



HAL
open science

Enaction, interaction multisensorielle : théorie, technologie et expériences pour les arts numériques

Maria Christou

► **To cite this version:**

Maria Christou. Enaction, interaction multisensorielle : théorie, technologie et expériences pour les arts numériques. Interface homme-machine [cs.HC]. Université de Grenoble, 2014. Français. NNT : . tel-01282108

HAL Id: tel-01282108

<https://hal.science/tel-01282108>

Submitted on 3 Mar 2016

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.

UNIVERSITE DE GRENOBLE

THESE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE GRENOBLE

Spécialité : **Ingénierie de la Cognition, de l'Interaction, de l'Apprentissage et de la
Création**

Arrêté ministériel : 7 août 2006

Présentée par

Maria CHRISTOU

Thèse dirigée par **Claude CADOZ**

codirigée par **Annie LUCIANI**

préparée au sein du **Laboratoire Ingénierie pour la Création Artistique**
dans l'Ecole doctorale **Ingénierie pour la Santé, la Cognition et l'Environnement**

**Enaction, interaction multisensorielle : théorie, technologie et
expériences pour les arts numériques**

Thèse soutenue publiquement le **16 octobre 2014**, devant le jury composé de :

Pr. Iannis Zannos

Professeur, Ionian University, Greece, Rapporteur

Pr. Marcelo Wanderley

Professeur, MacGill University, Canada, Rapporteur

Dr. Claude Cadoz

Ingénieur de recherche, HDR, Directeur de thèse

Dr. Annie Luciani

Ingénieur de recherche, Co-Directrice de thèse

Université Joseph Fourier / Université de Pierre Mendès France / Université Stendhal /
Université de Savoie / Grenoble INP

Table des matières

RESUME	5
CHAPITRE I :	8
INTRODUCTION	8
1. CONTEXTE	9
2. PROBLEMATIQUE.....	10
3. COMMENT NOUS AVONS APPROCHE LE PROBLEME	11
4. STRUCTURE DU DOCUMENT	12
CHAPITRE II :	14
SIMULATION ET COGNITION	14
1. DE LA SITUATION REELLE A LA SITUATION VIRTUELLE	15
1.1. <i>Du Computationalisme à la cognition incarnée</i>	15
1.2. <i>L'Enaction</i>	16
1.3. <i>Le décadrage numérique</i>	17
1.4. <i>L'embodiment et le corps</i>	19
1.5. <i>Le paradigme instrumental</i>	21
2. L'EMBODIMENT DANS LES ARTS NUMERIQUES	23
2.1. <i>Exemples d'œuvres artistiques</i>	23
2.2. <i>L'interface technologique dans les arts numériques</i>	25
CHAPITRE III :	26
METHODOLOGIE POUR EXPLORER L'EMBODIMENT	26
1. INTRODUCTION	27
1.1. <i>Pourquoi une méthode d'évaluation qualitative</i>	27
1.2. <i>Les défis de la démarche qualitative</i>	28
2. DEUX APPROCHES ENACTIVES	30
2.1. <i>La description subjective d'expérience</i>	30
2.2. <i>L'observation récurrente</i>	30
3. NOTRE APPROCHE PAR QUATRE ELEMENTS D'ANALYSE	31
3.1. <i>Cohérence</i>	32
3.2. <i>Immersion</i>	33
3.3. <i>Action</i>	33
3.4. <i>Evocation</i>	34
CHAPITRE IV : ETUDE SUR LES PIECES DES JOURNEES D'INFORMATIQUE MUSICALE - JIM	
2009.....	36
1. INTRODUCTION	37
2. L'EXPERIENCE	37

3. PROTOCOLE	42
4. RESULTATS	44
4.1. Indices quantitatifs.....	44
4.2. Résultats qualitatifs.....	46
5. DISCUSSION.....	50
i. Evocation - Cohérence.....	51
ii. Cohérence - Immersion.....	51
iii. Immersion - Action.....	51
iv. Action - Evocation	51
6. CONCLUSION	52
CHAPITRE V :.....	53
ETUDE DE L'EXPERIENCE INTERACTIVE "GESTE REEL SUR MATIERE SIMULEE"	53
1 INTRODUCTION	54
2 L'EXPERIENCE.....	54
3. PROTOCOLE	56
4. DONNEES	57
5. METHODOLOGIE D'ANALYSE	58
6. ANALYSES.....	63
6.1. La scène « Boite de cailloux - Pebble Box»	63
6.2. La scène « Approche – retrait ».....	82
6.3. La scène « Friction »	107
7. CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	128
CHAPITRE VI :.....	131
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	131
REFERENCES	134
ANNEXE I: LES ELEMENTS SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES DU LABORATOIRE ACROE-ICA UTILISES POUR CES TRAVAUX	142
ANNEXE II: LES PARAMETRES DES MODELES UTILISES DANS LE « GESTE REEL SUR MATIERE SIMULEE ».....	144
ANNEXE III : LA PRESENTATION DES ARTISTES DE JIM'09	147
ANNEXE IV :.....	148
COLLABORATION SON-IMAGE AVEC LES LOGICIELS GENESIS ET MIMESIS	148

Résumé

Cette recherche est une recherche interdisciplinaire qui se situe à l'intersection des sciences cognitives, de l'informatique et des arts. Nous y traitons de questions relatives à la perception et compréhension d'une expérience artistique dans le contexte des technologies numériques. Nous considérons en effet l'ordinateur comme un outil puissant de création et nous nous posons la question du comment son rôle peut être fonctionnellement introduit dans les arts numériques.

Une des clés de la réponse à cette question se situe, à notre sens, dans la notion d'incorporation (*embodiment*, en anglais). Il s'agit d'un aspect de la perception et de la cognition humaine que nous ne pouvons pas approcher de façon directe, car il s'agit d'un processus émergent qui se construit avec l'action. Dans cette thèse, nous avons fait émerger quatre critères pour qualifier puis tenter d'évaluer les processus d'incorporation en situation créative, soit de réception soit de réception et d'action. Ces critères sont : (1) la cohérence des retours sensoriels proposée par le système technologique, par exemple la cohérence entre le son et l'image ou entre le son, le geste et l'image, (2) la nature de l'action telle que perçue ou effectuée, (3) la sensation d'immersion cognitive des participants et (4) le potentiel évocateur de la situation sensori-motrice proposée à la perception et/ou à l'action.

Afin de pouvoir aborder ce sujet complexe, nous avons mis en œuvre une méthode qualitative pour l'analyse d'expériences multisensorielles et interactives. Des entretiens ouverts nous ont permis de récolter un corpus de données sous forme d'enregistrements audiovisuels et de textes transcrits de ces entretiens. Un des objectifs de ces entretiens est de favoriser l'expressivité du sujet sur la manière dont il a vécu la situation en amont, voire au-delà, d'un quelconque jugement esthétique.

Cette méthode a été utilisée dans de deux types de situations. Dans la première situation, nous avons mené des entretiens avec des spectateurs ayant participé à un concert effectué dans le cadre des Journées d'Informatique Musicale à Grenoble. Pour cela, nous avons choisi sept pièces audiovisuelles d'auteurs différents, qui étaient soit des œuvres jouées sur scène, soit des œuvres enregistrées. L'expérience a consisté à rediffuser ces pièces deux mois après le concert en invitant les spectateurs à se replonger dans la situation et à recueillir leurs discours. Le deuxième cas comporte des entretiens réalisés avec des participants d'une œuvre interactive audio-visio-haptique intitulée « Geste réel sur matière simulée » installée à l'Ecole Européenne Supérieure de l'Image (EESI) à Poitiers. Cette installation a été conçue dans le cadre du projet Créativité Instrumentale pour étudier les transformations du processus de création induit par les technologies de la simulation interactive numérique. Elle se décline en trois scènes de simulation multisensorielle réalisées par modèle physique permettant l'interaction instrumentale. Les entretiens avaient lieu pendant et après l'expérience.

L'analyse des enregistrements et des discours recueillis, nous a permis de mettre en évidence, dans le contexte de la production et de la réception d'œuvres artistiques, la

relation entre l'outil technologique et l'homme. Dans cette thèse, nous proposons un cadre théorique composé de quatre éléments : Cohérence, Immersion, Action et Evocation, à l'aide desquels nous avons pu analyser des discours des sujets confrontés à des situations multisensorielles numériques actives et ainsi cerner l'*embodiment* dans telles situations. En effet, quand une œuvre artistique emploie plusieurs modalités sensorielles, nous avons besoin de l'élément de cohérence objective entre ces modalités pour analyser la situation. Face à la virtualité de la situation, par laquelle les sujets peuvent être confrontés à des situations non encore vécues, Les éléments d'immersion et d'évocation sont, quant à eux, appropriés pour expliquer les sentiments de « faire un » avec la scène et du sentiment de comprendre la scène grâce aux souvenirs qu'elle évoque. Enfin, concernant l'aspect performatif et/ou interactif, pouvoir analyser l'action perçue et/ou effectuée est aussi crucial. L'usage de ces quatre éléments dans l'analyse des discours nous a permis de mettre en évidence une multitude de liaisons entre eux qui se déclinent selon les paramètres des scènes virtuelles. Différents mécanismes de compréhension de ces scènes se mettent en place selon la manière dont les sensorialités sont stimulées et nos analyses nous ont permis de qualifier comment le visuel, l'audio et l'haptique pris séparément ou réunis permettent d'appréhender des différentes dimensions de la scène dans sa complexité.

Chapitre I :

Introduction

1. CONTEXTE	9
2. PROBLEMATIQUE.....	10
3. COMMENT NOUS AVONS APPROCHE LE PROBLEME	11
4. STRUCTURE DU DOCUMENT	12

1. Contexte

Les travaux présentés dans ce manuscrit ont été effectués au Laboratoire ICA¹/ACROE². Ce sont deux institutions associées visant une jonction entre les arts, les sciences et les technologies. Leur champ de recherche concerne tout le domaine des Réalités Virtuelles, et principalement les applications dans l'informatique musicale, les arts visuels numériques, la création artistique et les systèmes temps réel à retour d'effort.

Dans ce cadre, nous nous sommes intéressés à explorer les changements qu'apportent ces nouvelles technologies dans la manière de percevoir et d'agir dans le contexte d'une expérience artistique. Pour cela, nous partons du constat que dans les arts et plus précisément dans les arts numériques, l'utilisation des technologies numériques introduit des tensions dues au processus computationnel {deLahunta 2001}, {Dixon 2007}, {Salter 2010}.

En effet, l'application des technologies numériques dans le cadre des arts comme la danse, la musique et le théâtre, les fait sortir du contexte habituel de l'usage scientifique d'interaction homme – machine. Dans un premier temps, lors des travaux effectués au cours du stage de master de recherche Art-Science-Technologie effectué au sein du même établissement, nous avons exploré le dipôle système numérique – agent humain dans le cadre de spectacles chorégraphiques du côté de la conception du système et selon le type de situation artistique {Christou et al. 2010}, {Christou et al. 2011}: Interaction danseur – dispositif scénique, Interaction danseur – chorégraphe, Interaction public – danseur – chorégraphe – dispositif scénique. Ensuite, lors de cette thèse, nous avons continué l'analyse de ce dipôle, cette fois-ci avec une approche centrée sur l'influence des caractéristiques du système numérique sur la perception et l'action humaine. Nous explorons donc la façon dont l'humain s'approprie l'outil numérique, la manière dont il appréhende le monde simulé selon les propriétés de cet outil, et comment se construit ses représentations à partir de cette interaction.

Dans les travaux effectués dans cette thèse, l'analyse sur la construction des représentations du sujet lors d'une expérience artistique, est basée sur les théories philosophiques de l'Enaction et de l'Embodiment³ (ou incorporation). Ces théories postulent que la cognition se construit dans l'action. La question est alors comment évaluer l'interaction entre le sujet percevant et/ou agissant et l'œuvre artistique. En effet, il n'existe pas d'échelle pour quantifier ou qualifier le niveau d'incorporation, ni des travaux d'analyse

¹ Ingénierie de la Création Artistique. Laboratoire de Recherche de Grenoble INP.

² Association pour la Création et la Recherche des Outils d'Expression. Ministère de la Culture.

³ Nous allons utiliser le terme anglais *embodiment*, chaque fois que nous nous référons au processus d'incorporation d'une situation, d'incarnation des vécus par les moyens corporels. La définition de ce terme reste pourtant délicate parce qu'il englobe toute une philosophie des sciences cognitives. Tout le long de cette thèse, nous essayerons d'explicitier ces différentes manifestations d'embodiment afin de le rendre plus tangible.

méthodique des expériences avec des spectateurs et acteurs dans le domaine artistique. Dans le cadre de cette thèse, nous avons alors mis en place une méthode qualitative d'analyse par entretiens avec les participants durant leur confrontation passive ou active avec une réalisation artistique.

Il s'agit d'un travail de recherche pluridisciplinaire se situant au croisement des arts, des sciences de l'information et des sciences cognitives. Afin de définir une méthode qualitative d'analyse adaptée à notre problématique, nous avons effectué une recherche bibliographique sur les différentes méthodes utilisés dans les domaines de la sociologie, de la psychologie cognitive, de l'urbanisme et de la gestion. Nous avons également, effectué des recherches dans les domaines de l'art, de l'interaction homme-machine et des technologies multisensorielles afin de mettre en place notre matériel expérimental.

2. Problématique

Les théoriciens de la cognition se sont récemment intéressés à la question de la connaissance incarnée ou *embodiment*. L'*embodiment* est un processus émanant des êtres humains dont on suppose qu'il est intimement lié aux interactions avec l'environnement humain ou matériel, incluant d'autres corps ainsi que des machines {Munster 2006}. Cette approche a amené à un changement de paradigme dans les sciences cognitives {Hurtienne 2009}. Des philosophes phénoménologistes, comme Husserl {IEP-Husserl} et Merleau-Ponty {Merleau-Ponty 1945} ont également exploré et soutenu le concept d'*embodiment* dans leurs travaux. Ces travaux ont fortement influencé les sciences cognitives ainsi que plusieurs disciplines artistiques, en particulier dans le spectacle vivant et les arts instrumentaux.

Transposées dans le domaine des technologies numériques, ces évolutions nous mènent à des nouvelles questions sur l'*embodiment*. De nouvelles questions adviennent, qui résultent de la transition du monde matériel au monde numérisé, souvent appelé monde virtuel, et qui vient augmenter notre monde matériel. Ce sujet commence à être traité dans le domaine de l'interaction homme-machine {Hurtienne 2009} {Van Rompay 2005}. Cependant, il n'est pas encore largement discuté dans les arts numériques.

Dans un contexte artistique et plus précisément dans les arts scéniques comme la musique, la danse et les installations artistiques, nous rencontrons souvent des situations impliquant une interaction éactive. Pour cette raison, elles constituent un excellent terrain pour la recherche sur le mécanisme cognitif de l'interaction incarnée. Leur analyse peut nous permettre de comprendre comment une expérience devient ou non une expérience incarnée.

La recherche cognitive en arts constitue un défi à cause de l'activation de plusieurs processus cognitifs. Il est donc important de réfléchir à l'éaction au-delà du degré sensorimoteur et de discerner le « corps comme une configuration entière d'être en

incluant le temps, l'imagination, les émotions » {Depraz 2007}. Comme les théories de l'énaction et de l'*embodiment* sont relativement récentes, il reste encore plusieurs questions ouvertes, notamment par rapport aux méthodes et aux protocoles expérimentaux utilisés pour les explorer.

Dans ces travaux, nous proposons une méthode qualitative pour répondre à ces questions. Cette méthode est basée sur l'hypothèse selon laquelle la description orale de l'expérience subjective est un moyen qui nous permet d'accéder au processus de la création de la connaissance {Petitmengin 2006} et de l'appréhension de l'expérience artistique.

Pour l'analyse de nos cas d'étude, nous avons proposé une approche qualitative basée sur des entretiens ouverts axés sur la sensation, la perception et l'appréciation de l'expérience vécue. L'analyse du contenu de ces entretiens a été fondamentale pour la caractérisation de la relation entre l'homme et le dispositif numérique. Nous avons défini quatre éléments permettant de qualifier cette relation: cohérence, action, immersion et évocation.

3. Comment nous avons approché le problème

La synthèse numérique, sonore ou visuelle, peut être considérée comme étant difficilement accessible à l'artiste, musicien ou plasticien, habitué à contrôler les sons et images des instruments qu'il manipule par ses mouvements. C'est précisément sur cet aspect que les outils de la simulation multisensorielle développés par le laboratoire ACROE-ICA comblent la distance entre synthèse numérique et interaction instrumentale. La recherche du laboratoire est orientée vers le développement des outils permettant l'interaction forte d'un humain avec des modèles physiques en couplant des systèmes de capture de geste à retour d'effort à des outils de génération de son et d'image en temps réel. Il s'est agi non pas de « synthétiser les sons musicaux », mais de « simuler les instruments de musique » de telle sorte que l'on puisse interagir avec ces simulacres d'une façon en tous points identique à celle avec laquelle on interagit avec les instruments réels {Cadoz 1988}. De même, dans le domaine des arts visuels, le mouvement des images se produirait non pas par animation des images elles-mêmes, mais par simulation des objets qui, en amont de l'image, produisent le mouvement, permettant ainsi de produire des images animées par manipulation d'objets virtuels {Luciani 1992}.

L'art des nouveaux médias (*new media art* en anglais) est un cas complexe d'un système homme – machine. Il demande l'activation des dimensions variables du système perceptif et cognitif humain. Par conséquent, dans le but d'examiner les propriétés énelles du système et d'explorer les éléments d'*embodiment* de l'expérience, nous avons besoin d'analyser comment les propriétés de ce couplage sont perçues par l'agent humain. Afin de réussir cette analyse, nous devons utiliser des méthodes différentes de celles utilisées dans la filière d'Interface Homme – Machine (IHM) pour l'interaction et l'utilisabilité {Gaver 1991} {Rauterberg 1999} puisque l'expérience artistique est beaucoup plus complexe que les tâches dans l'IHM. Notre recherche n'est pas orientée utilisateur, mais globalement

orientée humain. Ce qui nous intéresse est d'explorer l'expérience subjective comme vécue par le sujet lui-même.

Selon Kant {Kant 1790}, le jugement esthétique est un jugement de goût. Il nous procure un plaisir (j'aime) ou un déplaisir (je n'aime pas). Le jugement esthétique n'est donc pas un jugement savant. Nous pourrions peut-être soutenir que l'essentiel de la démarche artistique consiste à solliciter une appréciation d'ordre esthétique, sans qu'elle soit nécessairement favorable. L'art contemporain se présente à nous alors comme un objet de jugement esthétique, car il ne cherche pas forcément la beauté comme le faisait l'art classique dans le passé.

L'article de G. Allary {Allary 2002} intitulé « L'œil du spectateur », commence par :

« Le beau est dans l'œil du spectateur, ont affirmé David Hume et Emmanuel Kant, les fondateurs de l'esthétique. Le propre de l'art se joue dans la relation esthétique, répondent des théoriciens de l'art d'aujourd'hui. [...] Dans les deux cas, l'intérêt ne se porte pas tant sur l'œuvre que sur le regard qu'on pose sur elle. Le beau ne pouvant être défini, l'esthétique a donc déplacé le centre de gravité de la philosophie de l'art de l'objet (l'œuvre) au sujet (le spectateur) ».

Il s'agit d'une vision classique de l'esthétique où l'œuvre reste un objet d'appréciation lointain. Ce n'est qu'à travers la vision ou l'audition que le spectateur se met en lien avec l'art. Cependant cette analyse met en évidence les deux « acteurs » du système d'appréciation de l'art, les deux éléments importants de ce que nous pouvons définir comme couplage : l'objet d'art et le spectateur. Aujourd'hui les nouvelles technologies amènent à des questions au de-là de la beauté. L'objet multisensoriel, l'interaction et les possibilités du numérique obligent à une exploration structurelle de ce nouvel art.

4. Structure du document

Ce document est structuré en cinq chapitres.

Dans le Chapitre II, nous présentons le cadre théorique de cette thèse, notamment les concepts d'énaction et d'*embodiment*.

A partir de ces concepts, dans le Chapitre III, nous définissons une méthodologie qualitative pour explorer l'*embodiment* ainsi que les quatre éléments que nous avons conçus pour aborder le processus cognitif de l'*embodiment* : la cohérence, l'action, l'immersion et l'évocation.

Ensuite, dans les Chapitres IV et V, nous décrivons les expériences effectuées dans le cadre de cette thèse. La première expérience est basée sur l'étude des pièces multisensorielles présentées lors des Journées d'Informatique Musicale, JIM 2009. La deuxième expérience

concerne l'étude d'une installation artistique appelée « Geste réel sur matière simulée » basée sur la simulation des scènes virtuelles, s'adressant aux sens visuel, auditif et haptique et proposant une forme de l'instrumentalité virtuelle basée sur la modélisation physique et les interfaces à retour d'effort. Nous présentons le protocole expérimental de chacune de ces expériences ainsi que les résultats obtenus et leur analyse suivant la méthode qualitative proposée dans le Chapitre III.

Finalement, nous concluons sur les travaux effectués et nous présentons les perspectives pour les travaux futurs.

Le document se termine par quatre annexes. Les trois premières sont des annexes techniques : principes de la modélisation physique utilisée dans le laboratoire, description technique des modèles utilisés dans l'expérience « *Geste réel sur matière simulée* », présentation des artistes des JIM'09. Enfin dans l'Annexe IV nous présentons une expérience artistique que nous avons réalisée en collaboration avec Olivier Tache de l'équipe Informatique musicale du laboratoire, et qui met en œuvre une collaboration originale entre musique et animation via des modèles physiques. Nous avons voulu ainsi conclure nos travaux théoriques et expérimentaux par une création, qui d'une part a été inspirée de nos observations et d'autre part qui pourrait constituer une piste dans la perspective d'un travail futur.

Chapitre II :

Simulation et cognition

Alors avec quoi veux-tu comprendre ? Avec la tête ? Pff !

Nikos Kazantzakis, Alexis Zorba

1. DE LA SITUATION REELLE A LA VIRTUELLE	15
1.1. Du Computationalisme à la cognition incarnée	15
1.2. L'Enaction	16
1.3. Le décalage numérique	17
1.4. L'embodiment et le corps	19
1.5. Le paradigme instrumental.....	21
2. L'EMBODIMENT DANS LES ARTS NUMERIQUES	23
2.1. Œuvres relatives	23
2.2. L'interface technologique dans les arts numériques	25

1. De la situation réelle à la situation virtuelle

1.1. Du Computationalisme à la cognition incarnée

L'histoire de la cognition incarnée (en anglais *embodied cognition*) est relativement récente. Le début du développement de la théorie cognitive (1945-60) est venu avec la cybernétique et ce que nous appelons maintenant la première vague des sciences cognitives. Nobert Wiener et Alan Turing se trouvent parmi les plus illustres théoriciens du fonctionnement du cerveau défendant un modèle logico-mathématique de l'organisation de la pensée. George Lakoff {Lakoff 2000} résume comme suit la position de la première vague :

« La pensée est la manipulation mécanique des symboles finis arbitraires, comme dans un programme informatique. Les symboles n'ont pas un sens en eux-mêmes, mais ils prennent leur signification par l'association avec des choses dans le monde à l'extérieur de la tête »⁴.

Grâce au développement des instruments d'observation et à l'utilisation plus élargie des données empiriques, la seconde vague a montré qu'il n'était pas très pertinent de comparer l'esprit humain à la machine. La notion de cognition incarnée apparaît autour des années 1960-80 et Maturana et Varela sont deux chercheurs, représentatifs de ce mouvement. Citons à nouveau George Lakoff pour résumer les principes de la seconde vague :

« La pensée est incarnée, dans la mesure où elle est fondée sur et sculptée par les systèmes sensorimoteurs et par notre interaction corporelle avec le monde. Avec cette notion donnée, l'esprit provient de la nature du cerveau physique et du corps, plutôt qu'être quelque chose d'abstrait et désincarné »⁵.

Ces deux vagues peuvent aussi être vues comme deux écoles cognitivistes différentes : l'école du *computationalisme* et l'école du *connexionisme*. La théorie computationaliste (conception symbolique de la cognition) postule l'organisation des états mentaux dans un système symbolique d'expressions et des structures abstraites, soumises à des règles logiques {Borillo 2010}. Les chercheurs les plus influents dans ce domaine ont été J.A. Fodor et N. Chomsky. Le connexionisme décrit l'activité cognitive en se référant aux structures neurologiques du cerveau. McCulluch et Pitts ont été les fondateurs de cette approche neurologique de la cognition et leurs théories ont influencé plusieurs domaines qui venaient de voir le jour à cette époque, comme l'intelligence artificielle, la psychologie cognitive et l'anthropologie cognitive. La recherche dans ce domaine se développe en lien étroit avec les neurosciences où ce changement de paradigme (*paradigm shift*) de l'énaction prend racine {Engel et al. 1993}, et elle est très soutenue par leurs découvertes au point de confirmer « l'interdépendance entre le développement de notre cerveau et de notre état d'humain incarné » {Morrie 2007}.

⁴ Traduction de Maria Christou

⁵ Traduction de Maria Christou

1.2.L'Enaction

C'est dans le domaine du connexionnisme que nous trouvons l'Enaction {Varela et al. 1991}, {Varela 1992} qui définit la cognition comme :

« La cognition n'est pas la représentation d'un monde préexistant par un esprit prédéfini, mais c'est plutôt la reconstitution du monde et de l'esprit à partir de l'histoire de toutes les actions que l'être humain exécute dans le monde⁶ ».

Par rapport au concept de la connaissance comme connaissance éactive, les travaux du réseau Enactive Interfaces⁷ ont permis d'élucider le fait que la connaissance éactive n'est pas seulement une connaissance faite par le biais de la multisensorialité, « mais une connaissance stockée sous forme de réponses motrices, acquise par l'action. C'est une forme de cognition intrinsèquement liée aux actions, à la manière de la connaissance de l'artisan. C'est une forme intuitive non-symbolique d'apprentissage » {Enactive 2004-2007}.

Selon {Pasquinelli 2007} la connaissance éactive est essentiellement une « *connaissance pour l'action* »; *réciroquement, l'action est toujours nécessaire afin d'acquérir une connaissance éactive*. La notion de connaissance éactive a été proposée par Bruner {Bruner 1996} qui distingue trois types de représentations :

- La représentation symbolique, basée sur le langage, propice aux fonctions cognitives abstraites comme les mathématiques.
- La représentation iconique, basée sur les informations acquises par les structures visuelles.
- La représentation éactive, basée sur l'action. Il s'agit d'une connaissance qui est construite sur les compétences motrices, comme manipuler des objets, faire du vélo etc. Les représentations éactives s'acquièrent par le fait de faire {Pasquinelli 2007}.

Selon les systèmes de connaissance, il y a différentes formes d'interaction avec le monde. Ce n'est qu'à travers nos capacités sensorielles et motrices que nous pouvons percevoir et agir sur notre environnement. C'est pourquoi, pour transférer le concept de connaissance éactive à des interactions avec des environnements incluant des technologies numériques, il sera nécessaire d'examiner dans les plus fins détails, les modalités de perceptions et d'actions induites par ces environnements, dans la mesure où leur nature et leur organisation pourraient s'avérer très différentes de celles en jeu dans le monde mécano-optique non informatisé.

⁶ Traduction par M. Christou de la référence original en anglais "...cognition is not the representation of a pregiven world by a pregiven mind but is rather the enactment of a world and a mind on the basis of a history of the variety of actions that a being in the world performs." {Varela et al. 1991}

⁷ « Enactive Network » est un réseau d'excellence européen de recherche multidisciplinaire (www.enactivenetwork.org) qui s'est tenu de 2004 à 2007 qui a été coordonné scientifiquement par A. Luciani.

1.3. Le décadrage numérique

Selon Lev Manovich {Manovich 2001} il y a des conséquences sur le fonctionnement des nouveaux média lié à leur nouvelle nature. Il distingue d'ailleurs cinq caractéristiques définissant, d'après lui, les nouveaux média : la représentation numérique, la modularité, l'automatisation, la variabilité et le transcodage.

- La représentation numérique. La nature numérique des nouveaux média fait qu'il y a une fragmentation, une discrétisation du contenu, par rapport à un contenu précédemment continu.
- La modularité. Au vue du caractère discrétisé, la manipulation et modulation d'un contenu discret peut se faire sans détruire le contenant.
- L'automatisation. Le contenu encodé peut être utilisé par des ordinateurs qui accomplissent, sans l'intervention directe de l'agent humain, des tâches liées à la création et à la manipulation des médias.
- La variabilité. Ces objets média peuvent exister en versions multiples et varier dans le contenu et dans leur distribution.
- Le transcodage. Ce contenu numérique est destiné à être déchiffré par l'ordinateur et suit donc la structure d'organisation de celui-ci.

En conclusion, Manovich soutient que la qualité fondamentale des nouveaux média est une capacité à être programmés, qui n'a pas de précédent historique. Les cinq caractéristiques ci-dessus sont des différences dans le statut ontologique du médium, qui ont pour résultat une fluidité matérielle totale.

Cette différence ontologique fait aussi l'objet d'étude de Mark Hansen dans le livre *New Philosophy for New Media*. Hansen traite ce changement de statut comme un changement de paradigme, un *paradigm-shift* qui est plus précisément un *digital-shift* (un décadrage numérique). Pour Mark Hansen {Hansen 2006}, le décadrage numérique des nouveaux média qui dérive de la numérisation du médium, n'affecte pas seulement le lien du produit avec la réalité représentée, mais surtout révolutionne le choix dans les transformations de celui. Par exemple une certaine réalité transformée en données numériques, peut être rendue sous des formes sonores, visuelles, immersives ou autres. De ce point de vue, le numérique démarque le décadrage principalement entre deux notions, les média et le corps. Hansen explique cela en soulignant qu'à l'ère numérique les média perdent leur spécificité matérielle et le corps l'emporte sur la relation en prenant la fonction principale du traitement de l'information. Ce basculement d'importance vers le corps, Hansen l'explique en s'inspirant des théories de Deleuze et Bergson selon lesquelles le corps « encadre » l'information, comme l'image encadre l'information des films. Hansen explique cela en employant les théories d'information desquelles il retient que l'information a besoin d'un cadre afin d'être reconstituée comme information et que ce cadre est donné grâce aux capacités d'incorporation humaine.

Mais ce transfert (basculement) d'intérêt vers le corps et *l'embodiment* produit aussi un changement dans le lien intime entre l'œuvre et l'humain. La « vision devient haptique » dans un effort de transférer l'importance donnée aux capacités sensorielles de la vision – sens primaire – vers les capacités du corps. Hansen croit à la capacité importante des processus sensoriels et affectifs de générer une spatialité haptique, une image ancrée à l'intérieur du corps qui existe avant et indépendamment de l'espace géométrique externe. En ce sens, la réalité virtuelle n'est pas vue simplement comme le produit des avancements dans le domaine de l'informatique graphique (espace externe), mais plutôt comme une expérience dépendant des capacités biologiques des humains. Il s'agit donc d'un exploit de la collaboration corps-cerveau. Cette merveilleuse collaboration est profondément incarnée (*embodied*) et affective.

Basé sur la théorie du « *embodied mind* » de Varela portant sur la capacité de l'esprit incarné à s'adapter dans des situations de réalités virtuelles, Hansen démontre la plasticité du système nerveux et le rôle opérationnel du mouvement corporel dans la production de perception. Il souligne l'importance de la dimension ergotique {Cadoz 1999}, de l'expérience perceptive, c'est-à-dire que mettre le corps en travail, même de façon minimale, a un effet catalyseur dans la création d'une expérience affective.

De plus, il y a des questions spécifiques à la nature des technologies numériques, relatives à la manière dont le corps, l'espace, le temps et l'interactivité sont traités, perçus et agis. Ainsi, Munster {Munster 2006} explique que :

« Les media numériques impliquent une translation depuis une expérience incarnée vers un code discontinu, endommageant les processus indistincts de la corporéité intensive. Pendant l'histoire du design d'interfaces, l'interfacialité a essayé [...] d'effacer les différences entre l'ordinateur et l'humain »⁸.

Ce faisant, les technologies des systèmes numériques insistent sur l'aspect communicationnel de l'expérience humain-ordinateur et laissent de côté la dimension corporelle de celle-ci. Munster suggère à ce propos d'essayer de ne pas voir les corps comme insuffisants, mais plutôt « [d']examiner les moyens dont *l'embodiment* peut être conçu comme ouvert et dynamique », pour arriver à la conclusion que la propriété d'*embodiment* n'est pas quelque chose que -je- possède, mais quelque chose que je produis, qui est produite, en relation avec d'autres corps et machines. Les théoriciens énoncivistes arrivent à la même conclusion. Pour Anna Munster, l'avenir du numérique est *l'embodiment*, en particulier « si nous sommes préoccupés par les relations durables dans leur ensemble avec les technologies ».

L'hypothèse de C. Cadoz {Cadoz 1994} est que la dichotomie, désormais bien reconnue, entre le monde analogique et numérique est due au relais énergétique introduit avec

⁸ Traduction par M. Christou de la référence originale en anglais "Digital media involve a translation of the continuity of embodied experience into a discontinuous code, severing the indistinct foldings of intensive corporeality. In the history of interface design, interfaciality has tried [...] to erase computational and human differences".

l'avènement de l'électricité, fondatrice des représentations électroniques puis numériques. Cela conduit A. Luciani dans {Luciani et al., 2006b} à postuler, que dans un parcours fonctionnel des situations sensori-motrices (Figure 1 ci-après) allant de l'immersion spatiale (à gauche sur la figure 1) vers la manipulation d'un objet (à droite sur la Figure 1), l'incorporation réciproque « homme-objet » est structurelle, l'objet allant jusqu'à devenir une extension de l'organologie humaine. Cette dernière situation est appelée par les chercheurs du laboratoire ICA « Situation instrumentale ». Dans cette situation instrumentale, deux co-transformations cognitives s'opèrent simultanément : l'objet « devient » un instrument et l'être humain « devient » un instrumentiste {Luciani, 2014}.

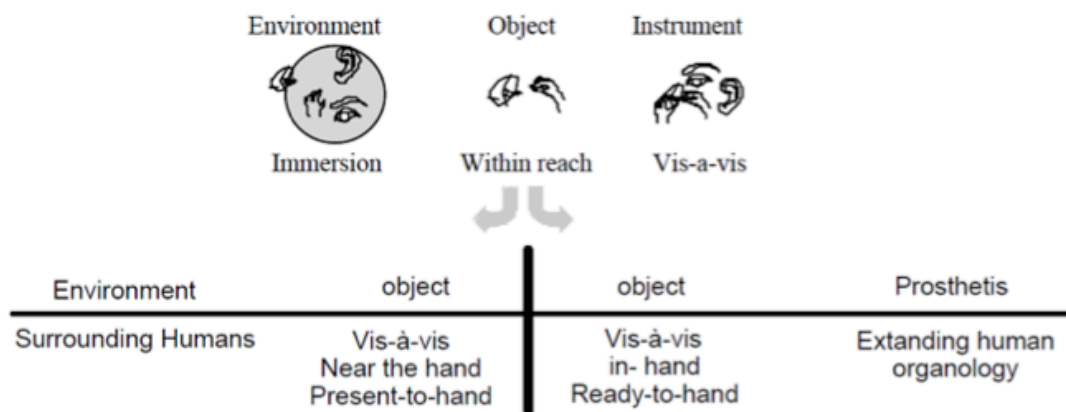


Figure 1. Parcours fonctionnel des activités sensori-motrices, selon A. Luciani et al. {Luciani et al., 2006b}. A gauche, la situation immersive dans laquelle priment les aspects spatiaux. A droite, la situation du corps-à-corps dans laquelle priment les aspects temporels et énergétiques. Au centre, le passage du « prêt à être saisi » / « saisi », frontière entre les deux grandes classes de situations, de l'immersif vers le vis-à-vis instrumental.

1.4. L'embodiment et le corps

Pfeifer {Pfeifer 2006} donne un schéma qui résume l'embodiment lors des interactions entre l'agent humain (ou même des animaux et des robots) et l'environnement (Figure 2). Ce schéma représente l'interaction entre l'agent et son environnement, ainsi que les interactions entre les différents systèmes qui composent l'agent.

Dans la figure 2, les commandes motrices sont les instructions générées par le système nerveux central d'un être vivant ou d'un contrôleur dans le cas d'un robot. Elles sont ensuite envoyées aux muscles et moteurs de l'agent.

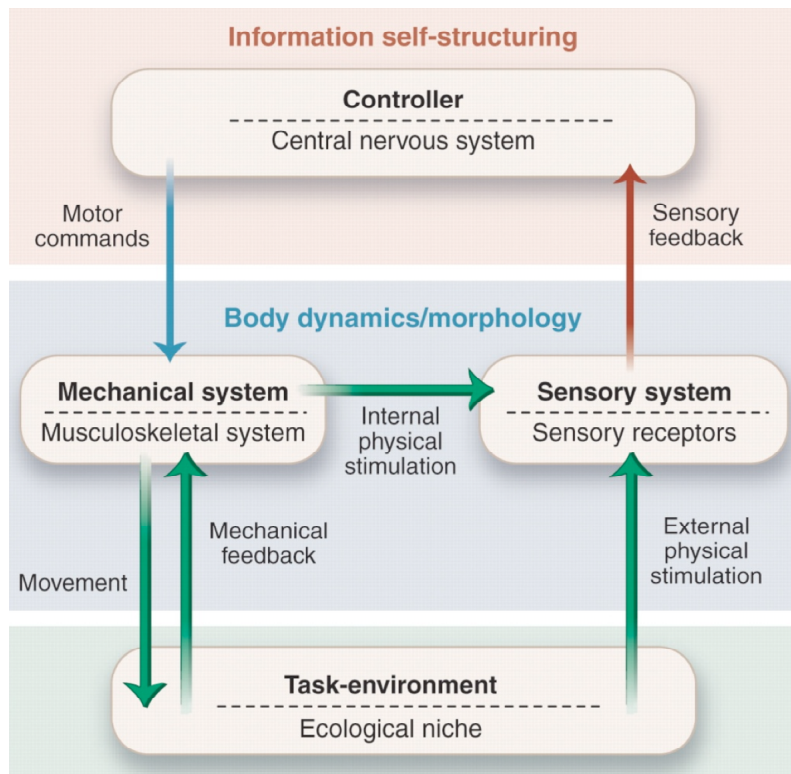


Figure 2 Un schéma théorique qui illustre les différents composants de l'interaction avec un agent dans le contexte de l'embodiment (Pfeifer et al. 2007)

Le retour mécanique décrit la réaction que le système mécanique de l'agent reçoit quand il agit sur l'environnement, tels que les pressions sur les os, les torsions des articulations, ou encore la déformation passive de la peau.

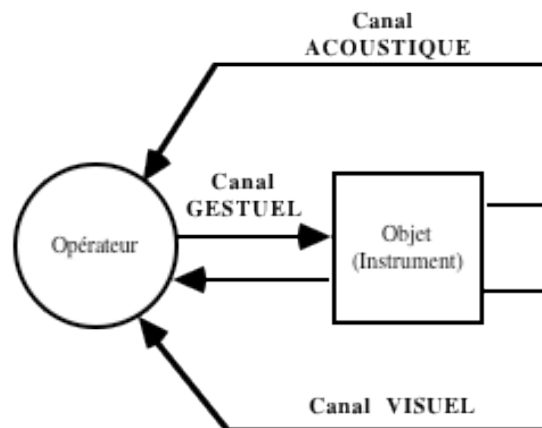
La stimulation physique externe réfère aux effets de l'environnement sur le système sensoriel de l'agent. Cela dépend des capteurs dont il dispose. Ces stimuli peuvent inclure la pression, la température ou des champs électromagnétiques.

Les stimuli physiques internes réfèrent aux forces et torsions développées dans les muscles et les ligaments articulaires, ou encore aux accélérations des récepteurs sensoriels du système mécanique.

L'agent est contenu dans l'environnement-tâche/niche écologique et tout ce que cela implique, comme les forces de gravité et de frottement qui agissent sur l'agent {Pfeifer 2006}. Enfin, l'agent est immergé dans un environnement, que Pfeifer appelle «*Task-environment*» (environnement-tâche) ou «*ecological niche*», avec tout ce que cela implique, comme par exemple d'être soumis à des forces externes de gravité et de frottement qui agissent sur lui {Pfeifer 2006}.

L'interprétation de Pfeifer de l'embodiment permet un aperçu détaillé des mécanismes d'interaction entre l'agent et l'environnement ainsi que de l'intérieur du système perceptif de l'agent.

