii.com), cette tendance de spécialisation des joueurs par les fabricants de console reprend une nouvelle stratégie d'inclusion. Cette approche inclusive est maintenant une stratégie incontournable qui a donné des produits comme la Kinect et la Playstation Move. Mais malgré cette nouvelle tendance, l'usage de ces bornes se doit d'être une expérience de courte durée et d'appréhension facile. Ce nouvel effort d'inclusion doit faire face à certaines questions sur l'engagement des utilisateurs vers les dispositifs d'interface publics et le contenu proposé. Cela arrive surtout lorsque la tâche est une expérience originale, comme la manipulation d'objets virtuels en 3D [Hornecker 2008; Hawkey 2004]. Les visiteurs sont toujours curieux de découvrir les nouvelles installations multimédia et sont motivés à la première vue de ces dispositifs en s'amusant avec les kiosques numériques. Mais le temps et la charge cognitive requis pour comprendre l'installation sont souvent considérés trop élevés. De plus, le manque de lien direct avec les objets réels du musée mène les visiteurs à ne pas vouloir trop s'investir par peur de « rater » la visite avec un dispositif numérique. Ainsi, les utilisateurs se désintéressent rapidement de ces installations.

“ Les entretiens nous ont appris que la plupart des visiteurs se sentis submer-

## 4.2. BORNE MULTIMÉDIA POUR LA CONSULTATION D'OBJETS NUMÉRIQUES

---

gés par trop de texte et préfèrent trouver des informations à côté des vitrines d'affichage. Cela rappelle le verdict de Ciolfi et Bannon [Ciolfi & Bannon 2003] que les kiosques d'information ne permettent pas de se concentrer sur les expositions et ont tendance à éloigner les visiteurs des objets présentant un intérêt" [Hornecker & Stifter 2006b]



FIGURE 4.8 – Borne numérique aux Musée des Arts et Métiers. Ce type de dispositif a la tendance de creuser la distance entre le réel et le virtuel.

Il est nécessaire de proposer aux utilisateurs différentes approches du système selon leur intérêt ou leur temps disponible. Nous appellerons ici "couches d'engagement" les niveaux d'attention dédiés à un dispositif d'interaction dont l'utilisateur serait l'invité. Les études de Eva Hornecker à l'université de Vienne se sont penchées sur les propriétés et caractéristiques des installations multimédia dans les musées et ses conclusions soulignent une diversité de paramètres à prendre en compte comme l'âge des visiteurs ou leur niveau de compétence sur les sujets traités. Ainsi Hornecker observe qu'il y a une division claire entre les visiteurs (surtout selon leur âge) : on trouve ceux qui interagissent avec les dispositifs multimédia ou terminaux informatiques et les autres qui se concentrent surtout sur les objets historiques.

## 4.2. BORNE MULTIMÉDIA POUR LA CONSULTATION D'OBJETS NUMÉRIQUES

---

« Nous avons pu observer une division claire entre les visiteurs qui interagissent avec les médias informatiques et ceux qui se concentrent sur les objets historiques. Bien qu'ils semblent souvent être curieux, ce furent les visiteurs âgés qui ont plus ou moins contourné tout ce qui ressemblait à un ordinateur (...) et se sont presque exclusivement centrés sur les expositions traditionnelles. Les enfants et les jeunes, d'autre part, ont tendance à passer la plupart de leur temps de visite dans la salle numérique (...) et ont rarement pris connaissance de tous les objets de la pièce. Les enfants ont souvent été déçus de voir que les terminaux ne proposaient pas des jeux»[Hornecker & Stifter 2006b].

Hornecker met en évidence une triste constatation qui est de voir qu'une grande partie des utilisateurs ne se sentait pas concernée ou trouvait inutile ou difficile l'usage des nouveaux médias dans les musées.

« En ce qui concerne les objectifs éducatifs de l'exposition c'est un triste constat, que de voir que les visiteurs ont tendance à se concentrer sur les types de médias dont ils sont familiers au lieu de s'exposer à ceux peu familiers. Outre la peur de la technologie et une expérience limitée de celle-ci, une autre raison d'hésiter à l'usage des installations de type-ordinateur pourrait être la technofatigue chez les visiteurs adultes. La seule exposition capable d'atteindre tous les types de visiteurs sont celles interactives de type 'Hands on interactive exhibits'»[Hornecker & Buur 2006]

Ce que Hornecker qualifie de « hands on interactive exhibits » fait référence aux installations tangibles qui utilisent des commandes haptiques comme des boutons, des manches, ou des reproductions d'objets servant de dispositif d'interaction pour une manipulation directe. Le terme qu'elle suggère est celui de relation active avec l'installation. Ainsi, le fait que l'action de l'utilisateur détermine le résultat de son expérience fait d'un outil multimédia un vrai dispositif interactif, par opposition, par exemple, avec un terminal qui diffuse des vidéos au clic d'un bouton. Ce qui n'en fait pas forcément, bien entendu, un outil multimédia interactif. Dans l'exemple de la recherche de Hornecker au musée autrichien des techniques à Vienne, les visiteurs ont hésité à inspecter les bornes de type d'ordinateur mais se sont

## 4.2. BORNE MULTIMÉDIA POUR LA CONSULTATION D'OBJETS NUMÉRIQUES

---

sentis à l'aise avec des attractions tactiles comme celle qui explique l'usage d'un Abacus ou d'une station télégraphique. Même si elles affichent une certaine complexité et un besoin de lire des instructions, elles ont attiré l'attention de tous les visiteurs. Ce travail rend compte de la pression exercée par la multitude d'objets et le manque de temps pour les utiliser tous. Un temps plus court pour une interaction est essentiel. Selon leur conclusion, les 10 premières secondes doivent fournir un stimulus suffisant pour que l'utilisateur ait envie de continuer. Hornecker nous en dit d'avantage sur l'exposition et l'exemple du recours au 'digital backpack' :

"La visite du musée est contrainte par la pression du temps et les visiteurs veulent une expérience engageante qui soit différente de celle d'autres environnements. Par conséquent, nous avons suggéré aux conservateurs de fournir le contenu de (l'exposition) 'media.matrix' sur un CD que les visiteurs peuvent acheter, afin de faciliter l'enregistrement du contenu de la visite dans leur 'digital backpack'. »

"Ce faisant, ils ont également réussi à exposer les visiteurs à quelque chose de nouveau - les visiteurs âgés ont été amenés à interagir avec un ordinateur et les enfants ont exploré une invention historique technique, telle que la télégraphie Morse. Cela montre que les médias mixtes qui combinent les périphériques d'entrée haptiques avec l'augmentation informatique sont efficaces quand il s'agit de s'adresser aux divers groupes de visiteurs ou de susciter l'intérêt pour des sujets non familiers. Nous savons, par le succès des musées de sciences de type 'hands-on', que des expositions interactives, qui permettent une interaction corporelle, attirent particulièrement les enfants. Ici, nous avons constaté que de telles expositions peuvent aussi aider les gens à surmonter les inhibitions potentielles contre les ordinateurs et déclencher moins de « techno-fatigue »

Hornecker, dans ces études, souligne l'importance de « stratifier » les activités. Ce terme suggéré par Gammon [Gammon 1999] propose des couches successives d'engagement qui se basent sur des expériences successives de réussite comprenant à chaque étape de petites quantités d'information simplifiées. L'activité et l'information se complexifient à mesure que l'engagement de l'utilisateur envers le dispositif augmente. Cette expérience de « succès

successifs » est essentielle pour la motivation des publics à l'égard de dispositifs interactifs dans les espaces muséaux. Cette stratégie d'approche des dispositifs numériques est en partie une approche parallèle à celle proposée par Shneidermann pour la visualisation des grands ensembles d'information. Le mantra « *Overview first, zoom and filter, then details-on-demand* » (voir section 2.7) pourrait ainsi servir de stratégie pour la création d'une séquence permettant une approche vers des outils inconnus, avec d'abord une vue d'ensemble du système, un essai maladroit et désintéressé des interactions proposées, le filtrage des zones ou feedbacks qui ne l'intéressent pas et, pour finir, l'usage des niveaux et détails de l'expérience qu'il voudrait continuer à manipuler.

### 4.3 Approche multiplateforme

Même si les questions d'utilisabilité étaient résolues et que les couches d'engagement permettaient une approche facile par les visiteurs, il faudrait que ces dispositifs publics multimédia proposent une connectivité et une capacité transactionnelle accrues. Ces interfaces doivent être capables de communiquer avec des bases de données externes, de recevoir et de traiter de l'information provenant de l'utilisateur. Le cas du guichet d'une banque, par exemple, est un cas de borne à haut niveau transactionnel et ubiquitaire car nous avons maintenant l'accès à notre compte bancaire non seulement dans un guichet minutieusement projeté pour un usage public et intensif mais aussi sur nos téléphones mobiles et ordinateurs personnels. Dans le cas du Musée des Arts et Métiers, la plupart des bornes ont une interactivité limitée. Elles diffusent des vidéos avec le toucher de l'utilisateur sur l'écran mais l'information diffusée est statique, le contenu ne change jamais et n'est pas capable de mettre à jour les informations diffusées. Nous pensons que la principale évolution à mettre en œuvre est celle d'une connectivité capable de divulguer de l'information bi-directionnellement ou de télécharger du contenu en temps réel, comme c'est aujourd'hui le cas pour les réseaux des consoles de jeux dernière génération (Xbox live, Playstation Network). La différence entre une borne et un ordinateur avec internet ou une console de jeux est que la borne dans un musée doit être contrainte dans un certain contenu. Cela permet un certain focus sur les thèmes du musée mais limite aussi cette approche de liberté d'expérience et de connexions avec de nouveaux sujets. Le fait de d'aller outre cette res-

triction par l'approche multi-contextuelle permet d'engager l'utilisateur dans de nouvelles expériences à la maison ou à l'école et dans des niveaux plus approfondis et personnels du sujet. Ainsi cette expérience pluri-contextuelle pourrait être systématiquement formalisée dans le cadre d'un programme scolaire post-visite ou encore faire partie d'une discussion informelle au sein du foyer. Aujourd'hui la plupart des sites internet des musées ont encore du mal à faire un rapprochement efficace entre la visite réelle et la post-visite. Les sites ont généralement pour stratégie de préparer la venue des visiteurs avec des informations pratiques comme les adresses ou les horaires. Ils proposent tout de même du matériel pédagogique à télécharger pour les groupes et professeurs mais ce sont des directives dans un seul sens et la post-visite n'est pas encadrée. Par ailleurs, les ambiances interactives créées sur les pages internet des musées sont des jeux, des visites virtuelles qui n'ont pas/plus de rapport avec la visite personnelle des visiteurs. Pour ce type de problématique, Hoernecker et Stifter [Hoernecker & Stifter 2006b] ont développé et implémenté un projet appelé « digital backpack » (sac à dos numérique) dont le but était de créer un moyen de garder des traces de la visite dans des cartes RFID distribuées au début de la visite. C'est un moyen de mémoriser les objets les plus intéressants de son parcours en approchant cette carte d'un objet quelconque de l'exposition. Ce registre d'objets, ou liste d'objets sélectionnés par le visiteur, serait emporté pour une deuxième phase de la découverte qui est celle de la post-visite chez l'enfant, en ligne. Le projet backpack stimule aussi la création de contenu de la part des utilisateurs. Certaines bornes interactives de l'exposition où ce projet a été expérimenté (Musée technique de Vienne - expo media.worlds [Wien 2013]) étaient basées sur des logiciels créatifs comme de la captation vidéo ou audio. La carte du « digital backpack » servirait alors comme sauvegarde de ce matériel disponible ensuite en ligne. Nous verrons alors que la carte en plus de servir de « transport » et d'« objet de souvenir numérique », pourrait aussi devenir un acteur de l'interaction.

#### 4.4 Catalogue de Navigation, sélection et manipulation

Dans cette section nous revenons aux détails de notre proposition pour la borne numérique multimédia du Musée des Arts et Métiers. Afin de répondre aux problématiques d'accès et de pervasivité de l'expérience, nous proposons une borne sous la forme d'un

kiosque multimédia qui relie étroitement les objets réels du musée à une base de données 3D d'objets virtuels. Le Musée des Arts et Métiers avait pour projet de numériser et exposer les objets stockés dans sa réserve et de ce fait inaccessibles au public. Les visiteurs sont alors susceptibles de s'engager dans un va-et-vient entre les objets réels de leur choix et les informations disponibles sur les serveurs. Afin que ce mouvement soit libre et fluide, nous utilisons des cartes relatives aux objets ou domaines distribués dans les galeries du musée. Ces cartes sont la clé du début de la recherche de nouveaux objets et la porte d'entrée pour le kiosque. Ces cartes peuvent ensuite d'être emportées pour qu'il soit possible de continuer la recherche à la maison comme des « souvenirs numériques » dans une approche ubiquitaire.



FIGURE 4.9 – Premiers croquis de la mise en place du kiosque multimédia avec les cartes qui serviraient d'outil de recherche et de dispositif d'interaction 3D.

##### 4.4.1 Mise en Œuvre du prototype

Pour le prototype du catalogue 3d du musée, nous avons développé, un logiciel sous la plateforme Processing ([processing.org](http://processing.org)). Le logiciel est une API java qui utilise des bibliothèques OpenGL pour afficher des graphiques 3D. Ce prototype affiche et gère les mouvements et relations entre plusieurs objets du catalogue à l'aide d'une interface utilisant des sphères colorées selon la palette des couleurs du Musée. Nous avons sélectionné quelques-uns des objets en guise d'illustration avec leurs données réelles (date, auteur, et sous domaines du musée) et une modélisation de ces objets. La métaphore que nous avons choisie pour rendre claire cette construction d'une toile de relations est celle d'une ontologie liée aux

liquides et au magnétisme. L'interface prend la forme d'un système de navigation régi par un fluide ou d'une constellation baignée dans un liquide visqueux. Suivant le mouvement liquide et magnétique, le système affiche les représentations des objets en 3D. Il calcule également les distances entre objets et change leurs apparences (taille, couleur) selon ces distances. Nous avons aussi implémenté un système de vision par ordinateur qui capture en temps réel les marques estampillées sur des cartes (appelées fiduciaux) qui jouent le rôle de codes barre. Pour développer cette composante du système nous avons utilisé le framework TUIO ([tuio.org](http://tuio.org)) adapté à la plateforme Processing. Le framework TUIO est un ensemble de fonctions distribué gratuitement qui provient du développement du système Reactable ([www.reactable.com](http://www.reactable.com)). Grâce a cette implémentation l'utilisateur présente une carte à la webcam de l'ordinateur. Le système capture l'identifiant de la carte mais, le système calcule également l'angle et la position selon laquelle les cartes sont présentées à la caméra. Le logiciel met alors en valeur l'objet sélectionné et change l'angle de rotation dans l'axe de vision des objets 3D. Mettre en valeur signifie augmenter en taille l'objet, afficher les données liées à cet objet (nom et date) et l'angle de vision des représentations 3D. Par ailleurs les objets similaires sont alors attirés par cet objet mis en valeur .Dès qu'ils s'approchent suffisamment, ils sont reliés à l'objet de la carte par un segment. Ce mouvement est déterminé par un algorithme de similitude simple par une fonction de distance 3D qui prend en considération le taux d'appartenance à un domaine donné. Concernant la composante Cross-Plateforme du système, le logiciel peut également enregistrer et envoyer les identifiants des objets 'sélectionnés' (ceux qui sont suffisamment proches de l'objet principal), vers un serveur qui héberge la version en ligne du prototype. Pour cela le logiciel génère un fichier xml avec la liste des objets et cela dès que l'utilisateur pose sa carte de sauvegarde. Dans une réalisation grand public la carte de sauvegarde serait le ticket d'entrée. Ce fichier xml est alors envoyé par ftp au serveur. La version en-ligne est un site php qui affiche une applet java exportée depuis la plateforme Processing. Cette applet interprète un fichier xml avec la liste des objets sélectionnés soit la liste des objets proches de celui porté par la carte. Le code html du site est alors modifié dynamiquement et affiche une liste des objets en question. La version en-ligne du prototype peut être consultée sur <http://cidadas.free.fr/musee.html>. Afin de tester les gestes et actions possibles de l'uti-

lisateur, nous avons créé un dispositif pour simuler une surface tactile. Nous avons suivi les coordonnées proposés par [tuio.org](http://tuio.org). Nous avons utilisé un grand seau circulaire avec une superficie opaque blanche pour diffuser la lumière d'une matrice de LED infrarouges disposés autour de la superficie. Nous avons utilisé une webcam simple et enlevé la protection infrarouge de celle-ci pour qu'elle puisse capter les rayons émis par les leds. Grâce à ce dispositif les cartes marquées peuvent être disposés sur toute la surface et l'utilisateur peut manipuler plusieurs cartes en même temps. Nous avons utilisé deux écrans pour afficher le système : un pour l'utilisateur individuel et l'autre pour un plus grand public grâce à un projecteur. Nous voulions développer une table avec rétroprojection par le dessous pour reproduire les techniques d'une vraie surface tactile. Par manque de moyens techniques nous n'avons pas donné suite à cette démarche. La conception de l'interface a débuté en Juillet 2007 et faisait partie d'un ensemble de propositions du Laboratoire Cédric pour intégrer des solutions informatiques et de nouvelles techniques d'interaction afin d'enrichir les visites au musée. Ces propositions visent à développer les trois étapes clés de la relation du visiteur (ou un groupe de visiteurs) avec l'itinéraire de la visite, et leurs objets d'intérêt. Ces moments sont :

- Le temps de préparation avant la visite.
- L'expérience au cours de la visite.
- Le moment après la visite lors des retours d'expérience au foyer ou à l'école.

Nous avons donc construit une expérience interactive basée sur la sélection d'objets réels pendant le parcours des galeries. Nous avons étudié la possibilité de mettre en œuvre un accès virtuel à la collection d'objets stockés dans les réserves du musée à partir de cartes sélectionnées durant la visite. Cette stratégie cherche non seulement à créer un nouvel engagement du visiteur envers sa visite actuelle, mais aussi à donner un sens au site internet du musée avec les cartes-souvenirs sélectionnées. Finalement, ces cartes sont l'occasion d'un enrichissement de contenu à la maison. Une fois que les nouvelles informations émergent, elles peuvent donner l'occasion d'une nouvelle visite au musée.

Le projet de borne numérique pour le musée s'est finalement présenté comme un outil pédagogique ludique qui permet aux utilisateurs d'avoir un regard moins passif sur les collections, et cela en interagissant sur la narration préétablie par le musée (selon les



FIGURE 4.10 – Sélection et filtrage d’objets. Affichage de contenu multimédia. Détails 3D de l’objet.

contraintes d’espace physiques). Cet outil permet à l’utilisateur de construire librement un parcours thématique personnalisé et évolutif parmi les objets qu’il a choisis. Il peut choisir de connaître les détails sur un objet ou révéler ses connexions avec les objets d’autres étages ou stockés dans la réserve du musée. Il découvre qu’il existe des dizaines d’autres objets dans la réserve mais aussi des systèmes qui utilisent l’objet choisi. Tel est le cas, par exemple, d’un moteur d’avion exposé à l’étage de la mécanique. Le visiteur prend une carte auprès d’un distributeur à proximité de la vitrine du moteur et se déplace vers un kiosque pour connaître d’autres modèles de ce moteur ou les types d’avions qui l’ont utilisé. Ils peuvent ensuite, grâce à la même carte, voir et manipuler le modèle 3D, voir les détails de fonctionnement et les différents niveaux d’interaction sur les représentations tridimensionnelles. Tout cela par de simples mouvements de la carte. Cette expérience peut être adaptée, encore grâce aux cartes, vers d’autres contextes pour être partagée sur d’autres plateformes, telles que l’école ou à la maison. Nous avons expérimenté ces différentes techniques d’interaction pour surmonter les différentes contraintes d’une visite au musée et la relation avec les objets exposés et ceux stockés dans la réserve. La première contrainte est la disposition des salles du musée : les visiteurs sont soumis à une narration constituée par les étages du bâtiment qui abrite le musée. Cela veut dire qu’ils ne peuvent pas sauter d’un étage à l’autre pour faire un rapport visuel immédiat entre les objets. En ce qui concerne les objets de la réserve, créer un lien entre eux est impossible car pour le public en général ces objets n’existent pas. Le défi est pourtant de rendre possible la création d’une toile de relations entre les objets qui soit la plus personnalisée et la plus vaste possible. Le projet de catalogue cherche une manière de rendre la construction de liens entre objets simple et intuitive où l’utilisateur est responsable de la construction de nouvelles connexions sé-

mantiques. Il est important que celles-ci soient claires par rapport à leur appartenance aux différents domaines du savoir dans le musée et de leur similarité avec l'objet initial.

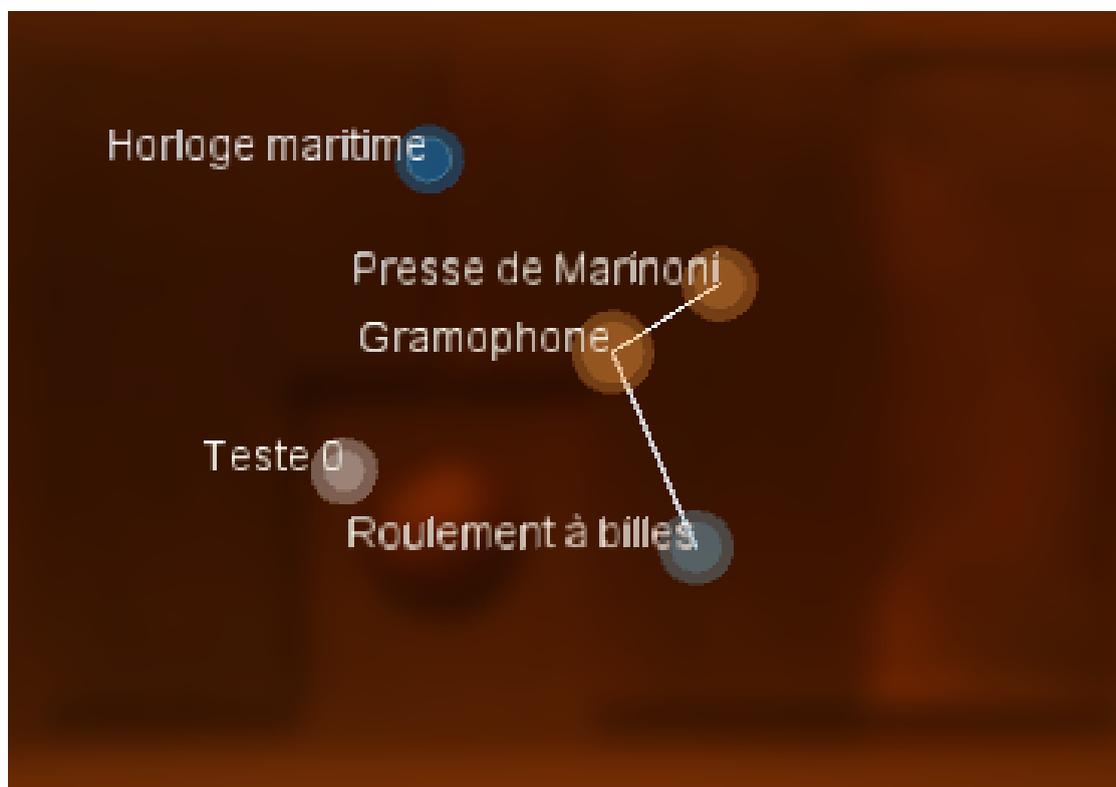


FIGURE 4.11 – Exemple de toile sémantique créée à partir d'objets similaires.