Selon Cadoz {Cadoz 1994}, nous pouvons distinguer les boucles des canaux de communication (Figure 3). Dans les canaux acoustique et visuel, il y a un flux d'information unidirectionnel entre l'environnement, ou l'objet/instrument et l'agent. Dans le canal gestuel, ce flux est bidirectionnel. Nous retrouvons ces flux entre l'environnement-tâche et le système corporel de l'agent dans le schéma de Pfeifer. Nous pouvons faire le rapprochement entre ces deux visions de la communication, en soutenant que la boucle du retour mécanique correspond à la perception tactilo-proprio-kinesthésique du canal gestuel, le mouvement à l'action gestuelle et la stimulation physique externe aux stimuli acoustiques et visuels.



Communication "Instrumentale" Naturelle

Le canal gestuel est à double sens :
 Action gestuelle,
 Perception tactilo-proprio-kinesthésique

Figure 3 Schéma de la communication instrumentale. (Cadoz 1994).

1.5. Le paradigme instrumental

La relation corporelle avec une œuvre d'art change le rapport à la perception de l'expérience artistique. Le geste a des propriétés rétroactives (feedback) qui permettent une connaissance incarnée de l'outil et de l'environnement, comme c'est le cas de l'interaction avec un instrument de musique.

distingue trois fonctions de la main comme organe d'expression du canal gestuel (Figure 4).

- La fonction sémiotique. Le canal gestuel permet d'émettre de l'information, de faire connaître. Dans le cas d'un instrument musical, c'est l'événement sonore qui informe l'auditeur.

- La fonction épistémique. Le canal gestuel permet de recevoir de l'information, de connaître. En musique, cela peut se traduire par les modifications des manipulations d'un instrument selon le feed-back (retour d'effort) qu'on perçoit.
- La fonction ergotique. Le canal gestuel transforme physiquement l'environnement en dépensant l'énergie puisée dans le corps humain. Dans le cas musical, il s'agit de l'interaction (action – réaction) avec un instrument.

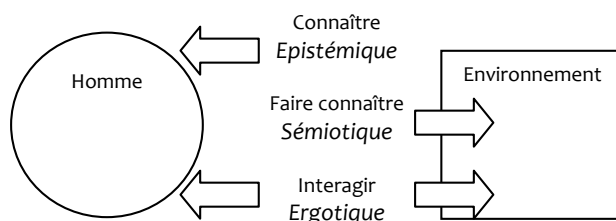


Figure 4 Le canal gestuel : Les différentes fonctions du canal gestuel selon Cadoz 1999.

Cadoz, dans son article sur le continuum énergétique du geste au son {Cadoz 1999}, Le geste instrumental peut également être décliné en trois types de gestes, le geste d'excitation, le geste de modification et le geste de sélection {Cadoz 1999b}, cette catégorisation se fondant sur différents degrés de continuum énergétique :

- Le geste d'excitation : Le geste anime l'excitateur de façon à mettre la structure vibrante en vibration. C'est ce type de geste que se joue le paradigme du continuum énergétique : l'énergie d'excitation produit le son, qui de son côté passe comme énergie acoustique à l'auditeur.
- Le geste de modification : Ce geste est celui qui change les propriétés de la chaîne instrumentale. en conséquence, non seulement le son, mais la relation du geste d'excitation au son. Le geste de modification ne produit pas d'énergie sonore. Une première coupure énergétique entre le geste et le son se produit ici.
- Le geste de sélection. Ce geste permet de sélectionner parmi les structures qui seront mises en mouvement. La deuxième coupure énergétique s'effectue ici.

Cependant, si la situation instrumentale peut être vue comme une situation d'interaction incarnée, support d'un processus d'*embodiment*, elle n'est pas nécessairement perçue comme telle par ses acteurs. Ainsi, Frances Dyson {Dyson 2009} dit dans le *Sounding New Media* qu'en général les musiciens ne se réfèrent pas à leur instruments comme s'ils étaient incarnés (*embodied*), de la même façon que le public ne perçoit pas le concert comme si c'était la réalité. Tous deux font une distinction entre le corps et l'instrument, entre le son et la réalité de l'environnement, ce qui se résume à la différence entre s'émouvoir d'une expérience et éprouver une émotion en général.

2. L'embodiment dans les arts numériques

2.1. Exemples d'œuvres artistiques

Au sein de la production artistique contemporaine, quelques œuvres qui ont mis en avant la valeur de l'*embodiment*. Il s'agit des pièces des créateurs qui intègrent des qualités du monde scientifique et technologique avec des qualités sensibles de l'art. Nous présentons ici deux exemples d'expérimentations qui explorent l'interaction incarnée.



Figure 5 La pièce interactive IAMASCOPE, où le spectateur/acteur interagit avec une image générée de sa propre présence. (©Fels)

L'Iamascope {Fels 2000} (Figure 5) est une œuvre d'art multimédia interactive. Elle combine la vidéo et les images de synthèse avec des technologies d'image et de son dans le but de permettre aux utilisateurs de créer leurs propres images et sons. L'installation comprend l'utilisateur comme une petite pièce d'un kaléidoscope géant, l'image de synthèse est en suite générée et projetée sur un écran devant l'utilisateur, en temps réel. Le son est produit comme résultat d'un traitement d'image et il est donc indirectement contrôlé par l'utilisateur. Les mouvements de l'utilisateur font partie de l'image dynamique et sont en adéquation avec le son. La nature réactive de cette expérience engage les utilisateurs dans la pièce et permet l'interaction avec ce qui peut être caractérisé comme un instrument graphique.

Fels fait la distinction entre quatre types de relation selon le degré d'*embodiment*.

- La personne communique (dialogue) avec l'objet
- La personne incorpore (*embodies*) l'objet
- L'objet communique avec la personne
- L'objet incarne (*embodies*) la personne

Le terme communication personne – objet est employé par Fels dans le premier type de relation, pour parler de la situation où l’homme exerce du contrôle sur l’appareil et que celui-là lui retourne le résultat. Dans le troisième cas, le terme communication signifie que l’objet transmet de l’information à la personne mais il n’y a pas d’interaction car l’objet ne change pas selon la réaction de l’homme. La réponse se passe du côté de l’humain par des sentiments d’évocation ou par la contemplation que le signal transmis lui fait éprouver.

Par rapport à l’*embodiment*, il distingue l’incorporation d’un objet par l’homme à celle de l’homme par l’objet. Dans le deuxième type de relation, la personne intègre l’objet, et celui-ci devient une extension du corps et de l’esprit de la personne. Pour le quatrième type, la personne cède le contrôle à l’objet et il s’abandonne dans un sentiment d’appartenance à l’appareil.

Fels soutient que dans les deux premiers types de relations l’*embodiment* pourrait être mesuré par le degré d’intimité (*intimacy* en anglais). Il explique la notion de l’intimité comme le lien subjectif entre le comportement d’un instrument et l’opération de cet instrument et il donne l’exemple du lien qu’un musicien forme avec son instrument afin qu’il puisse être expressif dans cette opération. En décrivant l’œuvre interactive IAMASCOPE, Fels témoigne des différents types de relation que l’homme forme avec le dispositif numérique comme étapes d’incorporation.

Les œuvres de Char Davis « Osmose » et « Ephémère » ont été analysées par de plusieurs théoriciens de l’interaction {Dyson 2009}, {Grau 2003}, {Hansen 2006} et elles sont considérées comme fondamentales de l’art numérique. Ces œuvres d’expérience virtuelle utilisent plusieurs modalités d’interaction qui se trouvent « près » du corps, comme l’équilibre et la respiration dans le but de rendre l’interaction incorporée (*embodied*). Davies voulait aussi critiquer de cette manière le rôle central que joue la vision dans la réalité virtuelle, ainsi que le dualisme entre corps et esprit qui en résulte. L’immersion dans ses œuvres se fait par une perception synesthésique, une perception holistique et incarnée.

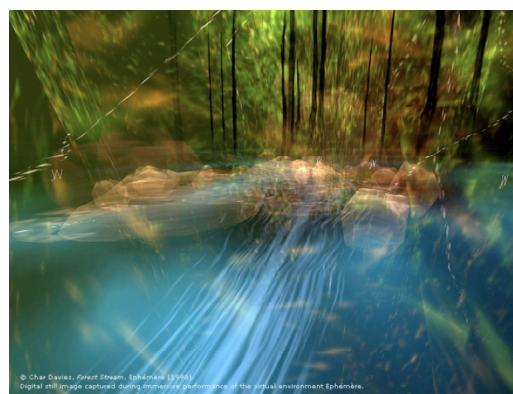
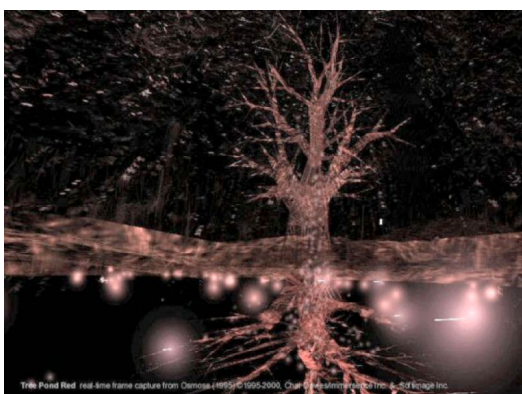


Figure 6 Deux images des pièces de réalité virtuelle de Char Davies. A gauche un instantané d’Osmose, à droite d’Ephémère (©Davies).

2.2. L'interface technologique dans les arts numériques

Concernant la notion d'interaction incarnée, Anna Munster soutient que dans la situation naturelle les humains n'expérimentent pas le monde lui-même, mais les éventualités sensorimotrices de leur situation incarnée. Alors, dans le cas d'un environnement numérique, nous pouvons soutenir que ce n'est pas l'interface qui est ou qui n'est pas énaactive, mais que c'est l'agent humain utilisant l'interface appropriée qui fait se représenter le monde. Le rôle de l'interface est alors crucial. Les interfaces permettent aux humains de représenter le monde et le monde dans lequel nous vivons dépend de leur conception {Munster 2006}.

L'interface est très importante pour l'interaction, parce que si elle n'est pas appropriée, cela peut transformer la connexion entre l'humain et l'environnement en un canal d'information incompréhensible. Les premières méthodologies de modélisation de l'interaction homme – machine (IHM), ont traité les processus cognitifs des utilisateurs comme prédictibles et quantifiables. Elles ont encouragé les concepteurs d'IHM à chercher des résultats cognitifs dans les domaines de la mémoire et de l'attention lors de la conception des interfaces utilisateurs. La modélisation moderne a tendance à se focaliser sur un retour constant et une conversation entre utilisateurs, concepteurs et ingénieurs. Elle tend également vers des systèmes techniques incluant les expériences demandées par les utilisateurs, plutôt que vers un système complet {HCI}. Dans le premier cas, la modélisation vient d'une recherche sur la façon dont l'utilisateur voudrait l'interaction, et dans le deuxième cas, de l'intégration de ce que l'utilisateur veut de cette interaction. Dans les deux cas, la recherche cherche à trouver la façon la plus efficace pour que l'utilisateur effectue la tâche.

Nous avons vu plus haut que Munster critique le fait que la modélisation des interfaces ait cherché à effacer les différences entre le calcul et l'humain. En faisant ainsi, les technologies numériques préconisent l'aspect cognitif et communicatif de l'expérience homme – machine et elles laissent de côté sa dimension corporelle. De cette manière, l'interface reste réduite dans le rôle d'un « traducteur entre homme et machine, entre corps et information, entre analogique et numérique ». Munster continue, en soulignant que « tout cela sont des modalités plutôt que des choses, et ne se combinent pas bien pour créer une sorte d'appartenance de l'un pour l'autre ». Elle reprend en suggérant d'essayer de pas voir les corps comme inadéquats mais de préférence de « chercher des moyens de concevoir l'*embodiment* comme quelque chose d'ouvert et de dynamique », et enfin elle arrive à la conclusion que la propriété d'*embodiment* n'est pas quelque chose « que J'ai mais quelque chose que je produis, qui est produit, en relation avec d'autres corps et machines ». L'*Embodiment* est alors un processus émergent chez les humains. Il vient du fait de produire, du processus d'action sur et avec l'environnement. Pour Munster, le futur du numérique est l'*embodiment*, surtout « si nous sommes concernés par des relations globalement durables avec les technologies ». Le but dans ce cas là, est alors une interface d'interaction comme moyen et non pas comme objectif. C'est dans ce contexte que la notion d'interface énaactive prend sens, car il s'agit d'une interface qui permet la construction de connaissance à travers une interaction instrumentale, une interaction à plusieurs dimensions sensorielles.

Chapitre III :

Méthodologie pour explorer l'embodiment

« Quand son œuvre est confrontée aux autres,
ce n'est pas l'artiste qui passe en jugement mais plutôt le spectateur qui se révèle. »

Man Ray, 1948

1. INTRODUCTION	27
1.1. Pourquoi une méthode d'évaluation qualitative.....	27
1.2. Les défis de la démarche qualitative.....	28
2. DEUX APPROCHES ENACTIVES	30
2.1. La description subjective d'expérience	30
2.2. L'observation récurrente.....	30
3. NOTRE APPROCHE PAR QUATRE ELEMENTS D'ANALYSE	31
3.1. Cohérence.....	32
3.2. Immersion.....	33
3.3. Action.....	33
3.4. Evocation	34

1. Introduction

Trouver une méthodologie afin d'explorer une situation pour laquelle il n'y a pas d'approche empirique est un exercice difficile qui demande une approche différente des celles utilisées habituellement dans les recherches cognitives. Il y a des approches qui étudient la perception par des données expérimentales des signaux physiologiques (rythme cardiaque, signaux cérébraux, etc.), comme c'est le cas dans plusieurs domaines de la neurocognition et de la psychologie cognitive. Il y a aussi des approches philosophiques et/ou esthétiques et sociales qui se basent plus sur une approche théorique et conceptuelle. Notre approche se positionne quelque part entre les deux car notre but est de conduire notre sujet à s'exprimer au-delà de ce qui est purement sensoriel et fonctionnel et toucher l'évocation et l'émotion, pour arriver enfin à la cognition, explorer la façon dont la personne fait, à partir de l'expérience, une expérience personnelle.

1.1. Pourquoi une méthode d'évaluation qualitative

Différentes méthodes pour l'analyse et l'évaluation sont employées dans les domaines de l'interaction personne - système ainsi que dans les sciences humaines et sociales, afin de tirer des conclusions par rapport au comportement humain. De cette méthodologie, nous distinguons, selon le contexte d'utilisation, deux démarches, la qualitative et la quantitative.

La démarche quantitative est employée quand nous connaissons ce qu'on veut mesurer. Ceci implique qu'il existe un étalon pour mesurer. Or nous, dans ces travaux, partons à la recherche de notions sur les comportements des acteurs-spectateurs. Il s'agit alors d'une recherche exploratoire et donc la démarche qualitative est la plus adaptée, parce qu'elle permet de laisser libre cours au discours et au vécu, elle nous permet de recueillir une diversité de situations et de recenser différents points de vue. Malgré le fait que l'analyse qualitative produit un matériel lourd à exploiter, ces résultats permettent d'accéder au sens et aussi d'appréhender son sujet en profondeur et avec précision.

Dans le domaine de la collecte de données qualitatives, les techniques qui sont la plupart du temps employées sont des observations (directes / indirectes) et des entretiens. On a suivi la ligne des entretiens. Pour la partie quantitative, comme nous n'utilisons pas des données physiologiques, le questionnaire et les statistiques sont le seul choix {Yin 2002}. Mais quelles méthodes d'évaluation précises devrions-nous utiliser?

Selon Robert K. Yin les « interviews sont des sources essentielles d'information de l'étude de cas ». Le défi des entretiens, c'est que tout au long du processus, la personne qui l'anime doit "suivre la ligne d'enquête" d'une "manière impartiale". Yin expose trois approches différentes pour des entretiens en fonction de la situation de l'étude de cas. La première catégorie de nature ouverte (*open-ended nature*) est couramment utilisée lorsqu'il s'agit de

s'enquérir sur des faits en demandant des intuitions personnelles et des propositions. Ensuite, il y a l'entretien ciblé (*focused interview*) qui est utilisé de préférence pour corroborer les faits que l'intervieweur pense déjà établis. Et enfin il y a des interviews du type sondage. Ils sont utilisés comme des données quantitatives pour un témoignage sur le cas étudié.

L'approche la plus appropriée à notre cas, où nous avons déjà une théorie (les quatre éléments) est l'entretien ciblé. L'entretien, généralement de courte durée (~ 1 heure), est appelé « concentré » parce que même si elles restent ouvertes, les questions sont guidées par un « certain ensemble de questions tirées du protocole d'étude de cas » {Yin 2002}.

1.2. Les défis de la démarche qualitative

Dans l'introduction de son travail, {Petitmengin 2006} donne des réponses aux critiques longtemps ancrées dans le milieu scientifique sur le rôle des méthodes qualitatives. Elle indique que jusqu'à récemment, l'expérience subjective était exclue du terrain de la recherche scientifique parce que la doctrine dominante affirmait que seules les données qui pouvaient se reproduire à l'identique et recueillies d'un observateur externe, méritaient de se dire scientifiques. Mais les tendances commencent à changer et un groupe grandissant de chercheurs en sciences cognitives s'est aperçu que, afin d'étudier la cognition, nous ne pouvions plus nous limiter aux données observées et enregistrées de l'extérieur ; mais qu'il est essentiel de prendre en compte la dimension subjective telle qu'elle est vécue de l'intérieur. Le développement de techniques de neuro-imagerie cérébrale de plus en plus sophistiquées a accéléré cette réalisation. C'est simple : les données qui venaient de ces techniques ne pouvaient pas être interprétées sans une description de l'expérience subjective du sujet dont l'activité a été enregistrée. Pour conclure, nous soutenons que les méthodes d'entretiens d'expérience subjective peuvent amener à un aperçu intéressant sur la construction de la conscience pendant l'action, et que l'analyse avec ces méthodes est aussi fondée que n'importe quelle méthode quantitative et qu'elle donne même des résultats encore plus riches.

1.2.1. Les entretiens

Nous pouvons reconnaître la valeur des méthodes qualitatives, mais il y a quelques points que nous devons traiter avec précaution. Dans son travail, Vermersch {Vermersch 1994} met l'accent sur trois difficultés dans la manière de mener des entretiens quand nous cherchons à faire parler le sujet de sa propre action, de son expérience subjective. Ces précautions décrites ici pour la méthode de l'entretien d'explicitation sont très pertinentes dans notre cas et nous les avons pris en compte dans la réalisation des protocoles. Le passage de l'implicite à l'explicite, de l'action ou de la connaissance interne à l'extériorisation par les mots de ces savoirs énoncés est pour nous le but dans cette recherche, de même qu'il l'était pour Vermersch dans sa technique psychanalytique.

« La première difficulté tient au fait que l'action est une connaissance autonome. Que l'on soit expert ou novice, il y a une part importante de ces actions, que l'on sait pourtant faire, dont on n'est pas conscient et qu'en conséquence on est bien incapable de mettre en mots sans une aide. »

« La seconde vient du fait que pour rendre possible la verbalisation de l'action, il faut d'abord, que celui qui s'y essaie, prenne le temps d'un retour réfléchissant sur son action, de manière à ce qu'il en prenne conscience. L'entretien d'explicitation vise précisément à aider à la mise en mot de son « faire », y compris en rendant accessible la partie implicite de toute action. En ce sens cette technique se présente comme une prise de conscience provoquée. »

« La troisième difficulté est que l'aide dont on a besoin pour passer du faire au dire est contre-intuitive. Elle ne fait donc pas l'objet d'une mise en œuvre innée chez le professionnel qui veut apporter sa médiation. Elle nécessite de se former à une technique d'entretien et de s'y exercer. »

Dans le premier paragraphe, Vermersch {Vermersch 1994} souligne que la connaissance énaïve, n'étant pas consciente, est difficile d'accès, et donc si nous souhaitons la comprendre, il est impératif d'avoir une aide externe dans l'explicitation de ces savoirs tacites. Le deuxième point, sur l'aide à l'explicitation et à la conscience provoquée, nous apporte des qualités d'une méthode qui sont parfaitement adaptées à notre recherche d'énaïve et d'*embodiment*. La méthode que nous décrivons dans le chapitre des approches énaïves nous permettent de mettre en place un protocole expérimental qui invite le sujet à réfléchir à l'action et à la perception dans le but de la rendre consciente. Enfin, la mise en garde concernant l'animateur qui apporte cette aide externe à l'explicitation, nous met en garde sur le fait que les entretiens de ce type demandent de la préparation. L'animateur doit avoir étudié les méthodes d'entretiens et doit aussi s'exercer afin de pouvoir appliquer ces principes pendant l'expérimentation. Nous avons répondu à cet élément avec l'organisation de deux cas d'études. La première (chapitre IV) nous a servi comme expérience de contrôle afin d'avoir un retour sur le processus de l'entretien lui-même dans le but de valider le protocole mais aussi nous permettre d'avoir une meilleure pratique. Et nous avons ensuite mené une deuxième et beaucoup plus large expérience qui fait l'objet du chapitre V.

1.2.2. Le codage

La démarche d'analyse qualitative des données implique certaines exigences afin de pouvoir répondre aux critiques que nous avons présentées ci-dessus. La définition de l'analyse de données pourrait se résumer à un effort d'identification de thèmes ou d'idées qui émergent des données. Il s'agit d'un effort explicite afin de comprendre le lien entre les données et les hypothèses conséquentes {Tesch 1990}.

Le processus du codage se distingue dans l'étape de l'organisation des données, une segmentation qui permet la « décontextualisation », et dans l'étape de l'interprétation des données, une catégorisation qui mène à la « recontextualisation » {Boutigny 2005}.

Ces méthodes dépendent seulement de la capacité du chercheur à codifier ces données, il est donc très important selon {Duyck 2003} d'explicitier ces méthodes au plus haut degré afin d'éliminer les doutes sur la rigueur épistémologique de l'analyse. Rendre transparente la méthode permet de valider la méthodologie et comprendre les résultats de la recherche.

Un dernier point sensible de la démarche qualitative par rapport au codage est le traitement des données collectées. La pratique qui consiste à ne traiter que de très petites parties du discours risque d'appauvrir l'information et finalement vider ce discours de son sens. Il est donc préférable de faire un codage qui permette de préserver le contexte et de révéler le contenu latent d'un discours, comme par exemple un codage sur la phrase et pas mot par mot {Boutigny 2005}.

Dans cette thèse, nous avons pris en compte ces avertissements. La méthodologie expérimentale que nous avons mise en place nous permet d'acquérir un corpus riche en contenu et de préserver le discours par un codage élargi. La méthode d'entretiens et le codage sont présentés dans les chapitres IV et V.

2. Deux approches énaactives

2.1. La description subjective d'expérience

Claire Petitmengin soutient dans sa recherche sur le rôle cognitif de la description de l'expérience subjective {Petitmengin 2006} et {Petitmengin 1999}, que les informations que nous pouvons obtenir à partir d'une interview à la première personne sont beaucoup plus riches et plus précises que celles d'une description indirecte ou d'une observation. L'entretien avec le participant sur ses processus cognitifs, doit avoir lieu après l'expérience, car il est généralement impossible de la décrire pendant qu'elle se déroule. La description rétrospective présente plusieurs avantages, elle permet au sujet en recréant la scène, de préciser les sentiments, et elle lui donne également le temps de trouver les mots appropriés pour les décrire.

2.2. L'observation récurrente

Cette méthode a été développée pour repérer des phénomènes en milieu urbain en utilisant la réactivation, par des moyens techniques, des observations des habitants et en

croisant des regards. L'observation récurrente a été développée par Pascal Amphoux {Amphoux 2002}, {Amphoux 2008}, pour répondre à l'enquête sur les espaces publics, mais aussi tout autre phénomène sensible. La méthode de l'observation récurrente est une approche « *qualitative et sensible* », comme dit son auteur pour la définir par opposition aux méthodes quantitatives qui reposent sur des questions ou des observations directes et monovalentes (chercher un seul critère). Afin d'explorer en profondeur des situations sensibles, il décrit de plus sa méthode comme étant indirecte, interprétative et cumulative.

« Concrètement, la technique de l'observation récurrente consiste à soumettre des documents photographiques ou vidéographiques de situations choisies à l'interprétation de spécialistes de disciplines différentes ou à des habitants du lieu, tout en les faisant réagir sur les commentaires ou interprétations de ceux qui les ont précédés ». {Notes du cours « L'observation récurrente », Amphoux 2002}

Avec la technique du retour systématique aux images, Amphoux arrive avec les répétitions à désigner des axes d'interprétation dominants qui échappent à la subjectivité initiale.

3. Notre approche par quatre éléments d'analyse

Nous avons procédé par entretiens ouverts avec une certaine direction en vue de guider la personne interrogée vers l'exploration de la dimension la plus profonde de son expérience. Comme il n'est pas facile de faire apparaître un énoncé cognitif incarné, nous avons pris le temps au cours des entretiens d'expliquer à nos interlocuteurs que nous allons discuter de la façon dont les pensées et les sentiments apparaissent au cours de l'expérience. Le but n'est pas de commenter l'expérience vécue dans le passé ou simplement d'exprimer un penchant esthétique ou émotionnel, mais de trouver par la parole, la façon dont ces sentiments ont émergé et quel était leur rôle dans la création de la cognition. C'est pour ces raisons que nous nous inspirons des deux approches présentées ci-dessus qui proposent d'aborder le sujet en sollicitant son expressivité. L'usage de la parole pour « rendre conscient » et du « remède par la parole » est une pratique universelle et c'est par la parole que se fait la bataille pour le passage de l'inarticulé à l'articulé, de l'incorporé (*embodied*) au cognitif, de l'inconscient au conscient, de l'étouffé à l'ouvert {Dervin 1999}.

Cependant, avant la phase des entretiens, nous avons fait une analyse préalable des éléments que nous jugions importants pour la détermination des capacités de réalisation de l'expérience artistique. Ces éléments, au nombre de quatre, sont, dans leur choix et leur nombre, le résultat d'un travail d'analyse à la fois de diverses notions proposées dans la littérature scientifiques et de nos propres déductions dans le monde de l'art.

Ce travail a consisté à examiner plusieurs autres notions afin d'arriver à des éléments qui nous semblent contenir des points importants pour l'embodiment sans pour autant être trop nombreux et qui soient accessibles par le moyen de la parole. L'idée était de pouvoir créer une cartographie d'un ensemble de notions qui permettent d'approcher la multitude

des sensations expérimentées lors d'une interaction avec une œuvre d'art numérique. Pour ce faire, des notions comme la participation {Bishop 2006}, la présence {Presence}, la continuité (*continuity*) {Jacquemin 2011}, le flux (*flow*) {Csikszentmihalyi 1997} ou le *Sense-making* {Dervin 1999}, {Romanello et al. 2003}, ont été analysées.

Nous proposons alors d'aborder le processus cognitif de l'*embodiment* à travers le prisme de quatre éléments qui nous semblent à la fois importants, minimaux et nécessaires, et qui sont : l'action, l'immersion, l'évocation et la cohérence.

L'évocation peut être à la fois contenue dans le système (par exemple une scène qui raconte une histoire) ainsi que dans les capacités cognitives du spectateur d'être sensible aux évocations. L'agent humain de l'expérience interactive produit une action, mais l'action est également un élément prévu au cours de la phase de conception. L'immersion ne doit pas être confondue avec la notion utilisée dans les études d'interaction humain-ordinateur. Il s'agit ici de l'immersion cognitive de la personne dans la scène présentée, éventuellement interactive. La cohérence se situe entre les différents éléments qui composent l'expérience multisensorielle.

Un spectacle interactif est constitué au minimum d'un module système (l'environnement de l'interaction) et un module humain (la personne qui participe). L'action et l'immersion sont les axes qui caractérisent le côté « expérience humaine », et l'évocation et la cohérence appartiennent au côté « système ». Quand il s'agit de savoir si les quatre éléments peuvent être mesurés et classés ou pas, nous sommes confrontés au fait que l'évocation et l'immersion sont des notions subjectives tandis que l'action et la cohérence sont plus objectives mais aussi difficilement quantifiables.

3.1. Cohérence

Dans le monde numérique, les objets n'ont pas intrinsèquement plusieurs dimensions sensorielles. C'est pour cette raison que la notion de cohérence est un concept ~~suje~~ qui importe beaucoup dans la simulation multisensorielle, car nous avons plusieurs éléments de natures différentes qui doivent être combinés dans une seule pièce. L'enjeu est donc de voir dans quelle mesure nous pouvons atteindre une cohérence en s'assurant de l'absence de contradiction entre ces éléments. L'approche du laboratoire dans ce domaine est depuis ses débuts orientée vers le développement de systèmes cohérents pour les interfaces gestuelles et audiovisuelles. Le couplage sensoriel est fonctionnel grâce à la cohérence des processus de simulation, une particularité provenant de l'utilisation du formalisme CORDIS-ANIMA, qui permet la synthèse de modèles multisensoriels à partir d'un seul et unique calcul de simulation.

Il est intéressant d'évoquer ici les démarches identifiées sous le terme de *Sense-making*. Il s'agit d'une démarche de recherché interdisciplinaire autour de question "comment est-ce

qu'on comprend (donner sens – *make sense*) le monde afin d'agir sur lui. *Sense-making* se base sur les discontinuités perçues d'une situation et sur comment l'homme arrive à créer des ponts afin de les surmonter {Dervin 1999}, {Romanello et al. 2003}. Dans les études réalisées dans ce domaine, le poids est mis sur le processus de la prise de décision (d'ailleurs ces méthodes sont souvent utilisées dans les études de gestion).

3.2. Immersion

Immerger signifie, au sens littéral, plonger dans l'eau ou dans un autre liquide. Quand nous parlons d'immersion nous voulons donc parler de cette sensation d'être dans un univers, être dedans, être entouré par. Ces notions peuvent être interprétées de deux manières.

La première prend en considération l'effet de privation sensorielle, le sentiment d'être dans un monde différent du monde habituel, comme lorsque l'on est plongé dans l'eau plutôt qu'entouré d'air. C'est le cas de l'immersion sensorielle où l'immersion est faite par exemple par le port d'un casque de réalité virtuelle et où la scène visuelle se constitue donc complètement d'un monde artificiel (il y a évidemment d'autres manières d'être dans une réalité virtuelle ou simplement augmentée où le champ visuel n'est pas complètement occulté par le monde simulé).

L'autre manière d'interpréter l'immersion est de parler d'immersion cognitive, introduite par A. Luciani dans {Luciani 2001}, c'est-à-dire de ce sentiment d'être pris dans le jeu, d'être corps et âme dans une situation, d'être émotionnellement captivé au point de se sentir entièrement dans un autre univers, dans une bulle. C'est cette vision de l'immersion que nous employons ici. Ce sentiment nous paraît important à examiner dans le cadre d'une recherche en incorporation car pouvoir consciemment s'abstraire de l'environnement réel pour s'immerger dans un autre, présuppose un état de conscience incarnée. L'émergence de conscience incorporée, de l'embodiment, est ce qui nous permet d'avoir conscience de notre corps et de l'espace dans lequel nous sommes. De cette façon, être conscient de son corps et de l'espace peut également signifier être capable d'en faire abstraction. Le sentiment d'immersion cognitive totale se produit lorsqu'invités par une expérience, nous faisons abstraction de l'environnement "réel" afin d'entrer dans une autre réalité artificiellement construite.

3.3. Action

Dans le livre «Vocabulaire de sciences cognitives», sous la rubrique «Action», nous trouvons la définition philosophique de l'action comme un mouvement voulu selon les intentions et les désirs de l'agent. Pour nous, l'action est un élément nécessaire à étudier dans le cadre des arts performatifs et/ou interactifs, car l'action (perçue ou effectuée) est

constituante de l'œuvre. L'effet désiré dans un environnement qui cherche à favoriser l'expression créative des participants, est la possibilité de rendre le système transformable par l'action en considérant l'action de la participation dans la structure de l'œuvre.

La notion d'action vient comme dérivée de la participation, de l'acte direct et expressif de l'acteur/spectateur. Il s'agit d'une recherche dans le courant des arts contemporains d'une conception d'expérience avec participation, qui essaie de sortir de l'intellectualisation de l'action en faveur de la découverte d'un état plus brut d'expressivité, d'une attitude « d'être » dans le monde {Oiticica 2006}. Ces préoccupations nous viennent plus particulièrement du monde de la danse contemporaine, « de l'art du mouvement » et correspondent parfaitement avec la recherche de l'incorporation, mais aussi par sa nature de la communication non verbale, d'un langage du corps, d'un discours parfois inconscient.

3.4. Evocation

Ce que nous appelons évocation ici, c'est le processus de l'imaginaire. Pour un humain, pouvoir produire des images mentales à partir des stimuli externes, présuppose un parcours vers l'intérieur de soi et une réactivation de la mémoire. Des souvenirs auxquels la situation actuelle fait penser se réactiveront afin de pouvoir rendre cette nouvelle expérience familière et pouvoir la comprendre. Il ne s'agit pas ici d'évaluer la capacité d'imagination d'une personne selon la situation simulée, car cela dépendrait de sa culture. C'est le processus de faire naître des images mentales et des mémoires d'affect qui nous intéresse ici, dans l'objectif d'étudier la perception et la cognition. Faire parler des évocations est un élément clé pour comprendre comment la connaissance se construit lors d'une situation interactive numérique.

Du côté des spécifications audio-visio-haptiques du système ce feedback est très important. Par exemple dans le cas de l'image nous pourrions examiner le rôle des phénomènes temporels, spatiaux et optiques à la création d'évocation, en examinant la réponse des sujets à des expériences réelles et simulées.

Chapitre IV :

Étude sur les pièces des Journées d'Informatique Musicale - JIM 2009

*« Je dois commencer non à partir d'hypothèses,
mais à partir des cas concrets, mêmes infimes »*

Paul Klee, 1902

1. INTRODUCTION	37
2. L'EXPERIENCE	37
3. PROTOCOLE	42
4. RESULTATS	44
4.1. <i>Indices quantitatifs</i>	44
4.2. <i>Résultats qualitatifs</i>	46
5. DISCUSSION	50
6. CONCLUSION	52

1. Introduction

Dans le but de cerner et comprendre l'*embodiment* dans la situation artistique numérique, nous avons opté pour une stratégie indirecte pour rechercher l'effet des éléments composants d'une pièce. Dans le chapitre précédant nous avons précisé l'approche qualitative par entretien et nous avons présenté les quatre éléments que nous examinerons, l'évocation, l'action, l'immersion et la cohérence. Pour les quatre éléments nous posons des questions pour d'abord essayez d'activer la parole réflexive et ensuite la parole incarnée. Les deux sont importantes pour la compréhension de l'intuitivité de la situation. Notre entretien commence par une question sur ce qui a été ressenti, puis nous continuons avec la façon dont cela a été ressenti. Comme l'*embodiment* est un processus et non pas une sensation immédiate, cette technique analytique permet d'explorer les notions complexes afin d'identifier les éléments, être en mesure de leur attribuer des propriétés et préciser leur rôle en fonction de notre objectif.

A cet effet, nous avons réalisé une étude basée sur des pièces multisensorielles présentées dans le cadre des Journées d'Informatique Musicale 09 (JIM'09). Le public de notre étude était constitué de six personnes, des étudiants du Master d'Arts, Sciences et Technologies mais aussi des ingénieurs du laboratoire ICA qui, compte tenu de leurs statuts pourraient fournir un point de vue plus perspicace du concert par rapport à un spectateur moins habitué à ce type de spectacle. Notre étude n'est pas une recherche qualitative à grande échelle, mais consiste d'avantage en un environnement exploratoire à partir duquel nous pourrions recueillir le plus d'idées possible afin d'avoir un retour élargi sur notre point de vue initial.

2. L'expérience

Nous avons examiné le cas de sept œuvres qui ont été présentées lors des JIM'09. La méthodologie qui s'adapte le plus à notre cas d'analyse consiste à employer une approche qualitative basée sur des entretiens avec un échantillon restreint de personnes. Ces interviews nous permettent de pénétrer au cœur de l'information, et même si elle a pour cible l'évaluation de notre hypothèse, la méthode de l'entretien reste toujours souple, laissant ainsi place à de nouvelles notions émergentes. {Yin 2002}

Nous laissons les interviewés parler librement pendant environ deux heures autour de quatre grandes questions: la nature de la pièce, le niveau de contrôle, la sensation d'être « pris » / « d'être transporté » par la pièce et la corrélation entre les différents éléments de ces œuvres multi-sensorielles. A la fin, des questions plus ouvertes ont été posées pour couvrir des aspects qui peut-être n'ont pas émergé avec les questions précédentes.

Les expériences ont été faites avec trois binômes. Le fait de faire passer des entretiens à deux personnes simultanément permet de simuler l'effet d'une écoute réactivée pour les participants grâce au discours de l'autre. De cette façon nous avons la possibilité de mettre

face à face les ressentis de l'un et de l'autre et d'alimenter l'entretien grâce à la comparaison.

Chaque expérience avait une durée moyenne de deux heures, pendant lesquelles le temps de discussion et de projection s'entre-échangeaient, et le temps de parole ayant été partagés de façon égale entre les deux personnes interviewées.

Les descriptifs des pièces jouées lors du concert des JIM'09 comme présentées dans le programme de l'organisation avec le communiqué des artistes et leurs présentations, peuvent se trouver dans l'ANNEXE II}. Ici nous ferons une présentation sommaire des œuvres.

1. Métapiano de Jean Haury

« Et si, avec une seule touche, on pouvait jouer tout un morceau ? » Cette question, Jean Haury – pianiste, chercheur et musicologue – se l'est posée il y a longtemps, en rédigeant une thèse sur "Le clavier et le mouvement de ses touches". Le « métapiano » dont il joue ici en comporte cependant 9, ce qui lui permet, après avoir soigneusement analysé les morceaux du répertoire classique qu'il va nous présenter, de concentrer toute son interprétation sur ce qu'il appelle la partie « agogique » de la musique, celle qui se façonne, s'articule, se lie ou se fragmente sous l'expressivité du geste. L'autre partie, qui porte l'information « structurelle », les rapports, les accords, les relations fixées de hauteurs, de rythmes est quant à elle emmagasinée dans l'ordinateur et « réveillée » par le jeu de l'interprète.



Figure 7 Photo du spectacle pendant l'interprétation de J. Haury sur le métapiano.

2. Trace27 de Hugues Genevois Avec le Transducteur Electro-Acoustique Radiant (TEAR) et le Méta-Instrument – Puce Muse.

Le TEAR est un dispositif de diffusion sonore autonome, multivoies, dont le musicien peut contrôler la directivité. Le système matériel est composé d'une enceinte acoustique (12 hauts parleurs), d'autant d'amplificateurs et d'une carte-son. La partie logicielle permet de gérer la synthèse sonore en même temps que les figures de directivité souhaitées. Le prototype présenté ici est un dispositif de laboratoire.

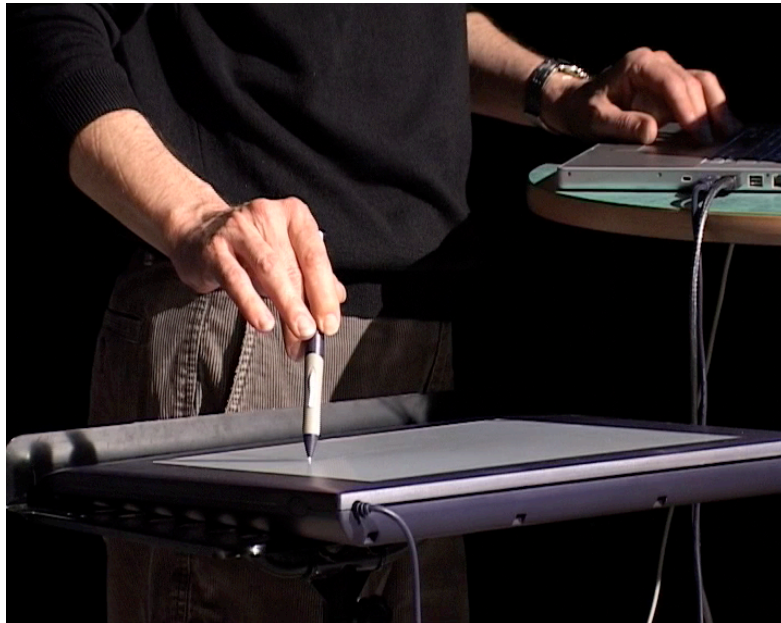


Figure 8 Les gestes artistiques pendant l'interprétation du Trace27

3. Temps mort, une création de Vincent Goubeau, étudiant du master-pro MAAAV (Musique appliquée aux arts visuels) 2008/09 de l'Université Lumière Lyon 2.