Le dispositif présente ainsi un grand nombre d'objets tout en maintenant une cohérence avec la classification du musée. Une autre contrainte liée à l'usage du dispositif est celle (décrite antérieurement) sur les différents niveaux d'engagement par apport au dispositif. L'usage d'une borne doit être une expérience brève, avec la possibilité de l'approfondir ultérieurement. Le visiteur doit avoir la possibilité d'utiliser le dispositif de manière superficielle ou avec attention et engagement. Ainsi cette tâche de sélection doit se faire par une navigation fluide et sans coupure. Cela veut dire qu'il n'est pas question qu'il y ait des niveaux hiérarchiques de fonctions, d'informations ou de groupes d'objets. Cette navigation sans hiérarchie permet autant une consultation en groupe qu'individuelle.

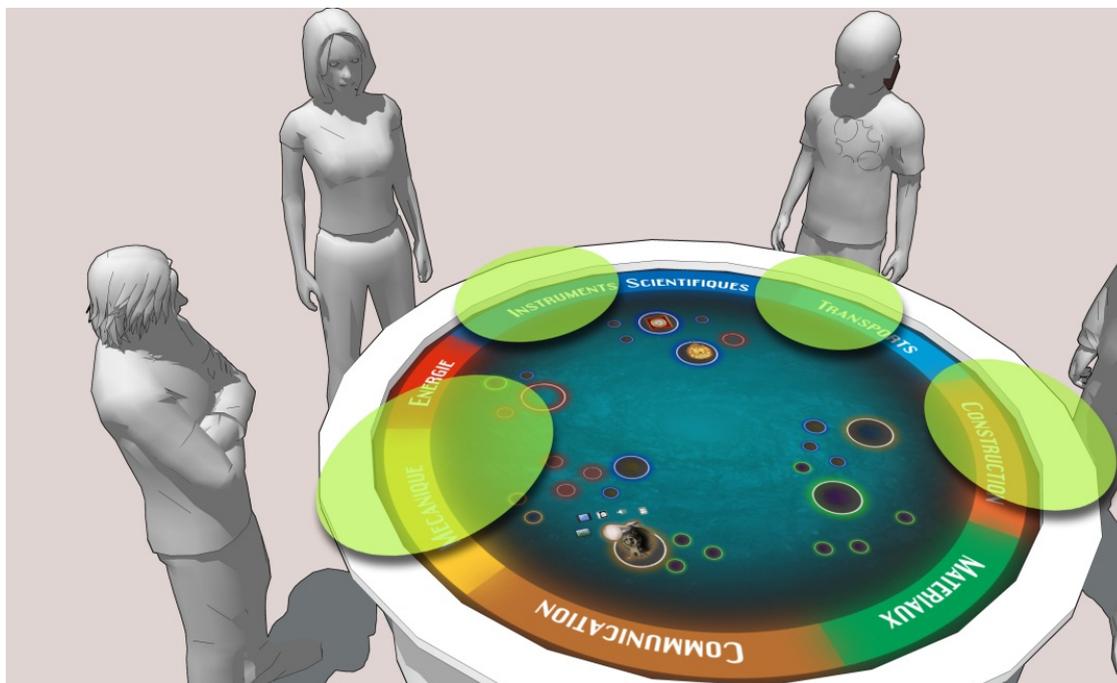


FIGURE 4.12 – Usage en groupe des zones d’interactions individuelles pouvant interagir avec la totalité.

#### 4.4.2 Les tâches de sélection

La métaphore que nous avons choisie pour rendre claire cette construction d’une toile de relations est celle d’une ontologie liée aux liquides et au magnétisme. L’interface prend la forme d’un système de navigation régie par un fluide ou d’une constellation baignée dans un liquide visqueux. Cette constellation présente l’ensemble des objets et passe de cette vue d’ensemble vers le détail d’un objet d’une manière continue et cohérente. La métaphore d’une constellation de petits objets identifiés par des couleurs et des formes permettent à l’utilisateur d’avoir accès à la représentation visuelle de la classification des objets, établie préalablement par le personnel du musée (Instruments Scientifiques, Matériaux, Construction, Communication, Énergie, Mécanique et Transports) ainsi qu’une étiquette identifiant l’objet par son nom.

L’affichage de la totalité des objets avec leur disposition globale, dans une même constellation, est visualisé en permanence. Le comportement de chaque objet par rapport à d’autres soutient cette cohérence.

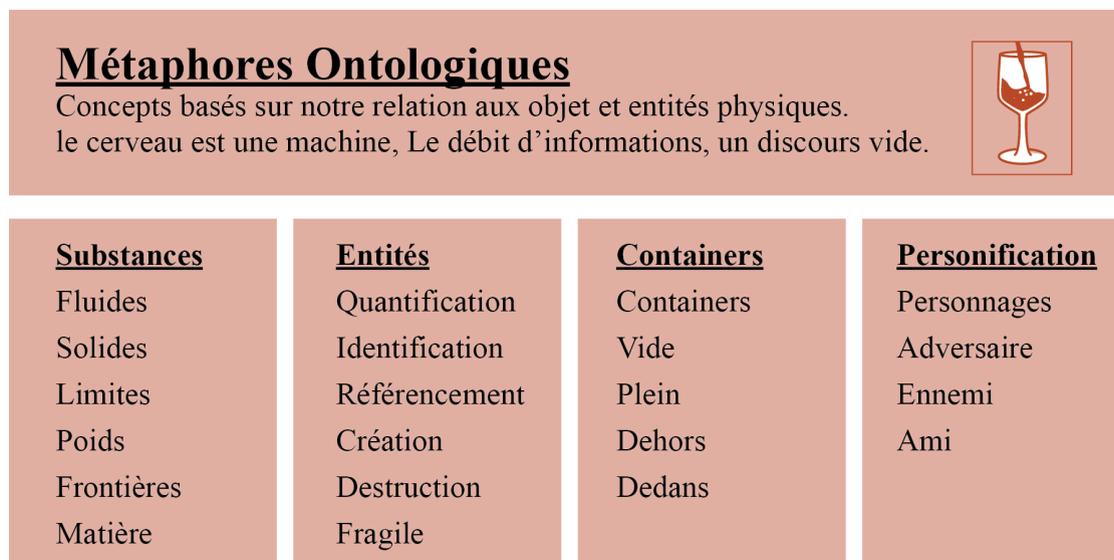


FIGURE 4.13 – Métaphores ontologiques appliquées à une interface de visualisation

Dès qu'une carte est présentée (posée) sur le dispositif, l'objet est rehaussé et d'autres objets similaires s'en rapprochent. Le rapprochement signifie le lien entre l'ensemble des objets et un objet individuel, permettant une compréhension aisée de la relation entre la représentation générale des objets, où le passage entre la globalité et le détail d'un objet. Nous mettons en valeur ainsi les aspects d'une interface de manipulation directe zoomable et un système d'objets en mouvement afin de stimuler la découverte de nouvelles relations. L'interface graphique présente les objets 3D comme une galaxie de déplacement de sphères que nous appelons les particules. Chaque particule a une couleur calculée en mélangeant la segmentation des domaines scientifiques du musée en fonction de l'appartenance sémantique d'un objet pour chaque domaine. Ainsi, chaque objet appartient à son domaine d'origine, mais il peut aussi être lié à d'autres domaines. Nous avons développé un fichier xml qui stocke les informations d'étiquetage des objets avec des données réduites comme titre, auteur, date en reproduisant ce qui existe déjà pour le catalogue web traditionnel. Nous avons enrichi cette identification initiale des objets avec le classement nuancé entre les divers domaines. Ensuite, pour chaque particule, nous avons implémenté un calcul de distance euclidienne dans l'espace à (n) dimensions, où (n) est le nombre de domaines liés à l'objet individuel. Cette distance est utilisée pour déterminer le degré de similitude entre

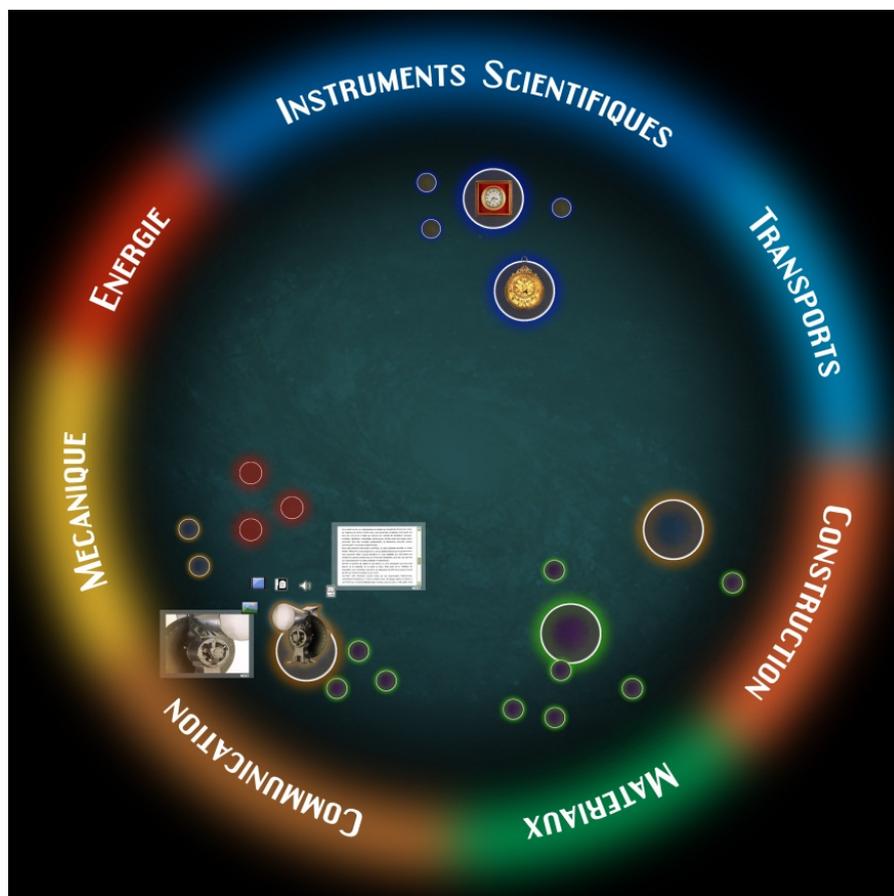


FIGURE 4.14 – Présentation de l'interface du navigateur d'objets 3D avec les différents domaines.

les objets et pour définir le comportement spatial de chaque particule. Les objets sont plus ou moins attirés par des objets et ceci avec des vitesses différentes en fonction de leurs similitudes. Le comportement spatial a été inspiré par une métaphore des champs magnétiques. La distance de similarité calculée reproduit les lois physiques du magnétisme. Le résultat est une métaphore fluide et une expérience interactive sans discontinuité visuelle ou occlusion, évitant ainsi les niveaux de complexité. Initialement, l'objet individuel présentait une description via une illustration (image, vidéo, son). Une seconde étape consiste à décrire le fonctionnement de l'objet par le biais interactif des représentations en trois dimensions. Les principaux défis reposent sur la difficulté d'intégrer un mécanisme à une navigation rapide ainsi qu'un design attrayant permettant d'identifier rapidement un objet spécifique parmi un grand nombre d'unités. D'autre part, nous souhaitons que l'expérience de découverte



FIGURE 4.15 – Objet rehaussée par la selection montrant les diferents types de médias associés.

de nouveaux objets se fasse au travers d'une représentation des relations sémantiques entre les objets (auteur, date, contenu scientifique). Ce lien sémantique est alors représenté par un algorithme simulant l'attraction gravitationnelle. La vitesse d'approche entre les objets sémantiquement similaires a une différenciation selon leur degré de similitude. Ce degré de ressemblance des contenus est calculé selon un algorithme de similitude simple basé sur une comparaison cartésienne des divers niveaux d'appartenance à un domaine.

La position finale des objets en relation avec l'objet sélectionné donne des informations sur la similarité des objets environnants. Une série de champs concentriques décrit l'appartenance et la pertinence des similarités d'un objet en relation à un domaine mais aussi le degré de similarité entre objets. L'utilisateur peut alors toucher les objets attirés qui permettront de les élargir et révéler leur représentation en 3D. Ils tournent alors sur eux-mêmes automatiquement comme dans une métaphore du tourne-disque. Si de nouvelles cartes sont ajoutées à la table sur une toile, de nouvelles relations émergeront en tenant compte des nouvelles cartes et de leurs objets attirés. Chaque utilisateur aura son propre espace sur la table avec éventuellement les mêmes objets attirés. Si une même carte est utilisée, les particules dupliquées apparaîtront pour éviter un « manque » de particules. De cette façon, plusieurs utilisateurs peuvent profiter en même temps, le kiosque, le partage

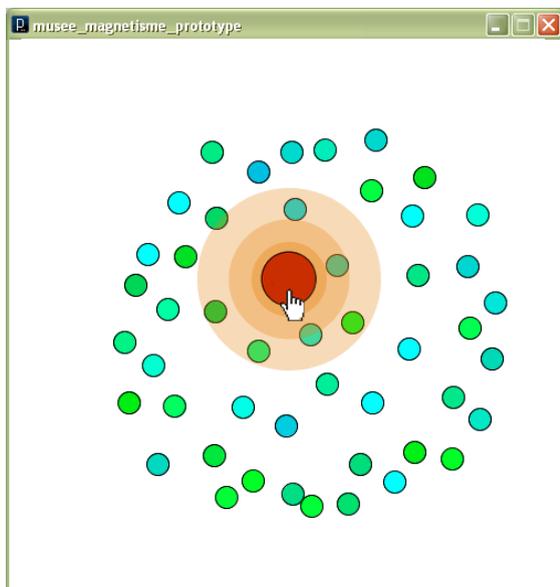


FIGURE 4.16 – Métaphore magnétique et fluide de la mise en évidence des ressemblances sémantiques entre objets.

de cartes de manière concertée et faire de nouvelles découvertes ensemble. Après cette première étape de présentation générale, il est possible de passer à une démonstration de ces objets grâce à une description interactive en trois dimensions des mécanismes qui révèlent leurs fonctions. L'utilisateur a alors la possibilité de voir une présentation prédéterminée des objets 3D (scénarisée) ou alors de passer à une manipulation plus autonome pour la visualisation des détails de l'objet. Avant d'aborder les détails de la manipulation des objets 3D avec la carte, nous proposons de décrire un scénario d'utilisation afin de clarifier l'utilisation de notre catalogue interactif en 3D.

#### 4.4.3 Scénario d'usage

Les personnages principaux sont tirés d'une famille composée d'un couple et de deux enfants de 12 et 10 ans. La visite est faite par le père et ses deux enfants. À l'entrée du musée ils achètent 3 billets d'entrée représentés par de petites cartes en papier rectangulaire. La carte a le logo du musée et un code-barres unique qui identifie un utilisateur unique. Initialement conçues pour contrôler les entrées des visiteurs, elles serviront plus tard comme une identification individuelle dans notre système. La famille commence la



FIGURE 4.17 – Ticket d'entrée du musée servant de registre de parcours

visite suivant un chemin proposé par le musée. Durant leur visite, certains objets attirent l'attention des enfants. Pour obtenir de plus amples informations, un enfant peut prendre l'une des cartes disponibles à côté de l'objet. Sur l'un des côtés de chaque billet il y a une illustration de l'objet et de l'autre côté une marque de type fiduciaire. Cette marque fait partie du système ReactIVision qui identifie l'objet et permettra plus tard la manipulation de l'environnement virtuel. À un certain point du chemin de visite, les visiteurs sont confrontés au kiosque multimédia consistant en une table tactile associée à un écran de projection. Sur l'écran, une galaxie d'objets flottants est affichée. Sur la table, les enfants peuvent toucher ces particules, qui réagissent au toucher en révélant leurs représentations 3D. Un des enfants dispose un des tickets retirés auprès d'un objet sur la table. La particule correspondante est placée près de la carte et révèle sa représentation 3D. L'enfant essaie les autres tickets et pour chacun, il obtient un aperçu des objets 3D. Il remarque qu'il peut pivoter et déplacer sur l'écran cet objet virtuel dans le but d'en avoir un meilleur aperçu. Simultanément, d'autres objets liés sont attirés, révélant de nouvelles connexions sémantiques, éventuellement avec des objets qui sont conservés dans la réserve. L'enfant peut examiner de plus près ces nouveaux objets en cliquant sur eux et encore une fois les représentations en 3D sont révélées. D'autres opérations peuvent être effectuées sur l'objet sélectionné, comme le lancement d'animations 3D pour comprendre les fonctions de l'objet ou le rendu des pièces avec la transparence pour montrer les mécanismes dissimulés.

L'expérience dure de 5 à 10 minutes. L'enfant a joué un peu avec les particules et les



FIGURE 4.18 – Illustration d'un usage en groupe ou d'une démonstration scolaire

représentations en 3D et il est invité à mettre son billet d'entrée sur la table. L'identité des objets proches de lui sont alors sauvegardées dans un serveur distant avec son identité personnelle imprimée sur le billet. Avec cette sélection l'enfant peut avoir de nouvelles idées sur la façon de se déplacer dans le musée et un meilleur aperçu des différents domaines couverts par le musée. Une fois la famille est de retour à la maison, elle peut visualiser les objets sur le site internet du musée ainsi que les nouveaux liens créés avec de nouveaux objets. La contrainte de temps est moins importante dans l'espace privé. L'interface web simule l'expérience web du musée kiosque et présente un contenu multimédia encore plus riche. L'enfant peut par ce lien d'expérience expliquer la visite aux parents avec un support visuel interactif et personnalisé.

Cette relation active avec l'information est la clé pour de la connaissance durable. Pour un aspect collaboratif, il est possible, à l'aide de l'interface Web, d'ajouter des commentaires et de partager des liens. Pour un usage scolaire, les enseignants peuvent demander expressément un certain nombre d'objets à collectionner, facilement, débriefier l'expérience personnelle des enfants avec leurs cartes et ainsi construire une histoire de leur visite.

#### 4.4. CATALOGUE DE NAVIGATION, SÉLECTION ET MANIPULATION



FIGURE 4.19 – Séquence d’actions durant l’expérience d’usage du système de cartes pour la navigation et la manipulation d’objet.



FIGURE 4.20 – Correspondance des techniques d’interaction pour le contexte du musée et ensuite à la maison avec une webcam

Les enfants peuvent aussi échanger des cartes avec leurs amis de manière directe et tangible et ainsi acquérir de nouvelles informations. À partir de ces autres visites. Ce système permet de façon simple et peu coûteuse de stimuler la quête d’informations. Les cartes deviennent un dispositif de manipulation multi contextuel. En plus de la manipulation des objets, ces cartes en papier peuvent relier l’expérience réelle de la visite avec une visite virtuelle. La solution en papier permet de les emporter, servant ainsi à la fois comme un souvenir de la visite du musée et comme un point de départ pour l’usage du site internet.

### 4.4.4 Manipulation des particules

La deuxième contrainte que nous voulons surmonter avec ce système est celle de la fragilité des objets. En effet, Il existe dans le musée un échantillon de pièces qui sont interactives. A l'étage des engrenages par exemple, un ensemble de mécanismes illustrent les différents types pouvant être actionnés par les usagers. Cependant, cette attraction est restreinte à quelques pièces et expériences. Le but de cette interface est, d'une part, de servir d'outil pédagogique pour des utilisateurs isolés qui voudraient approfondir leur connaissance sur des détails d'un objet précis et d'autre part pour les professeurs cherchant à illustrer les relations entre objets, faits historiques (personnages, dates, lieux etc.) et le fonctionnement d'une pièce. Quand une carte d'un nouvel objet est placée sur la table, l'objet lié est mis en évidence en donnant un aperçu de l'objet 3D numérisé. La marque-repère imprimée sur la carte permet à l'utilisateur de déplacer, tourner et agir sur l'objet 3D. Ceci est fait en utilisant trois degrés de liberté offerts par la carte : les 2 degrés standards dans les directions X et Y (horizontal et vertical) comme une souris traditionnelle ainsi que la rotation à la manière d'une souris rotative (voir [Almeida & Cubaud 2006] pour tourner l'objet. Il est alors possible d'associer à cette rotation la lecture libre (avant ou arrière et à vitesse variable) d'une animation montrant ainsi des aspects fonctionnels d'un objet. Un autre type de mapping pourrait permettre de décomposer l'objet en parties constituantes.

Une solution alternative pour la manipulation est de produire une version du ticket sous forme d'un cube. La manipulation d'objets étant une capacité motrice des plus importantes chez l'enfant, nous pensons qu'il serait intéressant et drôle de faire que les visiteurs produisent leurs propres CubeDesk à partir d'un plan imprimé en 2 dimensions et pliables par l'utilisateur lui-même. On aurait ainsi un cube capable de manipuler un objet 3D ou de changer ses caractéristiques.

Avec cet objet en main, l'utilisateur peut alors manipuler la caméra ciblant l'objet ou déclenchant plusieurs vues prédéfinies. Il peut accéder à 6 caractéristiques différentes de l'objet liées au six faces du cube. Chaque face devient alors un mécanisme pour déterminer des valeurs d'action sur l'objet comme le temps pour une timeline d'animation. Dans l'image suivante nous montrons un exemple des vues prédéfinies par les faces du cube en



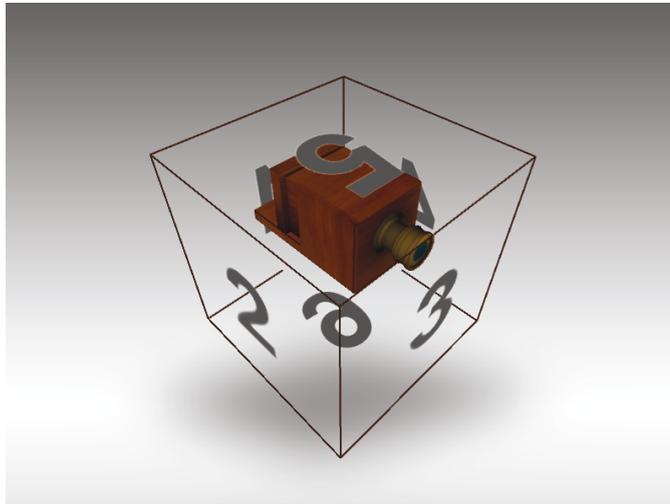


FIGURE 4.23 – Identification des faces par apport au dispositif de manipulation en papier.

nouveaux objets de son intérêt personnel. Cela se fait de manière aussi fidèle que possible avec l'expérience du musée. Ce moment post-visite peut se faire en famille mais aussi être intégré dans des moments pédagogiques à l'école.