Il s'agit d'une animation vêtue d'une musique qui suit de près les changements d'une histoire d'un jeu de football particulier où la moindre faute a des conséquences fatales. Les mouvements sont dynamiques et le passage des séquences rapides aux séquences ralenties accentue l'effet dramatique de l'histoire.

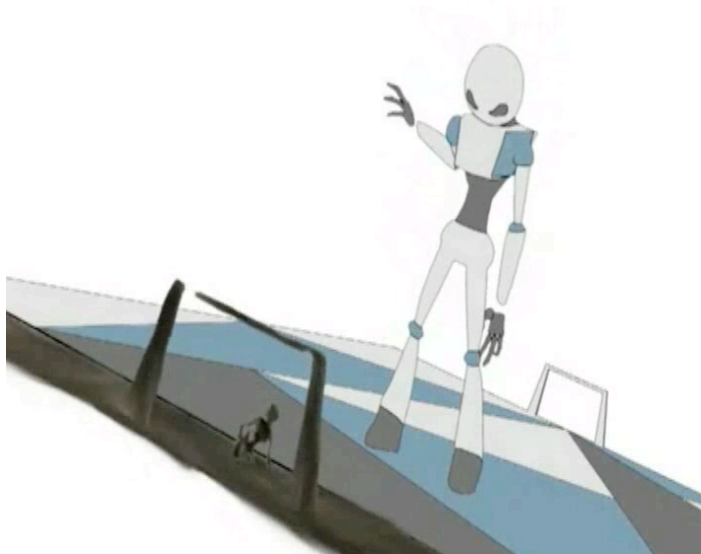


Figure 9 Instantané de la pièce Temps Mort

Les trois pièces qui suivent ont été interprétées de la même manière, avec la partie vidéo projetée sur l'écran et un jeu en temps réel des musiciens qui habillaient l'animation avec un jeu d'échantillonneur. L'échantillonneur ou *sampler* est une sorte de magnétophone doté de possibilités de virtuosité et de manipulation des sons prodigieuses. Bon nombre de compositeurs utilisent cette machine en studio afin d'explorer de nouveaux mondes sonores. Ici, les textes, images, imitations d'instruments acoustiques, sons inouïs, paysages sonores sont joués en direct sur scène, accompagnés ou non de projections visuelles.

4. Dégénérescence, une création de Bertrand Merlier et Simon Dufour. Duo d'échantillonneurs « en public » face à l'image animée.



Figure 10 Instantané de la pièce Dégénérescence

5. Mario de Bertrand Merlier et Simon Dufour. Il s'agit du même principe que ci-dessus avec un côté ludique de « doublage » sur scène de la vidéo.



Figure 11 Capture d'écran de la pièce Mario

6. Barcode de Bertrand Merlier et Simon Dufour. Duo d'échantillonneurs « en public » face à l'image animée.



Figure 12 Instantané de la pièce Barcode

7. Somnambule de Noé Guirand et Kevin Sillam, *Somnambule* - le geste pianistique à l'origine des dynamiques de la musique et de l'image.



Figure 13 Instantané de la pièce Somnambule

Somnambule est une création musicale et visuelle, réalisée dans le cadre d'une collaboration entre Noé Guirand, élève dans la classe de composition du compositeur Arnaud Petit du conservatoire de Grenoble et Kevin Sillam, doctorant en Art, Sciences, Technologies au laboratoire ICA. Il s'agit de la version fixée d'une performance interactive, dans laquelle se superposent au jeu pianiste lui-même, des sons de synthèse GENESIS et des images animées MIMESIS déclenchés par l'instrumentiste. A l'errance sonore répond en écho une image fluide, qui prolonge ainsi le geste pianistique dans un espace évanescent, infini et mobile.

Nous vous présentons à la suite les points essentiels faits par les personnes interviewées quant à la bonne réception des œuvres. Nous nous sommes intéressés à savoir quel est l'impact de chacun des éléments et leurs effets quant à la perception de la pièce. Ce n'est pas notre objectif de comparer les pièces entre elles, ni de porter un jugement de l'intégralité artistique. Nous avons mis les œuvres de concert ensemble afin de souligner leurs éléments constitutifs expressifs pouvant conduire à des différences sur la perception de la part des spectateurs.

3. Protocole

Le processus suivi a trois étapes (a. démonstration, b. discussion, c. questionnaire) qui se répètent autant de fois que les pièces présentées. Ce processus circulaire est suivi d'une discussion plus ouverte (d).

- a. Démonstration du documentaire

Un documentaire du concert a été réalisé grâce au montage des trois caméras qui filmaient la manifestation, afin de restituer aux spectateurs la sensation la plus fidèle possible. Avant l'expérience, nous avons souligné aux personnes interviewées que le documentaire allait leur faire revivre et retrouver les sentiments et les pensées qu'elles avaient eu sur l'instant, lors du concert. Il ne s'agissait pas de vérifier les détails ou la mise en scène de l'enregistrement.

b. Discussion autour des quatre axes

Nous avons cherché la meilleure manière de poser les questions dans le but que celles-ci restent ouvertes et le plus objectives possibles, tout en conservant l'axe de notre enquête. Les questions qui nous ont servi de trame sont les suivantes.

1. Parmi ces 7 œuvres il y en a t'il quelques-unes qui ont particulièrement attiré votre attention et pourquoi?
2. Dans le cas de la diffusion d'une pièce musicale qui n'est pas accompagnée par une projection vidéo, est-ce que vous préférez écouter avec les yeux fermés ?
3. Comment gérez-vous le partage d'attention lors d'une pièce contenant son et image ? Etes-vous plus concentrés sur le son ou sur l'image ?
4. Trouvez-vous plus aisé de suivre une pièce lorsqu'il y a de l'action sur scène ?
5. Comment vous décririez le processus d'attachement à une œuvre ?
6. Qu'est-ce que vous pensez des conditions (lumière, scène, lieu etc.) dans la salle ? Comment est-ce qu'elles agissent sur l'introduction à l'ambiance du spectacle ?
7. Jusqu'à quel point, avez-vous senti de la pertinence entre son et image ?
8. Dans quelle mesure la musique vous aide t'elle à sympathiser avec l'image ?

c. Questionnaire

Nous avons réduit le questionnaire à quatre questions qui résument ce qui a été discuté lors de l'entretien, mais ici les personnes interrogées sont invitées à répondre sur une échelle graduée de -2 à 2.

1. Dans quelle mesure vous pouvez décrire ce dont il s'agit ?
2. Dans quelle mesure pensez-vous que les artistes contrôlent le résultat ?
3. Jusqu'à quel point êtes-vous pris(e) par l'œuvre ?
4. Jusqu'à quel point avez-vous senti de corrélation entre les différents composants ?

d. Discussion ouverte

Quelques questions supplémentaires ont été discutées à la fin, afin d'affiner les éléments qui ont émergé lors des phases précédentes et qui pourraient être éventuellement importants.

4. Résultats

Nous abordons le processus cognitif de l'*embodiment* à travers le prisme de quatre éléments importants. La capacité de l'expérience à l'évocation peut être à la fois vue du côté du système de la conception ainsi que des capacités cognitives du spectateur à être sensible aux évocations. L'agent humain de l'expérience interactive produit une action, mais l'action est également un élément prévu au cours de la phase de conception. L'immersion ne doit pas être confondue avec la notion utilisée dans les études d'interaction humain-ordinateur, c'est ici l'immersion cognitive de la personne dans le spectacle. La cohérence est en lien direct avec l'unicité des différents éléments qui composent l'expérience multisensorielle.

Pour l'ensemble des quatre éléments nous posons des questions dans le but d'activer un discours réfléchi et incarné. Les deux sont importants pour la compréhension et l'intuitivité de la situation. Notre entretien commence par une question sur ce qui a été ressenti, puis nous continuons en posant des questions sur la façon dont cela a été ressenti.

4.1. Indices quantitatifs

Malgré le fait que notre enquête est qualitative, le questionnaire permet une observation rapide des tendances qui peut nous aider à interpréter les données extraites par l'analyse du discours du sujet.

Nous ne nous sommes pas simplement intéressés à la moyenne des réponses, mais aussi à l'écart existant parmi les réponses des sept sujets. Nous pouvons observer ci-dessous les tableaux des données, et surtout les graphes qui sont plus explicatifs des tendances exprimées d'une manière sûrement réduite mais représentative des notes.

Sur ce tableau, nous voyons un résumé des réponses des personnes. L'échelle va de 1 (minimum) à 5 (maximum) afin de mieux visualiser les résultats. Nous avons observé que le renforcement des sensations et des sentiments de satisfaction et ce qui a été décrit par les personnes interrogées comme «être un avec la pièce», se fit surtout sentir dans les œuvres Temps-mort (p3), Barcode (p6) et Somnambule (p7). Le fait que ces pièces ont été hautement évaluées dans tous les quatre axes, est conforme à l'hypothèse selon laquelle les quatre éléments sont élémentaires pour la création d'une sensation d'incorporation.

Nous pouvons voir ci-dessous un tableau récapitulatif [Figure 14] les résultats des notes des sept pièces sur les quatre éléments examinés. Les numéros p1 à p7 correspondent aux morceaux: Métapiano, Trace 27, Temps Mort, Dégénérescence, Mario, Barcode, Somnambule.

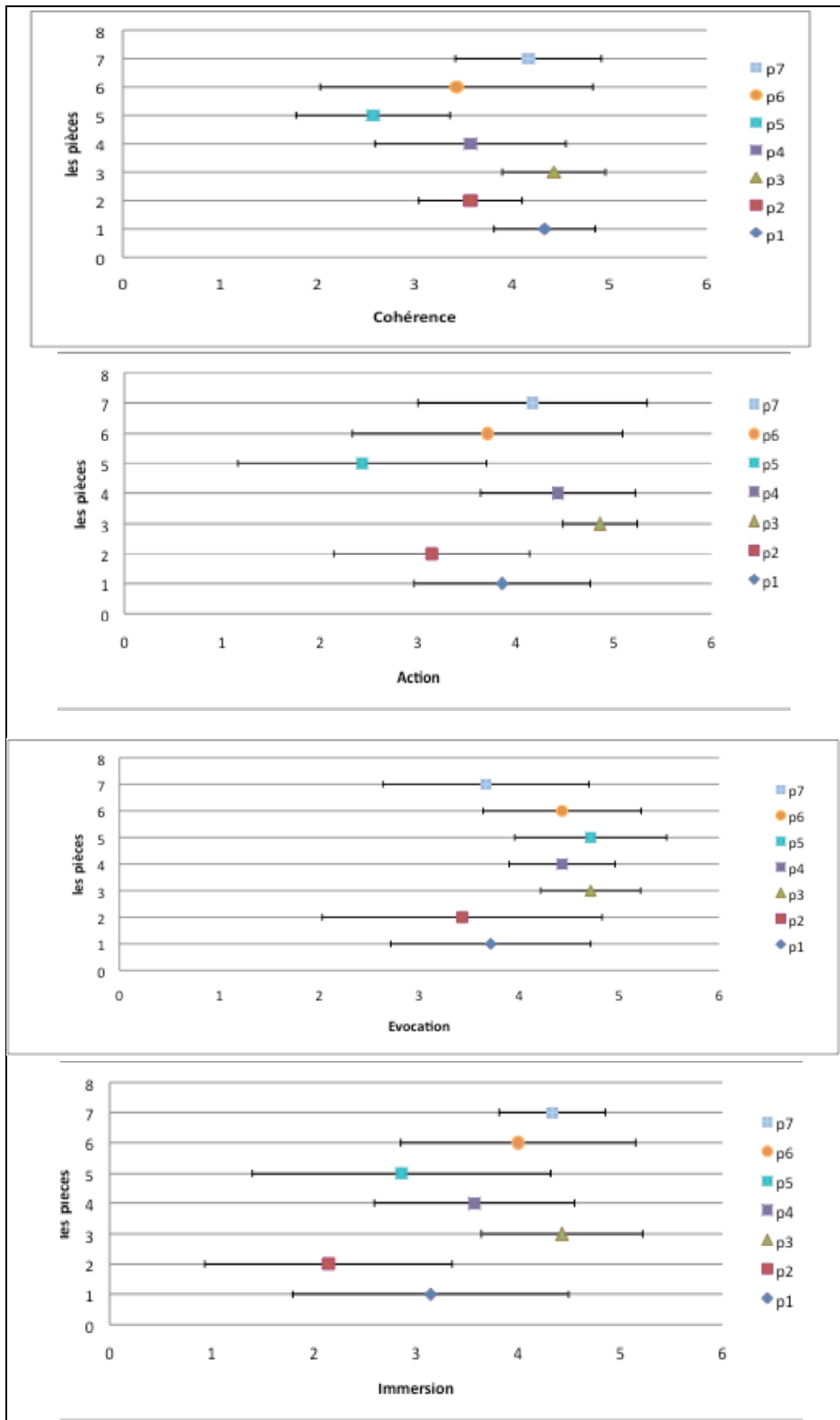


Figure 14 Les graphes récapitulant les notes données aux différentes pièces.

Ces graphes nous servent à la fois de résumé quant à l'appréciation de chaque pièce selon les quatre axes, mais également d'indice pour vérifier par les tendances générales comment elles ont été exprimés pendant les entretiens. Les résultats quantitatifs dans une enquête avec un échantillon aussi petit, n'ont de valeur que consultative.

4.2. Résultats qualitatifs

4.2.1. Evocation

A côté de l'objectif principal qui était de vérifier si le spectateur était en mesure d'expliquer la pièce et de décrire la constitution technologique de celle-ci (comme par exemple s'il s'agissait d'une pièce en temps réel ou non) les personnes interrogées ont pu par ailleurs faire une série de remarques très intéressantes portées sur l'évocation de la situation, ce qui était la face cachée de la question initiale.

Mis à part l'objectif principal de vérifier si le spectateur était en mesure d'expliquer ce s'était la pièce qu'ils venaient d'expérimenter et la constitution technologique de celle-ci, comme par exemple s'il s'agissait d'une pièce en temps réel ou pas, les personnes interrogées avaient fait quelques remarques très intéressantes concernant l'évocation de la situation, c'est exactement la face cachée de cette question.

Nos observations se résument aux problématiques suivantes :

Le rôle des participants : Quel était le rôle de l'artiste, quel celui du spectateur et quelle était la place de la technologie. Ce que nous retenons de cette délibération est que le rôle de la technologie est très important, à tel point que certaines fois les interviewés accordaient d'avantage d'attention à celle-ci.

De plus, la réalité et les analogies avec l'expérience réelle, qui pouvaient manquer comme par exemple dans la pièce « Trace 27 » ont été fortement remarquées.

Dans le cas d'un couplage faible entre modalités, la réalisation de ceci avait un effet bouleversant par rapport au niveau d'évocation. Les participants n'arrivaient pas facilement à expliquer leur compréhension de la pièce, ni les émotions vécues.

Pour exprimer ses difficultés avec « Trace27 » le participant 1 a expliqué qu'il ne pouvait pas trouver une analogie avec un élément réel pour la composition musicale de la pièce et que, pour la production du son, il pouvait sentir qu'il avait un rapport avec les gestes du joueur mais il ne pouvait pas vraiment l'identifier.

Pour la Somnambule, plusieurs sujets ont déclaré que même si le couplage du piano à l'image n'était pas évident, ils ont pu sentir que l'image "vibrant" de manière cohérente par rapport à la musique.

La nature des pièces qui avaient une vidéo projetée est bien sûr plus familière (vidéo-clips musicaux etc.) pour les spectateurs et des situations d'évocation sont venues pour tous immédiatement.

Temps Mort, Dégénérescence, Mario et Barcode sont des vidéos d'animation accompagnées de musique mais dont les deux éléments sont produits de façon indépendante. Ce genre de production est très commun dans la culture quotidienne et le haut degré d'évocation a été prévisible.

Nous pouvons en conclure qu'il y avait deux types de mécanismes évocateurs employés par les spectateurs que nous avons identifiés après l'analyse de ces sept morceaux très variés. Lorsque l'œuvre a été caractérisée comme abstraite et implicite, les gens se sont sentis libres de faire appel au mécanisme de l'imagination afin d'habiller avec un sens l'expérience. Lorsque les spectateurs ont dit que l'histoire de la pièce était plus concrète, la sympathie avec les personnages a été la principale source d'évocation.

4.2.2. Action

Sur la dimension de l'action maintenant, nous essayons de comprendre comment l'action effectuée influe sur la réception de la pièce par les spectateurs. Le degré d'action se définit par rapport à l'implication de l'artiste pendant le spectacle, c'est-à-dire, l'action réelle de l'artiste dans la construction de ce que nous percevons sur scène. Dans cette notion nous trouvons donc le rapport de cause à effet entre participation directe et l'impact sur le résultat.

Nous avons remarqué une grande différence dans la manière dont les personnes interrogées ont jugé le contrôle sur l'action comme réussi, lorsque la pièce était en temps réel et quand elle n'était pas.

Il y a des éléments de la représentation, comme l'improvisation, la manipulation directe, la participation, qui ont été caractérisés comme amusants et attirants par les spectateurs. Mais cependant, en raison de leur nature, ces actions lors de l'exécution d'une pièce ne sont pas toujours en parfaite synchronisation. En ce qui concerne en revanche les morceaux enregistrés (pas en temps-réel), même s'ils étaient généralement plus appréciés pour leurs performances en synchronisation, ils étaient susceptibles d'obtenir un jugement plus sévère quand quelque chose dans la continuité et la corrélation des modalités ne correspondait pas complètement.

Il est intéressant de noter que les œuvres enregistrées ont été considérées comme ayant un degré de contrôle plus élevé. Les personnes interrogées considéraient que les artistes avaient le temps de travailler sur leur morceau aussi minutieusement qu'ils le souhaitent et d'arriver ainsi au résultat "parfait". Les spectacles sur scène, d'autre part, étaient moins strictement jugés. L'interprétation en direct ajoute plusieurs degrés de difficulté à la pièce, mais c'est aussi l'un des paramètres que les spectateurs pensent le plus important. Beaucoup de fois, l'interaction est considérée comme étant le "but du jeu" pour les interprétations en temps réel et les spectateurs se sentent obligés de le chercher. "Métapiano" qui a été qualifié d'une meilleure compréhension de l'action que les autres

pièces en direct, est une pièce qui a été par ailleurs caractérisée comme très « restrictive » à l'égard du degré de liberté de l'artiste pendant l'exécution.

L'action nécessite la participation en direct de l'artiste et / ou du spectateur. Le fait de savoir comment cette action est utilisée sur scène, quel degré d'improvisation est permis et qu'est-ce qu'il faut pour contrôler l'interaction avec les autres éléments sensoriels, sont des questions de la conception intégrée dans la nature de l'œuvre d'art. Nous avons observé que les artefacts technologiques sont très importants dans la façon dont l'action est exécutée et perçue. Les personnes interrogées ont exprimé de la frustration lorsque pendant l'action sur scène, le geste n'était pas constamment interprété de la même façon par le système, ou lorsque des systèmes trop élaborés ont été utilisés et ils n'étaient pas pleinement exploités pour le type de l'interaction donnée.

4.2.3. Immersion

La connexion entre les différents éléments (dans nos exemples la plupart du temps il s'agit du son et de l'image) est cruciale pour la création d'ambiance qui est essentielle à l'immersion. Cela est tellement important que comme l'a témoigné un participant, lorsque «le son ne suit pas le mouvement dans la vidéo, je ne peux pas me sentir immergé ». Mais ce n'est pas la seule condition nécessaire, le rôle important que jouait le spectateur lui-même, ses goûts et son humeur étaient aussi d'autres variables. Les interviewés ont dit se sentir pris dans l'œuvre quand ils ont été intéressés par l'histoire, quand la pièce correspondait au contexte de l'occasion (ex: concert de musique informatique), quand la pièce correspondait à leur humeur du moment et à leurs intérêts personnels et professionnels.

Il est intéressant de noter que les pièces qui ont ému les interviewés, comme ils l'ont exprimé eux-mêmes, ont été très bien notées. Sauf pour le cas de « Mario », où un participant a expliqué sa réponse en disant qu'il n'a pas été immergé émotionnellement, mais il se sentait dans la pièce en raison d'un intérêt technique qu'il portait dans l'exploration de l'interaction.

Le sentiment d'être absorbé et emporté par l'expérience était très souvent lié à la potentialité de création d'émotion, mais il y avait aussi d'autres facteurs plus improbables, comme les intérêts personnels et professionnels. Pour les étudiants en musique par exemple, il était hautement probable de porter l'attention et de se sentir immergé par la partie musicale de la pièce.

4.2.4. Cohérence

Il était intéressant de voir que, lorsque des personnes interviewées estimaient qu'un élément (ou plusieurs) d'une pièce multisensorielle ne correspondaient pas avec les autres ou à l'ensemble, leur attention a été si attachée à cette incohérence que, même dans la première question ("de quoi s'agit-il?"), ils répondaient en accentuant le contraste.

Selon les participants les éléments importants pour promouvoir la cohérence sont : la synchronisation des modalités, le couplage dynamique des différents éléments, la pertinence du scénario et une durée relativement courte.

Nous examinons des œuvres multisensorielles qui utilisent diverses sources de stimuli sensoriels comme le geste, la musique et l'animation. L'analyse du lien entre sources de natures différentes est une tâche complexe à la fois parce qu'il s'agit d'une relation contextuelle, mais également technique. Faire la correspondance entre les schémas cognitifs et la corrélation entre différentes sensorialités est une recherche en soi, mais nous pouvons trouver certains exemples dans le discours des spectateurs. Par exemple il a été remarqué que pour une des pièces avec des grands changements émotionnels pendant la durée, la sensation de passer du calme à la tension a été encore plus soulignée par le changement dans le mouvement de l'image du lent à l'accélééré. Mais la cohérence peut aussi être d'ordre technologique. Là encore il y a grand défi non seulement de synchronisation et dans le couplage dynamique des différents éléments, mais aussi pour trouver une traduction cognitive pertinente de cette interdépendance.

4.2.5. Emotion multisensorielle

L'émotion est un axe qui a jailli de l'analyse des entretiens. La dimension émotionnelle d'une expérience est un paramètre fort qui a été mentionné plusieurs fois par les sujets et qui est lié avec les pièces indifféremment de leur composition technique. Il s'agit d'un élément très difficile à mesurer et évaluer. Bien sûr cela n'est pas nouveau, lorsque nous parlons des expériences artistiques l'émotion est l'ingrédient fondamental. Mais quel est son rôle dans une expérience par rapport à l'interactivité et la multisensorialité ? Une liaison possible pourrait se faire à travers la sensorialité musicale et généralement la multisensorialité liée aussi à l'expérience éactive.

Les conclusions de Mark Changizi quant à l'étude de Logeswaran et Bhattacharya sur la musique et les images visuelles souligne bien ce point : que «les êtres humains sont la principale source d'émotion parmi les créations humaines» {Changizi 2009}. Dans l'étude de {Logeswaran 2009} les chercheurs ont mené des expériences afin de comprendre comment la musique influe sur notre émotivité. «La musique est de manière exquise émotionnellement évocatrice, ce qui explique pourquoi un peu de musique joyeuse mène à ce que des images, même sans rapport, semblent plus agréables. Sous cette lumière, nous sommes alors amenés à la conclusion que la création musicale doit contenir certains

éléments sans aucun doute humains». C'est pourquoi Changizi continue en exposant une théorie qui inclue le corps, sur les raisons pour lesquelles la musique nous émeut. Il explique que, aux côtés du langage, «il existe un deuxième comportement auditif expressif que nous les humains effectuons - nos mouvements corporels eux-mêmes", et "que la musique a été culturellement sélectionnée pour résonner comme un humain émotionnellement expressif".

Faire le lien entre l'émotion et les mouvements corporels, et en conséquence l'interaction avec et sur le monde, pourrait être une étape pour expliquer la connexion entre l'émotion et le processus cognitif éactif. Cette connexion pourrait également être développée afin d'explorer le potentiel émotif des différents sens. Si l'émotion se traduit à travers l'expressivité du corps humain, c'est intéressant de rechercher la possibilité de la communication des émotions par le moyen d'autres sens comme le toucher et la proprioception qui sont souvent sous-exploités dans le monde de l'art.

5. Discussion



Figure 15 Les quatre éléments et les différentes inter-connexions.

Avec l'analyse des situations, des connexions entre les éléments ont apparues. La connexion et l'interdépendance de l'évocation, de la cohérence, de l'immersion et de l'action ont émergé de l'analyse comparative des entretiens. Le dipôle des caractéristiques du système, de la cohérence et de l'action, ont une influence sur le potentiel d'évocation et d'immersion des sujets. Mais l'influence n'est pas unidirectionnelle, des situations évocatrices et immersives ont un impact sur la perception de ces caractéristiques du système.

Ci-dessous nous exposons ce qui a été déduit à partir des expériences par rapport aux connexions entre les éléments de notre recherche.

i. Evocation - Cohérence

La situation qui lie ces deux éléments est la possibilité de créer une histoire évocatrice, concrète ou abstraite autour de la pièce. Cela permet de donner du sens et aide à construire, dans l'esprit des spectateurs, une connexion entre les différents composants sensoriels. En revanche, une bonne corrélation (cohérence d'ordre thématique/contextuel) favorise la construction de situations évocatrices.

ii. Cohérence - Immersion

Quand la situation se caractérise par la cohérence entre les différents éléments sensoriels (cohérence d'ordre technique cette fois), la « bulle » cognitive qui se crée lorsque les spectateurs se sentent immergés, n'implose pas et aide à garder le spectateur « dedans ». D'autre part, le fait de pouvoir expérimenter de l'immersion, peut « dissimuler » une cohérence qui n'est pas en réalité aussi forte.

iii. Immersion - Action

Lorsque l'action est perçue comme naturelle et auto-expliquée, et l'interprète semble engagé dans la tâche, l'expressivité de la performance semble augmentée. De même augmente le sentiment d'immersion, car il est très sensible aux mécanismes émotionnels. Respectivement, l'immersion est directement liée à l'implication cognitive, qui ouvre la voie à une meilleure réception de l'action perçue.

iv. Action - Evocation

L'action réelle, le geste, captive l'intérêt du spectateur, et quand celle-ci est "harmonieusement liée" aux autres éléments sensoriels, il est probable que cette condition prépare à des situations évocatrices. L'action comporte deux branches, l'action faite par l'artiste (action réelle), et l'action perçue par le spectateur (action perçue). Dans cette expérience nous avons fait des entretiens avec des spectateurs qui avaient un rôle passif, donc nous examinons le côté de l'action perçue.

6. Conclusion

Cette expérimentation nous a permis de valider notre méthodologie aussi bien dans la dimension théorique - par rapport aux résultats attendus, que pratique - concernant la manière de mener les entretiens et de les analyser.



Figure 16 Le modèle des interconnexions avec les deux types d'action, l'action réelle et l'action perçue.

Nous considérons ainsi cette méthode qualitative comme très détaillée et étendue qui, malgré une analyse couteuse en temps, permet d'approcher des sujets qui sont très difficiles à explorer autrement, comme par exemple les aspects de réception d'une pièce. Nous avons trouvé des résultats permettant de mieux caractériser les éléments de qualification définis ce qui nous a permis de formuler des modèles d'interconnexion. Cette méthode a aussi fait émerger des notions que nous n'avions pas prévues, comme le rôle de l'émotion, sujet donc à approfondir lors de la deuxième expérimentation.

Pendant la phase de la modélisation il est devenu clair que l'axe de l'action était très important pour ne le laisser qu'à moitié exploré. La possibilité de faire donc des expériences où le spectateur est aussi acteur et il interagit avec la pièce permettra de voir ce qu'il change par rapport aux autres éléments et ainsi avoir un modèle complet de ces interactions.

L'expérience acquise par ce type d'entretien nous a ainsi permis de chercher et trouver un certain équilibre entre question ouverte et réponse fructueuse et d'avoir un retour sur la manière de mener ce type d'interview. Elle nous a également permis Les aspects utiles et les forces de l'analyse, ce que nous mettrons en valeur dans la prochaine expérimentation.

Chapitre V :

Etude de l'expérience interactive "Geste réel sur matière simulée"

« La connaissance est dans l'action »
Louis Gauthier, *Souvenir de San Chiquita*.

1	INTRODUCTION	54
2	L'EXPERIENCE	54
3.	PROTOCOLE	56
4.	DONNEES	57
5.	METHODOLOGIE D'ANALYSE	58
6.	ANALYSES.....	63
6.1.	<i>La scène « Pebble Box »</i>	63
6.2.	<i>Approche – retrait</i>	82
6.3.	<i>Friction</i>	107
7.	CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	128

1 Introduction

L'expérimentation des JIM'09 nous a permis de valider notre méthode d'entretiens et nous a également été une expérience précieuse dans l'analyse de contenu. La prochaine étape a consisté à explorer la dimension de l'action directe, et nécessite donc une installation multisensorielle interactive et une expérimentation plus large, avec une participation des sujets plus importante. L'occasion s'est trouvée dans le cadre du projet intitulé « Créativité Instrumentale », financé par l'Agence Nationale de la Recherche dans le cadre de l'appel d'offre 2008 « La création 2008 : acteurs, objets, contextes », où l'installation « Geste réel sur matière simulée » a été montée dans le but d'explorer l'instrumentalité virtuelle.

Ce projet fait suite aux travaux précédents que le laboratoire ACROE/ICA et ses partenaires du Réseau Enactive avaient déjà commencé sur les aspects perceptifs des interfaces multisensorielles {Luciani et al. 2009}, avec des recherches qui ont culminé avec l'organisation de la conférence Enactive'07.

L'expérience « Geste réel sur matière simulée », proposée et dirigée par A. Luciani, a impliqué une équipe importante constituée de membres des partenaires du projet « Créativité Instrumentale » : (1) pour l'ACROE-ICA, A. Luciani, O. Tache, J-L. Florens, C. Cadoz, A. Allaoui, M. Christou, M. Mahl ; pour l'EESI (Ecole Européenne Supérieure de l'Image), D. Barthélemy, G. Bollaert. Elle a consisté au montage d'une expérience scientifique dans laquelle a été définie avec un protocole global pour ce type d'expérience, des consignes pour les entretiens, un système complet d'enregistrement et une méthode d'analyse et de présentation des résultats. Elle a également conduit à la mise en œuvre d'une installation artistique interactive intitulée également « Geste réel sur matière simulée » dont les auteurs sont A. Luciani et J-L Florens, ainsi qu'une œuvre chorégraphiée intitulée « Amplitudes », dont les auteurs sont D. Barthélemy, L. Denkler, A. Luciani. Les résultats scientifiques autres que ceux développés dans cette thèse ainsi que les résultats artistiques sont relatés dans {Luciani, 2011}, {Luciani, Florens, 2011}, {Luciani, Barthélemy, Denkler, 2011}, {Luciani et al. 2012}.

Le travail de thèse que nous présentons ci-après s'est inséré dans cette expérimentation, dont il a utilisé le système et la méthodologie pour ses propres objectifs.

2 L'expérience

« Geste réel sur matière simulée » est à la fois une expérience scientifique et une installation artistique basée sur la simulation des scènes virtuelles, s'adressant aux sens visuel, auditif et haptique et proposant une forme de l'instrumentalité virtuelle basée sur la modélisation physique et les interfaces à retour d'effort. Elle a été présentée la première fois à l'École Européenne des Arts Visuels (Poitiers, France) en Février 2010 et une deuxième fois à la manifestation #AST 2011 à Grenoble {Luciani et al. 2011}. Grâce à cette installation, la plupart

des visiteurs ont connu pour la première fois une interaction multisensorielle avec des objets virtuels physiquement cohérents, c'est-à-dire des objets simulés qui se comportent selon les lois de Newton sur le mouvement. Cependant, les visiteurs ont fait face à des paradoxes sensoriels et des situations inhabituelles, telles que la possibilité de découvrir un objet uniquement par le toucher, ou avec une représentation visuelle apparemment contradictoire avec les sensations haptiques. Ainsi, les visiteurs ont été conduits à expérimenter des « chocs » esthétiques et émotionnels et de s'interroger sur leurs sensations, ce qui est l'occasion de recueillir des informations essentielles sur la façon dont notre système sensori-cognitif fonctionne dans une situation artistique multisensorielle. L'installation a été conçue pour capter ces moments uniques, permettant une analyse plus approfondie pour la recherche des instances d'embodiment.

L'expérimentation des scènes virtuelles, ainsi que les commentaires qui en découlent des visiteurs, faisaient partie de l'installation, que nous pourrions qualifier plus comme une performance qu'une configuration matérielle. Dans cette expérience, ce qui est considéré comme objets esthétiques sont, non pas le dispositif à retour de force, les scènes simulées, ni les sons et mes images qui en résultent, mais les moments de découverte, d'exploration et d'expression du visiteur.

L'installation se composait de deux stations de simulation, chacune équipée d'un écran, d'un haut-parleur et d'une interface de technologie Ergon_X à retour d'effort {Florens et al. 2004}, ce qui a permis aux visiteurs d'interagir avec les scènes virtuelles grâce aux gestes de la main et du bras. Chaque scène a été basée sur un modèle physique créé et simulé avec le système CORDIS-ANIMA {Cadoz 1993}. La cohérence sensorielle de l'installation a été assurée par le fait qu'un seul modèle physique produise les signaux audio, visuels et haptiques à travers un moteur de simulation synchrone.

Chaque station a également été équipée de deux caméras vidéo et de microphones, afin que chaque visite soit enregistrée dans de bonnes conditions. Cet équipement était visible et chaque visiteur était invité à donner sa permission pour être filmé et enregistré.

Chaque visiteur a été invité à explorer plusieurs situations parmi les trois disponibles: « Pebble box », « Approche – retrait » et « Friction ». Chaque situation se compose de six versions qui ont été présentées successivement. Ces six versions sont basées sur le même modèle physique, mais diffèrent par la présence ou l'absence de l'un des canaux sensoriels et par la représentation visuelle. Par exemple, une scène peut être présentée uniquement avec un retour visuel dans une version (pas de son ni de retour de force) et avec les trois canaux sensoriels dans une autre. Aux chapitres qui suivent, le temps passé par un visiteur sur une version sera appelé une 'session'.

Comme mentionné précédemment, l'installation inclut explicitement le fait que les visiteurs peuvent exprimer les sensations et les sentiments suscités par leur interaction avec les scènes virtuelles. Pour stimuler l'expression, un animateur accompagne le visiteur afin de faciliter ses réactions par un entretien ouvert, abordant principalement (1) le sens corporel de l'expérience, (2) comment il a été estimé, et (3) ce qui a été ressenti. L'animateur encourage les visiteurs à aller au-delà des descriptions superficielles et des commentaires

au sujet de ce qu'ils ont aimé ou pas aimé dans la situation. Les scènes n'ont pas été présentées comme étant une représentation d'une situation existante: elles ont été seulement désignées par des numéros (par exemple "Scène 1") et les animateurs n'ont donné aucun élément qui pourrait conduire le visiteur à une interprétation particulière. Nous avons mené les entretiens de cette manière dans l'intention d'obtenir des descriptions subjectives accédant à des niveaux plus profonds de la conscience de l'expérience vécue, par exemple à travers des souvenirs oubliés ou des pensées évocatrices. Une partie de ces travaux a fait l'objet d'une publication {Christou et al. 2011b}.

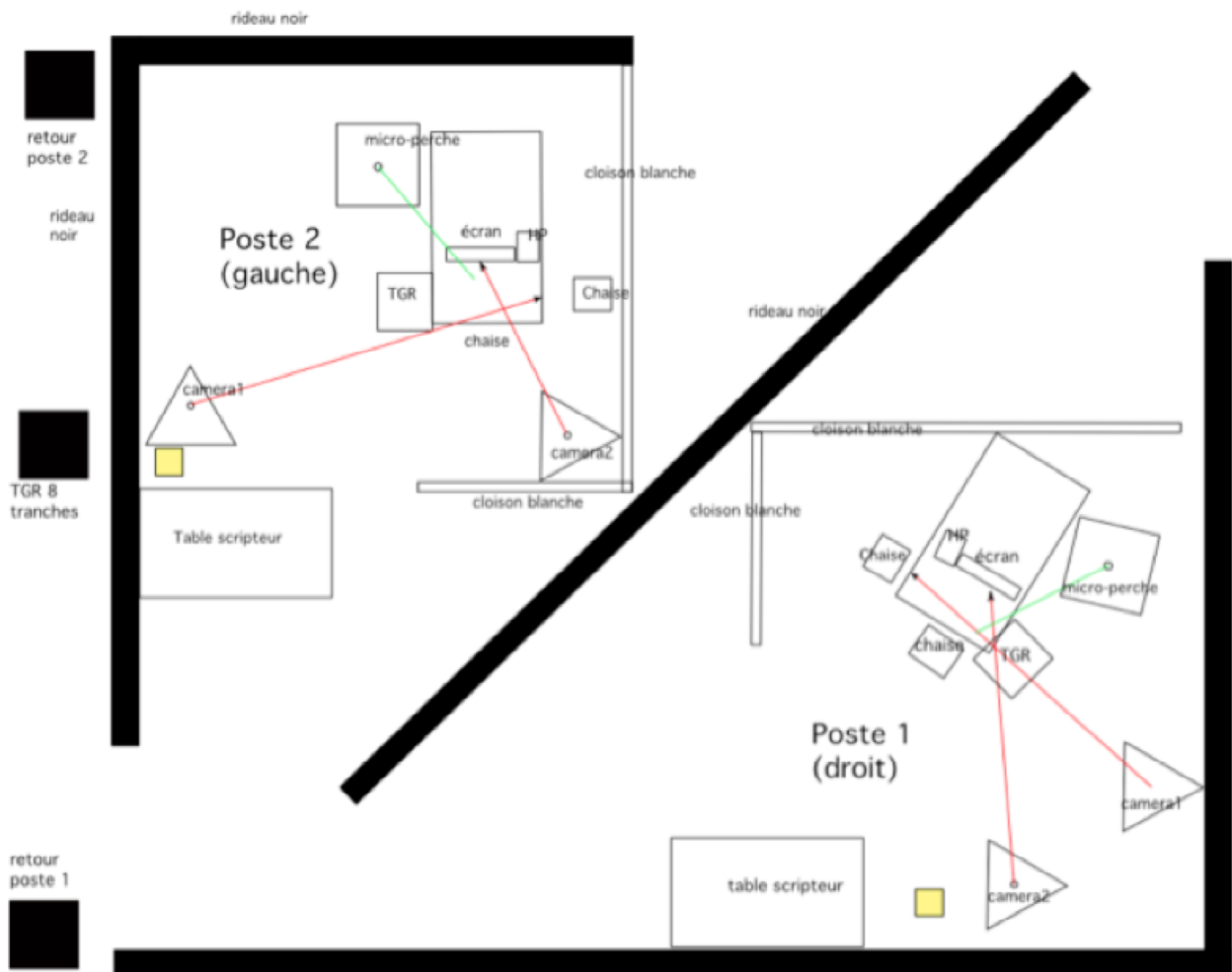


Figure 17 Vue de dessus de l'installation du "Geste réel sur matière simulée" à Poitiers '10. Nous pouvons voir les deux stations d'expérimentation ainsi que la disposition des moyens d'enregistrement.

3. Protocole

Pendant l'expérience, un animateur, un preneur de notes, un vidéaste et un technicien sont présents à côté du sujet.

Le déroulement de l'expérience suit les phases suivantes :

1. La personne entre dans l'installation.
2. Elle est conviée à s'installer confortablement, de façon à se fatiguer le moins possible, en réglant la hauteur du fauteuil et en tournant autour de la manette si nécessaire.
3. Elle est informée qu'elle sera filmée pendant l'expérimentation et que ces images ne seront pas diffusées en dehors de notre groupe de recherche sans son autorisation.
4. Elle est invitée à remplir le formulaire de consentement à l'expérimentation et le formulaire donnant les instructions de sécurité.
5. La caméra est mise en route par le vidéaste, qui donne le signal de démarrage de l'expérimentation.
6. L'animateur explique le contexte et le déroulement de l'expérience à la personne :
 - a. C'est une installation qu'elle va manipuler.
 - b. Il lui est suggéré de parler pendant la manipulation, mais aussi après si elle le souhaite.
 - c. Il lui indique qu'elle est libre de dire ce qu'elle veut.
7. L'animateur demande à la personne de se présenter.
8. L'animateur identifie l'enregistrement en prononçant à haute voix le numéro crypté de la session.