FIGURE 4.24 – Pervasivité de l'expérience. Les cartes peuvent enregistrer et transporter la structure du réseau sémantique d'objets vers la maison ou l'école.

L'expérience à la maison est, pour l'instant, un site dédié, qui est un sous-ensemble du logiciel du kiosque. Il suffit de disposer d'un ordinateur standard exécutant l'application

de visualisation Java avec les mêmes rendus. Pour les entrées de vision par ordinateur, une webcam à domicile simple est suffisante pour permettre la même interaction que celle du kiosque au musée. Au lieu de déplacer la carte sur une table, l'utilisateur, à la maison, le présente à sa webcam. Le kiosque multimédia est un appareil de table tactile qui permet de suivre les doigts et les marqueurs « fiduciaires » en temps réel à travers le Framework, cadre de vision par ordinateur de ReactIVision. L'image capturée par une caméra infrarouge envoie des informations de position et l'angle de la marque par un client de capture TUIO via un protocole qui rend possible la visualisation. Pour mettre en œuvre notre prototype, nous avons utilisé l'environnement de développement multimédia Processing ([www.processing.org](http://www.processing.org)).

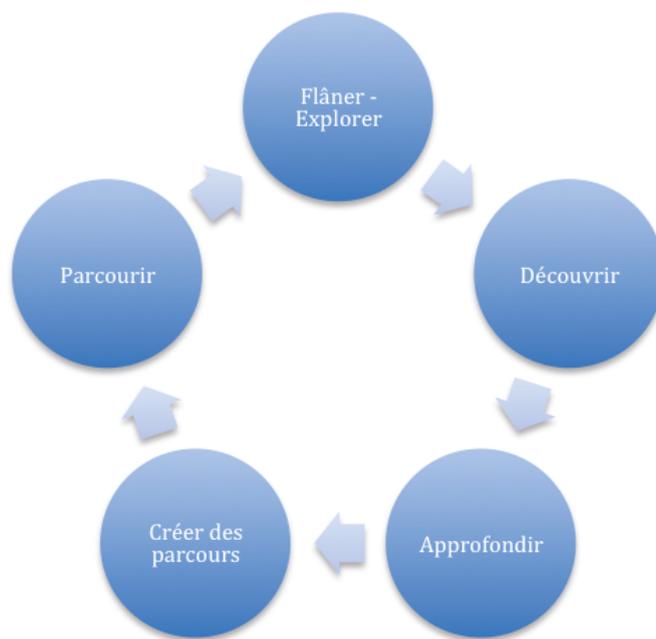


FIGURE 4.25 – Cycle de retour au musée. Le dispositif et sa stratégie pervasive pourraient motiver les visiteurs à revenir plus souvent aux galeries.

#### 4.4.6 Entretiens avec chercheurs et professionnels du musée

Cet ensemble de dispositifs a été montré à diverses reprises et dans plusieurs étapes de développements à des professeurs et des responsables du musée. Ces moments d'échange autour des dispositifs se déroulaient toujours de la manière suivante, nous présentions rapidement le système et donnions les cartes pour que les expérimentateurs puissent les disposer

à la surface du dispositif. Le système réagit immédiatement aux contrôles des cartes. Ensuite nous leur montrons la carte sauvegarde pour qu'ils puissent vérifier leur sélection sur un autre ordinateur. Ensuite nous recueillons les impressions et critiques au sujet de l'ensemble du système. Ces échanges nous ont surtout aidé à savoir quelles modifications seraient prioritaires pour une expérience plus complète du dispositif. Les démonstrations ont été bien perçues et les réactions furent toujours positives. Les principales questions et critiques portaient sur la quantité maximale que pouvait afficher le système afin d'éviter un encombrement visuel des objets. Une autre question souvent posée était celle de l'usage à plusieurs utilisateurs. Comment le système peut-il traiter le cas ou plusieurs utilisateurs apportent la même carte et donc le même environnement d'objets virtuels ? Diverses solutions ont été envisagées, basées sur la duplication des objets.

##### Projet Time-Surface EDF RD

TimeSpace est un projet d'étude et développement de techniques d'interaction pour une time-line tridimensionnelle capable de représenter des données temporelles et de visualiser les enregistrements liés au déroulement d'un processus. Il s'agit d'une problématique d'analyse de la causalité courante à EDF. Un exemple est celui de l'analyse des étapes dans le processus de démarrage, ou d'arrêt, d'une centrale. Ce processus génère une grande quantité de matériel multimédia daté comme des fichiers vidéo, des registres en images, du texte, entre autres formes de représentation. Pour pouvoir utiliser ces données de manière productive, il est nécessaire d'avoir recours à une plateforme capable de naviguer parmi la collection multimédia d'enregistrements mais aussi d'afficher différentes relations entre ces enregistrements et un grand nombre de données quantitatives. Le but est souvent d'analyser la causalité d'un événement en cherchant les liens qui lient les événements observés. L'IHM visée doit principalement apporter un usage en groupe d'utilisateurs qui peuvent ainsi extraire de nouvelles informations et saisir des pistes dans la recherche de possibles dysfonctions dans le système. Cela est donc possible grâce à la mise en contexte de la documentation recueillie et les techniques d'interaction qui permettent la mise en place de différentes formes de lecture et de croisement des enregistrements.

## 4.5 Timeline de visualisation d'information temporelles

Notre proposition se base alors sur une timeline (ligne du temps) basée sur les solutions de visualisation en perspective. Cette visualisation simule la distance comme métaphore pour structurer une navigation temporelle linéaire. Cette navigation est basée sur un dispositif de type surface tactile pour faciliter l'usage en groupe. Par ailleurs, les solutions de filtrage de l'information proposées par Shneiderman nous aident à formaliser des techniques simples de *focus/contexte* – *overview/détail* pour la visualisation des enregistrements. La principale solution est la mise en perspective des objets dans un long couloir où la disposition et les caractéristiques (forme, couleur, vitesse) informent sur la quantité de documents et sur leurs relations avec différents évènements du processus. Cette mise en perspective permet donc de visualiser les quantités et densités d'information à venir mais aussi les détails d'une donnée photographique en particulier, liée à sa position géographique dans le site ainsi qu'à d'autres données liées à cet enregistrement.

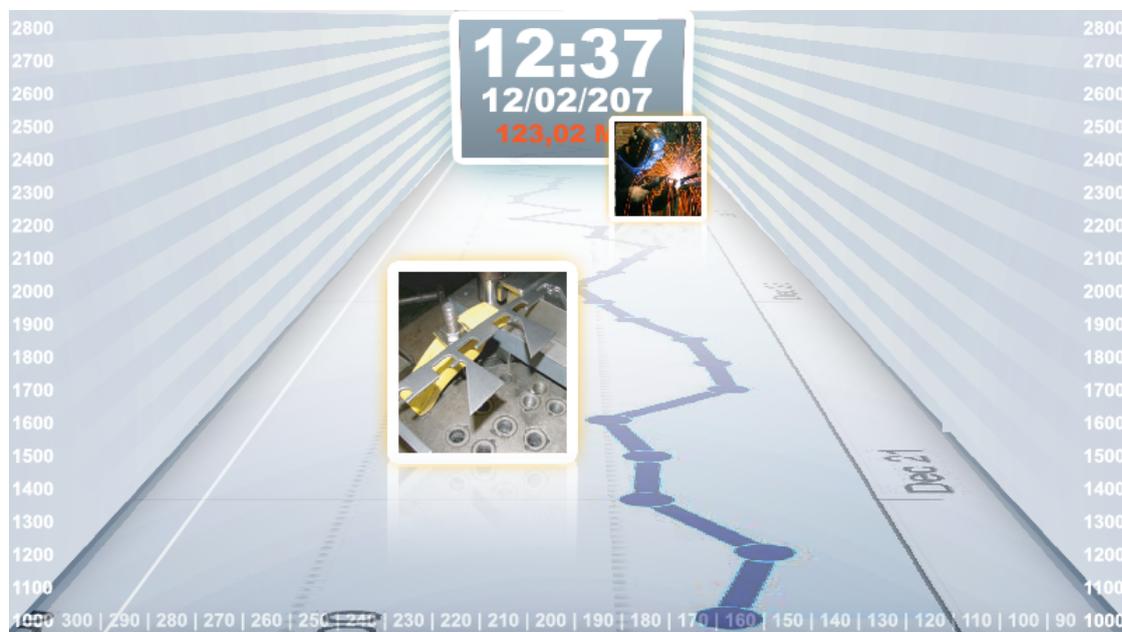


FIGURE 4.26 – Maquette interactive de la timeline multimédia

Dans ce projet, le dispositif d'affichage et de saisie est particulièrement important et une manipulation fluide des documents est nécessaire pour que leur présentation à un groupe ne soit pas segmentée en différents niveaux comme dans l'organisation par sous-dossiers par

exemple. Ainsi pour ce projet nous avons décidé d'utiliser deux grands écrans interactifs perpendiculaires capables d'afficher une grande densité (granularité) de fichiers multimédia. Le dispositif est composé d'un grand écran tactile vertical et d'une table multitouches à l'horizontale. L'écran affiche les documents et les données quantitatives en perspective au long du couloir, et sur la table tactile sont présentés les éléments les plus récents et les diverses commandes qui gèrent la granularité de la timeline. Par granularité nous voulons dire que la densité d'éléments qui peut varier selon les besoins des utilisateurs. Par exemple, selon que les données sont affichées sur une semaine, un jour ou bien d'une minute. Nous verrons dans la section suivante que les métaphores incarnées implémentées en tant que techniques d'interaction sont principalement liées à ce contexte de filtrage temporel avec des briques comme la viscosité, la vitesse d'approximation et la proximité.

### 4.6 Dispositif et Techniques d'interaction

Le principe du dispositif est donc la séparation en deux de l'affichage et le principal défi est celui de garantir la cohérence temporelle et visuelle entre les deux affichages. Les objets multimédia disposés sur la timeline sont alors glissés et rapprochés de l'utilisateur grâce à la table tactile. Ces objets (images, sons, vidéo) arrivent alors sur l'écran de table tactile pour être examinés. La métaphore est pourtant celle d'un grand couloir qui permet une visualisation d'un grand nombre d'éléments et qui peuvent être filtrés selon une échelle ou un moment déterminé dans le temps entre autres filtres possibles.

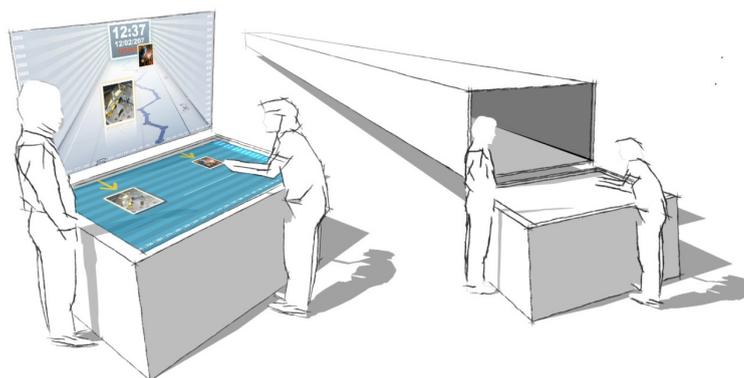


FIGURE 4.27 – Timeline de navigation de fichiers multimédia métaphore du couloir défilant

#### 4.7. PROTOTYPAGE DU PROJET TIMESURFACE

---

La table permettrait aussi l'usage d'objets physiques pour déterminer le filtrage possible d'informations. Par exemple il est possible de poser une icône tangible (phicon) sur la table sous la forme d'une caméra. Elle filtre ainsi les images et l'objet pouvant servir de dispositif d'interaction pour garder l'historique des recherches et sélections. Un autre exemple est la possibilité de poser un objet de type « échelle du temps », qui lui, déclenche l'allongement ou le rétrécissement des segments temporels selon la rotation de l'objet. Ce système met en relation les notions de temps et de distance et se sert de notre capacité de discernement par rapport à la distance et à la densité des objets. Il permet aussi la mise en parallèle des données de type quantitatives avec des relations de couleurs et de taille donnant l'impression d'une relation de densité contrôlée par l'utilisateur. Ce projet ouvre les portes à un grand champ d'expérimentations dans les correspondances métaphoriques incarnées liées aux gestes de commande de la table tactile.

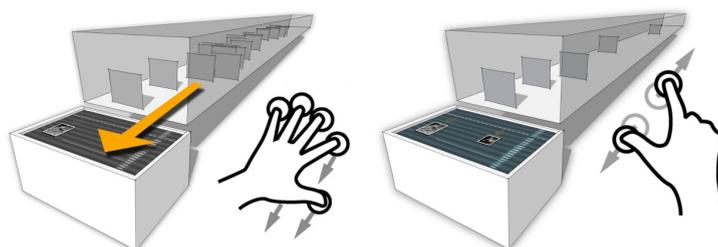


FIGURE 4.28 – Exemples de gestes de contrôle de la timeline : 1. défilement de la timeline 2. changement de densité, soit, du segment de temps relatif.

### 4.7 Prototypage du projet TimeSurface

La proposition pour EDF RD a été prototypé d'abord avec une maquette de la technique d'interaction sur UNITY. Nous avons modélisé le tunnel d'information en 3D avec les 4 murs comme un carré extrudé. Les données qui alimentent le dispositif ont été représentées par des blocs qui défilaient du fond vers l'utilisateur. Ces blocs représentent les possibles fichiers multimédia (son, images, vidéo). Nous avons expérimenté le déplacement de la souris, la molette de la souris et les touches directionnelles du clavier comme dispositif d'entrée. Plusieurs versions ont donc été essayées avec différents agencements de l'affichage de dates et de données ainsi que des vitesses et directions du glissement des informations

au long du tunnel.

Nos contacts avec EDF RD et Samuel Parfouru nous ont permis d'expérimenter l'utilisation des tables tactiles et grands écrans tactiles de leur laboratoire pour évaluer l'intérêt des gestes et formes de visualisation de ce dispositif. Nous avons essayé la disposition rapportée dans la thèse avec un écran géant devant l'utilisateur et la table tactile comme écran de commande. Nous avons surnommé cette configuration « DS géante », en faisant allusion à la console portable de Nintendo.

La deuxième étape de développement a été réalisée par Alexandre Topol et était focalisée sur la gestion des murs du tunnel de visualisation. Dans son implémentation, cette fois en C++, l'utilisateur pouvait 'ajouter' des murs au tunnel, changeant ainsi dynamiquement la forme du tunnel. De cette manière si un mur est ajouté par l'utilisateur, le carré extrudé du tunnel prends la forme d'un pentagone extrudé, puis d'un hexagone etc. Chaque nouveau mur affiche un type de donné à mettre en relation. Malheureusement ces prototypes n'ont pas pu être soumis à des tests formels de validation. Les gestes de commande de la timeline sont des gestes communs aux applications qui se servent des écrans tactiles. Ces gestes sont souvent liés au défilement, à la sélection et au déplacement d'objets à l'écran. Nous avons testé les gestes les plus simples et immédiats d'appréhension des tâches. Ces tâches sont le défilement de la timeline et le changement d'échelle, c'est-à-dire la diminution du segment temporel. Ces gestes sont facilement appréhendables et naturels.

## 4.8 Considérations finales sur la deuxième partie.

Nous avons dans ce chapitre décrit notre analyse des actuelles solutions multimédia pour la visualisation de grands corpus pour un usage ludique et professionnel. Nous avons prototypés deux dispositifs pour la navigation dans de grands corpus d'informations. Quand nous analysons leurs deux contextes d'usage, celui du musée et celui d'EDF, nous observons leur cas spécifique de visualisation et traitement de l'information : l'un plus généraliste et l'autre d'un type plus spécifique. Malgré la diversification du public nous observons toujours sur une condition récurrente et contemporaine qui est celle de l'usage multiplateforme de l'information. Même si elles partagent les mêmes contraintes pour ces grands dispositifs les

#### 4.8. CONSIDÉRATIONS FINALES SUR LA DEUXIÈME PARTIE.

---

usages doivent être rapides et faciles. Par ailleurs nous avons mis en évidence les besoins de métaphores de plus haut niveau pour créer des interfaces cohérentes et consistances entre dispositifs. Nous avons utilisé des métaphores incarnées de type ontologiques pour implémenter un système de filtrage d'information qui simule notre préscience du comportement des fluides et des mouvements gravitationnels ou électromagnétiques.

#### 4.8. CONSIDÉRATIONS FINALES SUR LA DEUXIÈME PARTIE.

---

Troisième partie

Proposition d'architecture  
conclusions



## Chapitre 5

# L'architecture logicielle 3D

Il existe actuellement plusieurs moyens de créer et d'implémenter une application 3D temps réel. Les solutions logicielles, appelées moteurs de rendu 3D ou moteur de jeu, facilitent le développement et l'implémentation d'environnements 3D quel que soit le dispositif cible. Des logiciels comme Unity proposent par exemple le déploiement direct vers différentes plateformes telles que les Smartphones ou les navigateurs web compatibles. A terme les performances et miniaturisations des processeurs graphiques contenus dans tous les futurs dispositifs permettront le développement unifié des logiciels pour n'importe quel type de dispositif cible à partir d'un même projet. Malgré les batailles de standards, nous pouvons affirmer que le futur du développement des nouveaux médias interactifs va se baser sur le raffinement et l'innovation des solutions logicielles plutôt que sur la compatibilité du matériel. Il est essentiel de développer un vocabulaire commun entre les responsables techniques et les designers comme stratégie d'innovation. Ce dialogue peut s'effectuer au sein d'une équipe de développement mais aussi servir de traduction d'un système qui rend compétents les artistes et autres utilisateurs qui n'ont pas les moyens techniques de concrétiser une intuition en outil numérique. Nous n'avons pas la prétention de proposer un recensement exhaustif des technologies mais nous voulons surtout contextualiser l'une des applications du framework conceptuel proposé au sein des technologies de 3D temps réel.

## 5.1 Moteurs de rendu et API's

La partie graphique des moteurs de jeu, aussi appelés moteurs de rendu, a comme base des langages bas niveau dotés de bibliothèques logicielles responsables de la gestion des processus d'affichage par les cartes graphiques et processeurs. Développées au cours des 30 dernières années, ces librairies servent à gérer les données tridimensionnelles à travers le pipeline d'affichage de l'ordinateur. Une API est une interface logicielle établie au-dessus des langages de bas niveau qui permet l'interaction des différentes couches logiques du programme. De manière analogue au rôle d'une interface homme-machine, une API nous traduit, en outils simplifiées et accessibles, des fonctions complexes telles que les calculs de translation en 3 dimensions.

- OpenGL est la plus répandue des API 3D de par son caractère ouvert (multi plateforme) et sa souplesse d'utilisation. Elle est très utilisée pour des applications scientifiques, industrielles et artistiques 3D. Des langages tels que `c`, `c++`, mais aussi des langages de haut niveau comme les environnements de développement Processing ou PureData se servent de l'interface OpenGL et de ses bibliothèques de composants. Elle est également utilisée dans l'industrie du jeu vidéo où elle rivalise avec le standard de Microsoft : Direct3D. Une version de
- OpenGL nommée OpenGL ES a été développée pour les applications embarquées (téléphones mobiles ou consoles de jeux...). Direct3D, est la bibliothèque logicielle liée à la série DirectX et n'est utilisable que pour la plateforme Windows. Dans une version adaptée elle est à la base de sa console de jeux, la XBOX ([xbox.com/fr](http://xbox.com/fr)). Ce langage a l'avantage d'être en relation avec des bibliothèques sonores entre autres librairies dédiées à l'interactivité.
- Java3D. Comme son nom l'indique, c'est la spécification compatible avec le langage JAVA. Java3D se sert en grande partie des librairies OpenGL et Direct3D pour implémenter les scènes 3D pré-scriptées appelées Graphes de scène [Topol 2002]. Cette spécification est tournée vers les applications mobiles et les technologies adaptées aux navigateurs web. De même que Java WebGL est la spécification d'OpenGL adaptée pour internet, X3D est une spécification en version ouverte pour la gestion et l'affichage de scènes 3D pour les navigateurs.

## 5.1. MOTEURS DE RENDU ET API'S

Toutes ces solutions exigent, cependant, un minimum de connaissances en programmation de la part des utilisateurs. Cela est vrai surtout en ce qui concerne les mécanismes d'interaction. Les langages décrits, bien que très complets au niveau de leurs fonctionnalités, ne s'adressent qu'aux programmeurs ayant des connaissances de la 3D. Les langages visuels proposent alors de grands ensembles de processus à être connectés entre eux et capables de construire interactivement des scènes 3D. Cela en reliant de manière visuelle les boîtes comportementales facilitant ainsi l'accès à l'environnement de programmation. Ce type de solution visuelle est très répandu et acceptée comme outil pour débutants. Nous pouvons citer comme exemple de ce type d'environnement les logiciels Pure Data, Max ou Quartz Composer. Ces langages proposent une construction visuelle des enchaînements des traitements graphiques 3D.