Le rôle de l'animateur est d'accompagner le participant dans son exploration avec des questions ouvertes. Les questions qui ont été utilisées comme trame dans cette expérience étaient principalement les suivantes :

1. Quelles sont vos sensations ?
2. A quoi cela vous fait-il penser ?
3. Que pourriez-vous en dire ?
4. Quelle traduction plastique pourriez-vous en faire ?
5. Une dernière question a été ajoutée à l'expérience, se focalisant plus spécifiquement sur notre sujet de thèse, celui de *l'embodiment*, question qui pouvait être abordée sous diverses formes telles que : Comment cela s'est-il passé pour vous ? Vous êtes vous senti impliqué ou plutôt externe ? Comment ? Pourquoi ?

4. Données

L'expérience dont il est question ici est celle qui s'est déroulée à l'EESI à Poitiers du 22 au 26 février 2010.

17 personnes dont 13 hommes et 4 femmes, de 20 à 55 ans, la plupart d'entre eux ayant un background artistique, ont participé à cette expérience. Les profils des participants pouvaient être plus précisément :

Élèves de l'EESI.

Étudiants du master Arts – Sciences de l'université de Poitiers, en partenariat avec l'EESI.

Enseignants et artistes intervenants à l'EESI.

Tous les participants sauf trois ont suivi deux sessions d'expérimentation. Nous avons eu un ensemble de 31 sessions de 6 scènes chacune, soit 186 unités au total. La durée moyenne de la session était de 48 minutes, avec un écart-type de 13 minutes. L'enregistrement a donné une durée totale de corpus de presque 25 heures. Nous nous référerons aux participants avec un nombre arbitraire (par exemple "Sujet 1") qui n'est pas lié à l'ordre dans lequel ils ont visité l'installation.

7 sujets ont passé la session de « Pebble Box », 11 la session « Approche – Retrait » et 13 la session « Friction ». La durée d'expérimentation de la première session à laquelle les sujets ont participé était d'une durée moyenne de 54 minutes. A l'inverse, la durée de la deuxième session était nettement plus courte, avec une moyenne de 40 minutes. Cette différence peut s'expliquer par le fait que pendant la deuxième session les participants étaient familiarisés avec le processus d'expérimentation ; par conséquent ils avaient besoin de moins de temps pour se mettre en situation d'exploration et d'expression.

5. Méthodologie d'analyse

La méthodologie mise en place dans l'expérience « Geste réel sur matière simulée », et que par conséquent nous avons suivie, est celle préconisée par P. Amphoux {Amphoux 2002}, et dont nous reprenons à notre compte les justifications, résumées ci-après.

Pascal Amphoux, en étant qu'urbaniste et architecte, s'intéresse aux espaces publics. Il postule que la problématique autour de la qualité sensible de la ville a une forte charge affective et donc son approche ne peut qu'être indirecte. Tel est aussi le cas des questions très personnelles de l'expérience d'une œuvre d'art. Par « approche indirecte », Amphoux précise que cela signifie que poser des questions « directement » augmente le risque d'obtenir des réponses stéréotypées.

De même, il caractérise son approche qualitative comme « interprétative » par opposition à une approche qui cherche à vérifier une hypothèse ou à arriver à une déduction. Cela veut dire qu'une telle approche cherche à comprendre les comportements ordinaires mais ne cherche pas à les expliquer. C'est aussi l'objectif dans notre recherche exploratoire de

combiner les différents faits et gestes qui passent souvent inaperçus pendant l'expérience afin de recomposer ce qui construit la connaissance incarnée.

Le troisième point est le caractère cumulatif de l'approche, c'est-à-dire croiser des interprétations différentes afin d'arriver à l'objectivité par la redondance intersubjective. Il s'agit donc d'un processus lent mais qui correspond à notre objectif de limiter le biais de l'interprétation d'une recherche basée par nature sur des expressions subjectives.

Ces principes ont comme objectif de libérer la parole de la personne interviewée, afin d'obtenir des discours riches en stimulant l'expressivité des sujets. Le but est d'arriver à un discours qui dépasse le jugement et le conscient et dire des choses sur leur environnement qui sont inconscientes, alors qu'ils évoluent constamment dans cet environnement.

Dans le registre méthodologique, Amphoux explique que les observations intéressantes sont celles qui se répètent, lorsque l'expérience est proposée à une série de personnes différentes, incluant des spécialistes. Dans le but d'avoir un entretien le plus fluide et le plus transparent possible, il propose de laisser la personne parler sans la contredire et de poser des questions seulement quand elle n'a plus rien à dire. Ces questions servent à recentrer le discours autour des grandes thématiques dans le but d'affiner les critères de leurs jugements. Cette technique, comme le témoigne Amphoux, est vue par les sujets des entretiens comme un exercice souvent passionnant dans lequel ils sont prêts à investir beaucoup de temps. Généralement les entretiens durent entre 1h30 et 3h, et c'est cette envie de s'investir du sujet qui peut contrebalancer le nombre limité des personnes interrogées. Il parle donc d'un « *échantillon expressif* » plutôt que d'un échantillon représentatif.

Le dernier point de la méthode d'Amphoux est la distinction en quatre niveaux de discours. Cette hiérarchisation dans des catégories qui commencent par un niveau plus factuel pour arriver à un niveau plus interprétatif correspond souvent avec une sorte de chronologie naturelle de l'avancement de l'entretien. Voici donc les quatre niveaux :

- *Description (Qu'est-ce que vous avez vu ?)*
- *Associations d'idées (A quoi ça vous fait penser ?)*
- *Interprétation des associations (Si je fais cette association-là, c'est parce que tel élément...)*
- *Appréciation (Que pensez-vous de ce site ?) en essayant d'éviter de tomber dans le jugement simpliste c'est bien/c'est nul.*

Afin de pouvoir identifier les parties intéressantes des discours, nous transposons ce principe de niveaux dans le protocole des entretiens mais également dans l'analyse du corpus. Cela nous permet d'arriver à un découpage commun pour tous les interviewés, mais aussi commun dans le déroulement de l'entretien, et d'avoir une vue directe sur les différents niveaux de discours afin de comparer et d'arriver à des observations qui reviennent dans plusieurs entretiens.

Dans l'adaptation de cette méthode à l'expérience « Geste réel sur matière simulée », les niveaux de discours de l'approche d'Amphoux ont été préservés en examinant à la fois le niveau de l'association et le niveau de l'interprétation {Tache et al. 2002}. A la place de la question « Qu'est-ce que vous avez vu? » (niveau 1 de l'approche Amphoux) nous surlignons le discours qui traite de description et qui donne des éléments par rapport à ce qui est ressenti. Au lieu de demander « A quoi ça vous fait penser? » et « si je fais cette association, c'est parce que.. » des niveaux 2 et 3 selon Amphoux, nous regroupons ces questions d'association et d'interprétation en un thème unique de l'évocation (« A quoi cela vous fait penser et pour quelle raison? »). Pour le niveau 4 de l'appréciation, nous surlignons le discours qui témoigne un jugement, une idée sur l'expérience.

Tableau 1 Le codage en couleurs selon le thème dans le discours.

Thème	Couleur
<i>Description</i> : Ce que vous ressentez.	Yellow
<i>Association/Interprétation</i> : Ce que ça vous évoque.	Magenta
<i>Appréciation</i> : Ce que vous pourriez-en dire.	Cyan
<i>Traduction Plastique</i> : Quelle traduction plastique pourriez-vous en faire.	Red
<i>Embodiment</i> : Comment ça s'est passé pour vous, avez vous été captivé ? Êtes-vous resté à l'extérieur, pas concerné ?	Green
<i>Divers</i> : Discours intéressant, mais qui ne tombe pas dans les cas précédents.	Grey

D. Barthélemy, professeur à l'EESI et artiste plasticien, a suggéré d'ajouter à ces niveaux un niveau de traduction plus spécifiquement plastique, c'est-à-dire un discours qui combine interprétation et appréciation afin de faire naître une idée de valorisation artistique potentielle de l'expérience vécue. Dans le cadre de notre thèse, un niveau dit de l'*embodiment* a été ajouté. Un dernier niveau de discours a été ajouté a posteriori, au moment de la lecture des discours, que les annotateurs ont évalué comme intéressant mais qui n'ont pas trouvé de correspondance avec les thèmes précédents.

Ce découpage est compatible avec l'analyse selon les quatre éléments que nous avons proposé précédemment : l'évocation, l'action, l'immersion et la cohérence. Le thème dit de l'*embodiment* qualifie le discours qui traite notamment des notions d'immersion. Des questions par rapport au niveau d'engagement cognitif dans la scène veulent justement toucher à cette dimension de l'*embodiment*. Les autres catégories sont présentes dans les thèmes précédents. L'évocation a une correspondance directe avec le code de couleur magenta. L'action se trouve dans le discours du niveau descriptif et la cohérence entre différents stimuli sensoriels s'exprime dans l'appréciation.

L'ensemble du corpus transcrit compte 560 pages. Le travail de surlignage en différentes couleurs selon le thème a été partagé entre certains membres du projet⁹ (Maria Christou, Olivier Tache, Jean-Loup Florens, Ali Allaoui, Daniel Barthélemy, Gilles Bollaert et Annie Luciani). Dans un premier temps, nous avons codé avec les couleurs du Tableau 2 les 560 pages du corpus retranscrit. Cela nous a permis de cibler les parties du discours intéressantes dans notre recherche.

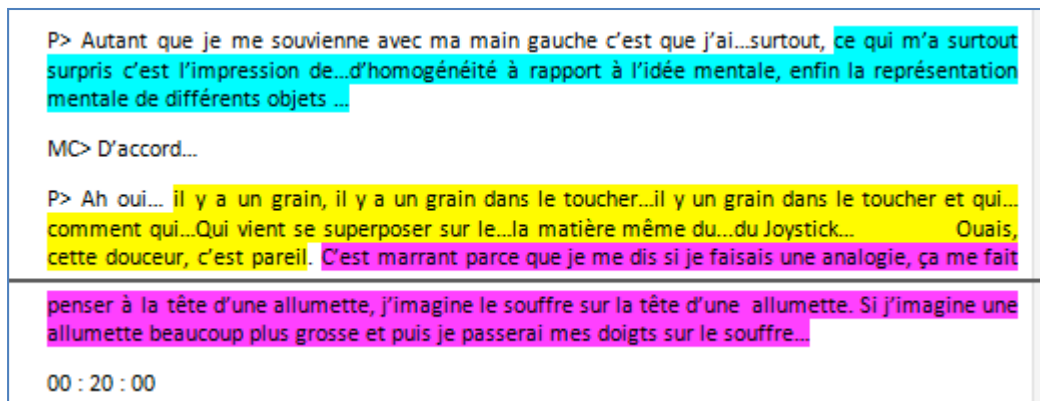


Figure 18 Extrait du corpus surligné avec le codage adéquat. Ici nous pouvons voir que la première phrase en cyan traite de l'appréciation de l'expérience, la deuxième en jaune est une description du ressenti et la troisième en magenta est une association.

Dans un deuxième temps, ce découpage a été révisé afin de rectifier certaines conceptions erronées des membres du groupe par rapport au codage mais surtout pour mieux saisir la matière du corpus. Dans ce but nous avons repris les fichiers annotés et nous avons créé à la main un nouveau document récapitulatif.

⁹ Cette expérience a été réalisée au sein du projet national « Créativité instrumentale », porté par le laboratoire ICA, l'École Européenne Supérieure de l'Image d'Angoulême-Poitiers et l'Université McGill.

Figure 19 Le codage du traitement comparatif. Nous pouvons voir en bloc de colonnes le contenu pour la session, et en bloc de lignes le discours pour chaque sujet. Pour chaque bloc de colonnes, il y a un découpage en trois couleurs selon le thème du discours ainsi que pour la discussion à la fin sur l'ensemble de l'expérience. Les carrés en vert sont des phrases dans lesquelles nous trouvons des expressions abordant l'immersion et l'incorporation



6. Analyses

Dans la section qui suit, nous allons analyser session par session pour les trois scènes installées ce que les sujets nous ont communiqué. Chaque scène est expliquée, puis les analyses se font dans un premier temps sur les observations par session, et dans un deuxième temps sous forme de discussion, en mettant ces résultats en confrontation avec les quatre catégories et en tirant des conclusions.

Un premier objectif pour nous est alors de poursuivre l'expérience de manière à augmenter le nombre de sujets par rapport à l'expérience précédente. Un deuxième objectif est de mieux centrer l'expérience sur la question de l'*embodiment*, en particulier dans une situation où le sujet n'est pas seulement spectateur mais également acteur dans une situation multisensorielle. Enfin, un troisième objectif est d'enrichir les analyses des comportements et des discours selon les quatre éléments que nous avons proposés dans cette thèse : évocation, action, immersion, cohérence.

6.1. La scène « Boîte de cailloux - *Pebble Box* »

Le modèle physique simulé est composé de huit masses ponctuelles enfermées dans une boîte plane et circulaire. Ces masses sont toutes identiques et toutes reliées par une même interaction physique. Par l'utilisation d'un joystick à retour d'effort, le visiteur déplace directement une autre masse, dans la boîte. Le retour de force donne une sensation haptique de la scène: à travers ses mains, le visiteur peut sentir le contact entre la masse manipulée et les autres masses ou avec le bord de la boîte. Le lien entre les masses, y compris celle manipulée par le visiteur, est une collision élastique, dont la raideur est forte pour certaines versions de la scène et très faible pour d'autres, donnant respectivement des contacts durs ou mous entre les masses. Deux visualisations sont proposées: une où les masses sont représentées par des boules aux contours nets (figure 20) et une autre où les contours des masses sont flous (figure 21). Les tableaux au début de chaque session résumant les différents paramètres de chaque version. L'ordre de présentation est le même pour tous les visiteurs, commençant de la version 1 à la version 6.

Les modèles utilisés dans cette expérience ont été créés à l'ACROE-ICA en 2006 dans le cadre d'une étude du Réseau d'Excellence Européen « Enactive Interfaces », intitulée « Virtual Pebble Box experimentations ». Cette étude a fait l'objet d'une collaboration avec le laboratoire CERTEC de l'université de LUND et le Medialab de la Queen University de Belfast. Les résultats de cette première étude ont fait l'objet d'une publication {Luciani et al. 2008}.

La scène de « Pebble box » n'a pas de sortie audio. Toutefois, les moteurs de l'interface Ergon_X émettent des sons - notamment lors des collisions dures - que certains visiteurs ont remarqué et interprété.

La figure suivante (figure 20) correspond à une session où toutes les masses sont identiques et très rigides. L'interaction avec le TGR est très rigide. Les masses sont grosses (boules jaunes) et celle manipulée par la manette TGR (petite boule bleue) est petite. Objectivement on a l'équivalent de 8 boules dures et de rayons grands et l'espace est très rempli.

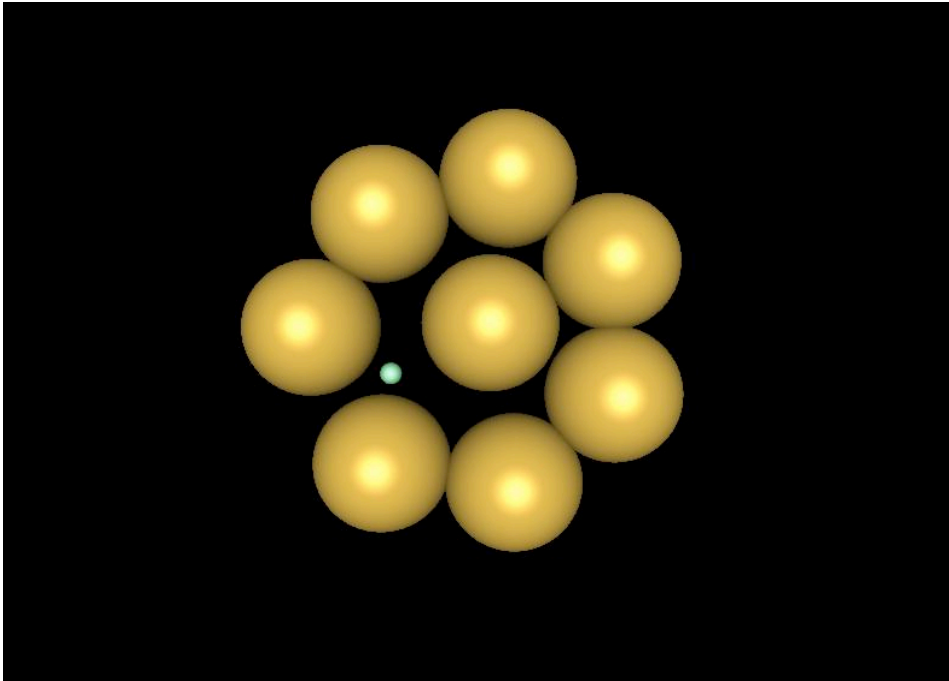


Figure 20 [Houot et al. '06] Pebble box : Visualisation Bulles.

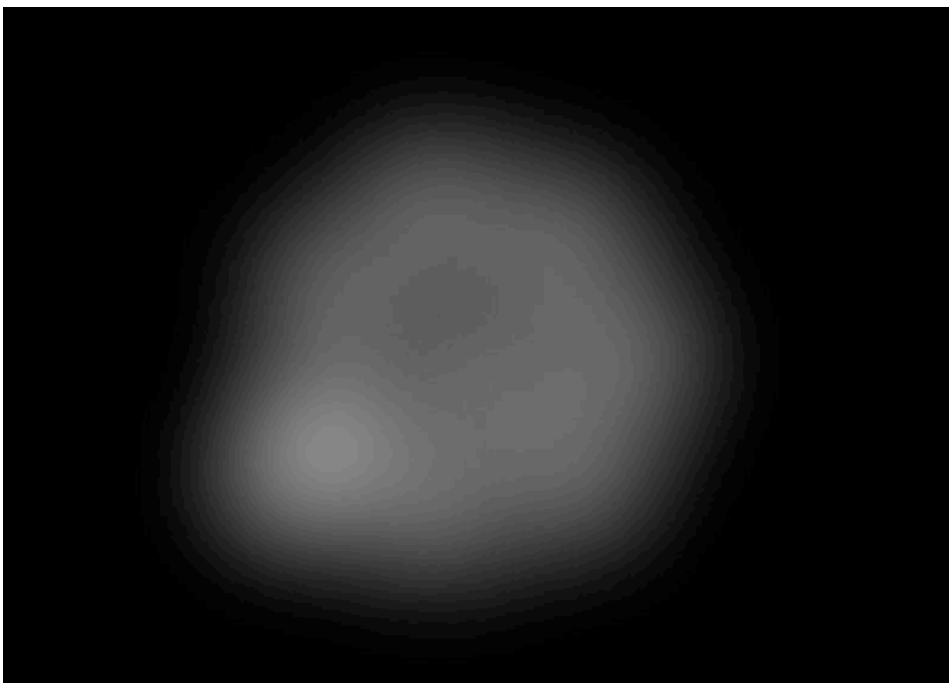


Figure 21 [Houot et al. '06] Pebble box : Visualisation Floue.

Le dispositif décrit ci-dessus a été utilisé précédemment dans des expériences perceptives sur la notion de nombre d'objets d'une scène virtuelle multisensorielle {Houot et al. 2006} mais aussi dans le cadre des interfaces énonctives par rapport à la complexité de la scène multisensorielle {Luciani 2006}, et dans le cadre de la perception du mouvement des objets virtuels {Luciani 2007}. Les observations obtenues dans la dernière étude {Luciani 2007}, qui est basée sur un échantillon de dix personnes, ont permis de faire émerger trois concepts : *Emergent Exploratory Procedure*, *Dynamic Manipulation Adaptativity* et *Adaptive Experimental Learning*, qui ont été retrouvés dans nos analyses, ainsi que des observations sur l'apport de l'interaction ergotique. On verra au fur et à mesure comment ces notions apparaissent dans notre analyse, qui est axée autour des quatre éléments proposés dans cette thèse de la Cohérence, l'Evocation, l'Action et l'Immersion.

Ce processus interactif résulte donc d'une connexion entre le geste et l'image et de la perception de celle-ci comme une vérification du ressenti haptique. Cette connexion est aussi discutée dans l'article de {Prytherch 2003}.

6.1.1. Observations : Pebble box Session 1

Dans la situation 1, nous avons un retour d'effort qui simule le modèle M30 et nous n'avons pas de visualisation. Nous présenterons dans un premier temps les résultats de l'analyse des discours et ensuite nous discuterons du lien entre ces résultats et les quatre éléments mentionnés ci-dessus.

Version	1	2	3	4	5	6
Contacts	Durs	Mous	Durs	Mous	Durs	Durs
Visualisation	Non	Non	Floue	Floue	Billes	Billes
Retour d'effort	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Oui

Afin d'expliquer les nouvelles sensations ressenties, les visiteurs ont fait des comparaisons avec d'autres expériences, vécues dans le passé. Il s'agissait des sensations de leur vie quotidienne ou des sensations ancrées dans leur passé. Ces souvenirs vécus et incarnés ont été employés afin d'expliquer la situation haptique réelle. Voici trois bons exemples de cette stratégie des souvenirs incarnés dans les citations suivantes.

par expérience je l'ai déjà fait donc je me souviens de cette sensation... quand je faisais du vélo... le frottement des freins sur la roue de devant
(Sujet 6)

Je retrouve des appuis un peu comme si je rangeais une pièce dans le noir, je n'en connaissais pas la forme des contours et que en fait je découvre...des angles entre des appuis
(Sujet 9)

comme si je marchais dans le noir, dans un labyrinthe et avec mes mains j'essaie d'identifier,
comme si tu cherchais quelque chose dans un sac et tu te dis là il y a un truc et puis tu reviens, ce n'est
plus exactement pareil
(Sujet 9)

Pour un visiteur, cette situation haptique ne correspond pas à aucune expérience déjà
vécue. Dans ce cas, la métaphore vers une sensation réelle a été faite par exclusion, mais
malgré le fait que cette sensation soit imaginée, elle garde néanmoins le caractère de la
sensation connue par expérience.

Parce que c'est aucun matériau ça. Je les connais trop, c'est-à-dire, je me suis évertué à usiner à la
main, à la lime, à la scie, à l'égoïne, toutes les sortes de bois, tous les métaux, tout ça, donc je connais,
j'ai un sens tactile
ce sera un matériau de synthèse, ouais, tout à fait. Je dirai un polyéthylène peut-être
(Sujet 3)

Nous observons aussi que même s'il s'agit du premier contact avec le dispositif à retour
d'effort et que les visiteurs se trouvent encore en phase d'exploration haptique, une
personne a fait allusion à une représentation spatiale. Il a dit qu'il se sentait situé dans
l'espace, qu'il pouvait naviguer au travers.

un endroit où je me trouve au dessous
je navigue autour d'un espace, dans un espace
(sujet 8)

Nous avons aussi observé une difficulté à faire la distinction entre la représentation que la
sensation dans la main permet de construire et celle que le dispositif laisse imaginer.
Quelles sensations correspondent à la partie matérielle du dispositif? et lesquelles à la
partie simulée? La sensation dans la main « dit » des choses, mais les autres sens ne
peuvent pas les confirmer. Par exemple la dimension physique du dispositif avec ses parties
métalliques et mécaniques ne correspond pas au contact senti, en même temps l'écran
devant le sujet ne lui offre pas plus d'information car il reste noir pendant cette session,
d'ailleurs un sujet a même fermé les yeux.

on a l'impression de pouvoir tirer la chose alors que c'était finalement la machine qui nous laissait la
croyance
(Sujet 8)

Ce n'est pas un contact métal, je pense qu'on aurait programmé peut-être un contact métal, ça l'aurait
peut-être fait
(Sujet 3)

j'ai besoin de fermer les yeux pour le voir dans l'espace en 3D
(Sujet 3)

Un autre point que les sujets ont fait remarquer est la difficulté d'évaluer l'effet de leurs
gestes. Nous pouvons voir cela dans les citations suivantes où un sujet dit avoir une
perception ambiguë du déplacement, mais aussi dans les citations où les sujets expriment
leur peur de casser l'appareil.

C'est ambigu la distance parce que c'est une distance qui n'a pas d'échelle. Je n'arrive pas à savoir si les mouvements que je fais, que j'explore dans cet objet, s'ils sont de la même dimension que des mouvements que je fais avec ma main
(Sujet 9)

j'ai peur de la casser en fait, alors je n'ose pas trop
(Sujet 6)

Je ne vais pas le casser, hein ?
(Sujet 8)

Une autre point que nous avons observé est à propos de l'effet que le dispositif haptique produit chez les visiteurs : un effet d'animation de la machine, une machine en vie qui devient une entité autonome, qui a sa volonté, une personnalité, qui se met en concurrence ou en dialogue avec le participant, et en même temps il y a quelque chose de mystique dans ses manières.

elle a pas envie que j'atteigne la position centrale
(Sujet 3)

le programme avance, il me propose autre chose
(Sujet 3)

quand je pivote je ressens à la fois que ça me tient tête entre guillemets
(Sujet 7)

j'ai la sensation que c'est du courant qui passe à travers les circuits... à travers la machine on sent quand même qu'il y a quelque chose qui se produit à l'intérieur
(Sujet 7)

3.1.1.1. Discussion : Pebble box Session 1

En regardant ces observations sous le prisme des quatre éléments, nous faisons ci-dessous une analyse selon la cohérence, l'évocation, l'immersion et l'action et nous mettons en évidence comment se forment les liens entre eux dans cette expérience.

L'expérience de cette première session de la scène de « Pebble box » a conduit à une forte sollicitation des mécanismes d'évocation par transposition vers une situation enactive, vécue (ou imaginée), qui se trouve en lien direct avec l'action produite pendant l'exploration. Les sujets ont parlé des sensations qui ont un fort lien avec des souvenirs inscrits par l'action « dans le corps ». Nous pouvons expliquer ceci comme un résultat d'une situation active (les sujets sont acteurs) et haptique, qui stimule donc des souvenirs de même ordre et qui plonge ainsi le participant dans un état évocateur des situations enactives.

Par rapport à la situation où les sujets se posaient la question sur le réalisme de la sensation de la scène, nous pouvons supposer que cela est dû à l'étonnement et la surprise de voir et manipuler un appareil qui « parle » à la sensation haptique, un appareil à retour d'effort. Cependant l'idée de l'animation du dispositif fait preuve d'une situation d'immersion plus forte que la simple découverte de la manipulation d'un outil nouveau puisque un véritable

dialogue s'établit, dans lequel se produisent des situations de révision des attentes cognitives – surprise, ou de la découverte, ou même des situations de remise en cause.

Nous remarquons qu'en début d'expérience, et dans le cas où le retour sensoriel est seulement haptique, le rapport entre geste de déplacement et l'échelle de translation est ambigu. L'action faite par les sujets se trouve ici encore un peu « timide ». Les sujets n'ont pas encore testé les capacités de l'interface à retour d'effort et ils ont peur qu'en appuyant trop fort elle puisse se casser. Nous pouvons imaginer que ce comportement est lié au fait qu'il s'agissait du premier contact avec une manette à retour d'effort, mais aussi à cause du fait que cette situation n'a qu'un seul retour sensoriel, l'haptique. Cette situation sans visualisation et avec un retour d'effort rigide met en question la cohérence multisensorielle. Avec un écran qui reste noir, il y a une frustration dans la perception de la cohérence sensorielle et aussi de l'action. Il est d'ailleurs remarquable que bien qu'il n'y ait pas d'images (écran noir), les participants ferment les yeux, pour pouvoir « mieux » explorer et « mieux » comprendre la scène ; nous pourrions soutenir que c'est dans le but de vouloir se concentrer là où il y a l'information utile. Cependant, au cours de l'exploration, cette difficulté devient moins importante et elle n'empêche pas un retour très riche en matière des idées évocatrices et des sensations d'immersion.

Dans la Figure 22 nous faisons un lien avec le type de schématisation des interconnexions que nous avons vu au chapitre précédent. Pour le lien entre évocation et action nous avons la situation où l'expérience haptique interactive évoque aux sujets des souvenirs énatifs. Pour le lien entre action et immersion, nous constatons que le retour haptique de la manette fait plonger les sujets dans une situation d'interaction avec la machine, dans laquelle ils perçoivent la machine comme un agent communiquant. Dans cette session l'élément de la cohérence n'est pas présent car il n'y a qu'une seule modalité. Cependant ce manque du visuel entraîne certains comportements intéressants. Nous constatons qu'afin de mieux se mettre dans la situation, les sujets ont eu besoin de se concentrer au seul retour sensoriel. En fermant les yeux, ils ont isolé le retour haptique qui était la source d'information pour cette session, mais ils restent troublés par rapport à ce que leurs sensations leur font penser.

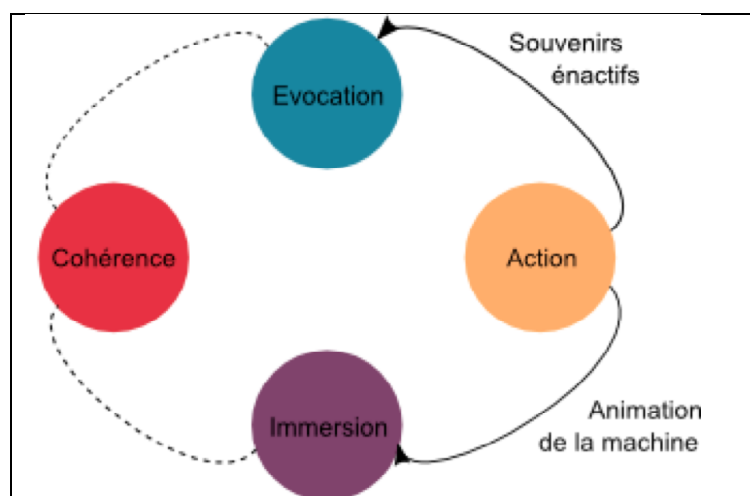


Figure 22 Schéma des interconnexions entre les quatre éléments pour la session 1 de Pebble box

6.1.2. Observations : Pebble box Session 2

Version	1	2	3	4	5	6
Contacts	Dur	Mou	Dur	Mou	Dur	Dur
Visualisation	Non	Non	Floue	Floue	Billes	Billes
Retour d'effort	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Oui

Dans la situation 2, le modèle simulé et le M22, il y a un retour d'effort mais pas d'image. Quand les sujets discutent de cette sensation, ils parlent beaucoup de l'action réelle : l'exploration circulaire par exemple renvoie aux gestes de la cuisine ou de la conduite.

ça sera un gâteau ou quelque chose comme ça, c'est beaucoup plus souple, c'est de l'ordre du pâteux
(Sujet 1)

comme on bat la pâte ou quelque chose comme ça, la pâte à crêpe par exemple
(Sujet 5)

un boîtier de vitesses, juste au début quand on a fait comme ça pour vérifier, ou à un joystick
(Sujet 8)

Les participants ont qualifié leurs sensations de « souples », « fluides », « légères », « agréables », « liberté », « homogénéité » et en ont été surpris positivement. La contrepartie était que cette interaction avec des contacts souples était plus difficile à comprendre, comme l'ont exprimé certains sujets qui ont témoigné un manque d'intérêt.

les entités sont plus fines ... peut-être que si vous faisiez ça avec un pianiste, certainement du côté des doigts, il aurait plus de sensations
(Sujet 1)

on est très libre... ça manque un peu d'intérêt
(Sujet 6)

Intrigant, on cherche à comprendre la logique de la chose. Et elle est pas évidente à saisir donc, ça perturbe mais ça attise plus une curiosité que, autre chose
(Sujet 8)

6.1.2.1. Discussion : Pebble box Session 2

Nous retrouvons les instances énaactives dans plusieurs témoignages. Cette fois la source d'évocation est très liée à l'action réelle.

Les sujets ne ressentent pas le retour haptique. C'est d'ailleurs le mouvement de leur main qui est porteur d'évocation. Les sujets emploient des métaphores de gestes circulaires, qui sont les gestes réalisés en explorant l'espace virtuel rond. Il s'agit ici aussi de souvenirs avec une marque d'énaction, ce sont des souvenirs de gestes quotidiens mais aussi instrumentaux. Pour les citations qui parlent du fait de remuer une pâte, l'instrument est habituellement le fouet et pour celle où le sujet parle de la boîte de vitesse, l'instrument est le levier de vitesse. Ce changement n'est pas aléatoire mais il dépend du fait que l'information haptique vient moins du retour d'effort du modèle simulé et beaucoup plus du geste actif, du geste du sujet avec la manette. La présence de l'instrument devient donc dans cette session apparente.

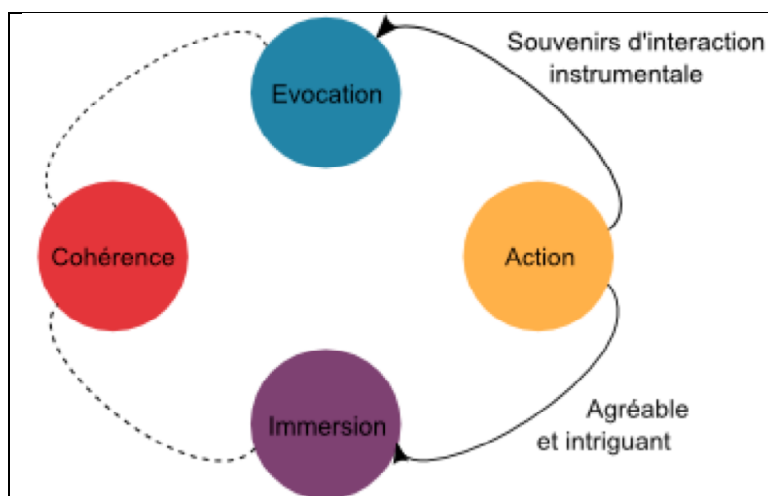


Figure 23 Schéma d'interconnexions pour la session 2 du "Pebble Box"

La concentration sur le dispositif a suscité des discours qui caractérisaient l'interaction à la fois comme agréable et même familière, car elle renvoyait à des manettes des jeux vidéos et intrigante parce qu'elle les incitait à chercher pour la comprendre.

Dans le schéma de la Figure 23 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** nous avons fait le lien entre action et évocation par le biais des discours sur les souvenirs énatifs qui renvoient à des interactions instrumentales. Nous pouvons dire que ce qui forme la relation entre action et immersion, c'est le sentiment de se sentir à l'aise avec l'interaction et d'essayer de la comprendre. En ce qui concerne les relations avec la cohérence, il n'y a pas des relations formées entre cohérence et évocation, et cohérence et immersion dans cette situation car dans cette session, il n'y a eu qu'un seul retour sensoriel, qui a été difficilement perçu par les participants.

6.1.3. Observations : Pebble box Session 3

Version	1	2	3	4	5	6
Contacts	Dur	Mou	Dur	Mou	Dur	Dur
Visualisation	Non	Non	Floue	Floue	Billes	Billes
Retour d'effort	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Oui

Dans la situation 3, nous avons du retour d'effort qui simule le modèle M30 et dont la visualisation est « floue ». Il s'agit donc d'une situation de non congruence, où le rendu visuel de l'image suggère une situation molle et douce quand le retour d'effort simule une scène avec des contacts durs.

il y a un contraste entre l'objet et l'image, c'était très soft et très diffus, contrairement à la machine qui est très rude et très dessinée
(Sujet 8)

elle est beaucoup plus molle que ce que je ressens (l'image)
(Sujet 3)

je n'arrive pas encore à coupler ce que je vois et ce que je touche
(Sujet 9)

Donnant du temps à l'action, les participants font le lien entre leurs propres gestes et la réaction visuelle sur l'écran, ils identifient leurs mouvements dans l'image.

C'est moi qui l'ai déplacé. J'ai dû le déplacer parce que c'est presque simultané sur l'écran
(Sujet 1)

c'est une réponse en fait au geste que je produis
(Sujet 6)

je les sens en fait, et en même temps, j'ai une image qui obéit à mes mouvements
(Sujet 7)

La description de l'espace virtuel a gagné en subtilité en cette troisième session, où à la rétroaction haptique rigide nous ajoutons une représentation visuelle avec un rendu flou. Il devient progressivement clair au cours de la manipulation pour tous les participants, que l'image est une représentation graphique de l'espace virtuel qu'ils sont en train d'explorer avec les mains. Certains sujets ont même fait une description détaillée de cet espace.

C'est la représentation graphique de cet espace
(Sujet 8)

je pense qu'il y a différents stades, tout autour il y a rien qui agit, Ensuite, il y a une résistance qui se forme autour, Quand on avance vers le centre du pad, il y a une résistance qui se forme

(Sujet 6)

C'est comme s'il y avait un...une contrainte circulaire, au centre, l'anneau finalement, dans lequel je peux passer soit à l'extérieur, soit à l'intérieur, là je suis à l'anneau intérieur, là si je force un peu si je passe à l'anneau extérieur

(Sujet 8)

Dans cette situation, l'élément apporté par rapport aux deux sessions précédentes est le rendu visuel. Cette animation sur l'écran apporte un nouvel canal d'interaction avec la scène virtuelle.

Dès que j'aborde la tâche, elle réagit. Elle a tendance à résister

(Sujet 1)

à chaque fois que je bouge, en fait, on dirait qu'elle parle en fait, c'est marrant, c'est plein de petits bruits, mais assez différents, quand je bouge un petit peu ... à chaque fois c'est plein de petits bruits différents, comme si c'était un langage

(Sujet 6)

sans l'image, ben c'est vrai que on ressent quelque chose mais, là à l'écran, on est conscient qu'il y a quelque chose qui nous fait face

(Sujet 9)

Le rendu visuel permet de sentir son action comme présente dans l'exploration et en même temps renforce la perception de l'espace haptique.

si je tombe dans le vide, y a pas de contraintes, parce qu'il y a des lieux (vides), si je joue dans les contraintes ça agit. Cette zone de sombre un peu ... à l'endroit où je suis

(Sujet 8)

c'est vraiment un espace. Alors, peut-être que l'écran aide à percevoir ce genre de chose

(Sujet 1)

6.1.3.1. Discussion : Pebble box Session 3

Le nouvel élément dans cette situation est l'image qui, combinée avec un retour d'effort marqué, contribue à la création d'une forte représentation spatiale de la scène (comme nous le verrons également dans la session 6 plus loin). Par ailleurs, la représentation visuelle floue permet une interprétation plus personnelle et un investissement plus intense dans la scène virtuelle, que nous retrouverons également dans la session suivante. Le retour haptique permet l'exploration de la scène en termes d'action : l'espace commence à prendre forme et ces retours sensoriels permettent aux sujets de comparer l'information spatiale venant de l'haptique avec celle perçue de l'image. Ce processus interactif permet donc la connexion entre geste et image, et la perception de celle-ci comme une vérification du ressenti haptique.

Par rapport à la situation de l'animation de la machine, nous pouvons remarquer que dans la première session à retour d'effort rigide, la réaction de la machine a été perçue comme de l'entêtement, une machine qui résiste à l'intention des visiteurs de la manipuler. Au contraire, à cette troisième session avec un retour haptique rigide et une image douce, les visiteurs adoucissent aussi leur expression et ils ont tendance à interpréter la réaction de la

machine plutôt comme un moyen de communication entre eux et l'image, une machine – agent qui réagit à leurs gestes. Dans ces deux cas, le retour haptique était le même : ce qui a changé, c'est que dans le premier cas, le retour d'information sensorielle venait seulement du dispositif haptique, et dans le deuxième cas il y avait une image qui réagissait en fonction de leurs gestes. Ainsi, un deuxième retour sensoriel contribue à la compréhension de l'interaction. Les gens ne sont plus face à la machine, mais plutôt en coopération avec elle.

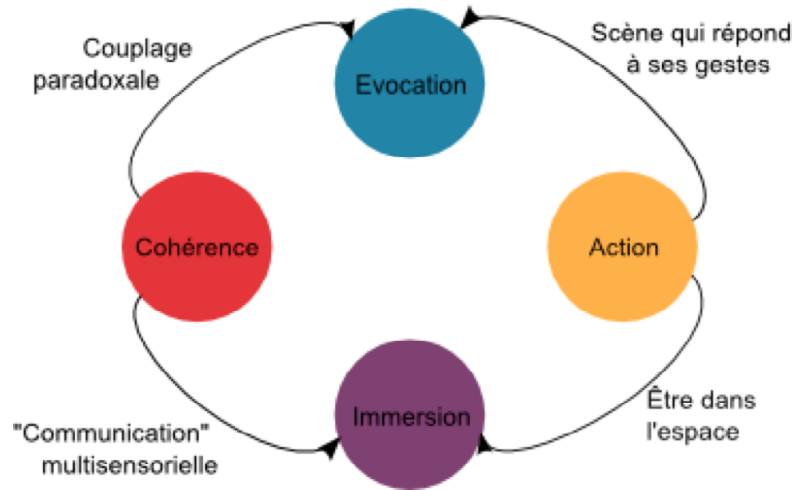


Figure 24 Schéma des interconnexions pour la session 3 du "Pebble Box".

L'action faite par le sujet résulte en un changement de l'image, et cette interaction est perçue comme une réponse visuelle de la scène à ses propres gestes. Le retour haptique permet la création d'un espace virtuel. Les sujets décrivent la scène en correspondance avec leur geste, une description qui se détaille avec le déplacement dans cet espace. Les sujets constatent par rapport à la cohérence qu'il y a un couplage paradoxal entre l'image et la sensation haptique. Les différentes réponses sensorielles du dispositif (bruits, image, retour haptique) sont perçues comme un ensemble multisensoriel qui renforce l'idée de la réaction de la machine et qui prend ici la forme d'une communication avec elle.

6.1.4. Observations : Pebble box Session 4

Version	1	2	3	4	5	6
Contacts	Dur	Mou	Dur	Mou	Dur	Dur
Visualisation	Non	Non	Floue	Floue	Billes	Billes
Retour d'effort	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Oui

Dans la situation 4, il y a du retour haptique mou, le modèle 22 est simulé et la visualisation est de rendu flou. Il s'agit d'une situation qu'on pourrait qualifier de congruente entre contacts simulés et image. Cette correspondance entre visuel et haptique a été remarquée par plusieurs sujets.

Vous faites des interfaces qui sont vraiment dans l'homologie visuelle
(Sujet 1)

une bonne corrélation entre le (visuel) et la machine
(Sujet 5)

Cette homologie sensorielle permet aux sujets de se faire une idée plus concrète de la scène et de l'objet virtuel qu'ils manipulent.

tout à l'heure bon je voyais bien que je bougeais un petit peu c'est-à-dire selon la position de la manette ou je touchais un peu sur les bords, mais y avait pas d'objet de créé alors que là j'ai un objet qui existe virtuellement et que je manipule.
(Sujet 3)

Non, non parce qu'à la deuxième expérience, je sentais vraiment rien, il n'y avait aucune résistance, mais là, on aurait dit que quand je rentrais en contact avec le liquide, il y avait un frottement qui se créait
(Sujet 6)

La perception de la machine comme un agent réactif continue dans cette session. Cette fois les contacts mous sont interprétés comme une réaction molle de la part de l'agent-machine, comme si elle était sous l'influence d'anesthésiant.

on dit que c'est une entité réactive, peut-être vivante, c'est ce mouvement pour lui faire, soit plaisir, soit mal, selon comment il réagit!
(Sujet 8)

je crois qu'on lui a donné un peu d'anesthésiant, on l'anesthésie peu je pense
(Sujet 8)

Le sentiment témoigné pendant la session 3 que la scène répond à ses gestes, devient ici plus précis. Les sujets identifient leur propre action et lui donnent une signification, ils trouvent un rôle pour eux dans cette interaction.

j'aurai tendance à m'amuser à essayer de la fractionner
Une paramécie qu'on peut peut-être arriver à diviser mais ça va se reconstituer aussitôt
(Sujet 1)

mon rôle là-dedans, c'est le séparer. je suis un peu comme un destructeur, quoi, je ... mon but, c'est un peu de le séparer, heu, et après sans arrêt, il se remet ensemble, il se « réhomogénise » donc, c'est un peu sans fin quoi
(Sujet 6)

je pense que je perturbe, je passe à travers,... je peux passer, et séparer, comme une espèce de petite, une petite cellule
(Sujet 8)

Dans cette situation où l'image vient s'ajouter à la scène, nous constatons qu'il y a des remarques qui suggèrent une représentation spatiale grâce à l'haptique, remarques que nous n'avons pas eues pendant la session 2.

j'ai un espace qui est plutôt courbe. Un espace haptique il y a un espace autre. Quand on est vraiment à la périphérie on n'y touche pas mais dès qu'on, dès qu'on s'éloigne de la périphérie pouf ! On est dedans
(Sujet 1)

Non, non parce qu'à la deuxième expérience, je sentais vraiment rien, il n'y avait aucune résistance, mais là, on aurait dit que quand je rentrais en contact avec le liquide, il y avait un frottement qui se créait
(Sujet 6)

6.1.4.1. Discussion : Pebble box Session 4

La perception de cette scène de configuration congruente donne lieu à une évocation beaucoup plus riche en comparaison avec la situation 3. Le fait de pouvoir identifier et interpréter l'effet de son geste sur la scène, comprendre l'espace haptique en relation avec l'image et rester sensible aux réactions de la machine, sont trois éléments qui suggèrent que la cohérence sensorielle a un rôle qui favorise l'évocation et l'immersion dans la situation.

Le couplage entre retour d'effort et image transforme l'interaction en un dialogue qui a un sens et permet aux sujets de projeter une vision empathique de la réponse de la machine.

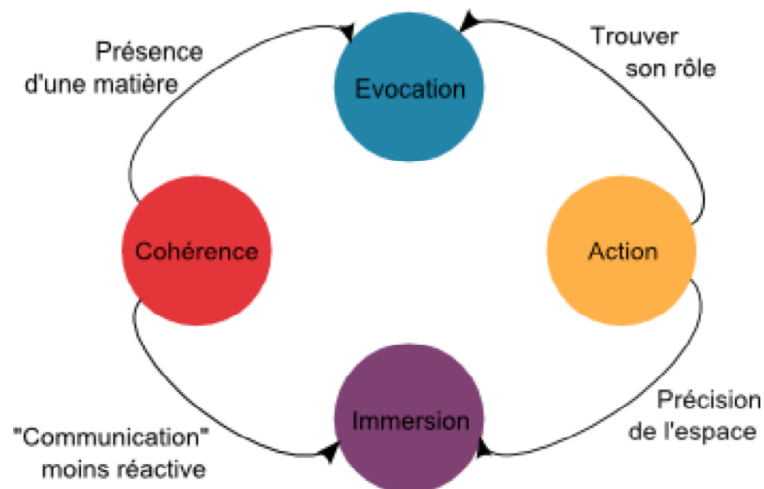


Figure 25 Schéma des connexions pour la session 4 de la Pebble Box.

Les sensations pourtant ne viennent pas aussitôt. Il faut du temps aux sujets pour ressentir la matière. C'est d'ailleurs caractéristique qu'au début de l'expérience les sujets témoignent qu'il n'y a rien mais avec le temps la matière surgit.

Les sujets trouvent vraiment un rôle dans cette configuration ; ils se sentent présents dans la scène. L'immersion dans cette configuration est probablement due à la cohérence entre retour haptique mou et image floue ; nous sommes dans une situation de congruence.

La sensation forte de la présence d'une matière, d'un objet, peut s'expliquer par la correspondance sensorielle qui permet de faire le lien entre sensation haptique et image réactive et de créer de cette expérience l'évocation d'une matière réelle.

6.1.5. Observations : Pebble box Session 5

Version	1	2	3	4	5	6
Contacts	Dur	Mou	Dur	Mou	Dur	Dur
Visualisation	Non	Non	Floue	Floue	Billes	Billes
Retour d'effort	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Oui

Dans la situation 5, il n'y a pas du retour d'effort et la visualisation est nette et en forme des billes.

L'image dans cette session est nette et avec beaucoup d'information sur la scène (nous pouvons distinguer le nombre d'éléments, des formes, des couleurs, des ombres). Cela permet aux sujets de se faire une idée plus claire de l'espace de la scène virtuelle.

Il y a la notion de pression qui entre en compte, c'est plus juste un cercle, en fait, c'est carrément une sphère, on se ballade dans une sphère, enfin je parle juste au niveau tactile, comme si on était à l'intérieur
(Sujet 6)

La notion d'espace là, heu, ça me ... on ne la retrouve pas avant, On peut descendre, monter
(Sujet 6)

ce qui me marque le plus par rapport au modèle donné, c'est son caractère tridimensionnel, c'est-à-dire que je peux venir devant en tirant le Joystick ou passer dessous
(Sujet 9)

Avoir une vision claire de la scène permet aussi aux sujets de se situer dans cet espace.

Je sens bien... que j'agis Je fais tourner, j'agis sur les choses
(Sujet 9)

si j'arrive à mettre ma petite bille au bon endroit, hop. Voilà, j'arrive à sortir le bazar. Et puis si je veux rétablir avec une combinaison avec un trou au milieu peut-être que j'y arriverai.

(Sujet 1)

je peux entrer à l'intérieur du cercle, qu'elles forment ces bulles, je peux les déplacer, je peux déplacer et faire rentrer une seule bulle... et en même temps les faire tourner... quand je suis à l'intérieur... à l'extérieur aussi

(Sujet 7)

Mais l'absence de retour haptique amène une rupture avec la scène. Une déconnexion avec l'objet, une sensation d'avoir perdu quelque chose, une perte d'intérêt,

ça devient très visuel, c'est moins intéressant du point de vue de la sensation

(Sujet 1)

c'est un côté effectivement ludique, c'est amusant quoi, c'est un côté effectivement un peu jeu vidéo

(Sujet 7)

Je suis rentré dans un univers anecdotique ou beaucoup plus trivial

(Sujet 9)

je suis pas du tout en corrélation avec l'objet

(Sujet 3)

avec une domination du visuel.

Mais on est tout de suite happé par le côté visuel, là du point de vue des sensations, il y a une perte

(Sujet 1)

On a l'impression que la vibration est passée sur l'écran

(Sujet 1)

je pense que le visuel perturbe la sensation manuelle... je suis pas sûr qu'il y a une analogie certaine

(Sujet 8)

6.1.5.1. Discussion : Pebble box Session 5

Cette session met à la disposition des participants un dispositif de manipulation (le TGR) très sophistiqué dont les possibilités imaginées où attendues ne sont pas atteintes, parce que le retour haptique n'est pas activé. Nous avons déjà remarqué que lorsque des situations où les dispositifs technologiques employés ne correspondent pas aux attentes (dans la première étude des JIM'09, chapitre IV), il y a une frustration dans la perception de la cohérence sensorielle et aussi de l'action. La différence avec la première situation est qu'ici la session n'inspire pas des situations évocatrices ni immersives. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que l'image explicite (contours nets, rendu visuel des objets en forme de boules) ne laisse finalement pas suffisamment de marge pour que la personne s'approprie de la situation. Notons d'ailleurs que c'est la première session où cette visualisation est proposée et il est possible que les sujets n'aient pas fait le lien entre cette représentation et les images qu'ils se sont fait de la situation pendant les expériences précédentes.

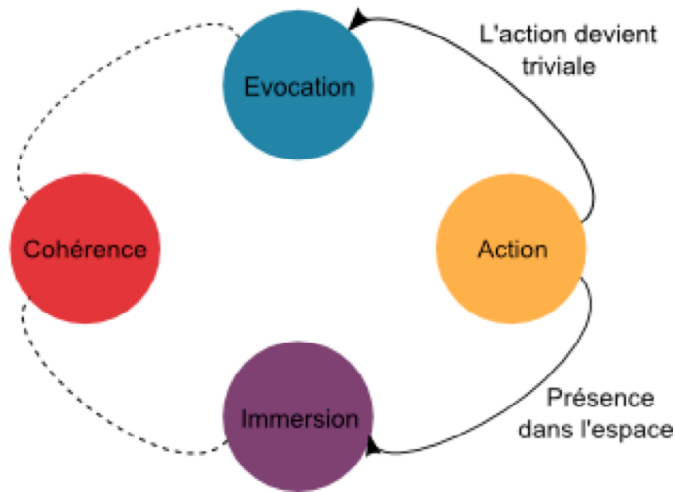


Figure 26 Schéma pour la session 5 de la Pebble Box.

Par rapport à la cohérence, l'image permet une meilleure compréhension de l'espace et une description précise de celui-ci mais en même temps nous observons une domination du visuel à cause de l'image nette et informationnelle et aussi l'absence du retour haptique. Ceci ne permet pas la naissance d'évocations possibles parce que l'image impose une certaine vision de la scène. L'interaction avec la manette est perçue comme une interaction triviale comme celle que nous avons avec une souris d'ordinateur. Cet effet ne gêne pourtant pas le sentiment d'immersion car la précision de l'espace impose une attention et une exploration plus importante de la nouvelle scène et permet aussi aux sujets de situer leurs déplacements dans l'espace tridimensionnel et se sentir partie intégrante de la scène.

6.1.6. Observations : Pebble box Session 6

Version	1	2	3	4	5	6
Contacts	Dur	Mou	Dur	Mou	Dur	Dur
Visualisation	Non	Non	Floue	Floue	Billes	Billes
Retour d'effort	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Oui

L'image (boules rigides aux contours précis) dans cette session est de nouveau couplée avec la sensation haptique (contacts durs), permettant une interprétation de la scène d'une manière très visuelle.

L'image que vous avez imposé là est trop, est trop forte. Elle s'impose même les yeux fermés
(Sujet 1)

Oui quand il y avait plus de résistance, on avait forcément une image un peu tactile, quand il n'y a pas de résistance, on n'a pas d'image tactile. Et là, ce point dur, il est ininterprétable les yeux fermés. Quand on approche ce point dur là, moi, je n'arrive pas à l'interpréter les yeux fermés. Et, euh, ou alors, il me vient fatalement cette image-là
(Sujet 1)

moi dans les représentations précédentes je me suis trouvé beaucoup plus, je me suis senti beaucoup plus sollicité dans... des ressentis internes, psychiques, c'est... assez profonds alors que là j'ai l'impression que... oui, il y a une objectivation
(Sujet 9)

Les sujets perçoivent le retour haptique en connexion forte avec l'image.

là c'est direct parce qu'on a heu, on reçoit en fait la résistance de l'image, enfin, on a une connexion
(Sujet 6)

Ah ben voilà, c'est ce que je voulais depuis le début ! L'analogie elle est parfaite
(Sujet 8)

ça correspond mieux à ce que je ressens
(Sujet 3)

j'ai vraiment plus l'impression par rapport à avant que je touche quelque chose, que c'est pas seulement l'image, je ressens au niveau du tactilement parlant qu'il y a quelque chose qui vibre
(Sujet 7)

Les sujets expliquent qu'ils se sentent pris dans la scène et émus par l'expérience grâce à la connexion entre la résistance et sa traduction visuelle.

c'est beaucoup plus immersif que dans l'expérience d'avant parce que y a la pression, enfin il y a une résistance en fait
une résistance en direct, mais avec l'image, l'interaction est quand même assez immersif
(Sujet 6)

là on se croirait presque être la boule bleue. qu'on dirige, enfin, on a vraiment la sensation qu'on est à la place de la boule bleue parce qu'on a un retour ... on a un retour physique de l'interaction qu'on produit
(Sujet 6)

j'ai le retour de force là, une espèce de petite vibration, c'est comme si les bulles ou les billes autour, elles ont une présence physique... c'est-à-dire que là quand je touche je sens le côté palpable, entre guillemets
(Sujet 7)

Là, oui là des moments très émouvants
(Sujet 6)

Dans cette session, les sujets détaillent l'espace de la scène et des objets qui la constituent comme si celui venait de se révéler à eux. Ils parlent aussi de leur sentiment d'être dans l'espace de la scène.

c'est vraiment l'espace à l'intérieur un espace de intérieur
(Sujet 8)

Si j'essaie de pousser la boule à l'extérieur, en fait, je vais à chaque fois me rapprocher le plus près possible du centre de la figure ou de l'espace que ça délimite
(Sujet 1)

... Je l'ai rencontré (la résistance) dans des retours, c'est-à-dire je, j'empruntais ce chemin-là hop et en revenant, ploum, je suis tombé dessus. c'est-à-dire qu'il y a des endroits où il y a des passages, et puis des endroits où il n'y a pas de passage ...
(Sujet 1)

du coup, ça c'est mon petit copeau qui se baladait
(Sujet 3)

Là, il y a les petites boules de caoutchouc qui me semblent bien... bien réelles
(Sujet 3)

Ouais parce que si on considère l'impression... ça fait partie de la perception du corps, elle se fait par plein de sens, j'ai touché tout ça. Après si la perception de son corps c'est aussi la perception de l'espace donc si je perçois cet espèce de disque, c'est aussi une immersion quelque part dans un micro lieu
(Sujet 8)

Par ailleurs, les sujets perçoivent le comportement des objets de la scène visuelle d'être différent de celui qu'ils ressentent.

c'est des balles rebondissantes donc en caoutchouc un peu dur et je la ressens bien comme ça, et par contre leur réaction spatiale est différente, Elle devrait être plus véloce
(Sujet 3)

finalement même si les boules ont une certaine rigidité, le fait qu'il soit en mouvement, simule une espèce de mollesse, de souplesse
(Sujet 8)

6.1.6.1. Discussion : Pebble box Session 6

Il s'agit ici d'une situation congruente, avec l'écran qui donne une image qui correspond retour haptique. L'image descriptive avec des contours nets des objets est très imposante dans cette situation (en comparaison avec la session 5) malgré le fait que cette matérialisation ne permette pas beaucoup d'évocations. Cependant l'image contribue à la concrétisation de la scène virtuelle qui à son tour renforce le sentiment d'immersion.

Les sujets ont témoigné que le retour haptique et image étaient en connexion. Cette connexion entre réponse haptique et image créent une situation immersive. L'image dans cette session est très imposante et elle sollicite moins de ressenti interne.

Nous observons une objectivation de l'interprétation de la scène virtuelle à cause de l'image imposante avec une sollicitation moins importante du ressenti interne dans le cas de l'action, mais un sentiment de présence physique des objets et de présence du sujet dans la scène.

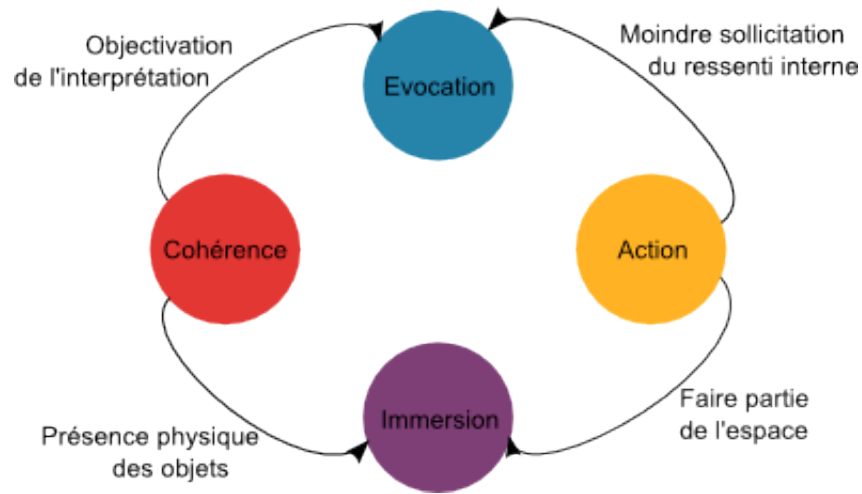


Figure 26 Schéma d'interconnexion pour la session 6 de la Pebble Box.

6.1.7. Conclusions sur l'expérience de « Pebble box »

La sensation d'un espace, ouvrant sur le sens haptique, a été décrite au cours de la plupart des séances et par la plupart des visiteurs. Déjà depuis la première session (pas de retour visuel et de retour de force rigide) nous avons vu qu'il y a eu des commentaires à propos d'une sensation d'espace et de navigation dans celui-ci.

La visualisation floue pendant la situation congruente (session 4) où le retour haptique correspondait à un modèle plus souple, a permis une grande richesse des situations évocatrices et immersives en comparaison avec la situation non congruente de la session 3, où le modèle « à contacts durs » (modèle 30) est visualisé avec un rendu doux et flou. Dans ce dernier cas la scène visuelle s'interprète comme une image couplée avec le geste mais qui ne correspond pas vraiment au toucher. Nous pouvons supposer que c'est ce paradoxe, le décalage entre image et retour haptique, qui empêche les participants de se plonger dans un monde interprétatif et évocateur. Leurs émotions restent plutôt en surface, au constat de la réaction directe entre leur geste et l'image même si l'immersion reste forte. Maintenant dans le cas de la situation congruente ils ont pu non seulement s'intégrer dans la situation mais créer une scène imaginaire qui réagit à leurs gestes.

6.2. La scène « Approche – retrait »

Dans ce volet de l'expérience, il y a eu 11 participants, hommes et femmes de 20 à 55 ans dont la plupart avait un parcours artistique. Les entretiens avaient une durée approximative d'une heure par personne.

Le modèle utilisé dans cette expérience a été conçu en 2008 par {Marlière 2008} et est utilisé ici pour explorer l'aspect binaire de « contact – non contact ». La scène est réalisée en 1D. Le modèle est construit à partir de trois modules d'interaction réalisés de manière spécifique et pouvant agir simultanément. Pour l'expérience l'interface haptique utilisé est un TGR à une touche 1D.

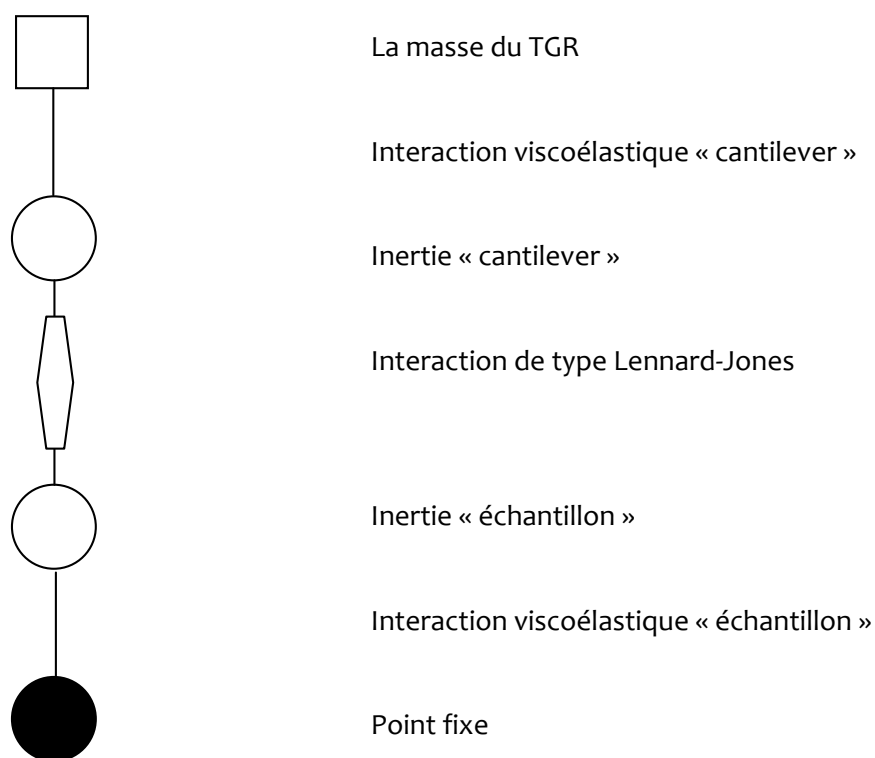


Figure 27 Schéma du modèle haptique Approche - Retrait

Dans l'usage de cette scène virtuelle pour la manipulation de nano-objets, les créateurs du modèle ont fait les observations suivantes concernant le retour sonore :

« Les propriétés vibratoires de la surface peuvent être ajustées à l'échelle des vibrations acoustiques audibles (fréquences naturelles de l'ordre de quelques kHz). Les sons issus de ces vibrations évoquent alors de manière très prégnante les contraintes mécaniques subies par la surface sous l'effet de la pointe. Associée à l'interaction haptique, l'utilisation de ce canal acoustique permet à l'utilisateur une appréhension plus complète et plus précise de ce type d'objet qu'il peut ainsi manipuler avec une plus

grande précision. Le canal sonore permet ainsi une plus grande maîtrise du contrôle de la position de la pointe au voisinage des sauts de collage et de décollage ».¹⁰

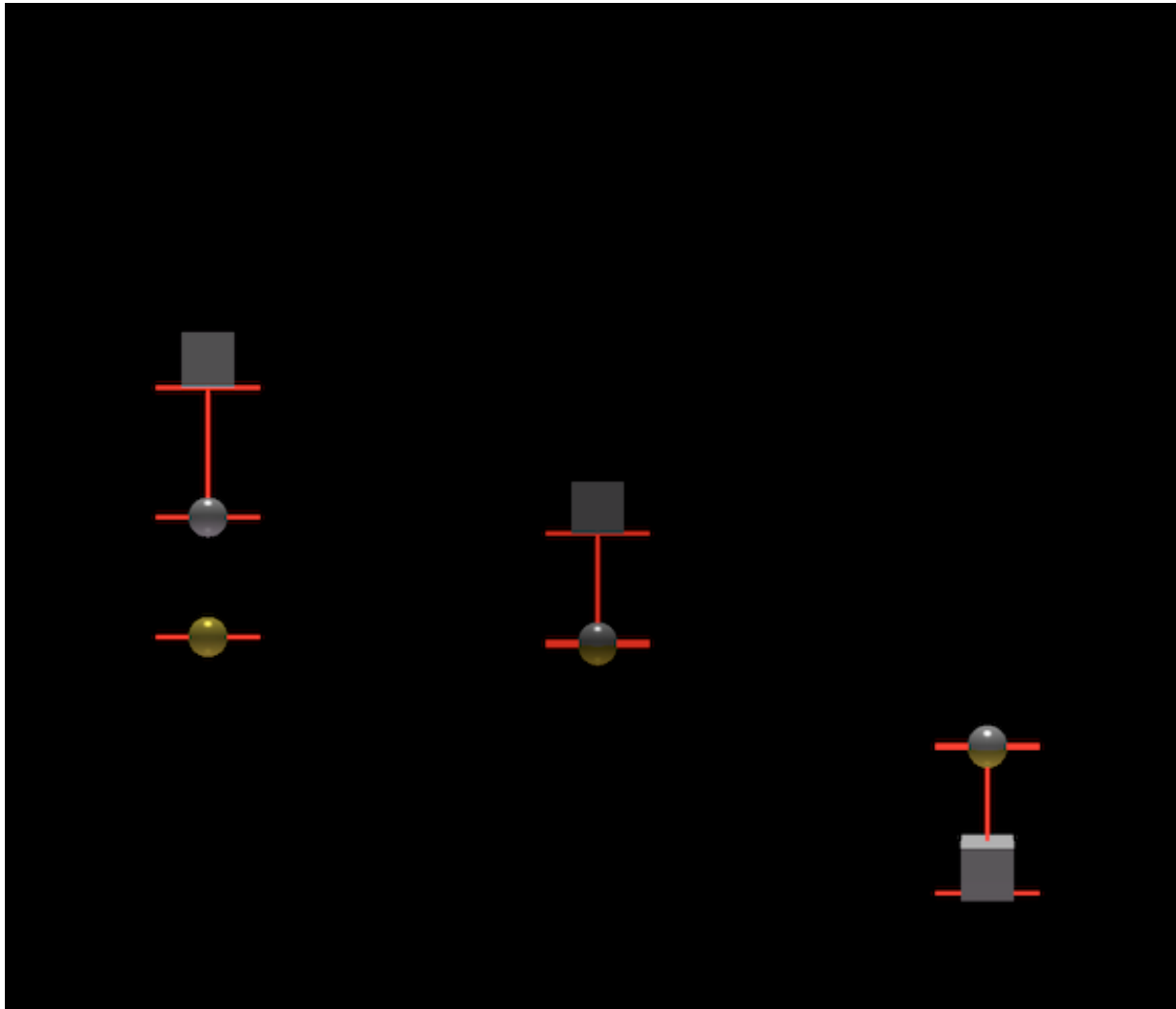


Figure 28 Visualisation de l'Approche - retrait

¹⁰ Cet extrait fait partie de la description du modèle dans un document interne et il nous a paru pertinent de garder la description originale des créateurs par rapport aux propriétés sonores du modèle. La « pointe » est la pointe simulée du microscope à force atomique, qui vient « palper » les nanoobjets virtuels. Ces remarques et résultats sont développés dans la thèse de S. Marlière {Marlière 2006} et dans {Marchi et al. 2010}.

6.2.1. Observations : Approche – Retrait Session 1

Version	1	2	3	4	5	6
Son	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui
Visualisation	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Oui
Retour d'effort	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui

Dans cette session sans retour haptique, nous trouvons des commentaires sur la fluidité de la manipulation et du sentiment agréable qui vient avec cette liberté.

je m'amuse à faire des figures, c'est assez maniable comme truc, on fait un peu ce qu'on veut
(Sujet 11)

la manipulation, elle est très fluide
(Sujet 10)

Mais cette maniabilité est accompagnée d'une mise en question de la sensation haptique et de l'intérêt de l'interaction.

C'est trop lâche, je peux faire ça et je ne sens pas grand-chose en fait.
(Sujet 16)

il n'y a pas de seuil tactile au débranchement, je le sens pas
(Sujet 1)

l'objet il est inanimé, c'est moi qui le manipule, donc il me raconte pas grand-chose cet objet
(Sujet 3)

En même temps et dans un premier abord le dispositif est jugé comme plutôt inconfortable dans le geste et dans les possibilités qu'il laisse à l'exploration gestuelle.

par rapport à tout à l'heure, c'est assez agaçant, c'est de ne pas pouvoir aller vers la gauche ou vers la droite, parce que le joystick permettait un mouvement circulaire alors que là...
(Sujet 10)

C'est assez léger, c'est frustrant parce qu'on ne peut pas toucher, on ne peut pas bouger à gauche et à droite
(Sujet 14)

c'est un peu frustrant d'avoir quelque chose qui se déplace que dans une seule... c'est moins que bidimensionnel, là c'est unidimensionnel
(Sujet 1)

Du coup là le toucher, ça je trouve ça pas pratique, ça ce truc là, je suis pas confort, c'est-à-dire que si je pose mon poignet finalement,... j'ai pas confort, si je suis comme ça avec le coude levé pas confort, je ne sais pas comment me mettre
(Sujet 4)

Le fait de n'avoir que l'image pour s'informer met les participants dans une disposition d'observation, d'analyse de la scène. Ils recherchent le comportement de la scène, et ils observent sa réaction par rapport à la position de la manette ou de son propre geste.

C'est étonnant qu'il y a un léger tremblement comme ça... alors je touche rien pour le coup
(Sujet 12)

la première chose qui... intéresse ce type de dispositif, c'est les positions stables c'est-à-dire, et les positions non stables
(Sujet 13)

Ben, là j'essaie de... de ressentir cette branche, comment... J'analyse d'abord, du moins j'essaie de rentrer dedans
(Sujet 3)

si j'avais à décrire l'espace je trouverai l'horizon qui est à peu près là donc, au tiers inférieur, ce qu'on fait dans toute bonne photo
(Sujet 1)

J'essaie de ne pas faire comme tout à l'heure (Expérience Friction), où je me suis concentrée sur l'image et puis du coup, j'avais pas vraiment conscience de ce que ma main sentait
(Sujet 10)

Cet effort d'analyse amène certains sujets à percevoir l'élasticité simulée du modèle comme possibilité instrumentale.

sur l'image on a vraiment l'impression qu'il y a un espèce d'élastique qui retient cette note, je dirais un « do », le « do », sauf que y'a rien, y'a aucune force ressentie.
(Sujet 10)

je suis dans un outil là, alors, là il colle, c'est ce ressenti là effectivement, je suis tellement entre les 2, oui.
(Sujet 3)

Les sujets expriment une gêne par rapport au comportement de la manette qu'ils perçoivent comme un objet qui ne répond pas à leur geste, une touche de piano cassée.

je ressens quand même un petit quelque chose dans les doigts. Un petit peu comme si on appuyait sur une touche de piano et... pas tellement quand même. On est obligé de redonner une impulsion en bas, pour que ça remonte
(Sujet 14)

Ça fait un peu penser à une touche de piano parce que normalement une touche de piano, il y a un retour. Quand on lâche ça remonte tout seul. Là ça ne le fait pas.
Ou alors c'est une touche cassée sur les pianos mais sinon.... Maintenant tactile, je ne vois pas ce que ça, ça ne me fait penser à rien de spécial. A part quelque chose de cassé, d'anormal en fait
(Sujet 15)

Qu'est-ce que c'est ce machin, ce piston mou
ça absorbe le rebond, il n'y a pas de rebond
(Sujet 4)

Le choix de représentation visuelle influe sur l'interprétation de la fusion entre le cube et la sphère et entre les sphères.

je pense qu'elles peuvent se traverser comme deux gouttes d'eau qui peuvent fusionner et puis après se séparer à nouveau
c'est vrai qu'elles n'ont pas la même couleur. On pourrait dire que ça pourrait être deux liquides qui ne sont pas miscibles.
(Sujet 14)

Non, le cube je n'ai pas l'impression qu'il soit liquide par rapport à mon image. Donc, c'est assez étrange
Donc là, c'est soit le carré, enfin, soit le cube soit la sphère qui traverse l'autre mais il y en a forcément un des deux qui peut se diviser en plus petites particules pour pouvoir traverser l'autre
(Sujet 14)

Donc c'est que c'est fait d'un matériel très ... du sable, un tas de sable par exemple. Ça c'est mon interprétation de l'image ça s'enfonce
(Sujet 4)

6.2.1.1. Discussion : Approche – Retrait Session 1

Dans cette session sans retour haptique et sans son, nous trouvons des commentaires sur la fluidité de la manipulation et du sentiment amusant et agréable qui vient avec cette liberté. Ces commentaires ont la même substance que ceux que nous avons pu mettre en évidence aux sessions 1.5 (image, pas de retour d'effort) et 1.2 (retour d'effort faible) de la « Pebble Box ».

Le fait de sentir la fluidité et caractériser la manipulation comme agréable vient pourtant avec un prix. C'est le prix de la perte d'intérêt, d'une manipulation qui ne donne pas beaucoup d'information.

Les sujets expriment un conflit cognitif dû au fait que la manipulation ne renvoie pas une sensation qui correspond à l'animation.

Les participants qualifient l'expérimentation comme maniable. Dans certains cas, surtout quand cette expérience vient en deuxième, c'est-à-dire quand ils ont déjà vécu le cas de la Pebble Box ou de la Friction où la manette employée a plus de degrés de liberté, les sujets trouvent au début frustrant et restrictif qu'il n'y ait qu'un degré de liberté proposé dans cette expérience.

Dans ce cas où il n'y a pas de retour d'effort, l'image porte le poids expressif de l'expérimentation. L'attraction, l'étirement, le rebond sont des sensations attribuées à l'image.

Majoritairement les sujets ont vécu une déception par rapport au « silence » de l'appareil du retour d'effort et ils ont qualifié la manette comme un appareil inanimé qui ne répond pas à leurs manipulations. On voit d'ailleurs que l'image les met dans une disposition d'analyse de la scène et de l'interaction entre les éléments. Par exemple ils expliquent le comportement de fusion des sphères de par leur nature microscopiques (petits particules, sable).

On trouve qu'il y a une interaction entre la cohérence perçue et l'action produite. La sensation de toucher qui ne renvoie pas ce qui est attendu (retour d'effort) crée des situations de frustration ou des sentiments de dysfonctionnement.

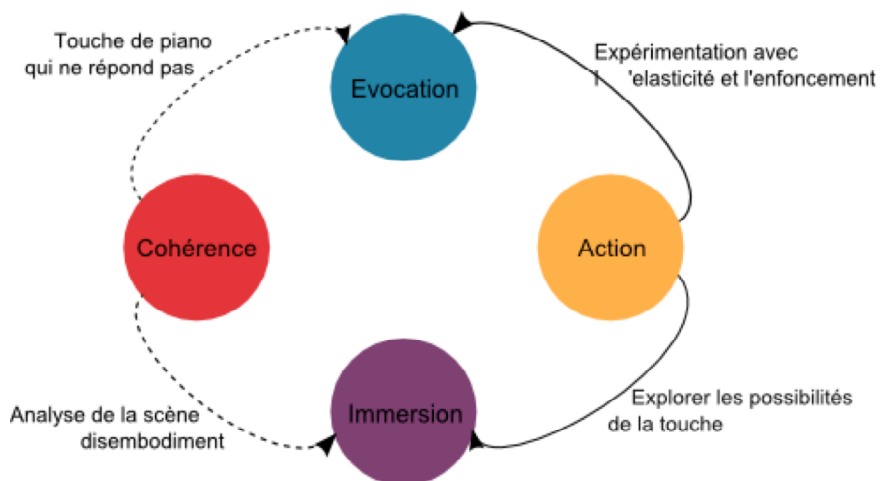


Figure 29 Le schéma d'interactions pour la session 1 de l'Approche-Retrait. Les liens qui partent de la cohérence sont brisés parce que nous sommes dans une situation avec seulement l'image comme retour sensoriel.

Nous pouvons également mettre en évidence une relation entre la cohérence et l'immersion, car le fait de ne pas avoir un geste créatif n'avantage pas l'immersion et amène à une situation d'analyse conceptuelle, un *disembodiment*.

Enfin, l'action et l'évocation sont liées par l'évocation de situations molles, induites par le fait que la manette ne renvoi pas de retour.

La possibilité instrumentale inspirée de l'image n'est pas confirmée quand les sujets portent leur attention sur le comportement de la manette. L'absence du retour haptique ne leur permet pas de confirmer leur première évocation de la touche de piano perçue comme une touche cassée, comme quelque chose d'anormal.

6.2.2. Observations : Approche - Retrait Session 2

Version	1	2	3	4	5	6
Son	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui
Visualisation	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Oui
Retour d'effort	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui

Dès les premières secondes de l'expérimentation, les sujets ressentent la forte connexion entre le son et le geste.

on sent qu'en fonction de la brutalité du mouvement, le son change
(Sujet 11)

c'est lié cruellement à la vitesse, à la vitesse de la manette donc c'est un phénomène sonore qui serait...déclenché à un moment donné en fonction de la vitesse
(Sujet 13)

y'a de la vitesse et l'augmentation de fréquence
(Sujet 10)

plus je viens de haut et que je fais un contact rapide, plus c'est aigüe, alors que si je fais comme ça, c'est tout léger, c'est assez sourd, il y a un écho aussi
(Sujet 10)

Plus l'expérimentation avance, plus le lien entre geste et son permet un jeu instrumental qui intrigue les sujets.

on a l'impression qu'à chaque fois, quand on touche la masse verte lentement ou rapidement, le son est différent et ça rajoute quelque chose
(Sujet 14)

pour moi c'est une espèce d'instrument en fait parce que, on réagit avec l'un on choisit un peu... suivant la violence du mouvement on peut choisir une certaine fréquence, une certaine frappe
(Sujet 15)

là ce n'est plus un changement de vitesse (boîte de vitesses), du moment où on manie des intensités
(Sujet 1)

Les sujets témoignent d'une connexion entre le son, l'image et le geste.

Le son est différent quand le cube est placé en dessous ou au dessus des masses. On a l'impression que le son monte quand le cube est au dessus, qu'il descend quand il est en bas, bon alors je pense que tout est lié avec le visuel quand même...
(Sujet 14)

(quand on met le cube au dessus) On est plus dans quelque chose qui monte, qui s'élève et je pense que c'est lié à la vision.

(quand le cube est placé en dessous) là, plutôt quelque chose qui descend, qui tomberait, qui tomberait comme une feuille, qui tomberait d'un arbre plutôt doucement peut-être liée au geste, au visuel. Ouais, les deux
(Sujet 14)

au moment critique où on commence à entendre un son, c'est au moment où les deux masses s'entrechoquent, fusionnent. Et à partir de là, on commence à pouvoir jouer avec le cube pour entendre un autre type de son plutôt comme un vent
(Sujet 14)

Ils évoquent également des images provenant de la combinaison des sens.

Je pense que c'est lié au visuel et au geste oui, lié aux deux. Parce que, en fait, si on écoute vraiment que le son, je ne vois pas pourquoi ça m'évoquerait une chute, si je dissocie le son de l'image et du geste.

(Sujet 14)

C'est des sliders ça ce qui glisse, comme si on réglait une fréquence, le fait que là il n'y a rien, c'est comme si on les branchait en fait. Peut-être que le son serait contenu dans le cube et puis ensuite la boule grise se branche avec peut-être l'autre prise et ensuite ça sort sur les enceintes

(Sujet 15)

Les sujets évoquent des situations qui dépendent plus du son que de l'image.