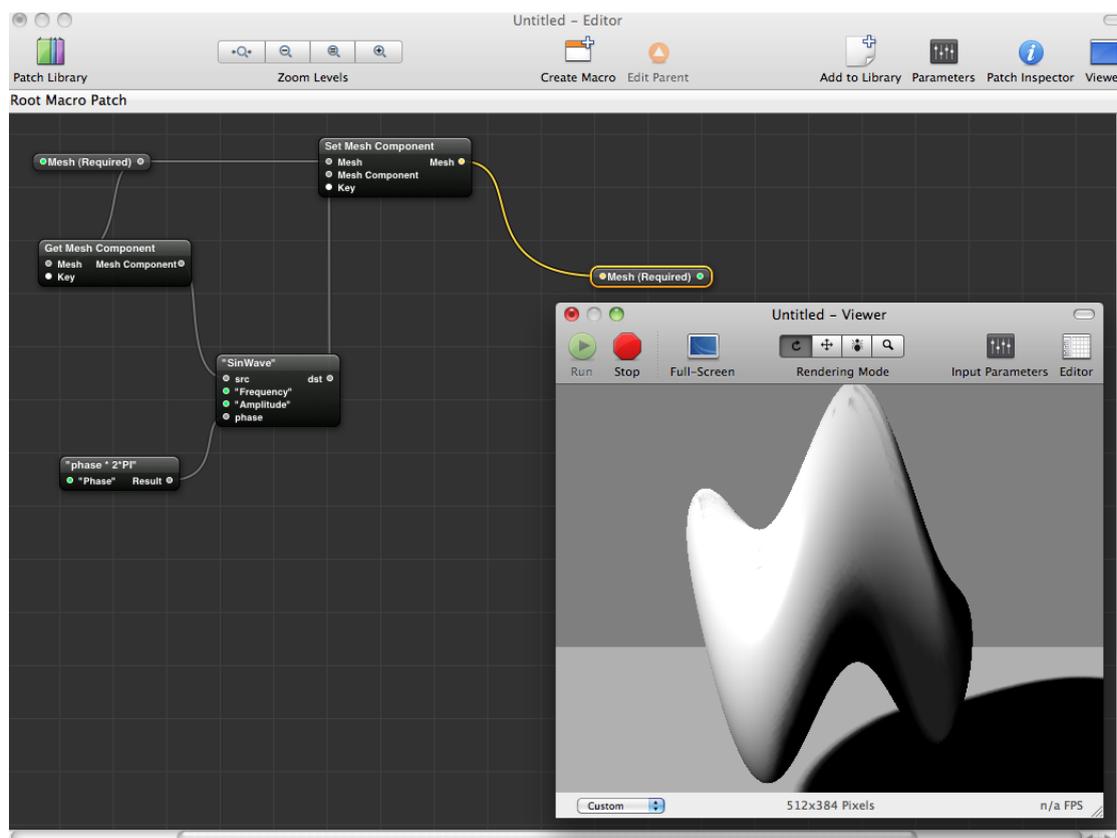


FIGURE 5.1 – Exemple de création de scène 3D avec Quartz Composer

Même en s'appuyant sur une traduction facile à comprendre avec des fonctions simplifiées, les langages naturels s'appuient sur des langages de programmation nécessitant

## 5.1. MOTEURS DE RENDU ET API'S

un minimum de connaissances informatiques. Les langages visuels élargissent encore plus ce principe de simplification de la conception des scènes 3D. Ces nouvelles solutions de programmation sont aujourd'hui un paradigme qui se répand et d'autres implémentations telles que le logiciel libre Blender ([blender.org](http://blender.org)) et les actuels systèmes de composition de textures et shaders comme ShaderFX ([lumonix.net](http://lumonix.net)). Ces logiciels proposent une interface permettant de construire et manipuler un graphe de traitements par boîtes comportementales pour la gestion d'images et comportements de la lumière sur les surfaces 3D.

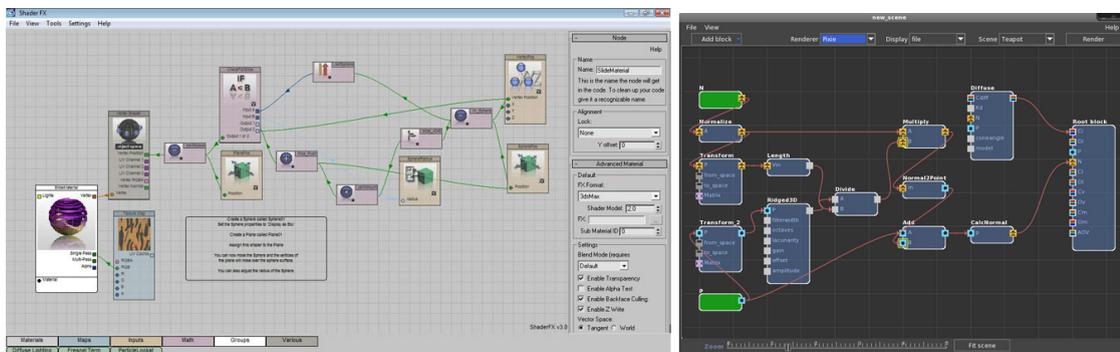


FIGURE 5.2 – Création de textures et shaders dans ShaderFX et Maya.

Figure 42 - Création de textures et shaders dans ShaderFX et Maya.

La liaison visuelle de ces différents éléments remplace ainsi la création de codes sources. Bien que simplifiant et rendant la création de scènes 3D accessible à un plus grand nombre de concepteurs, ils nécessitent toujours des connaissances des techniques 3D et un certain apprentissage. Ainsi, même s'ils sont aujourd'hui plus abordables que des langages traditionnels, les concepts utilisés durant le développement sont encore trop abstraits et le regroupement de grands ensembles réutilisables (design patterns) sont loin du vocabulaire des artistes et autres utilisateurs. Nous nous intéresserons par la suite aux logiciels Blender et Unity comme exemples de la création de nouvelles techniques d'interaction à partir de blocs de comportements. Nous proposons ensuite l'intégration de notre modèle conceptuel sous forme de ces comportements dans ces logiciels.

## 5.2 Unity 3D

Unity 3D est un moteur de rendu et un outil pour le développement d'environnements 3D temps réel ([unity3d.com](http://unity3d.com)). De la même manière que le logiciel Virtools (aujourd'hui 3Dvia Virtools - [3ds.com](http://3ds.com)), Unity se base sur une interface userfriendly (tournée vers les débutants) et rapidement exploitable. C'est un logiciel qui a une intégration prévue avec les outils communs aux graphistes comme l'outil de traitement d'image d'Adobe, le Photoshop ([adobe.fr](http://adobe.fr)) et le logiciel de modélisation 3D studio max. Unity est basé sur la gestion d'éléments constitutants comme des images, les ressources 3D pré-modélisées et des scripts pouvant être écrits dans plusieurs langages (java, c-sharp, C, entre autres). Unity cherche ainsi à combler la problématique de la démocratisation de la programmation des comportements pour les logiques d'interaction. Mais c'est un logiciel qui a besoin d'un minimum de connaissances de programmation par manque d'un large choix de possibles composants pré-scriptés.

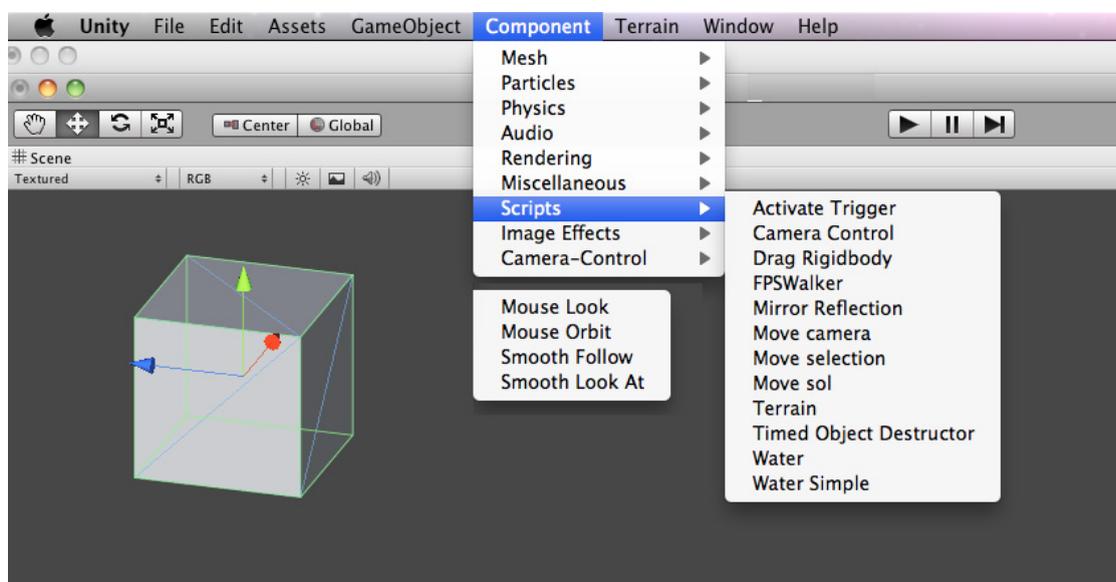


FIGURE 5.3 – Composants d'interaction prédéfinis sur Unity3D

Il est tout de même possible de créer des scènes interactives dans Unity grâce à des scripts préexistants pour des comportements interactifs voir figure ( 5.3). Dans une scène, nous pouvons faire glisser (par un mécanisme de dragdrop) ce type de script sur un objet pour que celui-ci obéisse à des commandes de la souris ou du clavier (par exemple). Les

## 5.2. UNITY 3D

---

fonctions de ces composantes peuvent alors être modifiées dans des interfaces basées sur des widgets comme des scrollings. Nous pouvons voir dans la figure 5.3 un exemple de l'utilisation d'une métaphore ontologique (nos connaissances des matériaux) pour définir le comportement physique d'un objet en relation à un autre. Dans l'actuelle librairie physique de Unity, existent des scripts tels que « glace », « bois », « métal », « caoutchouc ». Les objets pour lesquels le script « glace » a été implémenté, par exemple, vont se mouvoir selon les règles de gravité établies dans l'environnement. Mais ils vont aussi réagir aux autres objets en glissant comme un bloc de glace le ferait. Donc, des paramètres qui constituent l'animation en temps réel comme la friction, le rebondissement, la fragilité, vont faire glisser un bloc sur une surface et ensuite déformer et le liquéfier de manière procédurale. De ce fait, le regroupement d'un certain nombre de paramètres dans une synthèse métaphorique comme « glace » aident ainsi le prototypage d'animations et de comportements par un utilisateur novice. Notre défi est pourtant celui de proposer des métaphores qui puissent enrichir cet éventail de scripts de comportements ou servir d'inspiration au regroupement de types de fonctions et paramètres.



FIGURE 5.4 – Librairie de comportements définis par les textures dans le moteur de jeu Unity3D

### 5.2.1 Création d'une scène dans Unity

La première étape dans le développement d'une scène dans Unity est l'importation de scènes créées dans un modéleur 3D (3DS Max ou MAYA). Ces scènes peuvent alors contenir des objets 3D avec des animations pré-crées, des informations sur la position des images

## 5.2. UNITY 3D

de textures dans le modèle ainsi que des objets lumières et caméras. Plusieurs formats sont acceptés par Unity (3DS, OBJ, FBX etc.). La deuxième phase concerne la mise en place des interactions grâce à des scripts. Ils peuvent être proposés par les bibliothèques de UNITY ou développés selon les besoins de l'utilisateur. Pour implémenter les scripts il suffit d'ajouter ces comportements en les glissant sur des objets dans la scène (dragdrop).

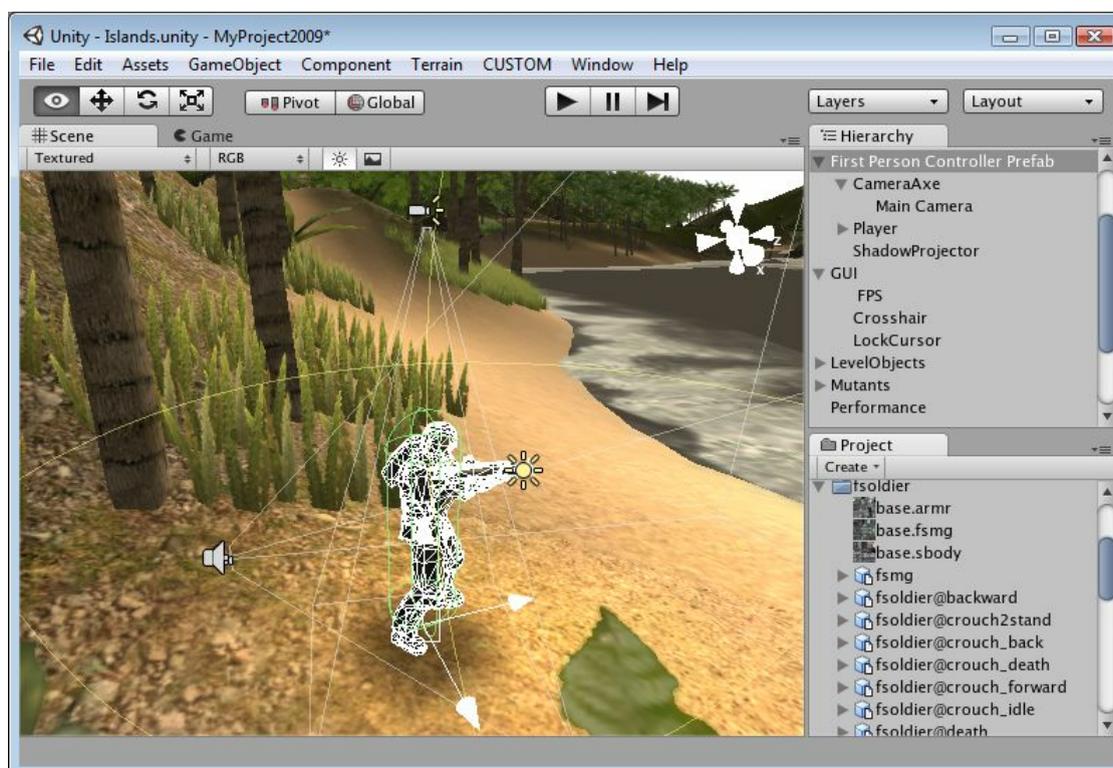


FIGURE 5.5 – Exemple de cens dans unity avec un personnage principal et les objets multimédia représentés par des icônes

Les objets et leurs comportements sont ensuite rendus, affichés, animés et réactifs en temps réel, selon ce qui a été défini dans le script. Ces comportements peuvent être des commandes d'entrée par un clavier, une souris ou autre dispositif d'interaction. Ils peuvent ainsi animer procéduralement des objets ou bien commander une caméra pour lui faire suivre des objets. Dans la figure 2 nous pouvons voir des exemples tels que le comportement des caméras par rapport à un personnage et sa position comme dans un jeu FPS (en première ou troisième personne) où la caméra suit le personnage mais change l'angle de vue avec la souris. Il existe aussi des comportements liés à des lumières qui peuvent changer

## 5.2. UNITY 3D

selon la localisation d'un personnage (parties sombres ou claires de la scène) ou changer d'intensité ou de couleur. Ce genre de paramètre peut facilement être regroupé dans des concepts tels que « feu » ou « sirène ». Unity développe aussi un portail d'achats (Asset Store <sup>1</sup>) avec toute une panoplie d'éléments pour les scènes 3D. On peut aujourd'hui acheter des éléments comme des objets 3D, des scènes complètes, mais aussi des kits de composants comme ceux de prise en compte des gestes pour les écrans tactiles. Sur la Figure 45, nous pouvons voir la liste de gestes proposée dans la bibliothèque Finger Gestures. Les gestes et les fonctions sont classifiés en plusieurs types : Des mouvements de doigts (pinch, press), par la désignation du geste (swipe) ou bien par un concept métaphorique qui est « Drag ». Drag est le mot anglais pour « traîner ». Ce concept regroupe ainsi une série d'actions (sélection, translation) ou types de mouvements (friction, vitesse) ou encore des représentations (dessus, dessous, dedans, dehors) qui sont regroupées de manière cohérente autour du terme traîner.

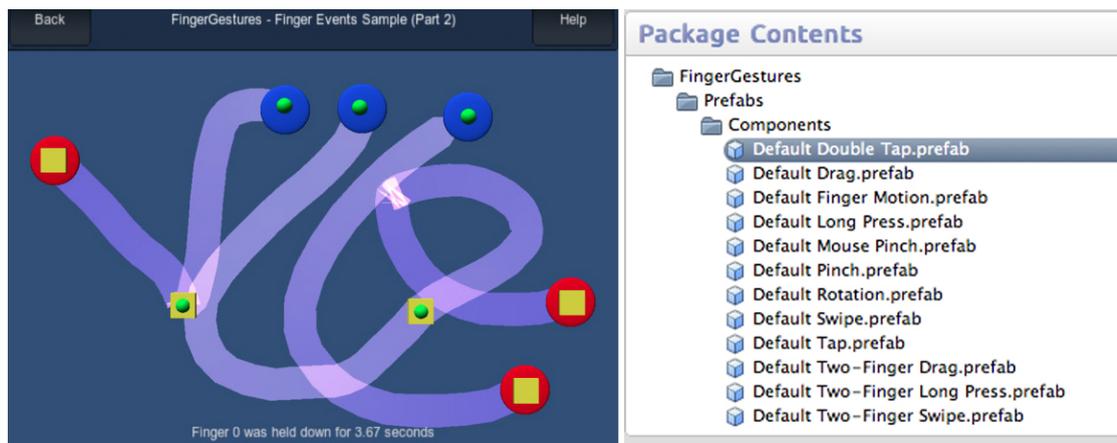


FIGURE 5.6 – Librairie de gestes 'FingerGestures' disponible dans Unity Asset Store

Ce genre d'encapsulation facilite l'utilisation de fonctions complexes. Cependant, l'usage des métaphores de ce type reste encore trop lié aux métaphores historiques WIMP (analogies simplistes) ou aux outils graphiques connus des experts comme les shaders, les lumières et textures. Les métaphores s'inspirent encore des termes techniques ou des spécificités des dispositifs. C'est une solution ordonnée pour combler des besoins et ciblée vers des dispositifs et qui n'ouvre pas la voie pour l'expérimentation d'un vrai framework de haut

1. L'Asset Store de UNITY est une plateforme de distribution de modèles 3D mais aussi de composants et projets complets pour le développement de nouveaux logiciels.

niveau pour la création de nouveaux types de gestes et autres techniques d'interaction. Les nouveaux logiciels de développement comme Unity cherchent pourtant une voie vers la démocratisation des outils de création avec ce type de librairie. Un framework comme nous le proposons pourrait sûrement générer une prolifération de nouvelles séries d'encapsulations et terminologies créatives pour des regroupements innovateurs de scripts susceptibles de mieux convenir aux artistes et designers.

### 5.3 Blender

Une autre stratégie proposée pour la création et l'implémentation de techniques d'interaction est celle de l'éditeur de comportement du logiciel Blender . Blender est un logiciel libre pour la modélisation et le rendu d'environnements 3D. Cet outil dispose d'une interface de programmation visuelle pour la création d'interactions sur les environnements virtuels. L'exemple qui suit montre une scène simple composée d'un cube dans un environnement vide. Nous pouvons alors ajouter un comportement à ce cube qui consiste à le faire pivoter sur l'axe des Y, et cela, grâce aux touches directionnelles (droite, gauche) du clavier.

Il est possible de programmer ce comportement à partir de trois composantes basiques dont la première est appelée « sensor » (propriétés d'entrée). Cette composante est responsable des données liées à la saisie (dispositifs, messages etc.). La deuxième, appelée « Controller », se charge des opérations logiques liées à l'association des plusieurs commandes de saisie (souris, clavier, etc.). La troisième composante, appelée « actuator », agit sur l'objet en implémentant le comportement ; dans cet exemple, un mouvement de rotation en Y. Nous avons déterminé que le dispositif de saisie était le clavier et que la touche directionnelle vers la droite ferait tourner le cube (rotation) de 1 degré dans l'axe Z. Le résultat est que si l'on appuie sur la touche directionnelle à droite, le cube tourne sur lui-même, à une vitesse déterminée. Ce type de comportement est assez facile à programmer, mais, pour les détails et raffinements d'une technique d'interaction, la tâche devient complexe et décevante pour les nouveaux utilisateurs. L'ajout des briques de métaphores que nous proposons suppose la prise en compte des concepts incarnés comme base pour le regroupement de fonctions logiques et comme consigne pour le développement de nouvelles couches

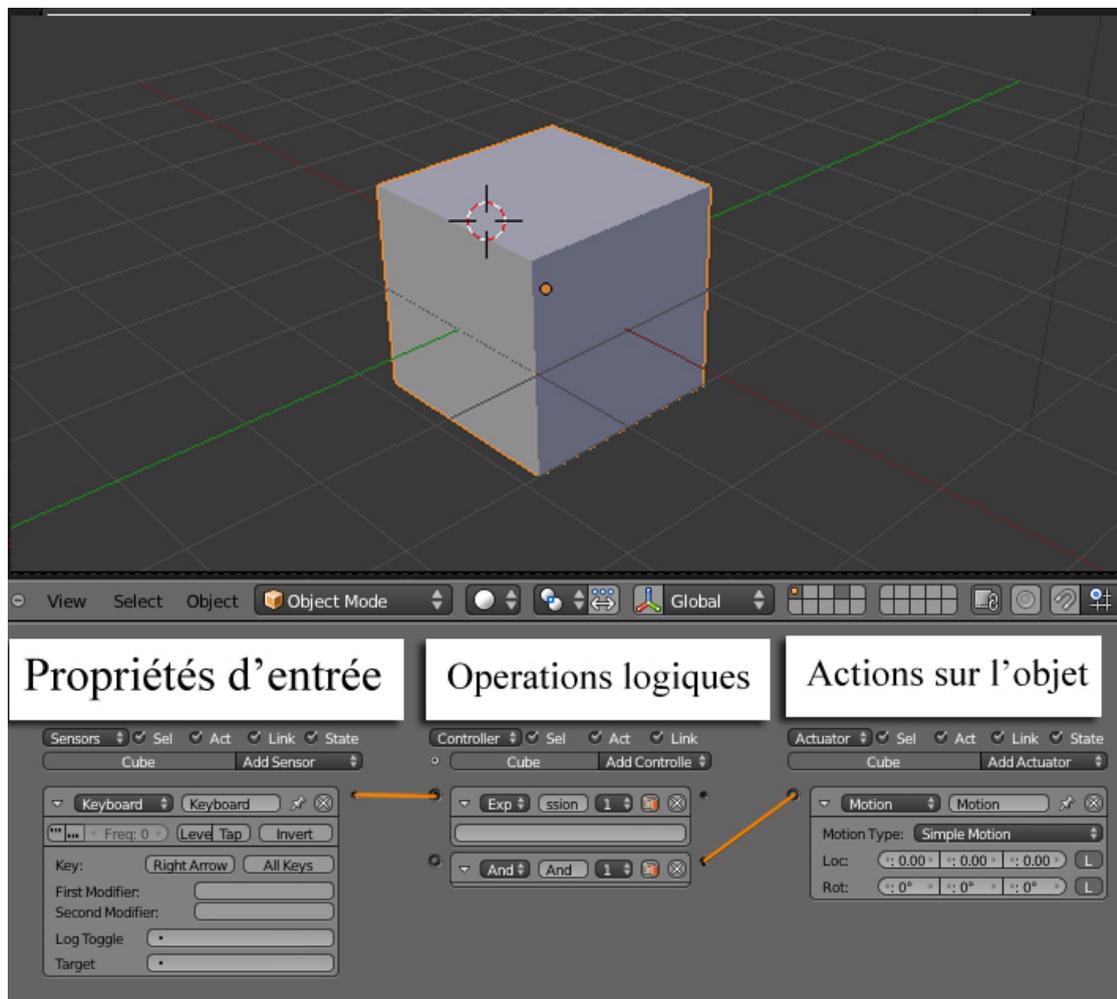


FIGURE 5.7 – l’interface de programmation visuelle de Blender avec les 3 éléments nécessaires pour produire une technique d’interaction.

d’abstraction de ces commandes. Par exemple, l’ajout d’un ensemble de fonctions appelées « arcball » à la liste de techniques disponibles pourrait aider le développeur débutant en évitant qu’il soit obligé de coder les détails complexes de cette technique d’interaction. La technique arcball (voir section 3.5 [Shoemake 1992] décrite dans le chapitre 2, consiste à entourer l’objet d’une sphère virtuelle. Avec cette technique, pour faire tourner l’objet, l’utilisateur glisse la souris sur la surface de la sphère qui tourne en changeant aussi l’angle de rotation de l’objet. Mais il est difficile pour un novice de procéder à un raffinement précis de cette technique comme le réglage de la vitesse angulaire et l’effet d’inertie - comme si l’on voulait, par exemple, que l’objet continue à tourner après le geste et que le mou-

vement de rotation s'arrête doucement. Ce type de script pourrait alors être rassemblé dans des groupes métaphoriques de paramétrages plus abordables comme « planète » qui tourne sans friction à partir d'une impulsion, ou « manège » qui tourne sans arrêt à une vitesse déterminée, ou bien « roulette » qui tourne vite grâce à une impulsion puis s'arrête doucement. Des briques de techniques de ce type pourraient émerger dans un Framework enrichi avec les métaphores incarnées pour des contrôles d'objets basées non seulement sur les règles de la physique, mais aussi pouvoir inclure des termes qui prennent en compte les aspects sociaux et toutes les métaphores et correspondances avec lesquelles on a évolué dans le monde réel et que nous avons évoqué au long de ce travail. Dans le chapitre suivant, nous allons détailler les types de métaphores avec des exemples structurés dans un organigramme qui synthétise les théories de Lakoff et Johnson sur les métaphores incarnées. Cet organigramme est un aperçu de ce que pourrait devenir une grammaire de composantes basées sur le Framework conceptuel pour la création de nouvelles techniques d'interaction.