Moi ça m'évoque vraiment une bouteille

Quand ça fait le bruit en fait, c'est plus le bruit plutôt que l'image qui m'évoque ça

(Sujet 11)

c'est un élastique sonore, c'est le fait d'augmenter en fréquence

Une hélice qui augmente de vitesse

(Sujet 10)

Comme si on faisait un bruit dans un... la goutte d'eau hein, on pourrait dire ça avec la grotte, la goutte, les stalactites

(Sujet 4)

Ils ont envie de proposer une représentation qui correspond mieux à leur idée de la scène.

une toile tendue effectivement de...de plus en plus tendue qu'on tape dessus, ouais effectivement on aurait une augmentation de fréquence du même ordre mais la représentation est gênante pour cette image là

(Sujet 13)

ce bruit de ventouse, il faut qu'il y ait une surface plate et une surface bombée, et je dirais que la surface bombée c'est ce que j'ai là et la surface plate, c'est ce que j'ai en dessous qui est sur un support meuble que j'image à peu près comme une espèce de truc blanc

(Sujet 10)

moi j'aimerais bien que ça se casse là. Que le truc il casse et que la boule elle voltige partout, qu'on essaie de la rattraper

(Sujet 16)

la haute fréquence est croissante, elle est de plus en plus aigüe à mesure qu'on va vers le bas, ben en fait, moi j'aurai fait l'inverse

(Sujet 1)

Les participants trouvent que la représentation visuelle est restrictive ou indifférente.

la représentation ...devient gênante

la représentation visuelle donne une couleur à la manipulation et une interprétation possible le visuel, propose...a priori une sensation par rapport à ce que l'on écoute...à ce qu'on entend

(Sujet 13)

je ne regarde pas trop l'image là, j'écoute moi, ça ne m'intéresse pas trop l'image là.

Disons qu'elle ne me renseigne pas beaucoup

Là finalement le code de représentation, ça ne m'évoque pas grand-chose

(Sujet 4)

Plusieurs expressions réfèrent à un sentiment incarné de la situation

Donc là j'ai la sensation d'être le coussin, lui-même ce qu'il ressent, quand on lui appuie dessus
(Sujet 17)

je suis actrice et spectatrice. Je pense que je suis autant spectatrice qu'actrice parce que ok, c'est moi qui manipule mais en même temps, je me place dans une position de contemplation
(Sujet 14)

Certains ont trouvé le son désagréable ou artificiel à cause des fréquences perçues comme trop aigües.

C'est anecdotique pour moi, c'est... je préfère le côté sensitif, visuel, matière
ça me perturbe plus qu'autre chose là, ce serait moi, je couperai le son pour... d'ailleurs mon ordinateur je mets jamais le son
C'est la fréquence utilisée peut-être, ce serait plus dans les basses ça m'agacerait moins, ça me hérisse
(Sujet 3)

c'est un son artificiel, c'est clair
(Sujet 16)

Les possibilités se multiplient avec l'ajout du son, le son vient comme sensorialité supplémentaire.

c'est assez ludique par rapport à l'expérience précédente qui a l'air assez basique, assez simple, on a l'impression de l'explorer assez rapidement, là on a l'impression que les possibilités sont assez infinies.
(Sujet 14)

On a envie de rester là. On a envie de faire ça.
On peut choisir un son grave, un son plus aigu. Pour moi, c'est comme une espèce d'instrument.
(Sujet 15)

mais c'est rigolo comme instrument, moi j'aime beaucoup faire ça
(Sujet 4)

Les sujets décrivent la dimension spatiale du son.

il y a un espèce de volume qui se déploie donc tout d'un coup.
ça refabrique de l'espace, même dans un espace carrément unidimensionnel
(Sujet 1)

mais au départ on dirait une enveloppe sonore d'un lieu, Un lieu d'écho
(Sujet 4)

c'est moins frustrant que le protocole numéro 1 parce que tout de suite le son ajoute une dimension spatiale
(Sujet 1)

Les sujets témoignent que le son oblige à une différente interprétation des objets visuels.

S'il y avait simplement le son des deux masses qui s'attirent, oui ça peut augmenter cet effet de goutte. Mais je trouve que cette analogie-là se perd avec l'effet de vent sidéral
(Sujet 14)

Ça devient tout de suite une bulle avec ce son-là, je ne sais pas pourquoi, je l'interprète tout de suite comme une bulle, alors qu'avant qu'il y ait le son, elle était beaucoup moins plastique. Le son, en plus d'introduire un espace, introduit la plasticité dans des figures qui sont un peu raides
(Sujet 1)

6.2.2.1. Bilan Partiel : Approche – Retrait Session 2

Dans ce deuxième cas, nous avons l'introduction du son en plus de l'image. Les participants ont très rapidement découvert qu'ils étaient liés et ils ont trouvé cette information (l'ajout du son et le lien entre geste, image et son) intéressante dans le sens où ces liens amenaient une nouvelle piste sensorielle et d'exploration. Mais il y a eu un sujet qui a clairement dit que le son l'ennuyait en expliquant qu'il se définissait comme « une personne de l'image », alors qu'il y a eu un autre sujet qui disait que pour lui seule la partie sonore importait. C'est à ce point que les participants en général commencent à se sentir intrigués par la manipulation et définissent leur expérience comme instrumentale.

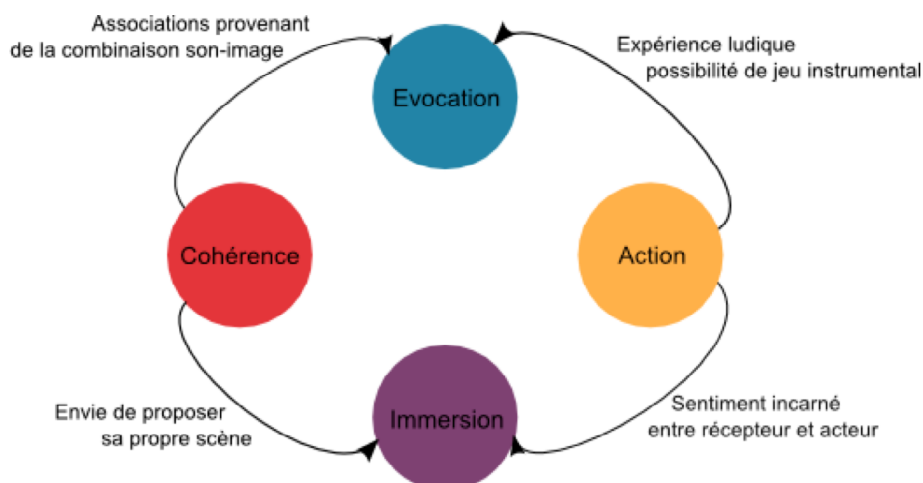


Figure 30 Schéma d'interaction pour la session 2 de l'Approche-Retrait.

Nous remarquons que le lien entre son et image est perçu comme très fort par les sujets qui font des associations en connexion avec la combinaison son-image. Son et image sont très liés et l'image impose une manière d'interpréter la situation, tandis qu'en même temps le son influence la manière de percevoir la scène.

En plus, il y a un besoin de rester sur cette expérience, d'explorer les différentes possibilités de l'instrumentalité. A part la partie ludique de l'action, il y a aussi la sensation interne d'être soi-même à la fois le récepteur et l'acteur de la force exercée.

6.2.3. Observations : Approche – Retrait Session 3

Version	1	2	3	4	5	6
Son	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui
Visualisation	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Oui
Retour d'effort	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui

Les sujets appréhendent le retour d'effort et ils ont comme première sensation le seuil limite en bas.

en descendant y'a un moment où ça force, quoi, pas sur toute la plage mais sur le coin, y'a une sorte de résistance, je suis obligé de forcer un peu pour descendre et ça remonte tout seul
Ca évoque un peu un ressort quoi, en fait, un ressort qui est en appui et qui reprend sa forme initiale après
(Sujet 11)

Elle me repousse. Là on sent un petit grain que je ne sentais pas avant, mais vraiment à la limite frontière.
(Sujet 14)

Plusieurs sujets se posent la question par rapport à l'hypothèse que l'image et le son des sessions précédentes les ont empêchés de sentir ce seuil :

je suis incapable de dire si c'est les mêmes réactions, parce que j'ai tellement été focalisé par le sonore et l'image
(Sujet 13)

tout à l'heure par exemple je sais pas si j'ai été aussi bas en fait...comme j'ai manipulé en fonction de l'image
(Sujet 13)

Tout à l'heure j'avais l'impression vraiment que c'était un peu comme une touche de piano où on appuie dessus, on n'a pas de retour et là, je sens le retour. Donc, je ne sais pas si c'est dû au fait qu'il n'y a pas de visuel ou si c'est dû au fait que les réglages ont changé
(Sujet 14)

Les sujets décrivent avec l'expérimentation une image de l'espace qui consiste en un haut et un bas, par opposition aux sessions précédentes où il y avait seulement le contact entre les éléments.

Bon ben ce coup-ci ça force plus en bas, par contre y'a rien en haut
(Sujet 11)

quand je suis entre cette position et la position maximum en haut, le mouvement est assez fluide. On ne ressent pas vraiment de butée
par contre c'est quand je commence à descendre à partir de ce seuil critique, là je sens une force. Je sens que j'appuie sur quelque chose
(Sujet 14)

(en descendant) on a tout de suite la résistance de la densité
(en remontant) le cran, le truc ce serait plutôt la résistance d'un aimant qu'on aurait vaincu
(Sujet 1)

j'avais à traduire en image, j'ai un cran et en dessous, j'ai une résistance, ça serait vraiment, ça sera un volume de caoutchouc mais plein
(Sujet 1)

Les sujets pensent que le retour haptique vient confirmer l'image des sessions précédentes.

(ça) vient conforter l'idée de ventouse, parce que vraiment, c'est vraiment la même sensation ...
j'oublie la forme que ça, y'a l'accroche là, quand on est arrivé ici avec la touche, on sait qu'on est fixé, sauf qu'on peut quand même aller un peu plus loin en forçant, c'est ça qui me fait penser à quelque chose de l'ordre de la ventouse
(Sujet 10)

j'ai le petit décollement de tout à l'heure que je sens très bien, oui alors que tout à l'heure, je l'avais pas, il me manquait d'ailleurs
(Sujet 3)

donc là c'est le ... finalement le même principe mais avec plus de résistance
(Sujet 4)

Ils font une comparaison entre l'effort demandé dans la situation imaginée et celui exercé/senti.

ce qui est assez différent de la réalité, c'est que je suis avec une espèce de touche plate que je manipule assez facilement avec le bout du doigt, alors que d'habitude j'associe cette impression de ventouse avec une pression assez forte de toute la main qui tient quelque chose
(Sujet 10)

du fait que ce soit dur, il y a toujours cette idée d'une touche où on appuie, il y a une résistance qui la remonte
Là où ça change c'est que c'est assez dur alors qu'un piano c'est quand même fait pour que ce soit assez facile de jouer du piano, sinon on aurait mal aux mains quand même
(Sujet 15)

Au cours de l'expérimentation, les participants peaufinent progressivement leur sensation haptique.

il y a un objet qui est toujours super à manipuler c'est les aimants
c'est un tout petit aimant, il a quand même un poids, je sens bien qu'il y a une mécanique entre les 2 l'aimant est placé sur un bras de levier, il est quelque part par là sur une petite tige et puis je le décolle de là
alors pour la ventouse là, je suis presque plus dedans parce que là, c'est caoutchouteux, hein, je sens que c'est caoutchouteux là comme dispositif
mais j'ai plus l'impression que là ça colle par effet ventouse, même mieux par capillarité, par effet de surface
(Sujet 3)

Quelque chose sur lequel j'appuie et qui revienne. Je ne sais pas du tout... Comme un ascenseur
Ça serait sur le principe d'action réaction mais il faudrait un mécanisme quand même...
Un ressort oui. Oui, ça c'est pas mal. Quelque chose qui revient sans cesse
(Sujet 14)

c'est en le mettant comme ça, en ayant marre un peu de faire votre truc-là que je me suis mise comme ça et que, en fait, j'ai découvert ce qui m'intéressait
(Sujet 16)

Ils décrivent une réjouissance dans le décollement.

elle est vraiment belle (la sensation de décollement)
(Sujet 3)

Une espèce d'attraction qu'on aurait réussi à vaincre et puis après, ça me paraît assez uniforme, il n'y a pas de résistance
(Sujet 1)

Mais également dans la résistance.

Quand on met ses doigts dedans et qu'il y a de l'air en fait, et l'air il explose autour des doigts et du coup, la résistance
Ça me fait penser à ça et c'est agréable comme ça au fait
(Sujet 16)

Ils témoignent aussi d'entendre les bruits de la machine dans le toucher.

le truc hyper aigu-là, je n'aime pas du tout mais on a quand même la sensation de quand les deux boules se décrochent
(Sujet 16)

Il y a le son, le frottement de pièces mécaniques
Moi je l'entends beaucoup, de mes doigts, les ongles
(Sujet 4)

6.2.3.1. Bilan Partiel : Approche – Retrait Session 3

La position du bras et la manière d'appréhender la manette jouent un rôle important dans cette expérience car les sujets n'ont que la sensation haptique comme information. Ils se rendent donc compte que différentes postures et préhensions peuvent leur donner des sensations différentes.

Les sujets mettent en question les évocations précédemment construites car le retour haptique ne leur permet pas de valider la scène audiovisuelle précédemment explorée comme connectée.

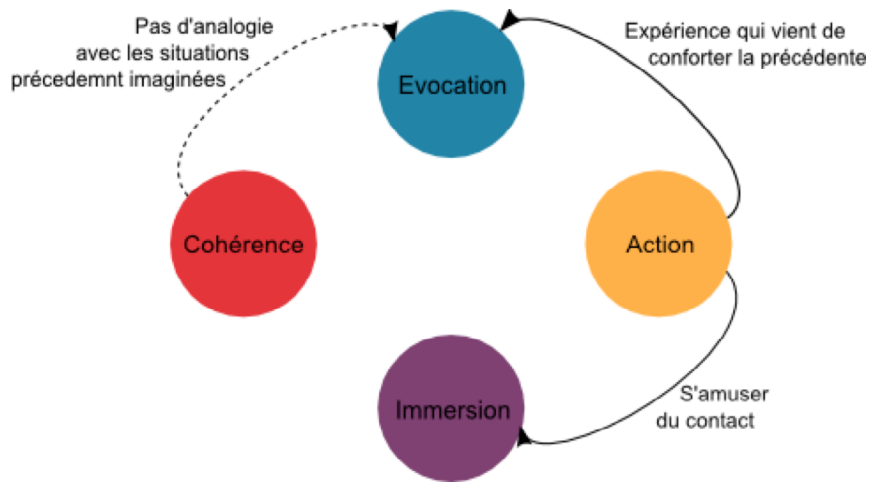


Figure 31 Schéma des interconnexions pour la session 3 de l'Approche-Retrait.

Dans la session précédente, le son venait ajouter une dimension spatiale à la scène. Ici, avec seul le retour d'effort, l'espace redevient unidimensionnel. Les sujets parlent du haut et du bas, de descendre et monter sans qu'il y ait d'autre possibilité.

La compréhension de la scène se fait par petits pas d'exploration. D'ailleurs, il est difficile d'obtenir une description complète de la scène. Les sujets ne trouvent pas une analogie directe avec les métaphores précédemment induites.

Cette vision de la scène un peu restrictive amène donc les sujets à se contenter de la sensation haptique.

6.2.4. Observations : Approche - Retrait Session 4

Version	1	2	3	4	5	6
Son	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui
Visualisation	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Oui
Retour d'effort	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui

Dans cette session, le son accompagne le geste quand le sujet tire sur la manette ; il amplifie l'impression du décrochage et incite à des évocations comme une bouteille que l'on débouche ou une ventouse que l'on enlève.

je force pas forcément mais en tout cas, pour ôter l'adhérence, il y a une petite résistance qui fait que, c'est comme si ça s'enlevait tout d'un coup
il y a un point où d'un coup ça force un petit peu, mais heu, accompagné avec le petit bruit, ben ça donne cette impression
(Sujet 11)

En fait, c'est dans l'action, à un moment on cherche à... on force un peu et y'a un moment où tout se libère quoi, quand le bouchon est sorti
(Sujet 11)

c'était le bruit qui me fait penser à ça, c'est plus l'effet ventouse quoi, on met quelque chose, par exemple un objet en caoutchouc sur une vitre, ça s'adhère et en fait, pour le retirer on force un peu et d'un coup ça se libère et c'est un peu la sensation qu'on retrouve en manipulant la manette
(Sujet 11)

Je ne sais pas si c'était déjà le cas tout à l'heure, moi j'ai pas remarqué, mais quand on se détache, il y a une espèce de petit bruit sourd là, qui marque le décrochement
(Sujet 10)

Les sujets trouvent une possibilité instrumentale dans le jeu de la variation du son.

il y a un peu comme un vibrato lorsque tu joues avec, j'ai l'impression que tu peux distordre le son très légèrement
(Sujet 12)

lorsque tu appuies sur les jouets pour animaux, si on appuies plus ou moins forts, tu as un son plus ou moins aigu
(Sujet 12)

je pensais au bruit du vent qu'on entend parfois entre...entre 2 portes mais après c'est le jeu avec... C'est pour ça que je parlais de vibrato au départ, c'est avec la guitare comme on peut distordre le son... là aussi en appuyant dessus
(Sujet 12)

C'est comme un jeu de va et vient quand tu mets un pied sur la balance pour faire bouger l'aiguille... ben tu peux jouer comme ça avec les sons
(Sujet 12)

Moi il me plaît bien celui là, c'est la jouabilité, je trouve que c'est pas mal Ou de l'intensité, ah là c'est ça, plus je tape fort, plus c'est aigu
(Sujet 4)

Ils distinguent d'ailleurs deux types de son.

ce bruit-là apparemment c'est plus le... c'est le mouvement au niveau du rythme, en allant plus ou moins vite, alors que l'autre, c'est au niveau de... enfin on peut jouer vraiment avec le son pour le rendre plus aigu ou pas
(Sujet 12)

on a un bruit mat, vraiment heu, et grave, alors que là on est dans les bruits plutôt aigus
(Sujet 10)

Au fur et à mesure des expérimentations, les sujets commencent à jouer avec les sons.

Je disais que c'est vraiment intéressant de pouvoir activer le son comme ça [...]tu n'actives pas seulement sur un bouton si tu veux, mais tu joues vraiment avec... mais dans un premier temps, il se passe rien, ça prouve t'as une série d'apprentissage donc, un premier son, un décollement ici
(Sujet 12)

Grâce au son, la manipulation devient plus fine, plus consciente.

par contre je ne me souviens plus si j'ai dit qu'il y avait un retour de force ou...parce que là il est évident...il est évident dans la manipulation

(Sujet 13)

il me semble bien que j'avais manipulé la manette d'une manière relativement inconsciente

(Sujet 13)

la manipulation pour moi est différente. Parce que tout à l'heure, j'étais vraiment plus focalisée sur l'écran, donc en se focalisant sur l'écran, on ne va pas descendre en dehors du cadre, parce que là il n'y a plus de contrainte, on peut descendre

(Sujet 14)

Et bien tout à l'heure je n'arrivais pas à positionner clairement la limite entre les deux. Bon je sentais qu'il y avait un moment où on sentait à la fois une force et un grain et maintenant, j'arrive vraiment à séparer. Ici, je suis toujours dans le grain, ou on commence à ressentir... on a le son qui arrive et dès que j'appuie un peu plus, là je suis dans la force.

(Sujet 14)

(le son) permet de sentir vraiment beaucoup plus les subtilités qu'il y a dans cette manette parce que, comme justement les possibilités sont restreintes, la possibilité de manipulation ne peut faire qu'à la verticale, c'est très très dur de pouvoir ressentir toutes les petites subtilités qu'il y a à l'intérieur.

(Sujet 14)

j'imagine la boule qui sort de l'autre, mais je ne le manipule pas comme au début

(Sujet 16)

L'interaction, qui dans la session précédente était considérée comme un contact avec une surface, devient ici un contact avec plus de dimensions, avec un objet, parfois animé.

Beaucoup moins de l'ordre du contact avec une surface Et quelque chose qui est de l'ordre de l'objet

(Sujet 10)

qu'on a quand même l'impression d'avoir à faire à une petite créature ça me met un peu la puce à l'oreille sur quelque chose qui pourrait être relativement réel

(Sujet 10)

C'est vrai qu'on est vraiment plus dans le ressenti entre la main et l'objet.

(Sujet 14)

C'est une espèce de membrane encore une fois dans laquelle on enfonce sa main, enfin, on force, quoi le passage. Donc on arrive, on touche une espèce de membrane qui en plus fait du bruit là et ça colle un peu parce que quand on enlève, il y a une résistance mais si on pousse, c'est comme rigide et ça nous empêche quand même de passer

(Sujet 15)

Le lien entre son et retour haptique donne une dimension différente à l'outil de manipulation.

Là du coup le son, même si j'aime pas trop la fréquence, me gêne beaucoup moins puisque là maintenant j'ai un autre outil c'est-à-dire que j'ai pas un visuel à manipuler Parce qu'il m'informe de beaucoup plus de choses

(Sujet 3)

Le comportement de la manette induit d'évocation du télégraphe/morse qui se trouve en lien avec le geste.

j'ai l'impression de faire du morse, je pourrais faire du morse avec ce système de machine là
(Sujet 10)

je sais à quoi ça pourrait me faire penser maintenant. Au télégraphe.
Le fait qu'on appuie et puis qu'il y a une résistance
(Sujet 15)

Certains sujets ont trouvé que le son ne suivait pas le schéma « logique » du geste.

les hautes fréquences sont plutôt vers le ciel, le bas c'est vers...du côté de la terre, ou des profondeurs
il se trouve que quand tu passes par une comparaison visuelle, t'as tendance à voir le haut vers le haut et le bas vers le bas
je suis un peu prisonnier, l'interface logique de mes habitudes, de mes stéréotypes visuels. je m'aperçois que j'ai des stéréotypes visuels qui s'interposent et qui font que c'est un peu contradictoire pour moi, ça pose problème, un problème de représentation
(Sujet 1)

6.2.4.1. Bilan Partiel : Approche – Retrait Session 4

La manipulation devient plus consciente avec la synergie du son et du retour d'effort. L'analogie entre geste et son constatée par les sujets leur donne une dimension informationnelle plus riche. L'installation devient ici un outil, avec un son maniable et un jeu de pression dans les gestes qui demande de l'apprentissage et qui invite à la découverte. Dans la figure ci-dessous nous présentons les principales observations des interactions entre éléments.

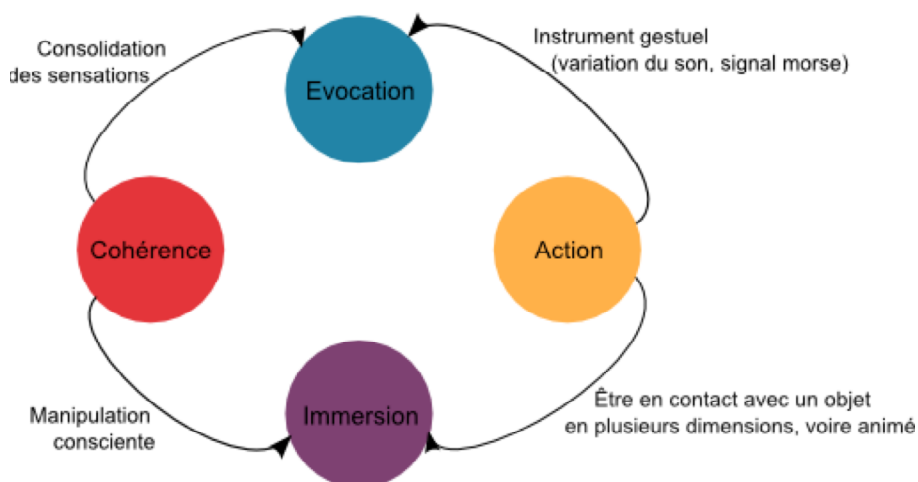


Figure 32 Schéma des interconnexions de la session 4 de l'Approche-Retrait.

6.2.5. Observations : Approche – Retrait Session 5

Version	1	2	3	4	5	6
Son	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui
Visualisation	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Oui
Retour d'effort	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui

Les sujets estiment la force ressentie comme plus forte que dans les sessions précédentes.

j'ai l'impression que la force est plus importante, la résistance et je retrouve cette espèce de difficulté à appuyer pour descendre ici que j'avais quand j'avais plus d'image
(Sujet 10)

la différence c'est que l'attraction est plus puissante du point de vue du tactile il y a une attraction qui est bien plus forte que les expériences précédentes
(Sujet 1)

Pour une personne, la force appliquée fait peur.

on sent, de devoir appuyer comme ça, ça donne quelque chose de presque un peu dangereux, d'aller par là ... dangereux pour l'installation surtout si jamais je lâche, ça va partir trop fort
(Sujet 10)

Nous pouvons imaginer que cela est dû au changement décrit ci-dessous.

l'arrachement en lui-même, il est plus violent donc on est tout de suite beaucoup plus libre alors que dans l'expérience précédente, on la sentait décroître, la sensation d'arrachement était moins forte, beaucoup plus graduelle
(Sujet 1)

Le souvenir du son de la session précédente perdure pendant cette nouvelle session.

c'est vraiment le bruit qui conditionne l'image, l'image mentale, parce que là, je retrouve cette impression d'aimant auxquels je pensais au début
(Sujet 10)

il faut croire que la construction du son est vraiment très fortement analogique à celle de la sensation elle me semble très mimétique, j'ai l'impression de sentir le son au bout des doigts
(Sujet 1)

Ce souvenir du son suffit pour imaginer une situation multisensorielle.

ça marche bien au point qu'on a le son quelque part entre la main et l'œil, c'est très étrange comme expérience il y a pas le son mais finalement, on arrive à le construire avec la sensation du bout des doigts puis ce qu'on voit
(Sujet 1)

Les sujets ne trouvent pas d'équivalence haptique aux deux objets (le carré et la bille) qui se traversent à l'image et qui ne correspondent pas à la sensation haptique

y'a pas vraiment d'intérêt au fait que la bille traverse le carré ou inversement, par rapport à ce qu'on ressent en fait, enfin, on oublie que ça traverse. On pourrait s'arrêter là et que ce soit ... ce n'est pas le cube qui compte, c'est cette espèce de barre rouge à moitié, ça donnerait à l'ensemble quelque chose de plus réel
(Sujet 10)

là y a un poids qui est au-dessus, il existe pas trop, il existe pas là, (je parle) du carré parce que la barre rouge elle serait un tout petit peu épaisse, elle suffirait à représenter l'objet parce qu'il semble très léger, il est très léger donc, il a vraiment pas de masse et ça correspond à cet objet là en fait
(Sujet 3)

qu'il n'y aurait ni les carrés ni les sphères, avec juste les...les 5 traits me suffisent pour comprendre
(Sujet 3)

il ne faudrait pas voir le cube, je pense, ou il faudrait qu'il soit transparent, je pense que je trouve ça toujours étrange qu'il passe à travers comme ça.
(Sujet 15)

C'est-à-dire que je comprends que nous on dirige le cube et en fait ce qui serait vraiment intéressant à voir par rapport à l'expérience tactile qu'on a là, ce serait uniquement les deux boules en fait
(Sujet 15)

Quand je disais qu'il devrait y avoir plus de résistance même au niveau de la vue, on dirait que c'est faussé parce qu'elle s'enlève trop tôt par rapport à son positionnement par rapport à la verte. Si c'était en vrai, je pense qu'il y aurait plus de résistance à enlever la bleue. C'est ça qui est un peu gênant je trouve, à mon sens.
(Sujet 16)

Certains sujets ont exprimé des idées d'utilisation d'un tel dispositif qui permet de sentir les matières.

si je pouvais tester, parce qu'en fait, quand je travaille, j'usine, je fabrique, je coupe donc, la sensation des matériaux est essentielle dans la création, donc si je les conçois sur ordinateur, si je pouvais ressentir ma machine, mon objet sur certains points, ce serait génial
(Sujet 3)

on pourrait inventer des machines comme ça, une nouvelle interface où on saisirait quelque chose et vous restitueriez... vos propres actions en temps réel après, admettons que je fasse ça pendant 5 minutes, les différents états, et après on pourra me donner une espèce de boule sur laquelle je mettrai les doigts, et elle restituerait le rythme des expériences
(Sujet 1)

C'est super comme jeu, vous devriez le faire breveter pour les enfants,... super idée, l'exploitation des recherches scientifiques dans le genre ?
(Sujet 4)

Les sujets décrivent la sensation haptique comme une interaction avec une matière, sans pour autant pouvoir l'identifier avec certitude.

Le silicone me semblait une bonne... une bonne représentation du silicone, à cause de sa souplesse infinie, parce que quand il commence à durcir, tu vois quand il (n') est pas encore totalement dur, il a un peu ça et puis il est collant
(Sujet 3)

Dans le retour ou l'amorti etc, c'est un peu le même genre je trouve, je ne sais pas, je trouverai... En fait c'est du caoutchouc un peu ... qui n'a pas de résistance, mais qui est manipulable
(Sujet 4)

Ce sentiment est très prenant : ils vont jusqu'à proposer une omission de l'objet visuel, d'une scène visuelle qui pourrait représenter différemment les interactions et même d'un dispositif haptique qui permettrait de toucher différemment cette matière.

je suis dans une matière et une représentation totalement spatiale... de matière, mais sans objet.
(Sujet 3)

(une image) qui pourrait être différente. Tout à fait. Différente dans les formes mais pas dans les interactions
(Sujet 14)

là je fais un geste haut / bas mais je connais celui là quoi, dans la sensation physique. A la fois c'est... je connais mais je ne sais pas nommer
(Sujet 4)

là on est plus dans la corde...comme gratter une corde, mais c'est parce qu'on est avec le... la tranche des doigts quoi, plus la pulpe comme ça qui ...mais ça change effectivement la perception de l'association d'idées de matériaux
(Sujet 4)

L'image apparaît comme vérificateur et amplificateur des sensations haptiques

là je (ne) suis vraiment plus dans l'abstrait. (Il y a une figure mobile) qui me permet de visualiser ce que je ressens dans la main
L'image qui me montre, qui me permet d'appréhender les butées, les limites de la manette, de l'incarner
Là j'en ai plus conscience et puis quand on arrive à ce seuil critique, j'ai l'impression que là, la force est plus grande encore. Le retour de force qui est appliqué.
(Sujet 14)

La touche perd sa substance matérielle et devient source d'évocation par son rôle dans la scène

Mais là, pour le coup, cette fois-ci, la touche de piano, on l'oublie plus facilement. On pense plutôt à un trampoline, quelque chose comme ça
Ou un plongeoir, n'importe quoi sur lequel on applique une force et qui remonte de lui-même
(Sujet 15)

6.2.5.1. Bilan Partiel : Approche – Retrait Session 5

L'expression des sujets devient plus détaillée, ils témoignent des sensations plus intenses. Ils caractérisent le mouvement du décrochage visuel entre les deux masses simulées, comme beaucoup plus violent que l'idée que le son a suggéré pour la même situation. Dans cette configuration le son est absent mais il a laissé une trace en mémoire et les sujets décrivent des sensations comme s'il était là, ils le reconstruisent à travers l'image et la sensation haptique.

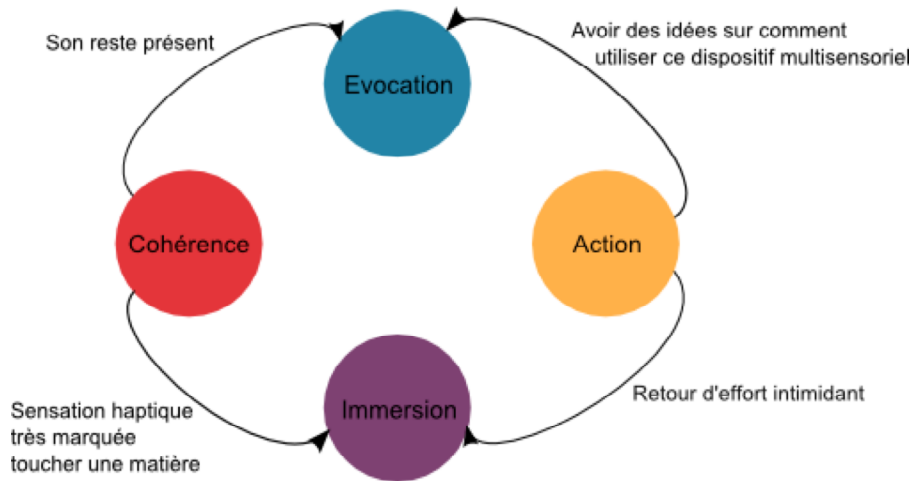


Figure 33 Schéma des interconnexions pour la session 6 de l'Approche-Retrait.

6.2.6. Observations : Approche – Retrait Session 6

Version	1	2	3	4	5	6
Son	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui
Visualisation	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Oui
Retour d'effort	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui

Plusieurs sujets ont exprimé le sentiment d'avoir déjà tout dit.

vu qu'il y a le son ça rajoute un peu à là, les sensations sont renforcées, on va dire, notamment au niveau d'effet ventouse, mais rien de transcendant
(Sujet 11)

J'ai l'impression que je n'ai pas d'autres choses à dire que ce que j'ai déjà dit en fait. C'est pour ça que je dis que ça ne change rien, c'est qu'il ne me semble pas que ça m'évoque quelque chose de plus
(Sujet 15)

c'est bien dommage d'ailleurs, parce que j'aurais bien joué, parce qu'une fois qu'on a, présent dans notre tête, on ne peut pas revenir en arrière, c'est pas possible, ou alors il faut recommencer dans 15 jours ou dans 3 mois parce que fatalement, je veux dire, il y a une redondance des sensations qui fait qu'on reconduit les sensations visuelles même si elles n'y sont plus
(Sujet 1)

Le sentiment d'avoir déjà expérimenté avec cette scène, ouvre la possibilité au plaisir ludique.

je m'amuse un peu à faire des figures, les différentes figures qu'on peut faire, là on peut cacher les sphères, après les faire apparaître à moitié.

Le bruit est rigolo aussi !

(Sujet 11)

j'ai cette impression-là de naviguer dans une espèce de ...oui de son de sifflement comme à travers les vitres,... ça siffle

Je peux le triturer, le contrôler c'est toujours ce désir de contrôler

(Sujet 4)

Pour les participants, c'est l'ensemble des sensorialités qui amène l'idée de l'instrument.

J'ai pas fait de lien, c'est vrai que j'ai parlé du vent au départ... mais... pour ce son là je parle de décollement... ça pourrait être une percussion d'ailleurs

(Sujet 12)

on pourrait presque concevoir des instruments de façon graphique comme ça... d'ailleurs pas seulement de façon graphique mais physique

(Sujet 12)

on pourrait peut-être s'imaginer que tout ça c'est un tuyau par exemple C'est surtout le fait d'appuyer, on peut s'imaginer que là, l'air sort il ne fait presque pas de bruit mais que quand on l'écrase, comme il y a autant d'air qui sort mais par un plus petit espace, ça fait un son de plus en plus aigu

(Sujet 15)

La précision de l'interaction entre son, image et geste et jeu instrumental devient pendant cette session l'objet d'une analyse plus appliquée.

Tu vois j'ai pas du tout fait le lien, même au niveau du vibrato, on voit bien que c'est lorsqu'on accroche [...] il y a un son qui arrive

très légèrement il me semble pas que ça le faisait ça aussi, ça tout à l'heure, ce léger rebond Alors quand elle se décroche, c'est le... son de décollement si tu veux,... lorsqu'elle s'accroche, c'est le son aigu

(Sujet 12)

on a la possibilité d'étirer ce son... ou de le laisser à valeur constante en quelque sorte et après on fait ce qu'on a envie de faire avec

(Sujet 12)

c'est vrai que là on a malgré tout, une bonne cohérence des 3 infos

(Sujet 13)

Je l'ai fait tomber, je l'ai fait rebondir, c'est pour comprendre l'objet dans toute son essence quoi, dans sa masse, dans son élasticité, et j'ai vraiment l'impression de jouer avec le vrai objet, il est pour moi transposé comme ça (sur l'écran)

(Sujet 3)

Comme si je décollais quelque chose. A la fois j'ai l'impression qu'il y a une espèce de phénomène de propagation [...] Le son reste un peu et en même temps, on voit la masse bouger à peine un petit peu. C'est donc une propagation assez faible en fait. Enfin, disons que c'est un reste de la force qui a permis de séparer.

(Sujet 14)

la rupture, enfin le moment où on échappe à l'attraction, il y a une richesse absolument, il y a une densité du son

(Sujet 1)

Il y a des sujets qui témoignent que sans image c'est mieux pour l'imaginaire,

sur celui où il n'y avait pas le graphisme, ou il n'y avait pas la figure, ou il y avait que le son, je trouvais d'une certaine manière que c'était meilleur, pour l'imaginaire

(Sujet 13)

c'est dommage qu'il y ait une image

L'image pour le coup m'impose une espèce de truc, je ne veux pas être, mais c'est une image complètement domestique en plus

(Sujet 1)

et que l'image cache la richesse du son.

L'expérience précédente, je n'avais pas d'image autant que je me souviens, enfin pas d'image visuelle sur l'écran, j'entends, mais je n'avais pas cette richesse de son, ou alors, peut être que l'absence d'image m'a empêché de le percevoir

(Sujet 1)

Cependant, certains participants disent qu'avec l'image, le son vient presque un surplus.

il y a une forte cohésion entre le retour de force et l'image qui font que le son devient accessoire, ou alors c'est la cohésion de ça qui rend crédible ce son comme son possible

(Sujet 13)

ce son là ne correspond pas spécifiquement à cette image-là, on est à même de pouvoir l'accepter et l'interpoler comme ça

(Sujet 13)

ce bruit mat là qui n'a rien à voir avec le reste, le reste est assez cohérent, je dirais, alors s'il y a vraiment quelque chose que je trouve incohérent, ça aurait été ce son là

(Sujet 10)

j'ai l'impression que c'est un peu pareil que tout à l'heure, c'est-à-dire que là le son ne m'apporte pas grand-chose parce que j'ai tellement de richesse, de sensations avec ça et le visuel

(Sujet 3)

Les sujets mettent en question les possibilités perceptives de la cohérence dans le cas de la multisensorialité.

quand j'avais pas de son dans la première série d'expériences on était plus dans une bivalence, c'est en phase ou c'est pas en phase

le fait qu'il y en a 2 qui soient bien en cohérence, ça soit presque suffisant pour valider l'ensemble, sans qu'on ait, alors est-ce que après c'est parce qu'on a trop d'éléments : le sonore, le visuel, le sensible, c'est possible, que là on en ait trop

qu'on pourrait avoir un élément un peu inexact parmi 3, ce qui est absolument infaisable avec 2

(Sujet 13)

L'expérience je veux dire, de ce que ça peut m'évoquer. J'ai envie de dire que soit je vois le son, soit je vois l'image en fait. Je ne sais pas si j'arrive facilement à associer les deux

(Sujet 15)

Ils ressentent que le lien est renforcé entre geste et son grâce à l'image.

Alors, peut-être que ce qui est le plus présent pour moi c'est peut-être le son là. Et j'ai l'impression que le son est assez lié au geste, que le son s'étire tout comme mon geste s'étire et puis que le son disparaît au moment où la force que je ressens disparaît également

(Sujet 14)

ainsi que le fait que le son vient appuyer le lien entre geste et image.

j'ai l'impression que le son il nous fait croire qu'il y a plus de résistance entre la verte et la bleue quand on l'extirpe
Oui, le son il nous donne une illusion qu'il y a plus de mal à l'enlever de la verte
Et d'avoir le son avec l'extirpation, ça me fait penser que c'est plus vrai
(Sujet 16)

6.2.6.1. Bilan Partiel : Approche – Retrait Session 6

Là encore, il y a deux positions différentes par rapport à l'importance du lien entre les trois modalités. Il y a des sujets pour qui le son est un surplus, voire indésirable, dans cette expérience, car la liaison entre retour haptique et image est déjà très forte ; Et d'autres sujets pour qui le son est prédominant, porteur de réalisme dans l'expérience surtout au moment critique du décrochement.