## Chapitre 6

# Agents d'interaction

La majorité des applications et moteurs d'interaction 3D implémentent presque toujours le même ensemble d'interactions (clic de souris pour la sélection, détecteur de proximité ou de collision, interactions basées sur les jeux FPS<sup>1</sup>). Nous croyons que des comportements prédéfinis génériques devraient pouvoir être utilisés dans le plus grand nombre d'applications possibles, par des développeurs novices et pour des contextes et dispositifs différents. La solution pour l'implémentation des comportements que nous préconisons se présente sous forme de nœuds génériques dans une architecture cohérente avec le modèle cognitif basée sur les correspondances métaphoriques de Lakoff et Johnson. La solution consistant à d'adjoindre des comportements à la structure de programmation des moteurs est cohérente ? Puisque les comportements y seront décrits au même titre que les nœuds déjà développés pour les éléments d'une scène liée à la forme et l'apparence des objets (le rendu). Des exemples de l'utilisation des métaphores pour les composants liées aux textures temps-réel et types de rendu ou ambiances d'éclairage, sont déjà assez courantes dans les moteurs actuels. Ces bibliothèques de composants de rendu sont facilement distribuées sous forme de shader ou bibliothèques de matériaux. Mais, pour les comportements interactifs, la création d'une bibliothèque cohérente est moins évidente et plus abstraite que les exemples de texture ou de shaders (brique, sol, eau, écorce). Nous voulons des solutions riches et facilement appréhendables pour décrire les comportements interactifs des éléments d'une scène, d'une manière aussi simple et efficace que sont décrites les propriétés graphiques

---

1. Les jeux FPS ou First Person Shooting, est un type de jeu-vidéo d'action et de tir en vue à la première personne, c'est-à-dire que le joueur voit l'action à travers les yeux du protagoniste comme si la caméra était placée sur sa tête ou ses yeux..

## 6.1. ORGANIGRAMME DES MÉTAPHORES

(voir les projets shaderFX ou les interfaces de créations de matériaux dans 3D studio Max ou Maya). En effet, actuellement, les mécanismes classiques d'interaction ne conviennent pas aux non programmeurs. Les extensions proposées visent à fournir un minimum d'outils pour les non-experts afin qu'ils puissent créer des scènes réactives. Les nouveaux nœuds serviraient à étendre les possibilités de programmation d'interactions si elles sont basées sur ces aspects génériques des modèles de métaphores incarnées. Nous avons donc proposé d'intégrer la gestion des animations et des comportements avec de nouveaux nœuds de haut niveau en rapprochant, par des exemples, les scripts déjà existants du Framework conceptuel. Bien que cette approche soit présentée dans le cadre particulier d'interfaces 3D, elle serait généralisable à tous types d'interfaces et contextes. Ainsi ce langage de briques de métaphores pourra être utilisé pour le prototypage d'applications 3D, dans l'esprit des nombreux outils disponibles pour les environnements en ligne par exemple.

### 6.1 Organigramme des métaphores

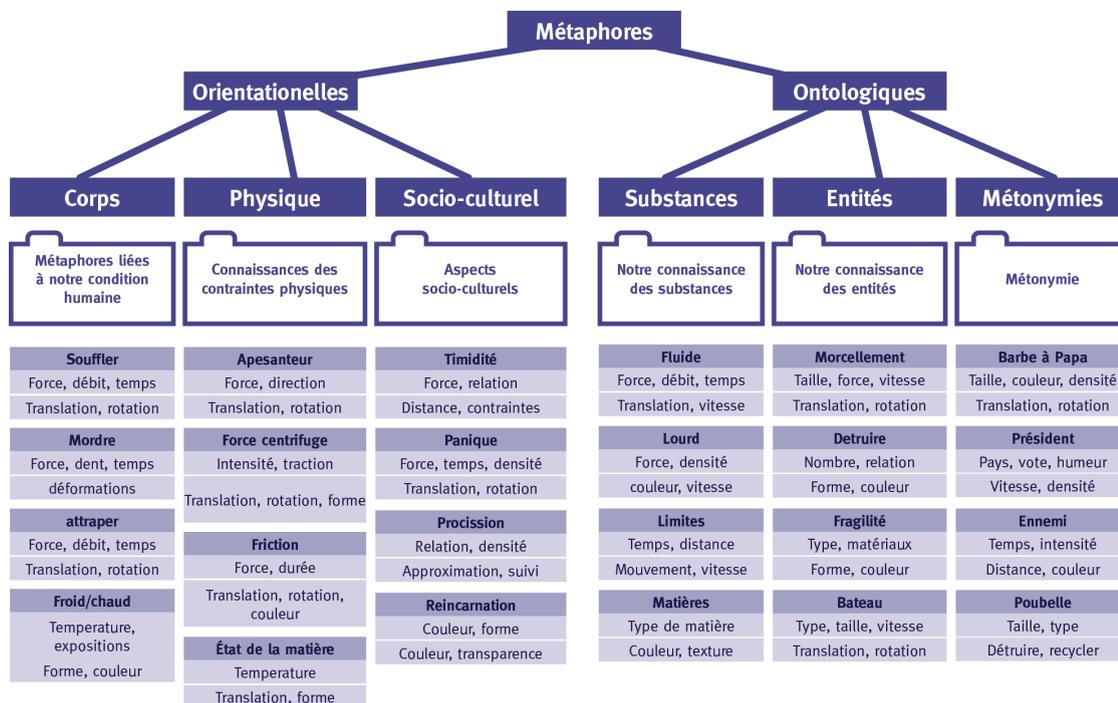


FIGURE 6.1 – Représentation schématique des composants inspirées des catégories de métaphores ontologiques et orientationnelles

## 6.1. ORGANIGRAMME DES MÉTAPHORES

---

Dans cette section, nous présenterons l’organigramme qui structure visuellement les exemples d’implémentation des métaphores. Pour résumer brièvement cette structure, nous l’avons divisée en deux grandes catégories : les métaphores orientationnelles (notre perception de nous-mêmes dans le monde : haut, bas, vitesse, pesanteur) et les métaphores ontologiques (notre connaissance des choses). Lakoff et Johnson avaient proposé une troisième catégorie : les métaphores structurelles (voir section 2.3.1). Pour cette illustration, nous avons choisi de ne pas prendre en compte cette catégorie car les métaphores structurelles sont des situations spécifiques et il arrive qu’elles représentent les cas de métaphores comme nous les retrouvons habituellement en littérature et poétique. Donc, pour cette section, nous allons prendre les sous-ensembles et les exemplifier en tant que blocs de comportements pour les univers interactifs. Dans ce schéma synthétique, il y a pourtant 2 grands groupes (métaphores orientationnelles et ontologiques) composés de trois sous-groupes chacun. Les boîtes finales qui décrivent les métaphores sont inspirées des représentations de composantes UML et ont trois divisions (Figure 48)

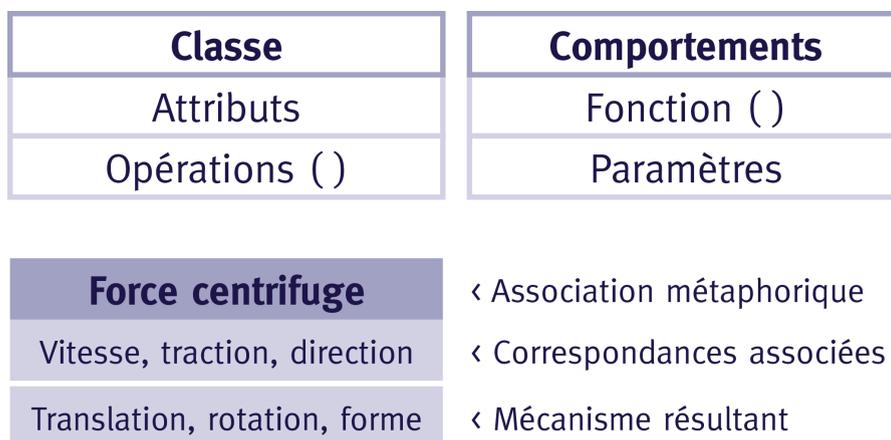


FIGURE 6.2 – Description des éléments de l’organigramme en tant que composantes dans un rapprochement aux modules de projet UML.

La première section de la boîte se réfère à une généralisation ou à un regroupement de métaphores. Dans le cas des métaphores orientationnelles, nous trouverons des concepts liés à notre relation avec notre corps et l’espace. Ainsi, des exemples comme « loin », « proche », « haut », « bas » seront classés dans cet ensemble. La deuxième partie de la boîte décrit des correspondances en provenance de notre système perceptif qu’elles associent à

une idée concrète. La dernière décrit le mécanisme résultant en termes de script possible ou autre correspondance plus appliquée. Les résultats sont ici des simplifications des possibles conséquences en termes de comportement d'un objet à l'écran. Ces comportements proposés sont, par exemple, des changements de position et rotation (translation, rotation), les changements de taille, de couleur ou de forme et les nuances comme l'accélération et l'inertie.

### 6.1.1 Métaphores orientationnelles

## Métaphores Orientationnelles

Corps	Physique	Socio-culturel
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Devant</b></li><li>• <b>Derrière</b></li><li>• <b>Loin/proche</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Lourd</b></li><li>• <b>Apesanteur</b></li><li>• <b>Pression</b></li><li>• <b>Vitesse</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Fête</b></li><li>• <b>Deuil</b></li><li>• <b>Haine</b></li><li>• <b>Panique</b></li><li>• <b>Joie</b></li></ul>

FIGURE 6.3 – Description résumée de la catégorie de métaphores dites orientationnelles

Dans la catégorie des métaphores orientationnelles, le premier sous-groupe se réfère à notre connaissance de notre corps (proprioception), de nos capacités de nous orienter et des correspondances liées aux stimuli sensoriels comme celui de l'équilibre ou des muscles. Nous avons pris des exemples de notre capacité sensorielle de discerner les distances, la direction ou le poids. Cette métaphore nous permet de réfléchir à des scripts qui pourraient codifier des fonctions selon la sensation de poids ou de vitesse. Nous pourrions implémenter des comportements basés aussi sur la notion de temps ou définir des aspects de volume pour les paramètres d'objets tels que taille qu'occupe un fichier en mémoire, ou la date de création d'un fichier. Ces métaphores peuvent donc engendrer des représentations non seulement visuelles mais également tangibles comme des correspondances avec le son ou le toucher.

Une action peut aussi servir de métaphore, comme l'action de mordre par exemple qui est une correspondance exploitable avec des nuances liées à la force de pression, la douleur et qui aurait des conséquences sur la forme des représentations à l'écran. Le geste d'attraper puis de tenir (qui correspond en anglais au verbe *grab*) est une correspondance largement étudiée dans le domaine des interfaces tangibles. Ce geste est celui le plus utilisé des dernières 30 années d'usage de la souris et pourrait évoluer avec des dispositifs déformables. Attraper quelque chose virtuellement correspondrait alors aux conséquences liées à la déformation des représentations entre autres. Le caractère chaud ou froid d'un objet concret est aussi une correspondance métaphorique connue avec pour conséquence des représentations de couleur et des contraintes de mouvements pour les choses gelées. Dans le logiciel, l'option de congeler un objet nous empêche de l'éditer ou de modifier sa position. Et un fichier chaud doit nous transmettre l'idée d'un certain dynamisme ou de pouvoir le modeler facilement. Le deuxième sous-groupe (physique) est celui de notre connaissance simplifiée des lois de la physique. Dans ce schéma, nous avons pris comme exemple la pesanteur. Elle nous attire vers le sol et détermine aussi notre relation avec d'autres objets, qu'ils soient plus lourds ou plus légers que nous-mêmes. Ces relations ont des correspondances avec des idées concrètes comme la force et l'équilibre. Elles peuvent déterminer des attributs liés au mouvement et aux relations positives ou négatives comme le terme *lourd*, ou *léger*. Ce type de correspondance métaphorique pourrait être utilisé pour déterminer des relations de hiérarchie et pour afficher, dans un mécanisme de filtrage, des éléments dans cette relation. Par exemple, une série d'éléments qui, à la place des tags sémantiques traditionnels, auraient pour identification leur poids. Cela aurait pour conséquence visuelle des éléments qui sont bien ancrés par terre et d'autres qui, avec un poids négatifs, seraient suspendus par faute de gravité ou soufflés par le vent. Un autre exemple de connaissance naïve de la physique est la force centrifuge. L'usage d'une essoreuse à salade nous le démontre quotidiennement. Cette métaphore pourrait servir pour des solutions de filtrage d'éléments ou bien pour l'organisation d'objets dans l'espace. Cette métaphore a aussi des correspondances pour des possibles gestes dont l'action de tourner un objet sur soi avec une vitesse déterminée écarterait vers l'extérieur les autres objets rapprochés.

La figure 6.4 montre comment ce recours à un framework de métaphores de haut niveau

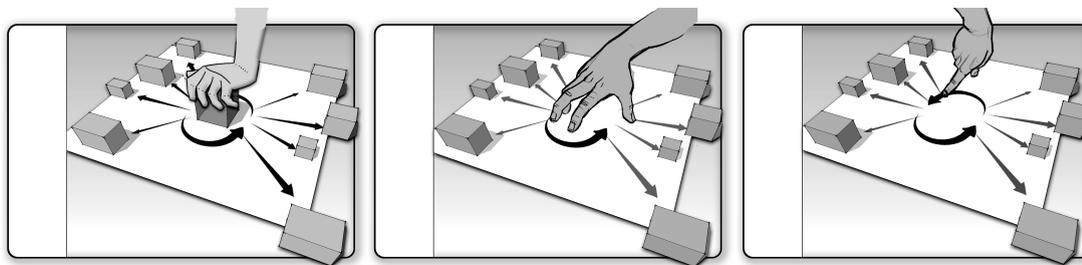


FIGURE 6.4 – Usage de la métaphore de force centrifuge pour divers types de styles et techniques d’interaction.

peut engendrer des solutions adaptées à différentes plateformes. Un exemple plus connu de cette approche multiplateforme est le scrolling vertical des pages. Cette métaphore a été naturellement transférée d’une plateforme à l’autre, comme c’est le cas des barres de scrolling manipulées par la souris sur les ordinateurs de Bureau. Cette technique a été ensuite adaptée aux gestes de faire défiler une page sur l’écran tactile des nouveaux dispositifs mobiles. La technique de défilement possède des retours visuels dont les attributs de vitesse et de traction s’inspirent de notions de physique naïve comme la friction et l’inertie. On pourrait ajouter à la liste de représentations visuelles l’idée de viscosité. Au moment où l’utilisateur ferait une recherche dans un texte, la barre de scrolling serait plus ou moins rapide selon la quantité, quand la densité des résultats de la recherche par page serait plus ou moins importante. Nous croyons donc qu’il est possible de chercher et déterminer de plus en plus de métaphores de haut niveau de ce type pour garder cette cohérence entre interfaces dans la future diversité des dispositifs d’accès à l’information. Nous continuons la description du diagramme en reprenant la métaphore de friction basée sur notre connaissance des objets et entités. Cette correspondance est une métaphore qui est largement utilisée dans toutes les interfaces graphiques. Dans les nouveaux smartphones, le fait de dérouler une liste commence par un geste qui donne l’élan pour faire dérouler une feuille vers le haut ou le bas. Au bout d’un moment, le roulement du scroll finit par s’arrêter en conséquence d’un quotient de friction déterminé. Dans un moteur physique de jeu, nous avons vu qu’il était possible de déterminer ce quotient de friction à partir des matériaux choisis (glace, béton, bois). L’objet réagirait ainsi différemment en relation à l’environnement selon le type de matériel implémenté. Cette métaphore est très suggestive et populaire parmi les développeurs. Dans notre expérience auprès du musée, nous l’avons

## 6.1. ORGANIGRAMME DES MÉTAPHORES

choisie en complément de la métaphore du magnétisme. Ainsi les objets similaires les uns aux autres se rapprochent avec une certaine inertie selon leur taux de similarité. Pour une interface de visualisation, cette métaphore pourrait servir au filtrage de données. Nous avons créé un exemple pour la sélection de fichiers de musique. Pour des grandes listes de fichiers, il est difficile de proposer des moyens de sélection. Dans plusieurs logiciels, la solution la plus commune est l'usage des tags de contenu. Il est alors possible de proposer des notations individuelles par musique qui plus tard pourraient servir de filtre, par artiste ou genre de musique par exemple. Dans iTunes, le logiciel d'Apple, une autre solution est de simplement attribuer des étoiles aux musiques préférées et on peut ensuite retrouver une liste des meilleures musiques. Nous avons associé ces étoiles au quotient de friction durant la manipulation de ces fichiers. Le résultat serait une différence visuelle dans la vitesse de déplacement des objets faisant ainsi apparaître les différents niveaux de préférences musicales.

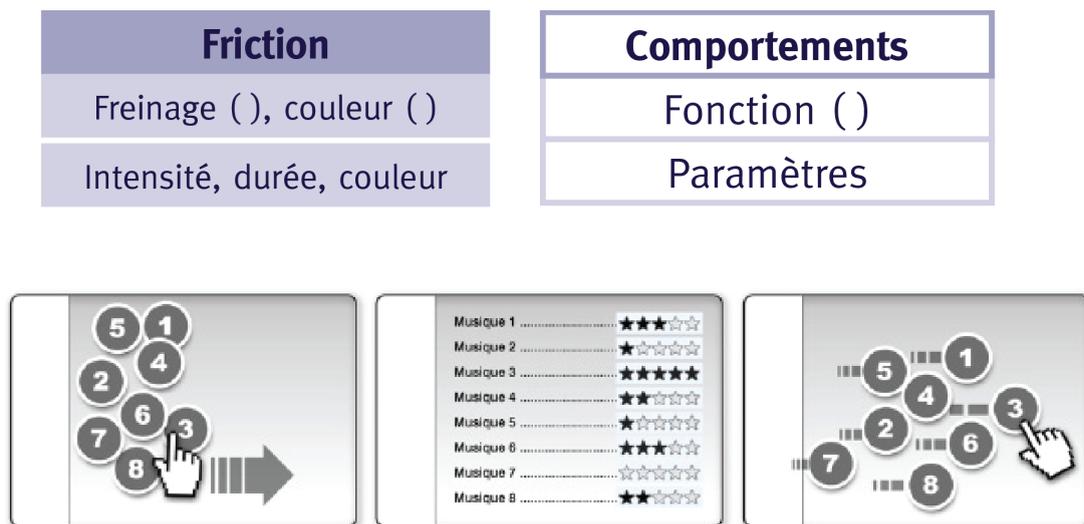


FIGURE 6.5 – Métaphore de friction : Différence visuelle dans la vitesse de déplacement des objets faisant apparaître les différents niveaux de préférences musicales

Le troisième type de métaphores orientationnelles sont celles liées à une expérience sociale, culturelle ou religieuse. Notre capacité de cerner ce type de relation peut aussi être exploitée comme une métaphore incarnée. Des mouvements de panique ou des comportements comme la timidité peuvent être représentés visuellement par des aspects formels et avec des paramètres comme la distance, le contraste, ou la densité des éléments. Ainsi, un

## 6.1. ORGANIGRAMME DES MÉTAPHORES

---

exemple serait la représentation d'une queue de clients vers une caisse de supermarché. Cette même agglomération de personnes est différente d'une procession religieuse. On peut différencier ces deux types de formation, liée aux objets qui se suivent, par la densité des objets, leur vitesse, et la continuité du mouvement. Le dernier exemple est une métaphore plutôt liée à une analogie. Ainsi comme nous pouvons associer la mort à la destruction des objets, la réincarnation pourrait aussi être utilisée pour des relations plus complexes entre entités comme la substitution d'objets ou la gestion des *slots* de mémoires par exemple.

### 6.1.2 Métaphores Ontologiques

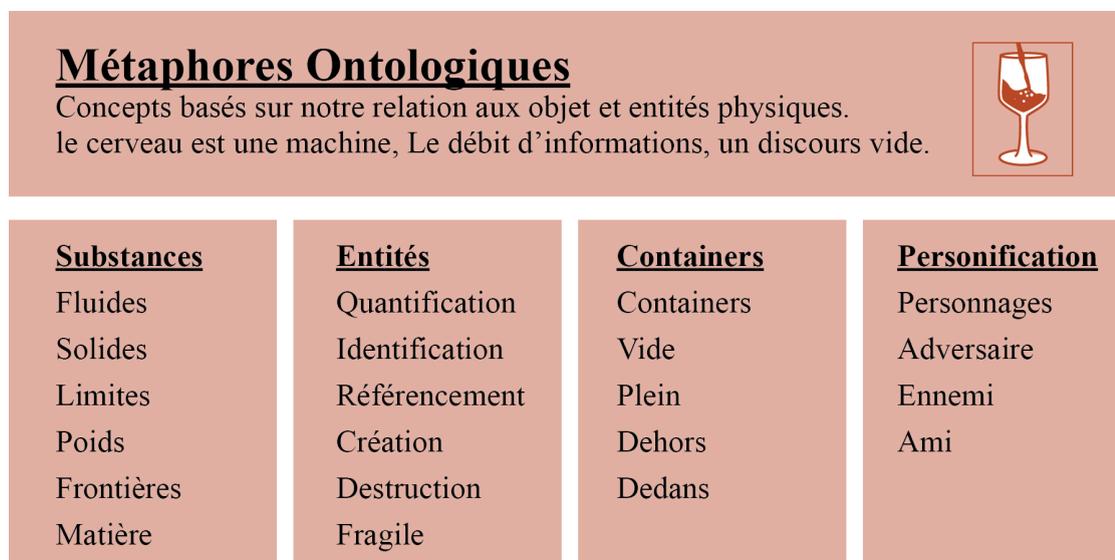


FIGURE 6.6 – Description résumée de la catégorie de métaphores dites ontologiques

Les métaphores ontologiques organisent des structures de concepts autour de notre relation quotidienne, aussi bien tactile que visuelle, avec les objets et entités. C'est une autre forme d'exploitation de notre connaissance et de représentation des formes de la matière. Ainsi la température ou la vieillisse d'un produit (pourriture) sont des éléments perceptifs facilement appréhendés dans une correspondance métaphorique. Cette métaphore nous permet de réfléchir à des scripts qui pourraient codifier des fonctions selon la couleur, par exemple, ou l'état des objets (agitation, déformation). Nous imaginons donc des fichiers qui changent naturellement de couleur quand ils deviennent vieux. Ce genre de métaphore

pourrait servir aux logiciels de gestion de versions par exemple. Nous avons formulé ici quelques exemples, agencés autour de l'organigramme, pour illustrer l'application de ces métaphores).

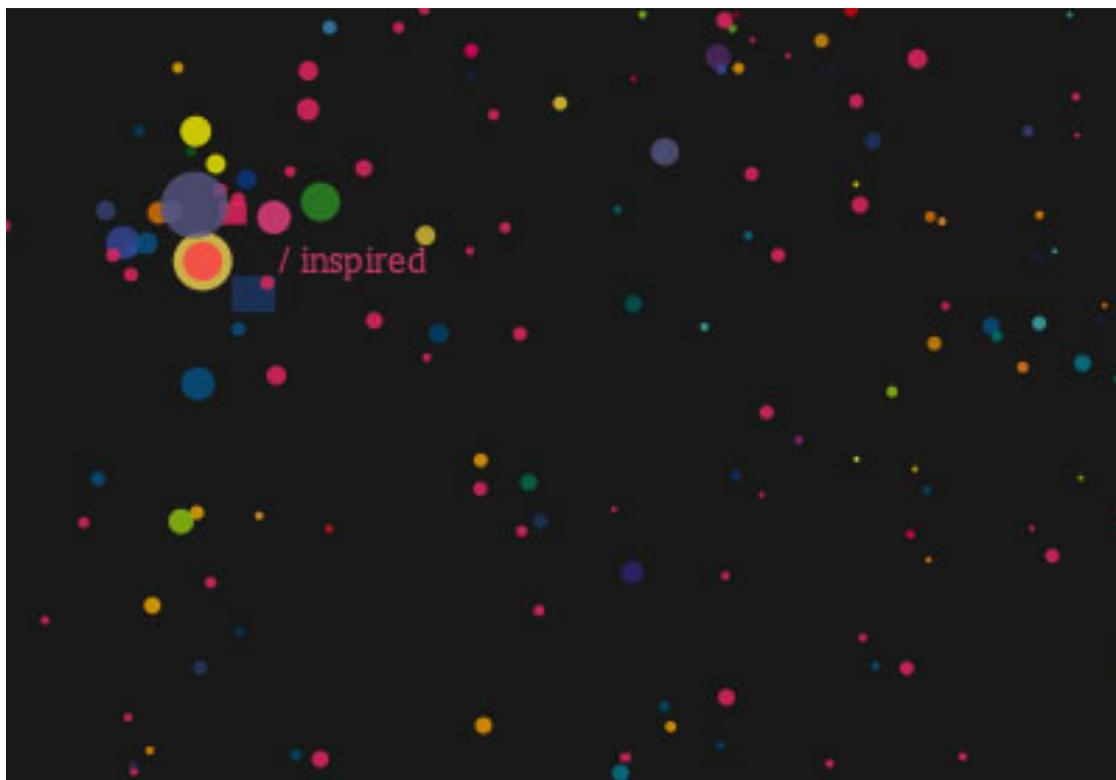


FIGURE 6.7 – Projet Weefeelfine.org où des extraits et photos retirées de réseaux sociaux sont représentés sous forme de particules qui ont une densité, et des mouvement particulier.

La première sous-division est celle de notre relation avec les substances. Nous avons évoqué ce type de métaphores lors des chapitres précédents quand nous avons décrit leur utilisation au sein de projets de visualisation comme le projet weefeelfine.org ( /ref(fig :weefeelfine)) ou les projets de tree-maps [Johnson & Shneiderman 1991]. Nous avons alors pris l'exemple des aspect visuels et comportementaux de fluides comme l'eau, l'huile, le miel. Cette relation nous renvoie à des correspondances paramétrables comme celle de force et de débit, ou temps. Paramètres qui déterminent comment l'environnement rassemble ou éparpille les objets de la scène. Cette correspondance engendre alors des scripts liés à la translation et à la vitesse des objets. Ce type de métaphore peut être ainsi utilisé dans la représentation d'autres différents types de relations entre objets. Les métaphores liées à

la matière nous renvoient à notre perception tactile des textures et l'identification de différents types de matière. Un autre type de correspondance se trouve autour des relations avec les entités. C'est une autre relation métaphorique liée aux substances dont l'exemple est la notion de limites et de quantités. Ainsi, la visualisation des grands ensembles et les séparations entre concepts abstraits, qui leur donnent des limites, provient de notre relation avec les objets et substances. Ces métaphores liées à notre relation avec les « choses » nous renvoient à des concepts comme le morcellement et la distribution aléatoire par exemple. De cette relation avec les entités, nous avons des idées comme la destruction ou la création. Ces concepts ont toujours été repris sous formes d'analogies comme les poubelles ou dans la représentation d'une petite explosion quand une icône est enlevée de la barre de type « dock » du système opérationnel MacOS. Un autre concept lié aux entités est celui de fragile ou solide. Les représentations visuelles ou sonores stimuleraient à un égard plus important envers des objets ou collection d'objets. Et pour finir ce type de correspondance avec des entités et « choses », nous avons choisi d'exemplifier une relation avec des analogies classiques. Notre relation avec des entités peut engendrer des concepts concrets à partir de nos stimuli sensoriels mais aussi à des substantifs et des choses communes de notre quotidien. Un exemple ici est le cas d'un bateau. Le fait de créer un agent de type "bateau" nous permet d'encapsuler et facilement transférer des attributs et caractéristiques comme le poids, la vitesse de déplacement, les possibles matières constituantes mais aussi des mécanismes et comportements comme « flotter » ou se déplacer dans l'eau ainsi que leur possibles réactions au vent et autres forces externes. Le dernier cas de métaphores concerne les métonymies. Elles sont une figure de style appartenant à la classe des tropes qui consiste à remplacer, dans le cours d'une phrase, un substantif par un autre. Les types de métonymies sont les personnifications ou une substitution directe des objets. Ici, nous avons pris comme exemple la figure de « Président ». Le président est un personnage qui va convoquer une séquence de mécanismes abstraits tels que hiérarchie, pouvoir, entre autres. La différence est principalement que la figure de président n'est pas un concept abstrait puisqu'il peut être incarné par une personne ou personnage. Mais ce qui est abstrait serait plutôt les attributs du président. Nous pourrions donc utiliser ce type de correspondance pour des solutions de contraste et de position par rapport à d'autres objets par exemple.

## 6.1. ORGANIGRAMME DES MÉTAPHORES

---

Un autre exemple est celui de la figure d'ennemi qui peut servir à traduire une structure abstraite comme pour les logiciels malveillants ou d'autres situations indésirables.

## 6.1. ORGANIGRAMME DES MÉTAPHORES

---

## Chapitre 7

# L'expérience avec les utilisateurs

Dans ce chapitre, nous avons mis en place une méthode par laquelle nous mettons en évidence la capacité des briques de métaphores incarnées, à traduire ou faire émerger des outils à partir d'idées et intuitions. La puissance expressive de ce Framework ne peut être mesurée mais plutôt observée et raffinée au fur et à mesure que les futurs utilisateurs se l'approprient. Nous avons choisi d'entreprendre, en tant que méthode de recherche empirique, une situation de collaboration dans laquelle plusieurs acteurs dialoguent autour d'un but commun : celui d'amorcer un prototype d'interfaces pour applications multimédias avec l'appui, et à partir, des métaphores incarnées. Cette phase finale de la recherche procède alors à un contact direct avec les possibles utilisateurs cibles de ce Framework conceptuel. Nous allons décrire dans les prochaines pages le profil des interviewés (des utilisateurs que nous avons choisi pour présenter le Framework) ainsi que le procédé des entretiens que nous avons mis en place. Nous espérons en tirer des conclusions sur la valeur d'usage des métaphores incarnées en tant qu'outil de développement, qu'elles soient utilisées au moment conceptuel d'un projet, pour un recueil d'idée et d'insights, ou bien qu'elles soient implémentées en tant que brique logicielle dans des moteurs de développement.

### 7.1 Procédés d'entretien : isolés et en groupes

Les tendances contemporaines dans les méthodes empiriques de recherche mettent en avant la dichotomie entre une quantification de résultats à partir d'individus au détriment de la compréhension des qualités d'interactions entre acteurs dans une situation de col-

laboration réelle. Dans notre cas, cette situation est la création et le développement de logiciels multimédia interactifs. La routine de développement dans l'industrie des jeux vidéo est un exemple de ce dialogue constant entre acteurs de différents métiers. En prenant cette industrie en une échelle réduite, comme l'est l'expérience de production à l'ENJMIN, l'école française des jeux, nous pouvons constater que le succès d'une équipe de production de jeux et de nouveaux médias interactifs repose sur la diversité de compétences et de leur agencement. Des métiers hétérogènes comme celui d'artistes, musiciens, programmeurs, level designers ont nécessité une capacité de communication pour que leurs requêtes et l'implémentation de leur production soient concrétisées par les autres membres d'une équipe. Cette communication se fait souvent sous forme de concepts qui aident à surmonter le manque de vocabulaire technique entre métiers. Des notions abstraites comme les relations entre objets visuels, entre deux éléments 3D ou bien le comportement d'objets dans une animation en temps réel, voulu par un artiste, peuvent être implémentées techniquement de plusieurs manières différentes. Cependant, ces nuances de projet sont difficilement implémentées sans un langage de description commun aux communautés. La recherche des métaphores incarnées devient alors la mise en place d'un vocabulaire commun qui peut enrichir le produit final avec des éléments d'interface efficaces et capables de faire comprendre la mécanique de fonctionnement d'un système. Ce vocabulaire métaphorique peut améliorer le dialogue entre concepteurs dans la traduction de concepts en outils. Ces outils servent d'un côté pour la communication dans l'équipe, mais aussi en tant que briques de solutions pour l'adaptation d'interfaces entre plateformes, dispositifs et médias. Une palette de concepts peut ainsi servir aux designers, artistes, entre autres concepteurs, pour faire comprendre rapidement l'usage d'une interface ou des règles et mécanismes d'un jeu. Mais cette même palette pourrait leur servir aussi d'outil de communication et de travail sous la forme d'un kit de production ou Framework conceptuel généraliste.

## 7.2 Description du public cible

Le contexte que nous avons choisi pour engager cette expérience est un espace où nous avons pu trouver quatre types d'acteurs : le projet NAVE de l'institut Oi Futuro. Ce projet de lycée technique propose aux élèves, dans la moitié du temps disponible,

des cours d'art et technologie liés à la création de jeux vidéo. Des élèves de troisième, seconde et première suivent des cours de Game design, programmation et arts graphiques et cela durant les trois années de lycée. L'équipe de professeurs compte 3 ingénieurs de programmation qui enseignent la logique de la programmation, les langages C-sharp et Java ainsi que l'utilisation de ces langages dans les moteurs de jeux XNA et Unity. Pour ce qui est du Game design, l'équipe compte 2 designers ainsi que 2 autres enseignants pour la partie graphique tels que les images vectorielles et le modelage 3D. Nous avons profité de ce rapprochement entre les trois acteurs afin de stimuler leur créativité pour en tirer des conclusions sur l'efficacité des métaphores en tant qu'outil de développement et de communication. Nous avons choisi quatre types d'utilisateurs différents. Notre choix s'est basé sur le contexte cible de la thèse, c'est-à-dire les professionnels capables de mettre en place des projets d'innovation en interfaces graphiques, soit pour les jeux vidéo ou bien d'autres médias contemporains. Ces acteurs cibles sont :

- 1. Programmeurs seniors capables de décrire leur besoin et de comprendre l'enjeu de l'usage des métaphores pour leurs abstractions quotidiennes.
- 2. Designers d'interface qui travaillent directement avec des programmeurs et qui n'ont pas de moyens techniques pour implémenter des prototypes.
- 3. Enseignants de programmation ou instructeurs de programmes qui ont comme tâche de créer des correspondances entre le langage abstrait de la programmation et le langage quotidien des élèves.
- 4. Élèves de terminale qui commencent juste à comprendre les enjeux de la programmation et sont encore étrangers aux problématiques d'interaction homme-machine.

Les raisons pour lesquelles nous avons choisi cette diversité de public sont liées au fait que les professeurs ont une routine d'enseignement et ont même inconsciemment une routine de création de métaphores pour expliquer les systèmes abstraits aux élèves. Ils pourraient donc faire émerger des types de métaphores récurrentes venues de leur contexte d'enseignement. Ces enseignants ont aussi une activité de développement et de recherche. La construction de leur langage métaphorique peut donc venir de ces trois différents contextes et s'enrichir d'avantage. Nous pourrions donc affirmer qu'un vocabulaire comme celui que nous sommes en train de construire pourrait s'intégrer dans des contextes de recherche, le

développement et l'enseignement des moyens de production de logiciels et interfaces pour produits multimédia interactifs.

## 7.3 La méthode d'entretien

Les pratiques d'entretien de type Focus Group nous ont menées à élaborer un plan de la dynamique qui place le chercheur comme acteur de la situation. En plus de guider et de poser des questions susceptibles de révéler des informations, le chercheur participe en apportant de nouvelles informations qui aident ou motivent la situation par des nouveaux problèmes ou défis. L'objectif est alors de faire avancer la conscience des participants en ce qui concerne l'existence de solutions et obstacles à l'accomplissement d'un nouvel outil. Nous avons préparé une rencontre avec une sélection de métaphores présentées sous formes d'une grille à remplir. Chaque métaphore est représentée dans un des espaces de la grille. Nous interrogeons les utilisateurs, observons et guidons leur manière d'utiliser la solution pour la traduction d'un concept abstrait qui pourrait être proposée, par exemple, par un programmeur. Dans un autre sens, le programmeur s'exerce à expliquer des concepts dans un langage basé sur les métaphores présentées. Le but de l'expérience est de faire en sorte que le designer ou artiste puisse dialoguer autour des concepts proposées. Nous avons choisi une méthode d'entretien semi-directive qui consiste à préparer et structurer au préalable le déroulement de la séance, tout en laissant la parole libre aux acteurs. Dans le cas de cette expérience, leur opinion et intuition sont fondamentales. Ce déroulement pourrait alors s'adapter aux 4 types de situations :

1. Premier entretien en solo avec des programmeurs
2. Rencontres entre programmeurs et artistes
3. Rencontres entre enseignants et élèves (artistes ou programmeurs)
4. Élèves en solo.

Nous avons pourtant réservé un moment de dialogue entre designers et programmeurs dans l'esquisse d'un projet de création d'environnements 3d interactifs. Cette session de brainstorming a été balisée par nos questions sur l'usage des métaphores incarnées pour interfaces graphiques. Le but principal de cette expérience a été de promouvoir un moment

de création libre dont l'usage du vocabulaire métaphorique se ferait à partir de la grille proposée. Le matériel que nous avons présenté a servi pourtant de déclencheur d'idées en évoquant des correspondances simples pour donner des moyens naturels pour les professionnels de faire émerger des liens entre leur vision d'une interface innovante avec les métaphores listées sur la grille. Les acteurs de l'expérience ont proposé alors des concepts de leur quotidien de travail et, ensuite, ont pioché selon leur intuition et décrit en détail la traduction entre leur concept et leur choix dans la grille. A un autre moment, nous avons procédé à l'inverse, c'est-à-dire que nous avons mis à disposition les options de concepts métaphoriques, et, à partir d'eux, les programmeurs ou designers ont pu imaginer des concepts abstraits pour lesquels la métaphore choisie de la grille pouvait servir.

#### 7.3.1 Mise en place de l'entretien

L'échantillon a été sélectionné en fonction des objectifs de l'étude. Nous avons limité les rencontres à 10 entretiens. L'entretien est une interview semi-structurée sous forme d'un scénario qui permet de définir le déroulement de la séance. Il est reproductible entre chaque séance et permet d'articuler de façon organisée les différentes questions du débat en respectant le temps proposé préalablement. Le scénario s'adapte à l'intérieur de chaque entretien et au fur et à mesure du déroulement de l'étude si besoin. Notre guide d'entretien se compose d'une introduction avec présentation de l'étude. Il y a ensuite une présentation du modérateur ainsi qu'un résumé bref du thème de recherche. Une exposition claire des 'règles du jeu' est alors proposée pour rassurer les participants sur le caractère anonyme des données et en valorisant l'importance de la participation personnelle de chacun. Notre but est le recueil d'un éventail d'idées divergentes et non pas d'obtenir un consensus sur quel serait le bon ou mauvais choix. Nous essayons de poser une trame de questions ouvertes (ne pas pouvoir y répondre par oui ou par non), cohérentes, neutres (la question ne doit pas orienter la réponse), simples et faciles à comprendre. Les méthodes d'entretien de ce type, semi-directives, nous encourage à éviter le mot «Pourquoi» qui résulte en réponses généralisées et rationalisées plutôt que des réponses basées sur les expériences réelles et les intuitions spontanées des participants. Nous avons ainsi utilisé des formulations comme celles qui suivent :

- Comment cela se passe en pratique pour/quand ?
- Quelle est votre expérience personnelle concernant l'usage des métaphores ?
- Que pensez-vous personnellement de ce vocabulaire métaphorique ?
- Quelle est la place de ces concepts dans votre quotidien de travail et d'enseignement ?
- Quelles sont les circonstances/situations/raisons pour lesquelles vous pourriez utiliser l'un de ces termes ?
- Que représentent ces termes/concepts pour vous ?
- Quels sont les difficultés et obstacles pour l'enseignement de ces concepts de programmation que vous avez rencontrés personnellement ?
- Comment peut-on vous aider à mettre en place ces raccourcis conceptuels ?
- Quels seraient vos besoins, en tant que professeur ou chef d'équipe pour pouvoir utiliser ce Framework conceptuel ?

Les questionnements sont alors clairement posés afin de faciliter la compréhension. Un compte rendu final des discussions fut ensuite appliqué pour demander si les participants sont d'accord avec la synthèse et si rien n'a été oublié pour confirmer la validation par les participants. L'organisation logistique des groupes de discussion, ainsi que le lieu de réunion et les séances ont eu lieu sur site. Les discussions ont eu lieu autour d'une table pour stimuler la discussion entre les individus, sur un pied d'égalité. Un questionnaire quantitatif a aussi été mis en place pour recueillir les caractéristiques des participants tels que l'âge, sexe, catégorie socioprofessionnelle ainsi que d'autres caractéristiques ou questions objectives jugées importantes pour l'étude en question. Ce premier questionnaire a eu comme fonction de recueillir ces informations, mais aussi de briser la glace au premier abord. Nous profitons de ce moment pour expliquer le fait que l'on a choisi le candidat pour son profil et en quoi ce profil nous est utile. Cette première discussion introduit les questions relatives aux enjeux du langage qui vont être abordées plus en détails durant l'entretien. La deuxième page de l'entretien est relative à une activité ludique d'imagination et possiblement de notations de la part de l'interviewé. Durant cette phase, nous mettons le sujet à l'aise pour qu'il puisse parler de langage et de problèmes récurrents et dialogues ou scènes anecdotiques de traduction de concepts et finalement d'abstractions qui ont existé et sont reproduites dans leur quotidien. Nous voulons inciter les interviewés

à identifier quelques exemples et savoir à quel point ils les utilisent inconsciemment et si celles que je leur présente sont compatibles avec leur univers d'abstractions. La dernière étape est toujours un défi car il s'agit de suivre l'exemple de l'entretien et proposer de nouveaux exemples de métaphores. Ainsi l'entretien n'est ni entièrement ouvert, ni entièrement fermé. Nous disposons d'un certain nombre d'exemples et questions/thèmes guides, sur lesquels nous souhaitons que l'interviewé réponde. Toutes les questions ne sont pas posées forcément dans l'ordre ni sur une formulation exacte. Il y a davantage de liberté pour le chercheur mais aussi pour l'enquêté. Autant que possible, nous laissons l'interviewé choisir librement afin que celui-ci puisse parler ouvertement, avec les mots qu'il souhaite et dans l'ordre qui lui convient. Nous essayons de recentrer l'entretien sur les thèmes qui nous intéressent quand l'entretien s'en écarte, et de poser les questions auxquelles l'interviewé ne vient pas par lui-même. Les exemples de guidage sont : « d'abord parlez-nous de votre travail ». Le fait de parler en détail de leurs tâches ou de leurs missions nous fait identifier des représentations métaphoriques possibles qu'ils utilisent déjà. Une autre tâche de l'entretien consiste à leur faire penser à des contraintes de communication. « Y a-t-il des idées que vous devez transformer ou traduire pour parler à des collègues ? » Ensuite, comme principale dynamique de l'entretien, nous montrons les grilles avec les exemples de métaphores en demandant aux sujets si ces concepts ont du sens dans leur quotidien de travail. Ensuite nous leur demandons si l'une d'entre elles en particulier leur paraît une métaphore cohérente pour un concept fréquemment utilisé. En faisant cela, ils vont penser aussi à des métaphores similaires ou des traductions pour d'autres concepts. Dans ce cas, nous notons ces insights sur les espaces laissés à cet effet sur la grille. Dans un autre moment de l'interview, nous leur expliquerons le contenu en détail de chacune des grilles et nous leur demandons ensuite quelles pourraient être leurs possibles implémentations dans un logiciel. Nous demandons de nous aider à associer avec des possibles ensembles de comportement que nous rédigeons sur la carte. Finalement, nous leur expliquons précisément de quoi notre recherche s'agit en détails et d'où proviennent les métaphores et si elles pourraient leur servir pour leur travail dans d'autres occasions que celles proposées antérieurement. La deuxième dynamique consiste à mettre en relation les programmeurs seniors et les designers d'interfaces, dans le but qu'ils s'entraident à comprendre et ensuite

à proposer des utilisations pour ces métaphores. Nous expliquons et mettons le designer à l'aise avec la grille de métaphores et, ensuite, nous lui demandons de proposer des outils avec les métaphores. Nous avons observé comment les deux acteurs comprennent ensemble les collections de métaphores. Dans un autre cas particulier, nous proposons aux programmeurs qui ont déjà participé à l'entretien de participer activement à l'expérience en aidant un collègue durant l'interview en expliquant ce qu'il a compris et en jouant le jeu de manière plus intéressée. Dans un troisième moment, nous présentons les cartes aux professeurs de programmation et les instructeurs du moteur de jeu Unity, avec les mêmes démarches que celles proposées antérieurement aux programmeurs. Mais dans ce cas, nous leur demandons de choisir les métaphores qui pourraient mieux servir à expliquer des concepts abstraits aux élèves.