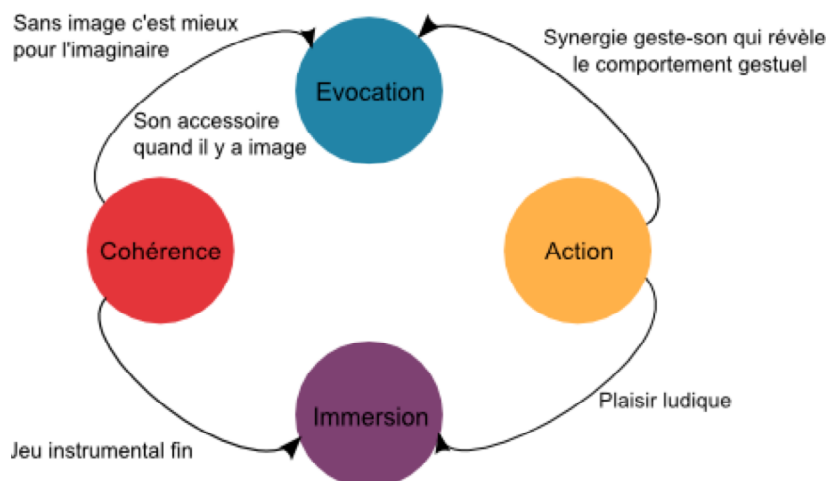


Figure 34 Schéma des interconnexions pour la session 6 de l'Approche-Retrait.

6.2.7. Conclusions sur l'expérience de « Approche - Retrait »

Cette expérience nous a permis d'observer les interactions entre le visuel, l'auditif et l'haptique car elle est la seule de l'installation « Geste réel sur matière simulée » à avoir été présentée avec les trois sensorialités.

Les sujets eux-mêmes ont mis en question la possibilité de vraiment comprendre la cohérence entre plus de deux sensorialités. Pendant la session 6 de l'Approche – Retrait les remarques sur la multisensorialité vont jusqu'à dire que l'une parmi les trois serait accessoire.

Il serait intéressant de tester dans le futur une configuration où cette session soit expérimentée au début. Est-ce que, dans ce cas, l'expérience pour les sujets serait différente ? Les liens tissés entre son – haptique, son – image et image – haptique seraient-ils aussi forts au moment où l'expérience commencerait avec les trois en même temps ?

Une autre considération par rapport à cette expérience en comparaison avec celle de Pebble box, est que les évocations ici sont plus instrumentales et moins internes. Nous supposons qu'il s'agit de l'effet du jeu sonore et d'une image plus « factuelle » par rapport aux visualisations floues de l'expérience précédente.

On peut également dire que dans ces cas « plus instrumentaux », le dispositif devient selon la terminologie heideggerienne {Heidegger 1927} *vorhandene* (*présent-at-hand* en anglais ou être-là-devant à la traduction française) en opposition avec *zuhanden* (*ready-to-hand* en anglais ou à-la-portée-de-la-main en français) quand le dispositif répond à leurs gestes.

6.3. La scène « Friction »

Dans cette partie de l'expérimentation, il y a eu 13 sujets, hommes et femmes de 20 à 55 ans dont la plupart avait un parcours artistique. Les entretiens avaient une durée approximative d'une heure par personne.

Il s'agit d'un modèle créé en 2009 par Julien Castet dans le but d'explorer le geste du frottement dans le contexte d'une étude sur le « stick-slip » dans la manipulation de nano-objets. La manette utilisée au TGR est un joystick qui permet des mouvements en 2D. Le modèle se compose d'une ligne de quatorze masses en interaction avec une poutre élastique. Dans le cas de la scène virtuelle pour la manipulation des nano-objets, cette poutre correspond à la pointe simulée du microscope à force atomique.

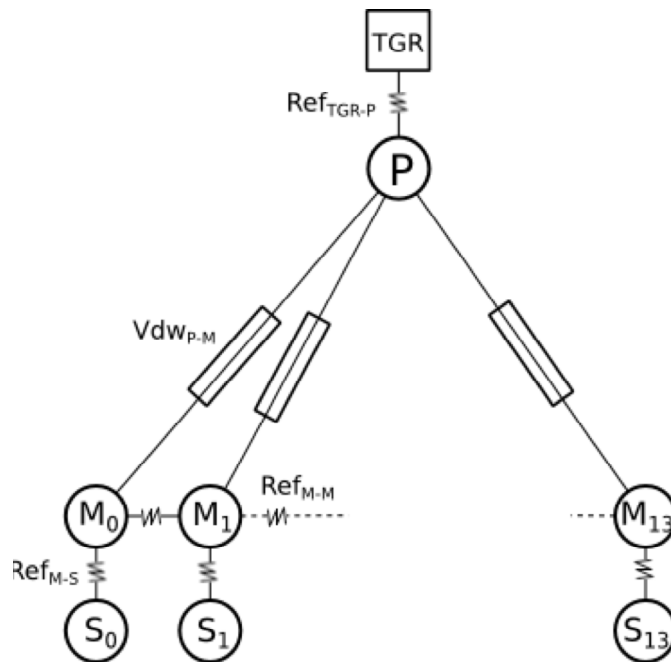


Figure 35 Structure du modèle en 2D de Friction où on voit les masses et les interactions entre elles. Il y a 14 masses M alignées et liées entre elles. Ces masses sont chacune liée par une relation viscoélastique à un sol (S) et aussi connectée avec une pointe (P) avec une relation de type Van der Waals.

P : Masse Pointe, M : Masse du tapis, S : Masse inerte (sol), TGR : le point de la manette TGR, Ref : Relation

Les paramètres pour ce modèle se trouvent à l'ANNEXE I.

Le modèle simulé reste le même pendant les sessions, mais la visualisation choisie change. Il y a deux visualisations employées dans cette expérience : la première est un habillage du modèle où les masses du tapis ne sont pas représentées, mais seulement la ligne fragmentée qui les lie ; dans la deuxième visualisation, nous habillons les masses avec des boules.

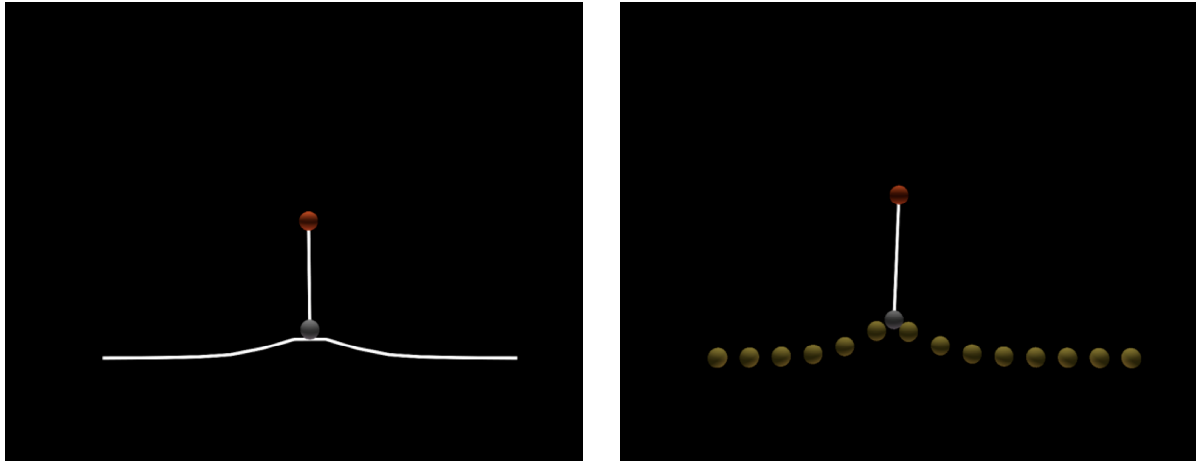


Figure 36 Les deux visualisations du modèle Friction. A droite l'habillage en ligne et à gauche en boules.

6.3.1. Observations : Friction Session 1

Version	1	2	3	4	5	6
Retour d'effort	Non	Oui	Oui	Non	Oui	Non
Visualisation	Ligne	Ligne	Non	Billes	Billes	Non

Les sujets expriment une discontinuité entre la sensation dans la main et l'effet visuel.

je pense qu'il y a une dislocation en fait entre le fait de voir et de pas le sentir, en fait, dans la main
(Sujet 2)

Alors qu'il n'y a pas du tout ce sentiment là au contact du joystick,... c'est un mouvement très fluide et alors que là ça s'accroche avec ce petit bâtonnet qui forme la ligne si on peut dire
(Sujet 10)

j'ai l'impression que c'est aérien, quand je regarde l'écran, par contre, au niveau de ma main je trouve que c'est un peu plus dur à manipuler
(Sujet 14)

OT> Tu la sens (la force dans la manette) par quel moyen
P> Là je le sens pas en fait, je le vois et ça me fait penser à ça, si tu veux, parce que tu vois la ligne qui... essaye de se rapprocher de la ligne grise. Non sinon, physiquement, je ne sens pas de retour de force, il n'y a pas de son non plus ...
(Sujet 12)

on ne peut vraiment pas caresser ... on s'accroche en fait, je trouve que c'est même irritant, surtout que le mouvement qu'on fait avec la main il est plutôt, enfin il est souple, il est très doux en fait
(Sujet 15)

Nous pouvons dire que les sujets explorent la scène selon deux gestes différents : le geste vertical qui explore selon la vitesse l'effet de lever et relâcher la ligne, et le geste horizontal qui lui est généralement plus lent et qui explore l'effet d'accrochage sur les segments.

La stratégie initiale pour plusieurs sujets a été d'explorer le comportement de la scène en fonction de la vitesse :

AL> Tu cherches à faire quoi ?

P> De voir jusqu'à où est-ce que ça enlève le maximum, si c'est parce que je vais trop vite qu'il se détache ou si c'est à un moment exact où il faut qu'il se détache quoi, par programmation.

(suite du G5) je voudrai savoir si le fait qu'il se colle à la balle grise dépend de ma vitesse, de la vitesse à laquelle moi je le lève ou si, il y a un moment, à un certain moment il va s'enlever

(Sujet 2)

je tourne autour d'un axe, alors je fais une translation, OK, ah oui, il y a un truc d'attraction là... et je peux... ah oui, d'accord, donc au bout d'un moment il lâche... alors j'essaye d'avancer sans qu'il se relâche mais... c'est pas facile

(Sujet 4)

plus je vais vite plus j'arrive à séparer plus la ligne etc. bouge vite quoi. On peut faire des petits dessins avec cette ligne en bas là.

Donc, je vois qu'en fonction de la vitesse à laquelle je bouge, ça ne réagit pas pareil

(Sujet 11)

En explorant avec plus de détail, en lenteur, les segments apparaissent.

La ligne elle est divisée en partie je m'accroche à des petits morceaux, non ?

(Sujet 2)

il y a une attraction des points de la ligne Ou plutôt des segments de la ligne

(Sujet 8)

Parce que si on se balade comme ça, on ne fait rien de spécial à part balader cette espèce de morceau d'ADN

(Sujet 15)

Nous pouvons supposer que cette première session sert de session d'exploration.

On arrive à manipuler donc une forme virtuelle d'une manière assez naturelle, enfin qui semble naturelle, qui l'est quand même pas totalement parce que... qu'il y a un apprentissage à faire je pense pour réussir à voir comment se comportent les 2 masses

(Sujet 14)

on peut déplacer l'objet, les formes et s'amuser avec la ligne aussi... la tirer, la repousser, se balader en fait dans, dans l'espace quoi. C'est assez intéressant quoi, je trouve, l'allonger

(Sujet 7)

j'essaye de voir effectivement comment est-ce qu'on peut appréhender le joystick en lui-même, au niveau des incidences des mouvements, de la force qu'on peut avoir dessus quand on soulève comme ça, ça s'en va assez vite

(Sujet 12)

Les sujets témoignent qu'il y a un jeu à double sens, une structure avec deux parties, deux zones qui agissent l'une sur l'autre équitablement :

Ben c'est trouver l'endroit de contact, l'endroit d'attraction, comme si chacun avait un positionnement défini et autour de ce positionnement, une zone de sensibilité, c'est quand ces 2 zones de sensibilité se croisent que les 2 objets se défendent pour se déformer puis s'attirer l'un vers l'autre.
(Sujet 8)

j'aurai l'impression que comme chaque petite barre fait une certaine force sur la balle, quand je fais ça, c'est que je lève les 2, et qu'à un moment c'est trop loin pour les attirer
(Sujet 2)

je dirai qu'elles se rencontrent puisqu'elles ont l'air de se repousser comme des aimants quand elles sont en contact l'une avec l'autre
(Sujet 10)

On dirait un peu comme une surface de l'eau quoi. Un peu comme si on mettait son doigt et...ce qu'on apprend en physique. Ce n'est pas le doigt qui va à l'eau mais c'est l'eau qui va au doigt
(Sujet 15)

un objet qui va...à la fois lié à la corde et à ma main en fait...et au comportement de ma main et au comportement de la corde...je sais pas si c'est très clair...et voilà, c'est le ressenti ...
(Sujet 17)

Les participants perçoivent la scène d'être indépendante de leur volonté, une scène qui a un comportement qui ne se soumet pas à l'intention du sujet.

il se retire, c'est-à-dire qu'il a une force plus forte que la mienne, c'est ça que je sens
(Sujet 2)

J'aimerais que ça soit le rouge qui se colle à la ligne mais je ne peux pas. Ça m'est interdit.
(Sujet 11)

Elle m'échappe et en même temps, on est toujours relié. C'est un peu comme si on promenait notre chien
(Sujet 15)

Les sujets disent que les sensations passent surtout par le visuel.

ce qui est rigolo c'est que il n'y a pas de sensation vraiment dans la main, dans la peau, mais que ça passe par le visuel c'est ça qui est rigolo non ?
(Sujet 2)

c'est étonnant parce que il y a un effet d'accroche sur l'image
(Sujet 10)

En conséquence, le visuel passe par une observation minutieuse, et des choses comme les bouts de la ligne dans le vide, posent de questionnement :

j'aimerais savoir à quoi est-ce qu'elle est tenue la ligne
elle est tenue là, après, dès que je peux la déplacer d'ici, et je peux la sortir d'ici, le bout il est pas attaché à quelque chose. Alors on se demande bien d'où est-ce qu'elle tire sa force quoi, non ?
elle se tient à quelque chose d'énigmatique
(Sujet 2)

Pour voir les différentes vibrations, mais aussi pour avoir une meilleure image de l'interaction avec la ligne quand on l'approche par le bas, il ne faut pas avoir des parties de la scène qui se cachent du plan de l'écran :

je comprends pas trop pourquoi elle est si bas dans l'écran, parce que finalement à un moment donné je disparaissais là avec mon instrument là, mon marteau est monté
(Sujet 4)

Les sujets explorent la scène en essayant certaines stratégies, des tâches, cela devient une exploration ludique, une exploration des possibilités créatives.

Je crois que là plutôt, je suis passé au niveau du jeu
j'aime bien ça, ça te fait de retenir la balle, mais de presque l'avoir en une seule, de la fusionner en une seule, mais que ça se glisse
(Sujet 2)

Parce que là, si je tire un tout petit peu plus, ça lâche. L'élasticité, elle est jusque-là, en fait c'est ça, c'est que, on a envie de l'étirer plus
JLF> Mais pourquoi ?
P> Ben, je sais pas, peut-être puisqu'on déforme une ligne qui ait plus de déformation. pour créer des motifs différents
Puisque moi je regarde ce que je fais, en fait, donc je me dis comment je peux créer graphiquement quelque chose
(Sujet 4)

il y a une grande jouabilité, là, c'est marrant quoi !
(Sujet 4)

On peut faire des petits dessins avec cette ligne en bas là. Pour donner un peu de relief.
Ça fait un peu endiguer la ligne, on peut faire des montagnes, des petites montagnes ou alors des vallées
(Sujet 11)

Les participants font la référence d'une évocation d'une corde d'instrument, avec l'observation du mouvement de « relâchement », un mouvement avec un aspect physique.

on a vraiment la sensation d'avoir une... corde d'instrument quoi... ou un truc comme ça, bon, on pourrait imaginer... cordes de guitare
(Sujet 4)

c'est l'analogie à cette histoire de corde. je pense que la ligne et la corde, ça vient quand même assez rapidement et puis ce côté d'un truc qui résiste puis reprend son état. il y a tout cet espace là, et il y a l'espace du bas
(Sujet 4)

la 1ère chose à laquelle j'ai pensé, c'est une espèce de corde de violon, magnétique
C'était la corde et l'archet en fait, plus ou moins stylisés et puis cette vibration là qu'on a quand on lâche... béong
là ce n'est pas une idée de frottement, c'est on tire dessus juste
(Sujet 10)

Enfin moi ça me fait penser à une corde, voilà... une corde instrumentale. cette chose là on la prépare et puis on... elle va... elle va vibrer après. c'est du même ordre que... le doigt et la corde [...] ce serait un doigt magnétique sur une corde
(Sujet 17)

ce qui m'intéresse moi c'est ce moment où la corde, enfin la corde, cette ligne va vibrer en fait
Quand je joue avec c'est... j'ai envie de la faire vibrer en fait, voilà, le reste... c'est-à-dire le moment où ça va lâcher
(Sujet 17)

Avec l'évocation de la corde vient aussi l'envie d'entendre du son.

C'est vrai qu'on aurait envie d'entendre des sons quoi là, ça c'est sûr moi j'ai envie de jouer avec du son là-dessus quoi !
(Sujet 4)

Si j'ai un haut et un bas par rapport à une ligne. Quelque chose de modifié. Si je manipulais du son par exemple. en négatif, en positif, ce qu'on veut
(Sujet 4)

cette chose là pourrait être sonore après qui...le moment où on lâche la corde en fait ou on attaque la corde
(Sujet 17)

Les vibrations de la ligne évoquent aux sujets une membrane de tambour qui oscille quand on la percute.

oui un peu, ça peut créer des vibrations un peu comme le son, comme un tambour. Ça marche un peu à l'envers quand même. C'est-à-dire qu'au lieu qu'on tape c'est lui qui tape dans votre main presque. Mais ça, ça rappelle aussi un peu la vibration du son c'est pour ça que je parlais un peu du tambour
(Sujet 15)

6.3.1.1. Bilan Partiel : Friction Session 1

Dans cette première session où il n'y a pas de retour haptique, plusieurs sujets ont dit que pour eux la sensation qu'ils attendaient à avoir dans la main passe par le visuel. D'ailleurs même si cette manipulation est caractérisée comme plus fluide et moins sous leur contrôle, elle reste une manipulation directe de la scène visuelle et en conséquence liée à leurs gestes. Se focaliser donc sur l'écran permet aux sujets d'explorer des possibilités offertes et de jouer avec l'image. Pendant cette exploration, il devient clair pour plusieurs sujets que cette ligne continue est en réalité composée de segments. Le mouvement de la ligne est rapidement vu comme le mouvement d'une corde, d'un instrument, d'une corde pincée.

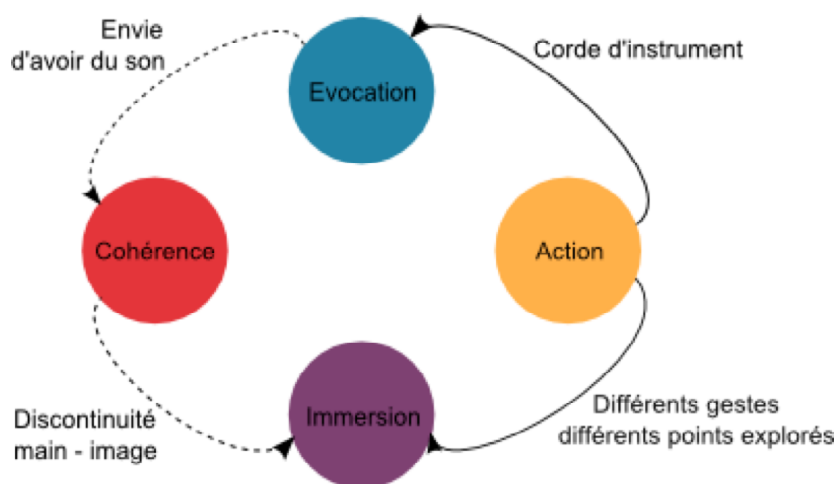


Figure 37 Schéma des interconnexions pour la session 1 de la Friction. Ici la seule sensorialité est l'image, donc les liens de cohérence sont faibles. L'envie pour accompagner ces évocations avec du son amène à un lien qui part par l'évocation et vers la cohérence.

Plusieurs sujets qui ont déjà participé à d'autres sessions de l'expérimentation de « Geste Réel sur Matière Simulée » expriment ici leur surprise de l'effet inattendu de l'absence de stimuli haptiques.

L'action ici est centrée sur des multiples découvertes d'interaction des éléments visuels. Les sujets font assez rapidement un rapprochement entre le comportement du modèle et l'instrument musical.

C'est difficile de parler d'immersion dans cette première expérience de découverte, mais les sujets entrent directement dans le jeu en manipulant et en explorant la scène virtuelle.

6.3.2. Observations : Friction Session 2

Version	1	2	3	4	5	6
Retour d'effort	Non	Oui	Oui	Non	Oui	Non
Visualisation	Ligne	Ligne	Non	Billes	Billes	Non

Il est souvent fait référence à un sentiment agréable, presque euphorique, de correspondance haptique avec l'image

AH, ça c'est mieux, ça c'est carrément mieux...et oui, vraiment sympa, très joli. c'est assez impressionnant le fait de le sentir dans la main
(Sujet 2)

disons que dans l'idéal, c'est ce que j'aimerais faire. je trouve ça génial, voilà c'est vraiment l'aimant.
(Sujet 8)

je sens dans ma main ce que je vois à l'image
(Sujet 4)

J'aime bien le moment où ça lâche. J'ai l'impression que ça fait un peu repenser aux petits plaisirs de la vie mais je ne vois pas lequel. Je suis sûr qu'il y en a un comme ça. Quand on casse la croûte de la crème brûlée ou je ne sais pas quoi. Quelque chose comme ça
(Sujet 15)

On note à nouveau ici la correspondance entre les bruits de la machine physique et le geste :

ça émet un bruit à l'intérieur, c'est marrant parce que, il est synchronisé avec ce que je fais, le mouvement que je fais
(Sujet 7)

Les discours parlent du toucher, cherchent à qualifier l'interaction

c'est toucher une texture, une texture qu'on touche, qu'on effleure. surface striée, souple
(Sujet 8)

il m'a fallu un peu plus de temps pour ressentir ce petits mouvements, ces petits clac clac, un peu comme un engrenage en fait. Puis c'est, plus on va vite, on ressent les soubresauts différemment. Plus on va doucement, plus ça fait très rouage d'horloge
(Sujet 14)

en position centrale, on sent que c'est irrésistiblement attiré. Il y a une force, pour séparer il faut forcer un petit peu puis une fois que ça se sépare, ça se sépare pour de bon quoi. Comme un champ magnétique
(Sujet 11)

Donc on force et à un moment donné, on arrive à le percer. Je ne sais pas si vous voyez ce que je veux dire. Comme si on était en dessous donc, et avec notre doigt, on essaie de percer
(Sujet 15)

Là c'est un Velcro presque. Oui, plein de petits crochets l'un après l'autre
(Sujet 15)

L'évocation instrumentale vient moins du pincement/relâchement comme dans la session 1, que de la surface segmentée par la manipulation horizontale :

Ah je sais ce que c'est, c'est une guitare. Avec un médiateur. il n'y a pas de son aussi... Dommage
(Sujet 8)

j'ai l'impression de jouer sur les cordes qui seraient comme ça, là je suis plus dans le pouce, c'est comme si j'avais des cordes comme ça (mouvements latéraux).
je vais reprendre mon histoire de guitare, je ne suis pas du tout guitariste, mais je sais pas, il y a, ça vient comme ça
(Sujet 4)

ça me fait penser à un piano, ting ding, on pourra avoir à peu près la même sensation puisque le cran ça pourrait être l'espace entre les touches du piano
(Sujet 10)

Les effets de l'incorporation passent explicitement par la force :

j'identifie la boule rouge à mon axe du poignet et la boule bleue à mon pouce. j'ai une tension musculaire, ça pourra représenter ça (la ligne qui lie la boule rouge et la boule bleue), en tout cas, moi je l'identifie comme ça. Là c'est souple, là c'est relâché et là je tends, comme ça résiste, ça force... quelque part dans la main Sur cet axe entre peut-être le poignet et le pouce
(Sujet 4)

dans ce que je fais, en sculpture par exemple j'ai l'occasion d'utiliser de fil de fer assez épais et quand je les manipule, quand je les tords juste comme ça, j'ai un même sentiment d'accroche, c'est aussi difficile à manipuler
(Sujet 10)

La tension entre les deux boules est matérialisée enfin mais...retournée dans la force où on doit appuyer la manette
Et cette force est proportionnelle à la distance les deux boules en l'occurrence. Entre la boule bleue et la boule rouge
(Sujet 13)

Les bruits de la machine conduisent vers une évocation métallique :

il y a un espèce de bruit comme un roulement à bille, j'entends du bruit métallique, je me dis c'est un fil métallique par exemple... à la fois, ça a de l'élasticité alors un fil métallique qui a de l'élasticité... un gros câble alors
(Sujet 4)

vraiment l'impression de tirer sur un fil de fer et on a du bruit, c'est l'appareil qui fait le bruit
(Sujet 10)

c'est l'appareil qui doit faire son, là on a vraiment l'impression d'avoir aimants assez puissants qui se repoussent surtout quand ils se touchent là, ça donne vraiment l'impression d'un fil de fer en fait, manipuler quelque chose en fer
(Sujet 10)

La force du retour haptique l'emporte sur la perception de l'image :

on sent qu'on est moins dans la douceur, pour le geste [...] est-ce que c'est le fait que ça soit le geste ou pas mais même l'image semble plus, ... moins stable, enfin, moins... c'est moins dans la douceur aussi. Ca vibre plus, ça bouge plus
(Sujet 11)

Puis on le voit un peu dans la forme aussi. Parce qu'on voit que la ligne, ce n'est pas une ligne en fait, c'est des petits morceaux de bâtons collés. Visuellement quelqu'un qui regarde l'écran ne verrait aucune différence. La sensibilité, c'est complètement différent parce que là on se bat presque à forces égales j'ai envie de dire.
(Sujet 15)

On sent les fragments de la ligne et là, encore plus d'élasticité dans la sensation et dans la vision, Là, j'ai une vision de haut
(Sujet 16)

6.3.2.1. Bilan Partiel : Friction Session 2

Les sujets découvrent la dimension supplémentaire donnée par le retour d'effort en fonction de la vitesse de mouvement.

La machine émet des petits bruits de fonctionnement qui sont perçus et interprétés par les sujets en fonction de la visualisation de la scène.

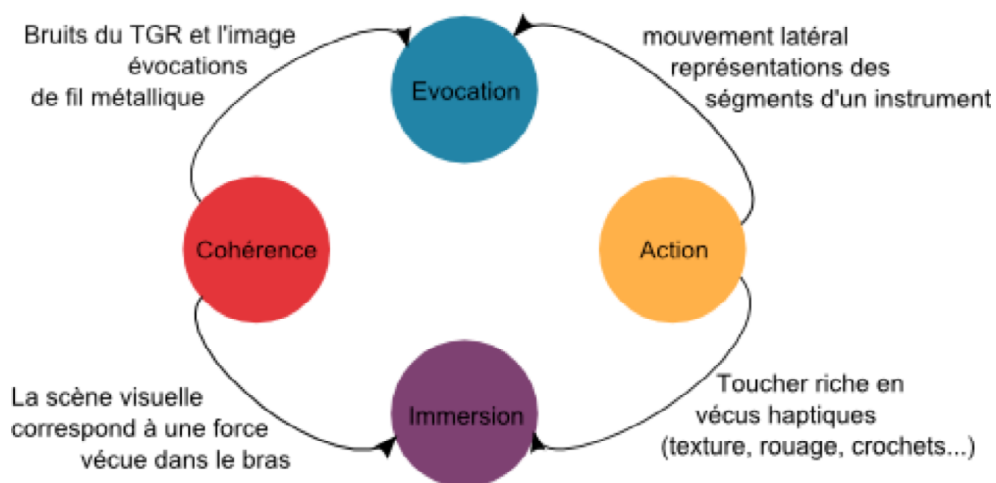


Figure 38 Schéma des interconnexions pour la session 2 de la Friction.

La sensation haptique et le fort lien entre retour d'effort et image font que l'expérience, initialement intrigante, devient avec le temps une réelle expérience incarnée où l'utilisateur s'identifie et interagit avec les éléments de la scène virtuelle.

Le retour d'effort ressenti dans la main monopolise l'intérêt des sujets, tout au moins au début de cette session. Avec cette manipulation haptique, les spécificités de la scène virtuelle deviennent apparentes et d'une grande valeur évocatrice, d'autant plus quand celles-ci se mettent en correspondance avec les bruits émis par la machine. Les sujets cherchent ici l'interaction en précision en interprétant de façon très détaillée la scène.

6.3.3. Observations : Friction Session 3

Version	1	2	3	4	5	6
Retour d'effort	Non	Oui	Oui	Non	Oui	Non
Visualisation	Ligne	Ligne	Non	Billes	Billes	Non

L'absence de l'image conduit à un sentiment de perte, d'absence :

Y a rien ! Ah, OK, j'ai compris, c'est le même truc seulement que j'ai pas l'image... j'arrive à ressentir
(Sujet 2)

c'est déconcertant dans un premier temps parce que du coup c'était toujours une relation entre le geste et l'image, donc, du coup il est orphelin de son image mon geste d'un coup là
(Sujet 4)

c'est pas du tout la même chose... c'est comme si finalement il y a quelque chose de l'ordre du sens qui disparaît même si finalement les représentations précédentes étaient très sommaires, là le fait qu'elle soit la sensation seule sans cette relation entre ce que je ressens dans la manipulation et la représentation, il y a une sorte de perte
(Sujet 4)

C'est vrai que j'ai l'impression de bouger quelque chose un peu dans le vide et il ne se passe rien à l'écran, je n'ai pas de son
(Sujet 11)

C'est clair que sans la vision là, c'est encore plus dur à décrire du coup. On n'a pas de point de référence visuel donc c'est dur de décrire soit une tension ou un mouvement.
(Sujet 16)

ainsi qu'à une focalisation sur le dispositif, ses bruits, les sensations haptiques :

disons que je sens plus la machine, je sens plus l'instrument celui-là je me concentre plus sur celui-là, j'arrive ici, j'arrive à toucher déjà la machine au bout de ce truc
Je pense que je me concentre plus sur les sons du dispositif, vu que j'ai plus l'image, je me concentre plus sur les bruits de cet engin, et du coup je sens que la balle, elle est plus métallique, j'ai tendance à croire que c'est parce que je sens le métal du dispositif. Et même le bruit qu'il fait parce qu'il fait un bruit
(Sujet 2)

c'est le côté cran, dans le son, on enclenche quelque chose puis ça revient, il y a ça dans le levier de vitesses

(Sujet 4)

En plus on l'a devant nos yeux. A la limite, ça serait caché [NDR: le dispositif...], on pourrait dire des choses dessus je pense.

(Sujet 16)

Le fait de porter son attention au dispositif est d'ailleurs source d'évocation mécanique. Le mouvement horizontal cranté donne lieu à plusieurs interprétations :

j'ai l'impression d'être plus dans un engrenage, un truc cranté, de levier de vitesses, c'est ça... je suis très influencée par le visuel, si je regarde la machine

(Sujet 4)

ce n'est pas la ligne qu'on sent, c'est les crans. C'est comme je ne sais pas, ces espèces de petite boîte à musique là avec ce rouleau de fer rond avec des petits crans dessus, avec des reliefs, on pourrait faire de la musique avec ça

(Sujet 10)

Comme si c'était les rouages d'une, d'une horloge, de quelque chose que je manipulerais comme si on fait bouger soi-même les aiguilles d'une horloge, on sent les à-coups.

(Sujet 14)

Si, avec chaque cran, ça pourrait être une espèce de multiples vitesses. Je sais que dans les trains, dans les petits trains de montagne, à crémaillère, je vois ça en Suisse, on a un volant.

(Sujet 15)

Les différences dans la perception du retour haptique avec l'absence du visuel conduisent à des difficultés de description, une difficulté de définir la différence, mais à une certaine subtilité des sensations

La petite balle, elle y est là mais la sensation elle est complètement différente, je ne sais pas comment le décrire, c'est un peu comme s'ils auraient moins d'élasticité, c'est comme si elle serait plus dure quoi, elle est plus sec, je sais pas comment... la dernière fois quand je touchais les balles, elles avaient l'air un peu spongieuses

(Sujet 2)

on les sent beaucoup plus (traits de la ligne) et c'est plus sec quoi, il est moins fluide. Il a plus de mal à circuler

(Sujet 2)

l'aimant c'est juste un aspect mais c'est pas non plus la description la plus fidèle que je puisse faire... la guitare non plus.

OT>T'en aurais une autre ?

P> Non, je pense pas, c'est très particulier, c'est une sensation particulière

(Sujet 8)

c'est marrant puisque tout à l'heure, comme j'étais focalisée sur l'espace graphique, je ne pensais plus trop à ce que je faisais avec ma main et je pourrais pas redire si vraiment, par exemple, là, la force des crans sur la ligne est plus forte que tout à l'heure ou pas

(Sujet 10)

non c'est pas tout à fait la même chose, avec la ligne je voyais vraiment les mouvements décomposés en sorte de tac tac, oui, tandis qu'ici, c'est très léger, c'est comme si je ressentais une petite impulsion

(Sujet 14)

Elle se ressentait quand même assez bien, beaucoup plus que là. Là, c'est vraiment très très léger, il faut vraiment se concentrer, je trouve qu'on le sent bien. C'est autre chose
(Sujet 14)

Dans l'autre situation, je crois ne pas avoir senti ça. ça reste assez sensiblement pareil mais, bon je ressens à peu près les mêmes choses, les mêmes sensations avec des nuances
(Sujet 7)

le fait de voir l'image tout à l'heure permettait effectivement d'avoir une interprétation... sensible... et différente... de ce que je ressens maintenant par rapport à ça
(Sujet 13)

La vision de l'interaction est parfois assez mécaniste, avec une perception de la scène induite par les propriétés mécaniques de la matière.

C'est entre le levier de vitesse et la commande de truc de modélisme [...] je sais pas quoi en faire, Parce que du coup, je le perçois quand même comme un outil ça, un instrument et un instrument qui ne produit rien... finalement ça n'a pas tellement d'intérêt quoi. Parce que jusque-là, j'ai l'impression que c'est un instrument pour manipuler quelque chose donc maintenant, j'ai plus rien à manipuler
(Sujet 4)

quand il n'y a rien à l'écran, rien à écouter puisque ça peut être autre chose, que l'image on se ramène à quelque chose de... on se ramène plus à la machine en fait. Quelque chose de plus mécanique moi je trouve qu'on vient plus à quelque chose de mécanique. C'est peut-être aussi le fait que ça soit une espèce de joystick ou de manette
(Sujet 15)

La construction de l'espace, basée sur les sensations des mouvements horizontaux, est assez différente de la représentation graphique des sessions précédentes. L'effet du mouvement vertical, le relâchement, reste toujours très lié au souvenir de la représentation visuelle.

AA> à partir de quel moment, tu l'as identifié
P> Quand j'ai lâché, quand ça a lâché ici et que du coup, enfin quand on tire suffisamment, ça force pas mal et ensuite le mouvement est fluide !
AA> ça suffisait à identifier la scène ?
P> les crans n'a pas du tout rappelé la scène ici, j'avais l'impression plutôt d'être dans une espèce de petit labyrinthe ...
(Sujet 10)

c'est un relief qu'on sent, rien avoir avec une ligne justement, puisqu'une ligne par définition c'est pas très en relief...
(Sujet 10)

Il n'y a pas de rapport avec la ligne. c'est... plus la sensation d'une roue crantée qu'on est en train de faire tourner sur... et qui accroche comme ça sur les crans
(Sujet 13)

j'ai le souvenir de ça, qu'on est en bas Et de décrocher lorsque [fait mouvement de lever la manette]... La sensation d'accrochage elle est liée, j'ai le sentiment qu'elle est liée au visuel que j'ai vu avant
(Sujet 13)

la vibration qu'il y avait sur l'écran de la ligne quand on lâche du coup il n'y a plus d'image donc on la sent pas
(Sujet 10)

Le sentiment d'élasticité du mouvement vertical n'est pas si bien senti dans la main, et reste sous une forte empreinte visuelle :

La progressivité on sent moins au toucher parce que probablement qu'on est moins performant au toucher qu'au visuel, par exemple cette phase-là était traduite réellement par un accroissement de la longueur du segment entre les deux boules et donc rendait efficiente le toucher qu'on pouvait avoir ici
(Sujet 13)

Ce que j'ai envie de dire c'est qu'au centre, on a l'impression qu'il est bien placé, qu'en haut on a l'impression qu'il est, comment dire, désarticulé, comme si on l'avait cassé peut-être et en bas pareil
(Sujet 15)

Les crans permettent de créer des repères :

on s'habitue à manipuler ça, enfin, c'est plus agréable d'avoir un cran au contact que d'avoir rien et d'être dans le vide à côté
c'est comme un jeu, l'intérêt c'est ce qui est différent, c'est ce qui définissable, pas le vide qu'il y a autour... Comme mettre un jouet au milieu d'une pièce, on ira jouer avec le jouet pas avec la pièce vide
(Sujet 10)

6.3.3.1. Bilan Partiel : Friction Session 3

La perception de la matière simulée change par rapport à la session précédente. L'image donnait une interprétation légèrement différente de celle construite avec seulement le retour haptique.

Le fait de pouvoir se concentrer sur le toucher permet aux sujets de se rendre compte de l'influence de l'image sur leur perception. Ils retrouvent à nouveau le bruit comme dimension évocatrice.

Malgré le fait que les sujets sont concentrés sur un ressenti haptique qualifié d'intéressant, ils expriment également leur regret d'avoir perdu une dimension informationnelle importante avec l'absence de l'animation.

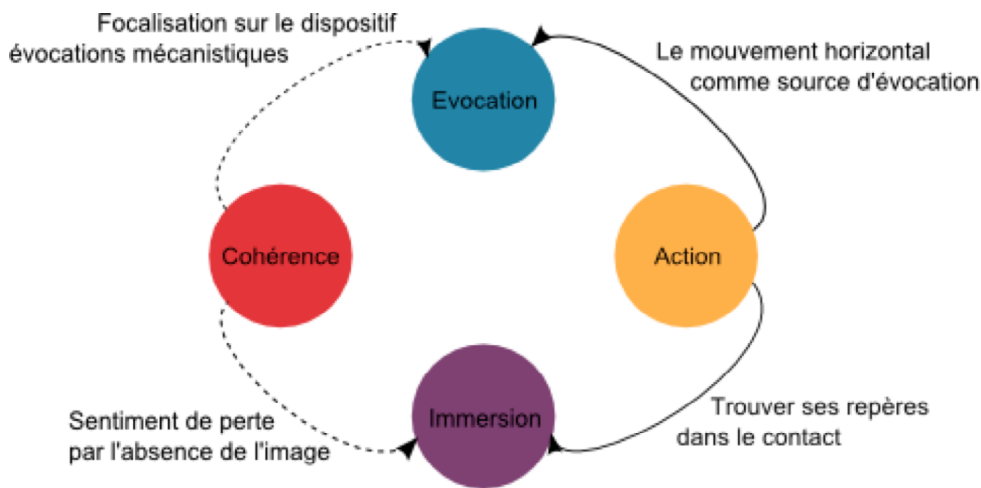


Figure 39 Le schéma d'interactions pour la session 3 de la "Friction".

Dans cette troisième session, il y a toujours le même modèle simulé, mais il n'y a que le retour d'effort et pas l'image. Les sujets perçoivent rapidement qu'il s'agit de la même scène mais l'absence de l'image enlève pour eux une dimension intéressante, une information sur ce qui se passe dans les parties pas directement liées à la manipulation, comme par exemple le rebondissement de la ligne. Très souvent, ils perçoivent les contacts comme plus rigides que dans les sessions précédentes, sans pour autant pouvoir être sûrs que cela vient d'une concentration plus importante sur le toucher. Par conséquent, les évocations tournent autour de la sensation haptique.