#### 7.3.2 Sélection de métaphores et confection de cartes

Nous allons dans cette partie décrire et expliquer notre choix de métaphores pour les dynamiques à réaliser. Notre choix a comme objectif celui de donner trois types de niveaux de compréhension des métaphores affichées. Ces trois types sont illustrés d'abord avec des exemples de métaphores récurrentes et faciles à identifier comme par exemple celle déjà utilisée de la poubelle. Le deuxième type serait des exemples faciles à expliquer par le modérateur. Enfin, le troisième type de métaphores serait celles dont le travail pour créer des possibles correspondances défie, dans une juste mesure, l'imagination de l'interviewé. Nous avons sélectionné des métaphores parmi celles listées dans le chapitre 1 sur le tableau (-). Nous avons choisi un échantillon suffisamment large pour offrir une diversité qui garantisse au moins quelques affinités possibles - mais pas trop large pour ne pas effrayer le sujet.

Nous avons vu dans le premier chapitre que les métaphores incarnées avaient été agencées selon 3 grandes catégories Métaphores structurelles (un concept utilisé pour en traduire un autre) Métaphores orientationnelles (concepts basés sur notre condition incarnée et culturelle) Métaphores ontologiques. (concepts basés sur notre relation aux substances et choses physiques) De ces trois types, nous n'avons retenu que les métaphores orientationnelles et ontologiques car les métaphores structurelles sont difficiles à cerner de premier

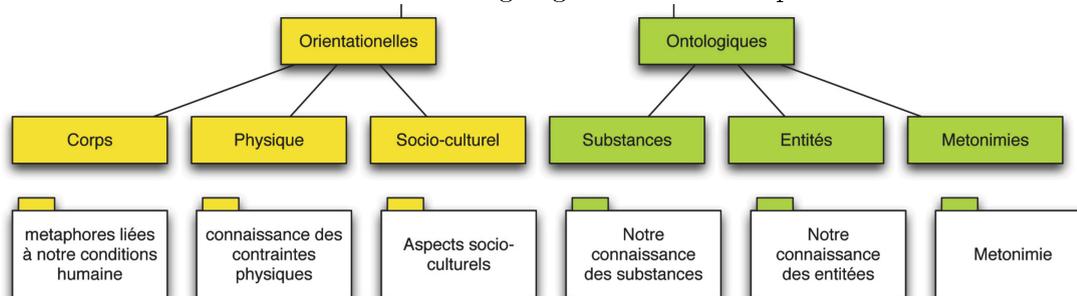
FIGURE 7.1 – Set de cartes qui représente les catégories de Lakoff johnson



abord des utilisateurs. Dans l'image ci-dessous, nous pouvons voir les sous-catégories que nous avons prises en compte pour cette première expérience. Ces catégories couvrent alors

une grande partie de notre problématique et servent de point de départ pour stimuler la créativité des interviewés.

FIGURE 7.2 – Résumé de l'organigramme des métaphores incarnées



La grille de cartes est divisée en 16 cartes distribuées en 4 colonnes et 4 lignes. La première ligne est constituée exclusivement de métaphores orientationnelles, la deuxième de métaphores ontologiques (notre relation aux objets et entités) la troisième de métaphores orientationnelles mais tournées vers des aspects culturels et sociaux. Et la dernière est constituée de métonymies. Ainsi, comme les organigrammes proposés dans les chapitres antérieurs, nous avons choisi de proposer un titre pour la carte avec un concept abstrait (ex. : vitesse) qui encapsule les métaphores sous-titrées (rapide, lent). Nous présentons les métaphores dans cet ordre et toute intuition ou proposition sera notée dans l'espace blanc des cartes. De cette façon, nous avons un moyen de garder les traces de l'entretien, mais aussi le fait de noter durant l'expérience sert de stratégie pour mener l'interviewé à mieux construire ces propositions

### 7.3.3 Premières expériences et conclusions

Pour la confection d'un entretien pilote, nous avons sollicité le temps d'un professeur de programmation et expert du moteur UNITY. Les premières approches aux cartes de la part de ce premier interviewé furent très superficielles. Par exemple, il a fait le rapprochement entre la métaphore « limites » et les bords de l'écran. A mesure qu'il découvrait les autres métaphores et, après mon insistance pour qu'il décrive plus en détail son activité et son quotidien de travail, il a fini par retrouver des exemples de métaphore qui faisaient du sens pour un langage plus abstrait et pour des correspondances plus utiles. En faisant un exercice spontané de différenciation des concepts de vitesse pour le comportement des

objets tels qu'une voiture de course, il a fini par proposer le terme « agressif ». Ce terme est une métaphore orientationnelles qui pourrait structurer plusieurs comportements à partir d'informations sensori-motrices notamment visuelles (couleur rouge, mouvements rapides et déterminés, rapprochements incessants et répétés). Cette métaphore pourrait tout à fait faire partie d'un ensemble de scripts pour animation par exemple. Je lui ai alors fait remarquer que ce terme est une bonne proposition et, à partir d'elle, il a commencé à en créer d'autres intéressantes et cohérentes mais qui parfois butaient sur des choix de la grille comme les concepts de friction ou de liquides. Nous nous sommes alors aperçus que l'activité la plus difficile à réaliser, de la part des interviewés était celle de trouver un concept abstrait pour lequel ils devraient trouver une traduction par les métaphores proposées. Nous sommes partis avec l'idée que ce dialogue démarrerait par leur proposition d'outil et de besoin à traduire. Nous avons fini par donner des exemples génériques pour que les interviewés puissent faire émerger leurs propres exemples. Nous avons commencé par proposer les concepts de hiérarchie ou bien des notions liées aux réseaux ou celle de sélection.

A la suite de l'entretien pilote, nous avons demandé si l'expérience pourrait servir à l'enseignant pour d'autres contextes. Il nous a expliqué que cela pourrait l'aider dans son actuel travail de master qui consiste à proposer de nouvelles façons de construire un document de briefing pour le développement de jeux. Selon son projet, il explique que ce type de document est long car exhaustif et il est souvent négligé par les développeurs. Une façon de le réduire et de le rendre plus accessible serait de condenser des ensembles de concepts, comportements et autres requis par les métaphores que je lui ai présentées comme une librairie conceptuelle. Dans un deuxième entretien, nous avons demandé à un designer de nous parler de son activité quotidienne. Cette personne est un designer formé depuis plusieurs années et qui s'occupe actuellement de la coordination des professeurs de design et arts pour les jeux. C'est un professeur plus âgé qui n'a pas eu de mal à comprendre de quoi je parlais au premier abord. Il s'est tout de suite pris au jeu et il a fait émerger de nouvelles métaphores très intéressantes. Mais de même que les autres, il a proposé d'abord des idées superficielles au sujet de la vitesse ou sur les limites. Ensuite, il a repris les concepts, non plus liés au développement de logiciels, mais plutôt à son rôle de coordination et motivateurs

de projets auprès des élèves. Il a donc fait des associations entre les termes de flexibilité et de chronogramme et ainsi sur l'élasticité des délais. À propos des limites, il a repris la métaphore de « bord » (limite) pour faire une correspondance avec la chaussée et la route où le caniveau serait la limite entre la sécurité et le danger de la rue. Avec les concepts de vitesse, il a proposé la métaphore de « rythme » et ensuite de « Bateau viking » pour la question de leadership et de travail en coopération. Et il a fait une mesure de déroulement de projets avec la métaphore de la timidité : un projet timide qui n'avance pas. Dans la troisième expérience, nous avons appelé un groupe pour faire l'essai d'un travail coopératif sur l'usage des métaphores. Nous avons choisi un programmeur et deux designers. Ils ont commencé par trouver difficile de proposer une abstraction et ont même suggéré de trouver une métaphore pour le terme "abstraction". Ils ont souligné que leur langage doit toujours s'adapter car l'efficacité d'une métaphore varie d'un élève à l'autre. Un premier exemple concluant a été celui de « movie clip » dans un logiciel d'édition vidéo. Les élèves ont souvent du mal à faire le rapport entre le fichier de vidéo et l'objet importé dans l'éditeur. Le programmeur a alors suggéré de penser à une explication plus simple et efficace pour le terme d'encapsulation. A partir de là, je lui ai expliqué la métaphore ontologique de "container" et lui ai dit qu'il pourrait creuser des idées auprès de ce genre de concept. Comme programmeur a ensuite proposé le besoin de métaphores visuelles pour l'organisation des lignes de code. Il existe déjà les notions de « indent » (espace qui détermine une hiérarchie visuelle dans les codes de programmation) mais il voulait que ce type de relation puisse être plus explicite. Les designers ont proposé d'utiliser de la couleur ou bien les notions de viscosité avec la pesanteur. Ainsi, les codes mal écrits tomberaient en une chute visqueuse. J'ai alors recentré sur les questions autour des moteurs de jeu. Ils ont apporté comme concept abstrait celui de gestion des collisions entre objets. L'un des interviewés voulait savoir comment expliquer qu'il existe plusieurs méthodes pour calculer si un sujet est en collision ou non avec une autre. Il a expliqué qu'on pouvait faire en sorte qu'un objet regarde tous les autres ou bien qu'un système externe regarde le tout et détermine si il y a eu collision ou pas. Les interviewés ont proposé alors le terme "densité" pour changer la façon de procéder à ces tests de collision, alors si la proximité est trop dense le système gère le tout sinon le test est réalisé par les individus. Ils ont aussi évoqué une grande partie des

métaphores pour la conception d'animations. Des idées liées aux métaphores de « matière » (poudre, boue, tendre) sont des concepts qui pourraient facilement encapsuler plusieurs types de ressources et de comportements pour animations temps réel. Les autres séries de tests avec les programmeurs et designers nous mènent à des enjeux communs qui retombent sur la difficile tâche de ne pas trop influencer leur spontanéité mais tenter de les guider pour que de nouvelles correspondances apparaissent naturellement. Nous avons recueilli des idées comme pour la gestion de keyframes dans une ligne du temps pour une animation en passant par la correspondance entre les séquences d'événements d'un loop d'un algorithme avec notre système digestif. Tous ces insights ont été notés et seront distribués visuellement pour des analyses futures.

#### 7.3.4 Ateliers avec les élèves

En complément aux démonstrations des outils que nous avons développés, nous avons mené de petits ateliers avec les élèves des classes techniques du collège Cicero Dias pour tenter de comprendre comment les utilisateurs pourraient s'approprier des différents ensembles de métaphores proposés dans le Framework conceptuel. Les élèves de la filière de graphisme étaient dans ce moment particulier de production des jeux vidéo basé sur un contact direct avec les programmeurs. Nous souhaitions qu'ils puissent tirer profit d'une liste de possibles métaphores pour proposer aux programmeurs des idées plus riches d'interface. Nous avons d'abord montré l'organigramme des concepts métaphoriques qui leur a semblé imprécis car il était dense et difficile à cerner. Nous avons alors réduit le nombre de concepts proposés en leur demandant de nous pointer une série de concepts qui leur pourraient faire sens dans leur projet. Ils ont fini par en lister un grand nombre sans trop de répercussion pratique sur leurs possibles implémentations. Dans une nouvelle stratégie, nous avons pris les mécanismes et interfaces qui avaient déjà été implémentés pour qu'ils essaient de les faire correspondre avec des concepts métaphoriques. Je leur ai fait remplir une liste d'objets du jeu tel que le sujet du jeu, les principales actions que le joueur devrait accomplir... Ce dernier exercice les a beaucoup motivés et les correspondances ont générés des nouvelles apparences graphiques et des améliorations possibles de leurs idées initiales. Voici à quoi ressemblaient l'un des modèles de questionnaires et grilles de choix

### 7.3. LA MÉTHODE D'ENTRETIEN

des concepts :

<b>Jogo:</b> Tema Principais ações Interatividade Personagem Cenário e objetos	<b>Restrições Corporais</b> Espacialidade Experiência sensorial <b>Direções</b> <input type="checkbox"/> Em cima <input type="checkbox"/> Embaixo <input type="checkbox"/> Frente <input type="checkbox"/> Atrás <input type="checkbox"/> Longe <input type="checkbox"/> Perto <input type="checkbox"/> Centro <b>Volume - Tamanho</b> <input type="checkbox"/> Grande <input type="checkbox"/> Pequeno <input type="checkbox"/> Encolher <input type="checkbox"/> Expandir <input type="checkbox"/> Reduzir <input type="checkbox"/> Empilhado <input type="checkbox"/> plana <input type="checkbox"/> alta - baixa	<b>Física ingênua</b> Naive physics Visual feedback <b>Gravidade</b> <input type="checkbox"/> Caldo <input type="checkbox"/> Voando <input type="checkbox"/> Pesado <input type="checkbox"/> Leve <input type="checkbox"/> Força <input type="checkbox"/> Atração <b>força centrífuga</b> <input type="checkbox"/> Direção <input type="checkbox"/> Tração <input type="checkbox"/> Puxar <input type="checkbox"/> Esticar. <b>Fricção</b> <input type="checkbox"/> Freio <input type="checkbox"/> Quente	<b>Aspectos Socio-culturais</b> Experiência Socio-Cultural <b>Pessoas</b> <input type="checkbox"/> Multidão <input type="checkbox"/> Procriação <input type="checkbox"/> Pânico <input type="checkbox"/> Personalidade <input type="checkbox"/> Tímido <input type="checkbox"/> Reverso <b>Sociedade</b> <input type="checkbox"/> Liberdade <input type="checkbox"/> Política <input type="checkbox"/> Funeral, <input type="checkbox"/> Guerra <input type="checkbox"/> Festa <input type="checkbox"/> Emprego, <input type="checkbox"/> Herança <input type="checkbox"/> Casamento	<b>Substâncias</b> Experiência com substâncias <b>Fluidos</b> <input type="checkbox"/> Viscosidade <input type="checkbox"/> Líquido <input type="checkbox"/> Fluir <input type="checkbox"/> Dissolver <input type="checkbox"/> Misturar <input type="checkbox"/> Derreter <b>Materiais</b> <input type="checkbox"/> Enferrujado <input type="checkbox"/> Madeira, <input type="checkbox"/> Duro <input type="checkbox"/> Molhado <input type="checkbox"/> Seco, <input type="checkbox"/> Peludo <b>Consistência</b>
---	---	--	---	---

FIGURE 7.3 – Formulaire à être utilisée par les élèves. Avec notamment les métaphores et des cases à cocher leurs choix)

Nous pensons que ces entretiens motivent les interviewés à réfléchir davantage sur des nouvelles manières de créer des interfaces. Ils nous ont suggéré de refaire les tests, après avoir travaillé sur leurs tâches quotidiennes, car ils feraient plus attention aux correspondances métaphoriques qui leur avaient échappé pendant l'expérience. Ainsi nous pensons que ces cartes ont un réel impact sur la créativité et la capacité à faire en sorte que les utilisateurs pensent autrement leur mode de créer, percevoir et enseigner les interfaces graphiques.

# Conclusion



## 7.4 Récapitulatif

Nous avons présenté dans cette thèse les bases d'un dialogue entre le modèle cognitif fondé sur notre recours aux métaphores conceptuelles éenactives (métaphores incarnées) et le développement de styles et techniques d'interaction pour interfaces graphiques en 3D. Dans le premier chapitre, nous avons décrit le modèle cognitif basé sur les métaphores tel qu'il a été structuré par Lakoff et Johnson. Ce modèle propose des correspondances métaphoriques entre des concepts abstraits et des modèles mentaux concrets provenant de notre expérience perceptive. Ces modèles mentaux proviennent en grande partie de notre quotidien perceptif et interactif avec le monde réel. Ce quotidien est la connaissance acquise à partir de notre perception et interaction avec la réalité physique, sociale et culturelle. Un exemple est l'association d'émotions comme la joie, et autres sentiments abstraits de caractère positif, avec notre orientation spatiale de haut ou de hauteur. Un autre exemple est le lien entre une structure abstraite à un goût ou une forme visuelle. Cette corrélation métaphorique entre les concepts abstraits et notre système perceptif et moteur, fait émerger le concept d'interfaces éenactives. La connaissance éenactive ou embodied est celle construite à partir du couplage action-perception et celle des modèles mentaux. Ce modèle de notre système cognitif se présente aujourd'hui comme un regard commun sur les projets émergents d'interfaces Homme-machine. Des projets tels que les interfaces tangibles, les systèmes de capture de gestes et d'autres solutions logicielles et matérielles multimodales se servent de notre aptitude à percevoir le monde pour créer des interfaces universellement appréhendables. Dans la seconde partie de la thèse nous avons expérimenté plusieurs métaphores inspirées de ce modèle comme base pour la création et la manipulation d'interfaces et d'environnements 3D. Nous avons vu comment les réalisations peuvent utiliser certaines capacités humaines pour mieux informer et traduire les commandes graphiques pour la réalisation de tâches dans des buts et contextes très variés. Nous avons alors ciblé les dispositifs multimédia pour le grand public et les stratégies pour la réussite de ces interfaces en tant qu'outil pédagogique pour les musées et expositions. Nous avons exploré de nouveaux moyens pour accéder à une base de données d'objets numérisés en 3D depuis les galeries du musée et de leur réserve. Il s'agit d'une interface graphique qui affiche les objets du musée comme des particules circulaires et, quand elles sont sélectionnés ou

mises en valeur, affichent l'objet numérisé 3D ainsi que les données référents à cet objet. Cette interface peut aussi envoyer à un serveur la sélection effectuée pour que l'utilisateur puisse profiter ultérieurement, chez soi, avec une mémoire de sa visite. Le système consiste en une plateforme de navigation construite à l'aide de l'environnement de développement Processing ([processing.org](http://processing.org)). La liaison entre l'interface et le musée s'appuie sur l'utilisation de cartes en papier. Les utilisateurs prennent des cartes auprès des vitrines des objets et les déposent sur une table munie d'un système de vision par ordinateur comportant une caméra qui identifie l'objet de la carte et suit les mouvements et gestes de l'utilisateur sur l'interface. Notre système promeut une façon simple et peu coûteuse d'interagir avec les éléments 3D sur l'écran. Le tout est orchestré visuellement selon des métaphores liées à des analogies aux fluides et particules électromagnétiques. Les cartes peuvent alors être prises en guise de souvenir de la visite des musées et devenir des clés d'entrée dans le site web qui reproduit en partie l'expérience du musée. Plusieurs tests informels ont eu lieu avec les coordinateurs du musée ainsi que des élèves du laboratoire et des professeurs. L'utilisation de cartes a été immédiatement appréhendée et la manipulation d'objets était évidente et naturelle. Cette recherche se base sur le corpus de recherche au sein de l'équipe ILJ (interaction lire et jouer) du laboratoire CEDRIC, sur les bibliothèques virtuelles et l'exploration des technologies graphiques. Cette exploration des solutions académiques liée à un état de l'art des solutions commerciales et des jeux vidéo d'interfaces 3D, dans des contextes aussi bien professionnels que grand public, nous ont permis de cerner les techniques et métaphores plus appropriées pour un usage occasionnel, aussi bien domestique que public. Cette analyse nous a permis de proposer une série de prototypes qui ont ensuite été testés. Dans la troisième partie de la thèse, nous avons synthétisé les correspondances métaphoriques proposées par Lakoff et Johnson et présenté les grands ensembles de ces métaphores (structurelles, orientationnelles ou ontologiques) de manière appliquée comme un Framework conceptuel. Cette structuration a donné lieu à une série d'entretiens et de petits ateliers d'usage de ce vocabulaire métaphorique comme source de dialogue entre les designers et programmeurs. Ces entretiens avaient comme but de valider la réelle efficacité du Framework conceptuel en tant qu'outil de prototypage et catalyseur d'idées innovantes.

### 7.5 Conclusions et perspectives

Nous pensons que la construction d'un dialogue entre la théorie et l'application des concepts d'énaction et d'embodied cognition peut contribuer à fournir du contenu de discussion pour un Framework conceptuel robuste capable d'alimenter la communauté des développeurs en solutions esthétiques, en idées innovantes et en composantes logicielles génériques et modulables. Elle permettrait de donner aux designers des outils accessibles, puissants, et cohérents avec le devenir des IHM. La suite de ce travail consisterait à implémenter une version fonctionnelle de l'API de composantes d'interactions. Nous avons produit des artefacts fonctionnels mais proposer des outils aux artistes et programmeurs un outil évolué est une suite naturelle à ce projet. Dans le chapitre 4 nous avons listé des correspondances susceptibles de faire partie de cette librairie. Ce travail doit être complété par une implantation et une évaluation de celle-ci. Notre but principal est de présenter le Framework conceptuel et de chercher à comprendre comment les artistes et programmeurs peuvent s'en approprier, d'abord en tant que vocabulaire de production et ensuite en tant que catégories et briques logicielles. Nous avons vu dans les entretiens qu'il est nécessaire de structurer davantage cette ontologie de métaphores et construire des étapes d'approche à cet outil. Un organigramme est utile pour apercevoir l'étendu des possibilités mais il est nécessaire de trouver une approche plus tournée vers des buts précis pour que l'utilisateur ne se perde dans ses choix et stratégies de création. Une des étapes essentielles dans les futurs travaux est donc celui de mieux observer les moyens des utilisateurs, s'en approprier des concepts de manière plus pratique et facile à noter et générer des idées avec une représentation semi-formelle comme des diagrammes UML ou des flowcharts. La place de ce Framework dans le workflow d'un projet est une question à laquelle on ne peut répondre qu'avec le temps et l'usage des différents déploiements de l'outil. Donc ce processus passe par une implantation prototype du Framework sous UNITY, par exemple. L'achèvement de cet ensemble de composantes doit se faire en parallèle avec la finalisation des prototypes du musée et du tunnel d'EDF RD. Cette itération enrichirait les composantes et les produits finalisés. Pour cela, les prototypes que nous avons développés doivent être soumis à des évaluations formelles et les résultats des évaluations nous montreront les concepts les plus utilisés et susceptible de devenir des composantes programmés. Nous souhaitons

aussi conclure les essais de la composante multi-contextuelle du kiosque multimédia, c'est à dire le fait de pouvoir garder les traces de l'expérience et les retransmettre à une interface web. Il serait important d'observer l'impact d'un changement de dispositif et de contexte et comment la consistance des métaphores incarnées pourrait être validée dans cette approche basée sur des techniques génériques et adaptables à tous dispositifs. Les entretiens que nous avons réalisés ont été faits avec des variations de méthodes qui ne nous permettent pas d'en tirer des conclusions spécifiques sur des moyens pour implémenter techniquement les composantes. Mais notre série d'entretiens nous a révélé que cette organisation des métaphores est une solution valide comme support de créativité et d'innovation. Ce travail d'évaluation doit être mieux formalisé et complété dans le cadre d'une étude complète du Framework

# Bibliographie

- Agarawala, A. & Balakrishnan, R. (2006). Keepin' it real : pushing the desktop metaphor with physics, piles and the pen. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in computing systems* (pp. 1283–1292). : ACM. 22, 80
- Alisi, T., Del Bimbo, A., & Valli, A. (2005). Natural interfaces to enhance visitors' experiences. *Multimedia, IEEE*, 12, 80–85. 80
- Almeida, R. (2009). *Contribution aux techniques pour enrichir l'espace moteur et l'espace visuel des dispositifs d'interaction bureautique*. PhD thesis, Conservatoire national des arts et metiers-CNAM. 22, 87, 88
- Almeida, R. & Cubaud, P. (2006). Supporting 3d window manipulation with a yawing mouse. In *Proceedings of the 4th Nordic conference on Human-computer interaction : changing roles* (pp. 477–480). : ACM. 90, 132
- Almeida, R., Pedro, A., Topol, A., & Cubaud, P. (2009). A visualization technique for quality control of massive digitization programs. In *Research and Advanced Technology for Digital Libraries* (pp. 150–155). : Springer. 80, 84
- Antle, A., Greg, C., & Droumeva, M. (2009). What the body knows : Exploring the benefits of embodied metaphors in hybrid physical digital environments. *Interacting with Computers*, 211–2, 66–75. 67
- Beaudouin-Lafon, M. (2000a). Ceci n'est pas un ordinateur. perspectives sur l'Interaction homme-machine. *TSI. Technique et science informatiques*, 19, 69–74. 67
- Beaudouin-Lafon, M. (2000b). Instrumental interaction : an interaction model for designing

## BIBLIOGRAPHIE

---

- post-WIMP user interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 446–453). 38, 67
- Behr, J., Jung, Y., Drevensek, T., & Aderhold, A. (2011). Dynamic and interactive aspects of X3DOM. In *Proceedings of the 16th International Conference on 3D Web Technology, Web3D '11* (pp. 81–87). : ACM. 74
- Blackwell, A. (2006). The reification of metaphor as a design tool. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 13(4), 490–530. 30, 43, 44, 45, 49, 50
- Bowman, D. A., Kruijff, E., LaViola Jr, J. J., & Poupyrev, I. (2004). *3D user interfaces : theory and practice*. Addison-Wesley. 22
- Calvary, G., Coutaz, J., Thevenin, D., Limbourg, Q., Bouillon, L., & Vanderdonckt, J. (2006). A unifying reference framework for multi-target user interfaces. *Interacting with Computers*, 15, 289–308. 67
- Card, S., Mackinlay, J., & Shneiderman, B. (1999). *Readings in information visualization : using vision to think*. Morgan Kaufmann. 83
- Card, S., Moran, T., & Newell, A. (1983). *The psychology of human-computer interaction*. Routledge. 48
- Card, S. K., Robertson, G. G., & York, W. (1996). The webbook and the web forager : an information workspace for the world-wide web. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 111–ff). : ACM. 22, 80
- Carroll, J. & Mack, R. (1999). Metaphor, computing systems, and active learning. *International Journal of Human-Computer Studies*, 51, 385–403. 45
- Carrozzino, M., Evangelista, C., Scucces, A., Tecchia, F., Tennirelli, G., & Bergamasco, M. (2008). The virtual museum of sculpture. In *Proceedings of the 3rd international conference on Digital Interactive Media in Entertainment and Arts* (pp. 100–106). : ACM. 74

## BIBLIOGRAPHIE

---

- Chapuis, O. & Roussel, N. (2005). Metisse is not a 3d desktop! In *Proceedings of the 18th annual ACM symposium on User interface software and technology* (pp. 13–22). : ACM. 80
- Chen, M., Mountford, S. J., & Sellen, A. (1988). A study in interactive 3-d rotation using 2-d control devices. In *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, volume 22 (pp. 121–129). : ACM. 81
- Cheng, K.-Y., Liang, R.-H., Chen, B.-Y., Laing, R.-H., & Kuo, S.-Y. (2010). icon : utilizing everyday objects as additional, auxiliary and instant tabletop controllers. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1155–1164). : ACM. 94
- Ciolfi, L. & Bannon, L. (2003). Learning from museum visits : Shaping design sensitivities. In *Proceedings of HCI International*, volume 1 (pp. 63–67). 114
- Cubaud, P., Thiria, C., & Topol, A. (1998). Experimenting a 3d interface for the access to a digital library. In *Proceedings of the third ACM conference on Digital libraries* (pp. 281–382). : ACM. 22, 81
- Damala, A., Cubaud, P., Bationo, A., Houlier, P., & Isabelle, M. (2008). Bridging the gap between the digital and the physical : design and evaluation of a mobile augmented reality guide for the museum visit. In *Proceedings of the 3rd international conference on Digital Interactive Media in Entertainment and Arts* (pp. 120–127). New York, NY, USA : ACM. 102
- Dix, A. (2004). *Human computer interaction*. Pearson Education. 46
- Dortier, J.-F., Ed. (2011a). *Le cerveau et la pensée : Le nouvel âge des sciences cognitives*. Sciences Humaines. 15, 35, 37, 38, 39, 41
- Dortier, J.-F., Ed. (2011b). *Les modèles des sciences cognitives*, (pp. 31–34). Sciences Humaines. 39
- Dufresne, C. (1996). *Réexaminer l'apprentissage du visiteur pour améliorer sa relation avec l'objet muséal*. Technical report, ICOM/CECA. 103

## BIBLIOGRAPHIE

---

- Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science education*, 75(6), 649–672. 15, 45, 47
- Engelbart, D. (1968). *Conceptual Framework for the Augmentation of Man's Intellect*. Technical report, SRI Project. 45
- Fekete, J.-D. & Plaisant, C. (2002). Interactive information visualization of a million items. In *Information Visualization, 2002. INFOVIS 2002. IEEE Symposium on* (pp. 117–124). : IEEE. 84
- Ferriot, D. (1992). *The role of the object in technical museum : the Conservatoire National d'Arts et Métier*, (pp. 79 – 80). London Science Museum. 109
- Foundation, L. (2011). What is logo ? 49
- Gallo, L. & Pietro, G. (2009). *Input Devices and Interaction Techniques for VR-Enhanced Medicine*, (pp. 115–134). Springer US. 22
- Gammon, B. (1999). Visitors' use of computer exhibits : Findings from 5 grueling years of watching visitors getting it wrong. *Informal Learning*, 38(p1), 10–13. 116
- Gaver, W. W. (1991). Technology affordances. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 79–84). : ACM. 15, 56, 57
- Gibson, J. (1950). *The perception of the visual world*. Houghton Mifflin. 58
- Gibson, J. (1966). *The senses considered as perceptual systems*. Houghton Mifflin. 54, 55
- Gibson, J. (1977). *The theory of affordances*, (pp. 67–82). Lawrence Erlbaum Associates. 55
- Gibson, J. (1986). *The Ecological Approach To Visual Perception*. Psychology Press, 2 edition. 55, 59
- Giordan, A. & Platteaux, H. (1996). Le multimédia va-t-il remplacer l'école. In *Colloque National Le multimédia dans l'Education, les enjeux d'une mutation culturelle*. 104, 106

## BIBLIOGRAPHIE

---

- Glueck, M., Anderson, S., & Khan, A. (2010). Deskcube : using physical zones to select and control combinations of 3d navigation operations. In *Proceedings of the 2010 Spring Simulation Multiconference* (pp. 200). : Society for Computer Simulation International. 16, 89
- Gombrich, E. (1982). *Histoire de l'art*. Gallimard. 69
- Grasset, R., Looser, J., & Billinghurst, M. (2006). Transitional interface : concept, issues and framework. In *Mixed and Augmented Reality, 2006. ISMAR 2006. IEEE/ACM International Symposium on* (pp. 231–232). : IEEE. 67
- Hawkey, R. (2004). *Learning with digital technologies in museums, science centres and galleries*. Technical Report 9, NESTA Futurelab. 102, 113
- Hils, D. D. (1992). Visual languages and computing survey : Data flow visual programming languages. *Journal of Visual Languages & Computing*, 3(1), 69–101. 27
- Hinckley, K., Pausch, R., Downs, J. H., Proffitt, D., & Kassell, N. F. (1997). The props-based interface for neurosurgical visualization. *Studies in health technology and informatics*, 39, 552–564. 16, 90
- Hornecker, E. (2008). “i don’t understand it either, but it is cool”-visitor interactions with a multi-touch table in a museum. In *Horizontal Interactive Human Computer Systems, 2008. TABLETOP 2008. 3rd IEEE International Workshop on* (pp. 113–120). : IEEE. 113
- Hornecker, E. & Buur, J. (2006). Getting a grip on tangible interaction : a framework on physical space and social interaction. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in computing systems* (pp. 437–446). : ACM. 67, 87, 115
- Hornecker, E. & Stifter, M. (2006a). Digital backpacking in the museum with a smartcard. In *Proceedings of the 7th ACM SIGCHI New Zealand chapter’s international conference on Computer-human interaction : design centered HCI* (pp. 99–107). : ACM. 22
- Hornecker, E. & Stifter, M. (2006b). Learning from interactive museum installations about interaction design for public settings. *Proceedings of the 18th Australia conference on*

- Computer-Human Interaction : Design : Activities, Artefacts and Environments*, (pp. 135–142). 102, 114, 115, 118
- Ishii, H. (2008). Tangible bits : beyond pixels. In *Proceedings of the 2nd international conference on Tangible and embedded interaction* (pp. xv–xxv). : ACM. 68
- Ishii, H. & Ullmer, B. (1997). Tangible bits : towards seamless interfaces between people, bits and atoms. In *Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human factors in computing systems* (pp. 234–241). : ACM. 86
- J., V. (1998). Entretien avec francisco j. varela par hervé kempf. *La recherche*, 308, 109–112. 45
- Jacob, R. J., Girouard, A., Hirshfield, L. M., Horn, M. S., Shaer, O., Solovey, E. T., & Zigelbaum, J. (2008). Reality-based interaction : a framework for post-wimp interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 201–210). : ACM. 67
- Johnson, B. & Shneiderman, B. (1991). Tree-maps : A space-filling approach to the visualization of hierarchical information structures. In *Visualization, 1991. Visualization'91, Proceedings., IEEE Conference on* (pp. 284–291). : IEEE. 16, 84, 85, 165
- Johnson, J., Roberts, T. L., Verplank, W., Smith, D. C., Irby, C. H., Beard, M., & Mackey, K. (1989). The xerox star : A retrospective. *Computer*, 22(9), 11–26. 15, 23
- Johnson, T. E. (1963). Sketchpad iii : a computer program for drawing in three dimensions. In *Proceedings of the May 21-23, 1963, spring joint computer conference* (pp. 347–353). : ACM. 74
- Jorda, S., Kaltenbrunner, M., Geiger, G., & Bencina, R. (2005). The reactable\*. In *Proceedings of the international computer music conference (ICMC 2005), Barcelona, Spain* (pp. 579–582). 16, 24, 93
- Kay, A. & Goldberg, A. (1977). Personal dynamic media. *Computer*, 10(3), 31–41. 49
- Kay, A. C. (1996). The early history of smalltalk. In *History of programming languages—II* (pp. 511–598). : ACM. 27

## BIBLIOGRAPHIE

---

- Khan, A., Mordatch, I., Fitzmaurice, G., Matejka, J., & Kurtenbach, G. (2008). Viewcube : a 3d orientation indicator and controller. In *Proceedings of the 2008 symposium on Interactive 3D graphics and games* (pp. 17–25). : ACM. 16, 88
- Kock, N. (2008). E-collaboration and e-commerce in virtual worlds : The potential of second life and world of warcraft. *International Journal of e-Collaboration (IJeC)*, 4(3), 1–13. 22
- Krueger, M. W., Gionfriddo, T., & Hinrichsen, K. (1985). Videoplace—an artificial reality. In *ACM SIGCHI Bulletin*, volume 16 (pp. 35–40). : ACM. 16, 77
- Kulik, A., Hochstrate, J., Kunert, A., & Froehlich, B. (2009). The influence of input device characteristics on spatial perception in desktop-based 3d applications. In *3D User Interfaces, 2009. 3DUI 2009. IEEE Symposium on* (pp. 59–66). : IEEE. 22
- Lakoff, G. (1993). *The contemporary theory of metaphor*, volume 2, (pp. 202–251). Andrew Ortony, 2 edition. 33, 51
- Lakoff, G. & Johnson, M. (2003). *Metaphors We Live By*. University Of Chicago Press, 2nd edition. 23, 30, 43, 51
- Laugier, C., Mendoza, C., & Sundaraj, K. (2003). *Towards a Realistic Medical Simulator using Virtual Environments and Haptic Interaction*, volume 6 of *Springer Tracts in Advanced Robotics*, (pp. 289–306). Springer Berlin / Heidelberg. 10.1007/3-540-36460-9\_19. 22
- Lee, J. (2007). Wiimote projects. URL : <http://www.cs.cmu.edu/johnny/projects/wii>. 16, 91, 92
- Lee, J. C. (2008). Hacking the nintendo wii remote. *Pervasive Computing, IEEE*, 7(3), 39–45. 16, 91, 92
- Mackinlay, J. D., Robertson, G. G., & Card, S. K. (1991). The perspective wall : Detail and context smoothly integrated. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 173–176). : ACM. 80

- Maeda, J. (2009). *De la simplicité*. Payot. 62
- Malone, T. W. (1983). How do people organize their desks ? : Implications for the design of office information systems. *ACM Transactions on Information Systems*, 1, 99–112. 37
- Manders, C., Farbiz, F., Heng, C. J., & Yin, T. K. (2007). A 3d interactive kiosk system. In *Proceedings of the 5th international conference on Computer graphics, virtual reality, visualisation and interaction in Africa* (pp. 47–52). : ACM. 15, 74
- Mark, W. (1999). The origins of ubiquitous computing research at PARC in the late 1980s. *IBM Systems Journal*, 38, 693–696. 67, 95, 96
- Natkin, S. & Yan, C. (2006). User model in multiplayer mixed reality entertainment applications. In *Proceedings of the 2006 ACM SIGCHI international conference on Advances in computer entertainment technology* (pp. 85). : ACM. 96
- Neale, D., Carroll, J., Helander, M., Landauer, T., & Prabhu, P. (1997). *The role of metaphors in user interface design*, (pp. 441–462). Elsevier Science, 2 edition. 47
- Nigay, L. (1994). *Conception et modélisation logicielles des systèmes interactifs : application aux interfaces multimodales*. PhD thesis, Université Joseph-Fourier-Grenoble I. 97
- Norman, D. (1999). Affordance, conventions, and design. *interactions*, 6, 38–43. 35, 56
- Norman, D. (2004). *Emotional Design*. Basic Books. 58
- Ossmann, R. (2004). *Jeux vidéo et médias du XXIe siècle : Quels modèles pour les nouveaux loisirs numériques ?* Vuibert. 21, 67, 75, 96, 97, 112, 113
- Rekimoto, J. & Green, M. (1993). The information cube : Using transparency in 3d information visualization. In *Proceedings of the Third Annual Workshop on Information Technologies & Systems (WITS'93)* (pp. 125–132). 16, 80, 85, 86
- Rekimoto, J. & Sciammarella, E. (2000). Toolstone : effective use of the physical manipulation vocabularies of input devices. In *Proceedings of the 13th annual ACM symposium on User interface software and technology* (pp. 109–117). : ACM. 89

## BIBLIOGRAPHIE

---

- Richelle, M., Requin, J., & Robert, M., Eds. (1994a). *Mécanismes généraux de la perception*, volume 1, (pp. 161–215 (171)). Presses Universitaires de France. 15, 30, 42, 56, 57, 58
- Richelle, M., Requin, J., Robert, M., & Schyns, P. G. (1994b). *Psychologie de synthèse, intelligence naturelle, intelligence artificielle*, volume 2, (pp. 575). Presses universitaires de France. 42
- Robertson, G., Mackinlay, J., & Card, S. (1991). Cone trees : animated 3D visualizations of hierarchical information. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, CHI '91 (pp. 189–194). : ACM. 80
- Robertson, G., Van Dantzich, M., Robbins, D., Czerwinski, M., Hinckley, K., Risdén, K., Thiel, D., & Gorokhovskiy, V. (2000). The task gallery : a 3d window manager. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 494–501). : ACM. 80
- Sambe, Y. (2009). Japan's arcade games and their technology. In *Entertainment Computing-ICEC 2009* (pp. 338–338). Springer. 112
- Shneiderman, B. (1996). The eyes have it : A task by data type taxonomy for information visualizations. In *Visual Languages, 1996. Proceedings., IEEE Symposium on* (pp. 336–343). : IEEE. 62, 63, 64
- Shoemaker, K. (1992). Arcball : a user interface for specifying three-dimensional orientation using a mouse. In *Graphics Interface*, volume 92 (pp. 151–156). 16, 81, 91, 154
- Simatic, M., Astic, I., Aunis, C., Gentes, A., Guyot-Mbodji, A., Jutant, C., & Zaza, E. (2009). “plug : Secrets of the museum” : A pervasive game taking place in a museum. In *Entertainment Computing-ICEC 2009* (pp. 302–303). Springer. 105
- Sons, K., Klein, F., Rubinstein, D., Byelozorov, S., & Slusallek, P. (2010). Xml3d : interactive 3d graphics for the web. In *Proceedings of the 15th International Conference on Web 3D Technology* (pp. 175–184). : ACM. 74
- Stewart, J., Gapenne, O., & Di Paolo, E. A. (2010). *Enaction : toward a new paradigm for cognitive science*. The MIT Press. 42

- Sutherland, I. E. (1964). Sketch pad a man-machine graphical communication system. In *Proceedings of the SHARE design automation workshop* (pp. 6–329). : ACM. 74
- Thierry, D. (1993). La borne interactive multimédia : une nouvelle technologie de distribution de l'information? *Technologies de l'information et société (TIS)*, 5(4), 412. 112
- Topol, A. (2002). Interaction 3d pour les paysages informationnels. *Conservatoire nat. des Arts et métiers PhD thesis*. 22, 30, 62, 81, 146
- Topol Alexandre, A. P. & Boris, G. (2009). Une médiathèque virtuelle physique. In *Patrimoine 3.0 : actes du douzième Colloque international sur le document électronique (CIDE 12)*. 82
- Warburton, S. (2009). Second life in higher education : Assessing the potential for and the barriers to deploying virtual worlds in learning and teaching. *British Journal of Educational Technology*, 40, 414–426. 22
- Wien, M. (2013). Vienna technical museum - media.worlds. 118



**Résumé :**

Nous présentons dans cette thèse les bases d'un dialogue entre le modèle cognitif dit 'incarné' et le développement de styles et techniques d'interaction pour les interfaces graphiques en 3 dimensions. Ce modèle cognitif, structuré entre autres par Lakoff et Johnson, décrit les correspondances métaphoriques que nous construisons naturellement entre des idées abstraites et les modèles mentaux provenant de notre expérience perceptive. Ce modèle met en évidence le rôle de ces corrélations en tant que source de compréhension et d'action et a fait émerger le concept d'interfaces énactives. Aujourd'hui elles se présentent comme un regard commun sur les projets émergents d'interfaces homme-machine. Des projets, tels que les interfaces tangibles, les systèmes de capture de gestes et d'autres solutions logicielles et matérielles multimodales, se servent de notre aptitude à structurer métaphoriquement l'information produite par notre action sur le monde, pour créer des interfaces universellement appréhendables. Nous avons illustré l'application de ce modèle sur des projets d'interfaces graphiques pour la réalisation de tâches dans des contextes hétérogènes. Nous avons ciblé les dispositifs multimédia pour le grand public et les stratégies pour la réussite de ces interfaces en tant qu'outil pédagogique pour les musées, expositions et outils de travail collaboratifs. Finalement nous synthétisons les relations entre les ensembles de métaphores pour les appliquer aux composantes d'interaction. La structure résultante se présente sous forme d'un Framework conceptuel d'agents et styles d'interaction qui peut servir en tant qu'outil de prototypage mais aussi comme catalyseur pour la conception d'interfaces innovantes.

**Mots clés :**

Interfaces Homme-machine, métaphores incarnées.

**Abstract**

Embodied cognition has emerged over the last decades as a new paradigm of the human reasoning system. Large numbers of researchers agree on the influences of perceptual and motor activity on our thinking and representational mechanisms. The importance of embodied mind theory is growing in the field of cognitive science. It is now the conceptual support for innovative projects in human computer interaction (HCI) which seek to increase the meaning of new commands and representations of post-wimp interaction techniques and to build coherent and consistent metaphors between different platforms and embedded devices in our environment. We illustrate this model by analyzing several tasks carried out in heterogeneous environments as museums exhibitions and collaboration tools. Finally, we analyse how embodied metaphors can be used as a design strategy to produce innovative software and multimedia devices with the framework that synthesizes the embodied metaphorical mappings in a large set of components which will be applied as building blocks when prototyping interaction techniques. This structure takes the form of a conceptual Framework of interaction agents which might serve not only as a tool for prototyping interfaces but also as a catalyst for generating innovative ideas.

**Keywords :**

Human-computer Interaction, embodied metaphors