6.3.4. Observations : Friction Session 4

Version	1	2	3	4	5	6
Retour d'effort	Non	Oui	Oui	Non	Oui	Non
Visualisation	Ligne	Ligne	Non	Billes	Billes	Non

La situation où le toucher ne correspond pas à l'animation, met les participants dans un état de réflexion/rationalisation de la situation.

je vis le même, pas la même chose mais je vis euh, je sais pas, je suis en train peut-être de chercher déjà autre chose, en tout cas j'ai pas les sensations. je crois que je suis plutôt dans l'analyse du truc que dans le ressenti
(Sujet 2)

... alors que ce que je vois, c'est cette histoire d'attraction. c'est marrant, je vois ça et je ressens, je l'interprète différemment en fait. C'est comme si je tire sur quelque chose et moi j'interprète, je tape sur quelque chose...
(Sujet 4)

On ressent toujours des petites butées mais très très légères, vraiment très fluides, et puis en fait, les butées je les ressens plus visuellement... Là, dans le joystick... si je ferme les yeux normalement y a pas de butées. Alors que, quand je regarde les petites masses bouger là oui je les sens les butées dans ma main
(Sujet 14)

c'est la relation des forces entre les objets qui est plus évidente, finalement la ligne c'était une extension graphique de ce que ça peut déjà faire [...] Moi, si, je pense que la même réalité, c'est juste graphiquement...
(Sujet 8)

effectivement la représentation avec cette ligne avec une série de sphères, comme ça vibre, ça donne la sensation de vibration et de lien entre les différents points, très différente...
(Sujet 4)

Les participants expriment une déception pour l'absence de sensation haptique.

Ah... C'est triste ça. On se sent dépourvu de la sensation
(Sujet 2)

ça me semble cohérent puisque bon, je peux effectivement bouger, mais je pense que, par exemple, précédemment ce que j'avais, au niveau tactile, ça fonctionnerait mieux si j'avais une résistance de la part du dispositif. Puisque, bon, j'ai pas trop la sensation
(Sujet 7)

Le fait que les points d'attraction, qui sont billes au lieu d'une ligne continue, ne sont plus reliés donne lieu à des interprétations elles aussi déconnectées, ponctuelles.

ça me fait penser à genre un piano, Comme s'il y avait des notes de musique qui montaient
(Sujet 2)

on est plus sur un piano, un clavier, j'ai l'impression d'être là, que c'est le marteau qui tape les cordes
(Sujet 4)

Là ça fait vraiment penser à un xylophone
(Sujet 10)

C'est ça, c'est intéressant ça j'aime bien, parce qu'on peut... elles ont toutes le même espace entre chaque bille et puis il y en a une, si on n'en prend qu'une, on arrive à les faire espacer encore plus, la séparer des autres
(Sujet 15)

On dirait un petit truc de massage.
(Sujet 16)

Cependant, dans le comportement, les sujets perçoivent néanmoins une connexion directe entre la visualisation en grain et ce qui serait une ligne.

il y a une espèce de ligne virtuelle, on peut se la représenter
(Sujet 8)

comment expliquer... dans les extrémités de chaque petite plaquette de ligne, j'ai l'impression qu'on a mis une boule
(Sujet 2)

c'est plus une ligne, c'est une série de boules, qui sont effectivement aimantées, attirées par l'objet que je manipule
(Sujet 7)

On imagine un fil transparent, quelque chose comme ça qui les relie tous, un collier de perles
(Sujet 15)

Certains sujets se demandent si la visualisation en grain ne correspond pas mieux.

oui là, c'est plus crédible
(Sujet 8)

Les crans que je parlais tout à l'heure sont encore mieux représentés
(Sujet 15)

Les métaphores sont davantage dans l'action unidirectionnelle que dans une interaction mutuelle :

l'histoire de l'aimantation, elle disparaît un peu là dans la relation entre le geste et l'image, je suis plus dans mon histoire de taper et que ça crée une vibration
(Sujet 4)

on a plus un phénomène de propagation que quelque chose vraiment d'attraction-répulsion. Il y a attraction-répulsion mais ça fait moins aimant que tout à l'heure
(Sujet 14)

que je peux faire ce que je veux, ça serait plus ça en fait, sensation de volonté, je fais ce que je veux et je n'ai pas de contrainte particulière qui m'empêche de faire ce que je voudrais faire.
(Sujet 7)

Déjà je bouge un truc, je suis libre, ça part dans tous les sens, il n'y a pas de force dans le... Oui, ça pourrait être un crayon qui glisse très bien sur un bout de papier, ça serait pareil
(Sujet 11)

Mais chaque position a une position qui peut être stable, Au niveau de la manette... au niveau du visuel, même chose, c'est à dire qu'on doit pouvoir stabiliser à peu près, n'importe quelle situation,... que les choses sont établies
(Sujet 13)

La représentation en billes permet d'explorer l'espace entre elles, alors qu'avec les segments, les points ressortaient davantage comme les extrémités des segments.

sinon c'est assez intéressant de voir que c'est une série, enfin en général, c'est 2 points qui sont attirés par la bille grise et pas un seul, il faut vraiment jouer
(Sujet 12)

Tout à l'heure, elle était plus attirée par les segments et pas l'écart qu'il y avait entre eux, apparemment le joystick est attiré par l'écart qu'il y a entre les boules, j'avais plus l'impression par exemple de sentir l'extrémité des segments
(Sujet 10)

6.3.4.1. Bilan Partiel : Friction Session 4

Pendant cette session, la sensation haptique passe à travers l'image. La domination de l'image amène une autre manière de voir la scène, où le geste est plus une action qui vient du sujet plutôt qu'une interaction subie.

Cette scène presque déjà vécue (renvoie à la session 1) met les sujets dans une position de recul par rapport à leur ressenti et aussi par rapport à la manière d'interpréter la scène.

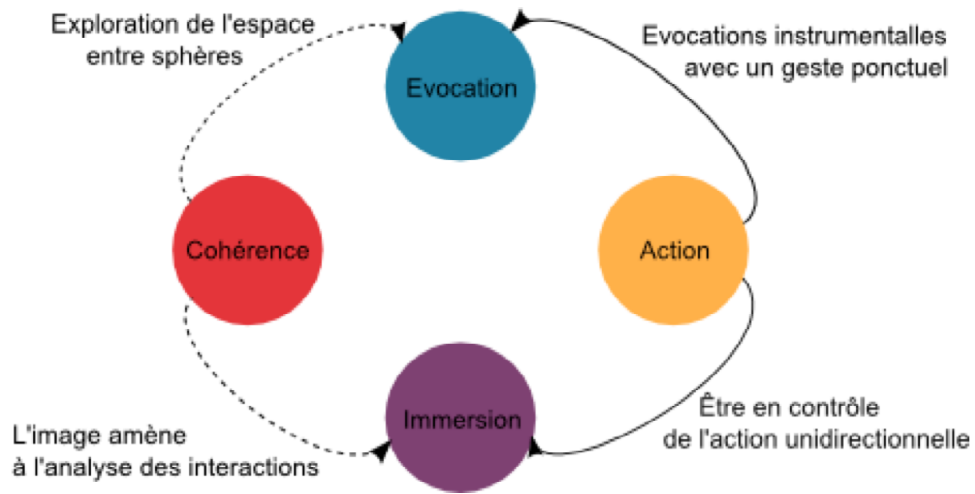


Figure 40 Interconnexions dans le cas de la session 4 de la scène "Friction".

Le paradoxe perçu par les sujets dans cette session donne lieu à des remarques très internes sur leur manière de percevoir la scène. Le lien entre l'image et le geste amène les sujets vers un questionnement sur la sensation haptique. Ces questions révèlent qu'une synergie a été imaginée entre animation et retour haptique absent. L'absence du retour d'effort offre à la manette une qualité rapidement interprétée comme légèreté. La manière de visualiser la scène amène aussi des différences dans sa perception par rapport à la manipulation.

6.3.5. Observations : Friction Session 5

Version	1	2	3	4	5	6
Retour d'effort	Non	Oui	Oui	Non	Oui	Non
Visualisation	Ligne	Ligne	Non	Billes	Billes	Non

Les principales perceptions relatées par les sujets sont :

- Perception du volume que donne le retour d'effort aux éléments de la scène.

Je pense que tout à l'heure (session 3.4), j'étais pas avec des sphères, j'étais avec des boules, c'était en 2D, il y avait des pastilles [...] j'avais déjà un dégradé mais j'avais pas le ressenti du volume (Sujet 4)

je sens plus effectivement quelque chose qui serait un pincer sur un gros truc en caoutchouc plutôt que l'aimant.

(Sujet 4)

je sens les boules, il y a le ressenti de chaque sphère, je sens son volume

(Sujet 4)

Je les sens mieux en fait. Je sens mieux leur... je les sens entièrement tandis que les lignes, vu qu'elles se touchaient, je ne sentais pas tout, que là je sens limite leur forme, je sens presque leur sphéricité

(Sujet 16)

- Perception de la singularité de l'interaction entre la bille manipulée et les boules de la ligne

je pince, j'ai vraiment 2 doigts (à) la boule bleue, c'est vraiment une pince, la boule rouge c'est bien toujours une translation de ça

(Sujet 4)

j'ai vraiment le sentiment d'attirer la bille, la boule avec mon objet, alors qu'avec la ligne, c'est légèrement différent, c'est une autre approche.

(Sujet 7)

- Perception des boules comme liées, retrouver les connexions entre elles, par conséquent la ligne

On retrouve la ligne donc, on déplace une bille vers le bas, vers le haut, si on en choisit une, ou deux d'ailleurs puisqu'on n'arrive pas à faire qu'une seule j'ai l'impression

Vers le haut vers le bas et puis elles retrouvent toujours leur ligne, dès que je m'éloigne elle retrouve sa ligne d'origine

(Sujet 11)

on voit la ligne un tout petit peu s'onduler

(Sujet 12)

c'est dur de se détacher du schéma de la ligne, comme tout à l'heure c'était une ligne avec des segments, les points ont... la connexion des segments a été remplacée par des boules, mais les segments sont toujours présents mais invisibles

(Sujet 13)

- Perception du rebond à cause de la visualisation discontinue

c'est plus lisible qu'il y a du rebond là (visu grain) puisque tout à l'heure, il y avait de la vibration (visu ligne)

(Sujet 4)

je sens comme si j'avais des billes de caoutchouc, je sens le volume dans la manière dont se comporte

(Sujet 4)

Les sujets parlent de la complexité de la situation.

c'est complexe comme truc, l'objet est simple mais la sensation, elle est complexe, elle est pas compliquée, il y a plein de multitudes d'informations

(Sujet 4)

ça répond à un projet personnel [...]La réponse se fait dans l'objet lui-même. Mais vu comme ça nécessite des conceptions assez... un peu élaborées, ce n'est pas le genre de choses qui se met tout de suite à la tête

(Sujet 8)

Ils trouvent qu'il y a une bonne correspondance des deux modalités.

on adhère complètement à la relation entre les deux choses donc il y a certainement quelque chose à créer

(Sujet 4)

ça ne vient plus du mental, ça vient de la main. Là, si je ferme les yeux, je ressens ces butées dans le joystick. Et je les ressens visuellement aussi

(Sujet 14)

comme si les représentations de boules c'est réaliste

j'ai les mêmes sensations tactiles et visuelles

(Sujet 7)

je préfère les boules. Je ne sais pas, c'est plus marrant. c'est ça qui est plus intéressant. Je peux faire le tour par le haut et le tour par le bas, que la ligne on ne pouvait pas la traverser, donc je préfère ça Enfin, au niveau de la sensation.

(Sujet 16)

Les sujets expliquent qu'ils sentent la scène comme s'il y avait un objet intermédiaire.

MC> Ok. Maintenant, cette sensation du crayon sur papier, comment ça se passe ?

P> Là, je ne l'ai plus là. Je l'avais tout à l'heure parce qu'il n'y a aucune résistance nulle part, là je n'ai plus cette impression d'interagir avec des choses à l'écran, quoi.

(Sujet 11)

J'ai un instrument qui touche peut-être quelque chose d'autre, qui peut toucher une roue crantée ou une surface ondulée ou quelque chose de ce type là mais en tout cas, moi je ne suis pas en contact direct avec la surface crantée éventuellement ou la roue crantée ou ... C'est simplement transmis c'est comme si c'était un élément quelconque qui se promenait sur une ondulation et... ces ondulations me seraient transmises dans ...

(Sujet 13)

6.3.5.1. Bilan Partiel : Friction Session 5

Cette session vient après avoir expérimenté avec le cas où il y a le même effet visuel mais pas de retour d'effort. La découverte à nouveau de la sensation haptique relève aux sujets la nature de cette installation et en même temps elle leur permet un recul mental par rapport à la combinaison des différentes modalités, chose qui se reflète aux situations évoquées de cette session.

La manipulation avec retour d'effort renvoie une information spatiale dans la main. Les objets prennent du volume ; les pastilles deviennent des sphères etc.

On retrouve dans cette session les bruits de la machine. Ces petits bruits lors du fonctionnement et de la manipulation du TGR influent sur la perception des sujets.

Au sujet de l'immersion, ce recul acquis grâce à la répétition des sessions dans des configurations différentes peut intriguer les sujets mais également les désintéresser.

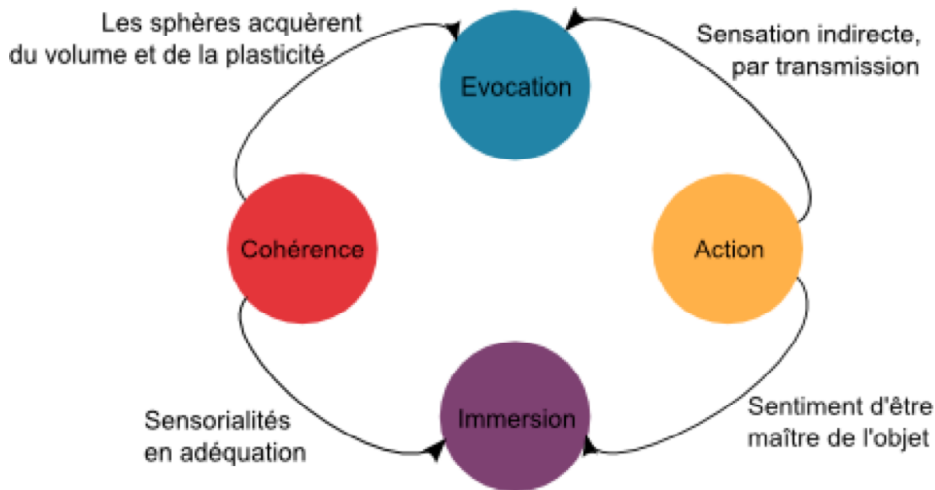


Figure 41 Schéma d'intéconnexions pour la session 5 de la scène "Friction".

Dans cette expérience, on retrouve le lien entre la sensation haptique et les autres sensations, comme la perception de l'espace, la présence accentuée et l'évocation instrumentale. En même temps il est intéressant de remarquer que cette session vient comme une révélation de l'association-dissociation des différents composants de l'expérience pour plusieurs sujets, et donc de la construction d'une connaissance personnelle sur la manière dont ils perçoivent les situations.

6.3.6. Observations : Friction Session 6

Version	1	2	3	4	5	6
Retour d'effort	Non	Oui	Oui	Non	Oui	Non
Visualisation	Ligne	Ligne	Non	Billes	Billes	Non

Les sujets expriment un sentiment d'abandon de la part de la scène virtuelle.

Bon, là c'est complètement la dépression (rires). Là je suis abandonné à l'engin en tel que lui
(Sujet 2)

ça faisait pas ça tout à l'heure, ou c'est moi
(Sujet 8)

c'est comme si ça frottait, c'est à la fois souple et puis comme s'il y avait une inertie, on dirait qu'il s'endort, c'est comme si, il arrête l'énergie
(Sujet 4)

Ils se concentrent sur la manette.

ce n'est pas inintéressant. C'est quand même intéressant, même c'est très intéressant de voir vraiment comment est-ce que le dispositif il est fait, et voir sa réaction, ses mouvements
(Sujet 2)

Et c'est assez étonnant d'avoir une fluidité pareille devant une machine, surtout que j'ai vu tout à l'heure celle qui est à l'entrée, enfin, c'est des machines lourdes, en métal. Donc, rien à voir avec un déplacement léger comme ça, aussi facile que de lever la main
(Sujet 10)

C'est vrai que quand on est dans le noir, je reviens toujours à la machine en fait. Je la regarde en plus
(Sujet 15)

Cette situation permet aux sujets de réfléchir sur les possibilités du dispositif, sur les modalités de l'expérience.

il y a toute une relation qui se fait entre les 3 pieds (du TGR), c'est super intéressant, ça me fait penser à une extension de la main. Une extension de la main métallique, vous l'avez fait métallique, comme une machine, je veux dire il n'y a pas l'intention de faire quelque chose de plus organique peut-être ; mais c'est quand même intéressant de voir que la machine telle qu'elle, peut produire ou peut simuler ou peut nous être utile à simuler le mouvement ci.
(Sujet 2)

C'est complètement intuitif, après j'imagine que y a tout un développement précis de chaque pied et du fonctionnement de chaque pied. Je veux dire, je suis arrivé, et j'ai fait le mouvement, je ne me suis même pas demandé, j'ai fait gauche, j'ai fait gauche et j'ai fait droite et c'était droite quoi. Non, à ce niveau-là c'était complètement intuitif enfin je veux dire normal
(Sujet 2)

La manipulation en légèreté est notée comme agréable mais n'est pas longtemps intéressante.

Mais par contre, là contrairement aux segments ou aux billes, je vais pas pouvoir jouer avec pendant une heure... ça va vite me saouler ...
(Sujet 10)

mais c'est vrai que vu que je manipule un objet, je peux jouer avec, je peux faire des choses. Mais c'est vrai que c'est une chose que je fais plutôt machinalement
(Sujet 11)

j'ai pas le retour du toucher ni le retour visuel donc je suis un peu perplexe, donc là je peux pas rester des plombes sur ...
(Sujet 13)

6.3.6.1. Bilan Partiel : Friction Session 6

Malgré l'absence totale de stimuli, cette session a eu quand même un certain intérêt pour les sujets, car elle leur a permis d'observer la machine, de sentir le dispositif matériel pour ce qu'il est, et de faire un bilan sur les sensations vécues auparavant et l'état actuel.

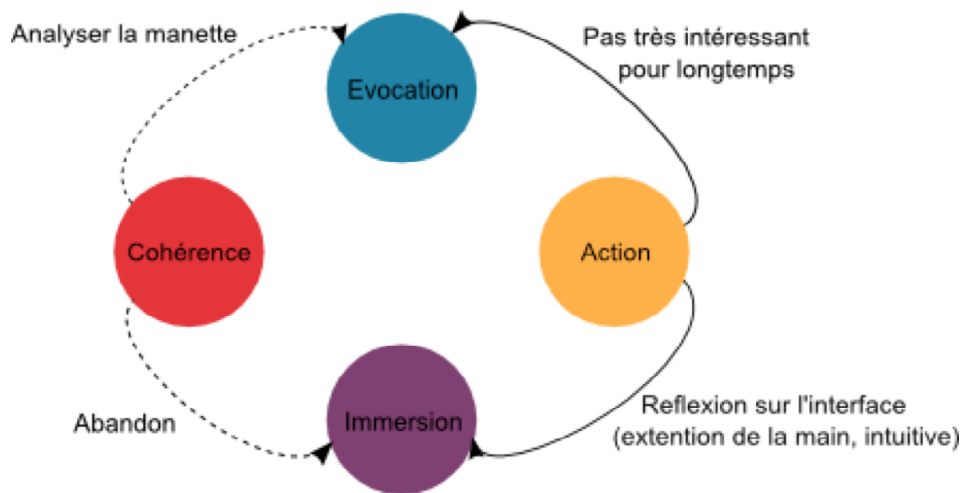


Figure 42 Schéma d'interconnexions pour la session 6 de "Friction".

6.3.7. Conclusions sur l'expérience de « Friction »

Cette expérience grâce au jeu du changement des sessions entre scènes visuelles et scènes visio-haptique, a permis à la majorité des participants de réfléchir sur l'association et la dissociation des différents composants de la scène et sur ce qui venait de leurs propres expériences dans la construction de la situation. Les bruits de la machine et les sensations haptiques ont permis aux utilisateurs de détailler les objets virtuels qui participent à l'interaction haptique. De plus, la manipulation avec retour d'effort a permis aux sujets de percevoir les objets de la scène virtuelle tridimensionnels. Enfin, l'absence d'image enlève information par rapport au comportement intéressant du rebondissement de la corde.

7. Conclusion et perspectives

Nous avons retrouvé, dans cette deuxième étude, le modèle d'analyse basé sur les quatre éléments et sur leurs interconnexions. Cette expérience nous a permis de compléter les analyses à l'aide de ces catégories théoriques afin de mieux comprendre les mécanismes cognitifs. Nous avons vu, dans chacune des trois scènes, Pebble Box, Approche-Retrait, Friction, comment les relations entre l'action, l'évocation, l'immersion et la cohérence se modifiaient par rapport à la situation et nous avons illustré avec des schémas la multitude de ces relations.

Le jeu des paramètres qui changeait à chaque session, nous a permis de faire la correspondance entre sensorialité et perception et de mettre en évidence l'importance que chacune a séparément ainsi qu'en combinaison. Il y a des caractéristiques de la scène virtuelle qui ne sont perceptibles que par le retour visuel, comme par exemple le comportement des objets après un choc (la corde de l'expérience Friction). L'image dans ce cas est le seul moyen d'information sur la nature de ces objets une fois qu'ils ne sont plus à proximité haptique. Le son de l'autre côté vient détailler les situations visuelles et haptiques. Il permet d'appréhender avec grande finesse les changements qui se passent dans la scène virtuelle

dans un niveau inaccessible aux autres sensorialités. Enfin, le retour haptique permet la restitution d'un espace dimensionnel, un espace qui est expérimenté avec le corps et dont le corps en fait partie, un espace haptique qui existe dans le geste, grâce au geste.

Dans une comparaison avec l'étude des JIM'09, nous constatons que l'élément de l'émotion, dans sa déclinaison de « se sentir ému », qui était très présent dans le discours des sujets de la première étude, n'a pas réapparu dans celle-ci. Il s'agit d'un changement qui pourrait être lié à la présence de l'action réelle. Cette interaction directe avec le dispositif met possiblement la personne dans une disposition plus attentive par rapport aux sensations vécues qu'au sentiment d'empathie (être ému) qui se développe lorsqu'elle est spectatrice.

En conclusion de cette expérience nous considérons le protocole employé comme validé pour son efficacité à rendre les utilisateurs expressifs : il peut donc être utilisé dans l'avenir sans modifications. Le sentiment d'être observé n'a pas été perçu comme gênant par l'ensemble des sujets et le matériel enregistré par les trois moyens du script, de l'enregistrement audio et vidéo, donne un corpus très riche qui pourrait encore donner matière à plusieurs autres analyses, notamment par rapport au geste instrumental.

De plus, la méthodologie proposée peut être utilisée pour l'analyse d'autres situations d'interaction, dans le domaine des arts mais également dans d'autres domaines impliquant une relation étroite entre l'homme et un dispositif technologique, par exemple dans le cadre de l'étude de la relation entre l'homme et un simulateur de vol ou un simulateur haptique.

Nous avons observé plusieurs situations décrites « au bout de la langue » où les gens cherchaient une sensation intérieure mais n'arrivaient pas à trouver le bon mot qui correspondait à leur sensation. Parfois, par circonlocution et en prenant le temps de faire une périphrase de leur sensation vécue, ils parvenaient à décrire ce qu'ils ressentaient et à trouver les mots qui correspondaient le mieux à leurs images intérieures. Il s'agit d'un processus de prise de conscience non seulement du sens des mots mais surtout d'émergence des idées et de concrétisation de l'expérience. Nous retrouvons cette idée dans {Dubois 2009} où Danièle Dubois soutient que «les mots prennent sens en même temps qu'ils se sont prononcés », ainsi que dans {Petitmengin 2007}.

Nous avons créé un document contenant une description détaillée des entretiens menés. Le corpus de ces entretiens a été découpé, permettant d'identifier, les différentes scènes et sessions et chacune des citations effectuées lors de celles-ci.

{Amphoux 2002} suggère, dans l'analyse de son approche multiple et cumulative, que nous pouvons chercher à établir des recoupements grâce à la redondance au sein du même matériau d'analyse, et qu'il serait intéressant de multiplier ces possibilités en cumulant plusieurs corpus différents. Cela serait en effet un exercice très couteux en temps, mais il serait certainement intéressant d'amener plus loin les résultats de cette étude en menant une expérimentation dans une approche qui exploite le corpus existant. Cela dans le but de

mettre en place une technique d'entretiens sur écoute réactivée ou d'observation récurrente grâce à la vidéo, car les enregistrements audio et visuels sont toujours disponibles et peuvent être annotés relativement facilement grâce à l'analyse de codage effectuée.

Comme perspective de ces travaux, les expériences effectuées dans le cadre de l'installation « Geste réel sur matière simulée » peuvent être utilisées pour réaliser une analyse du geste selon les conditions expérimentales. Nous avons observé pendant les entretiens qu'il existe plusieurs façons de manipuler le dispositif. De plus, lorsque le sujet modifie sa prise du dispositif, cela peut changer la perception de l'expérience.



Figure 43 Clichés de différents exemples de préhension de la manette selon la session.

La matière vidéo des expériences a été enregistrée par deux caméras, une qui filmait la scène globale et une qui se trouvait plus proche de l'interaction de l'utilisateur avec le dispositif technique. Cette deuxième, pointée vers le geste de la main, permet d'avoir une vue directe sur les différentes préhensions de la manette. Les positionnements de la main changent selon le type de la manette mais aussi selon les séances (différentes simulations) et même pendant une seule séance l'utilisateur change plusieurs fois sa préhension.

Ces différences se prêtent à l'analyse approfondie du couplage homme-objet d'un point de vue cognitif. En effet, dans le domaine des sciences cognitives, la main fait l'objet des recherches pour ses capacités sensorimotrices, de perception et d'exploration de l'environnement.

Certains des commentaires obtenus lors des expériences impliquent des gestes particuliers, par exemple un changement du type de préhension de la manette. Ils ont été annotés sur le document de façon à pouvoir les identifier facilement sur la vidéo d'origine et les observer et les analyser. Nous pourrions alors rechercher une relation entre le type de préhension ou le temps d'exécution du geste et les variations de la scène : retour d'effort / sans retour d'effort, dispositif conçu pour être manipulé avec la main gauche / droite, existence de plusieurs modalités sensorielles (auditive, visuelle, haptique) / une seule modalité sensorielle.

Chapitre VI :

Conclusion et perspectives

Lors de cette étude, nous avons développé un ensemble d'outils permettant l'analyse des situations nouvelles lors de l'utilisation des technologies numériques dans les arts, plus précisément dans les arts de la scène.

Dans ce cadre, nous avons cherché à définir les liens entre les propriétés des deux parties interagissant. D'une part, l'environnement numérique et d'une autre part les instances cognitives de l'homme, acteur-spectateur.

Afin d'identifier ces liens, nous avons effectué un état de l'art comportant deux parties. Une première partie sur l'influence des interfaces technologiques sur la perception et la cognition de l'homme ainsi que dans le monde artistique. Ensuite, une deuxième partie sur les méthodes qualitatives utilisées pour interroger le sujet sur la situation vécue.

Nous nous sommes basés sur le concept de l'enaction qui décrit la cognition comme un processus d'interaction entre l'homme et le monde à travers l'action. Ce concept est étroitement lié avec celui d'incorporation permettant à l'utilisateur de faire partie de la situation au niveau perceptif et cognitif.

Ensuite, nous avons cherché des situations dans lesquelles il était possible de retrouver ces conditions d'incorporation telles que celles observées dans une situation réelle instrumentale, par exemple lors que nous jouons d'un instrument. Nous avons étudié comment et quand ces situations se produisent puisque ce n'est pas une condition propre aux technologies numériques.

Nous avons alors choisi d'étudier deux cas, selon le rôle du sujet tel que nous pouvons le trouver dans la situation artistique. Dans le premier cas, le sujet joue un rôle passif, il est spectateur et perçoit ce qui se passe sur scène. Dans le deuxième, son rôle est actif, il est acteur et fait partie intégrale de l'installation artistique.

Pour l'analyse de ces cas d'étude, nous avons proposé une approche qualitative basée sur des entretiens ouverts axés sur la sensation, la perception et l'appréciation de l'expérience vécue. L'analyse du contenu de ces entretiens a été fondamentale pour la caractérisation de la relation entre l'homme et le dispositif numérique. Nous avons défini quatre éléments permettant de qualifier cette relation: cohérence, action, immersion et évocation.

Cette méthode que nous avons mis en place, nous a permis d'approcher des sujets difficiles à explorer autrement, par exemple faire de l'œuvre d'art une situation pour soit, vécue pleinement.

Pour le premier cas d'étude nous avons réalisé une expérience à partir des pièces présentées lors du concert de Journées d'Informatique Musicale à Grenoble. Nous avons choisi sept pièces multisensorielles qui ont été enregistrées en vidéo pendant le concert et rediffusées ultérieurement à six sujets ayant assisté au concert. Les entretiens effectués nous ont permis en premier lieu de valider la démarche qualitative proposée. Ils nous ont fourni des informations importantes permettant d'identifier les quatre éléments définis ainsi que leur rôle dans la perception de la scène.

Ces résultats nous ont permis d'envisager la réalisation d'une deuxième expérience avec un plus grand nombre de sujets afin de valider les résultats obtenus. De plus, pour cette deuxième expérience, nous avons choisi une situation interactive audio-visio-haptique permettant au sujet de jouer un rôle actif devenant l'acteur principal de la situation. Nous avons alors implémenté pour ces expériences une installation intitulée « Geste réel sur matière simulée » qui a été présentée pour la première fois à Poitiers. Lors de cette expérience le sujet a exploré une ou plusieurs scènes de simulation multisensorielle. Chacune des scènes comportait six sessions différentes. Nous avons fait varier les modalités sensorielles lors de chaque session, par exemple, sur la scène « Approche-Retrait » nous avons une session avec un rendu visuel, un retour haptique et du son et ensuite sur une autre session de cette même scène nous avons enlevé l'une des modalités, par exemple le retour haptique. Cela nous a permis de mettre en évidence la relation entre l'outil technologique et la perception de la situation.

De plus, nous avons pu approfondir les connaissances déjà acquises lors de la première expérience sur le rôle des quatre éléments définis pour l'évaluation des situations d'incorporation ainsi que sur les dépendances qui existent entre eux.

Il s'agit d'une étude innovante, puisque il n'existe pas d'autres études sur l'apport des technologies numériques dans la perception d'une situation artistique numérique. Il est important de noter que l'étude réalisée lors de cette thèse est pluridisciplinaire. Elle se situe à l'intersection des domaines tels que l'informatique, l'art et les sciences cognitives. Elle nous a menés à la construction d'une chaîne d'analyse complète, commençant par un état de l'art nous permettant de constituer une méthodologie pour la réalisation d'expériences multisensorielles pour les arts numériques. Ensuite, nous avons établi un protocole expérimental et nous avons mis en place les expériences pour la réalisation des entretiens. Nous avons en fin analysé les résultats obtenus en utilisant la méthode proposée.

De façon générale, cette étude nous a permis de comprendre ce qui change chez l'homme dans la manière de percevoir et connaître l'environnement dans une situation artistique utilisant des technologies numériques, multisensorielles, audiovisuelles et audio-visio-haptiques.

Nous pouvons envisager comme perspective d'appliquer cette méthode comme complémentaire des recherches neuro-cognitives comme le propose Petitmengin pour sa méthode d'entretien. Cela pourrait être appliqué dans les arts, il y a plusieurs artistes qui s'intéressent à ce qui s'appelle neuroesthétique {Zeki 1999}, {Gallese and al. 2012}, {Novakovic 2010}, et accompagner cette quête neurocognitive en permettant une meilleure

compréhension des processus cognitifs et perceptifs qui se créent et change le long d'une expérience artistique. {Novakovic 2010} avait aussi remarqué que Alva Noë, philosophe et neuroscientifique, dans son ouvrage « *Out of our heads* » croyait que les artistes ne doivent pas être juste les objets des études scientifiques, comme ils le sont dans la neuroesthétique, mais ils doivent activement contribuer dans les domaines des études de la perception et de la conscience.

Références

- {Allary 2002} Guillaume Allary (2002) L'oeil du spectateur. Sciences Humaines « L'Art » Hors-série N° 37 - Juin/Juillet/Aout 2002
- {Amphoux 2002} Amphoux, Pascal (2002) L'observation récurrente, pp. 271-283, in M. Jolé, (ed.). Espaces publics et cultures urbaines. Paris: CERTU Institut d'Urbanisme de Paris.
- {Amphoux 2008} Amphoux, Pascal (2008) L'observation récurrente, pp. 153-169, L'espace urbain en méthodes. Editions Parenthèses, sous la direction de Michèle Grosjean, Jean-Paul Thibaud.
- {Bishop 2006} Participation, edited by Claire Bishop, 2006 MIT Press.
- {Borillo 2010} Mario Borillo (2010) Dans l'atelier de l'art, expériences cognitives, pp. 6-21, Sous la direction de Mario Borillo. Editions Champ Vallon.
- {Boutigny 2005} Erwan Boutigny (2005) Vers un renouvellement de la démarche qualitative en sciences de la gestion ? pp. 59-69. Revue Management et Avenir, 2005/2 (n° 4).
- {Bruner 1966} Bruner, J. S. (1966). Toward a theory of instruction. The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, MA, USA.
- {Cadoz 1988} C. Cadoz . "Informatique et Outil de Création Musicale", Revue Marsyas N°7. Institut de Pédagogie Musicale et Chorégraphique - la Villette, pp. 18-29. Paris 1988.
- {Cadoz et al. 1993} Claude Cadoz, Annie Luciani and Jean-Loup Florens, (1993) CORDIS-ANIMA: A Modeling and Simulation System for Sound and Image Synthesis - The General Formalism, Computer Music Journal 17, no. 1 (1993), 19-29.
- {Cadoz 1994} Claude Cadoz (1994) Le geste, canal de communication homme/machine. La communication instrumentale - Technique et science de l'information. Volume 13 - n° 1/1994, pages 31-61.
- {Cadoz et al. 1994} Claude Cadoz et al. (1994) Physical Models for Music and Animated Image, The Use of CORDIS-ANIMA in 'ESQUISSES', a Music Film by ACROE, ICMC Proceedings 1994

- {Cadoz 1999} Claude Cadoz (1999) Continuum énergétique du geste au son simulation multisensorielle interactive d'objets physiques. In « Les interfaces pour la création musicale ». HERMES Editeur. 1999
- {Cadoz 1999b} Claude Cadoz (1999) Musique, geste, technologie. Dans « Les nouveaux gestes de la musique », sous la direction de Hugues Genevois et Raphaël de Vivo, Editions Parenthèses, Marseille, 1999.
- {Cadoz 2006} Claude Cadoz (2006) Retour au réel : le sens du feedback, rétroaction-interaction-énaction. Le feedback dans la création musicale, rencontres musicales pluridisciplinaires. Mars 2006.
- {Changizi 2009} Mark Changizi: Why does music make us feel? Scientific American. 15th of September 2009 (<http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=why-does-music-make-us-fe>)
- {Christou et al. 2010} Maria Christou and Annie Luciani (2010) Interaction Analysis in Performing Arts: A Case Study in Multimodal Choreography. First International Conference, ArtsIT 2009, Yi-Lan, Taiwan, Revised Selected Papers. Volume 30, 2010, pp 97-10.
- {Christou et al. 2011} Maria Christou and Annie Luciani (2011) Enactive analyses of interactions: Dancer-Public-Environment. « Simulation technologique et matérialisation artistique. Une exploration transdisciplinaire arts/sciences », ouvrage collectif sous la direction de S. Bianchini, N. Delprat, C. Jacquemin. L'Harmattan (2011) pp 111-126.
- {Christou et al. 2011b} Maria Christou, Olivier Tache, Annie Luciani, and Daniel Bartelety (2011) Virtual Instrumentality: Exploring Embodiment in Artistic Installations. International Symposium on Electronic Arts (ISEA) 2011, Istanbul.
- {Csikszentmihalyi 1997}Csikszentmihalyi, M. (1997). Finding flow. The psychology of engagement with everyday life. New York: Basic Books.
- {deLahunta 2001} Scott deLahunta (2000) Choreographing in Bits and Bytes: motion capture, animation and software for making dances. From the book La scena digitale: Nuovi media per la danza, Armando Menicacci and Emanuele Quinz, eds. Giangiacomo Feltrinelli Editore: Milano, Italy.
- {Depraz 2007} Natalie Depraz, presentation of “Phenomenology and Enaction”. Summer school: Cognitive sciences and Enaction (Fréjus, 5-12 september 2007)

- {Dervin 1999} Sense-Making's theory of dialogue: A brief introduction (1999). Paper presented at a non-divisional workshop held at the meeting of the International Communication Association, San Francisco.
- {Dixon 2007} Steve Dixon (2007) Digital Performance : A history of New Media in Theatre, Dance, Performance Art, and Installation. Cambridge, MA and London. The 'MIT' Press, 2007.
- {Dubois 2009} Danièle Dubois (2009) Le sentir et le dire, pp. 16-19, Editions L'Harmattan, 2009.
- {Dyson 2009} Frances Dyson (2009) Sounding New Media : Immersion and Embodiment in the Arts and Culture, Berkeley: University of California Press, 2009.
- {Duyck 2003} J-Y Duyck (2003) Des lettres et des chiffres : vers la troisième génération du qualitatif en sciences de gestion, Revue Science de Gestion, n° 30, p. 179-206.
- {Enactive 2004-2007} www.enactivenetwork.org
- {Engel et al. 1993} Paradigm Shifts in Neurobiology : Towards a New Theory of Perception
- {Fels 2000} Fels S. (2000) Intimacy and Embodiment: Implications for Art and Technology, ACM Multimedia Workshops, page 13-16. ACM Press, 2000.
- {Gallese and al. 2012} V. Gallese and C. di Dio (2012) Neuroesthetics : The Body in Esthetic Experience, Encyclopedia of Human Behavior, Second Edition (2012), vol. 2, pp. 687-693.
- {Gaver 1991} William W. Gaver (1991) Technology affordances. In Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems: Reaching through technology (CHI '91), Scott P. Robertson, Gary M. Olson, and Judith S. Olson (Eds.). ACM, New York, NY, USA, 79-84.
- {Grau 2003} Oliver Grau (2003) Virtual Art : From Illusion to Immersion, The MIT Press.
- {Florens et al. 2004} J.L. Florens, A. Luciani, N. Castagne, and C. Cadoz (2004) Ergos : a multi-degrees of freedom and versatile force feedback panoply. In Proceedings of the EuroHaptics Conference, pages 356–360, Germany.
- {Hansen 2006} Mark Hansen (2006) New Philosophy for New Media, The MIT Press

- {Heidegger 1927} Martin Heidegger (1927) Être et Temps. trad. fr. 1938, rééd. Gallimard, coll. « Bibliothèque de philosophie », 1986.
- {Houot et al. 2006} Maxime Houot, Annie Luciani and Jean-Loup Florens (2006) Perception of multiple moving objects through multisensory-haptic interaction: Is haptic so evident for physical object perception?, Proceedings of the 3rd International Conference on Enactive Interfaces (Montpellier: University Montpellier-1, 2006), 154–155.
- {HCI} http://en.wikipedia.org/wiki/Human%E2%80%93computer_interaction
- {Hurtienne 2009} Hurtienne, J. (2009). Cognition in HCI: An ongoing story, in *Human Technology Journal*, Issue 5(1), p.12-28.
- {IEP-Husserl} Internet Encyclopedia of Philosophy : Husserl's phenomenology of embodiment. <http://www.iep.utm.edu/husspemb>
- {Jacquemin 2011} Jacquemin, C., Ajaj, R., Planes, B. (2011) Alice on Both Sides of the Looking Glass: Performance, Installations, and the Real/Virtual Continuity. *Comput. Entertain.* 9, 3, Article 12.
- {Kant 1790} Kant, Critique de la Faculté de Juger, ed. GF, trad. Renaut.
- {Lakoff 2000} George Lakoff dans la description du cours « The Mind and Language », semestre d'été 2000 à l'Université de Californie <http://www1.icsi.berkeley.edu/~lakoff/105Syl.html>
- {Logenswaran et al. 2009} Nidhya Logeswaran, Joydeep Bhattacharya (2009) Cross modal transfer of emotion by music in *Neuroscience Letter*. Vol. 455, No. 2, pp. 129-133.
- {Luciani 1992} A. Luciani. "Ordinateur, Images et Mouvements. Apparition de l'instrumentalité dans l'art du mouvement visuel", *Revue Les Cahiers de l'Ircam n° 2*, novembre 1992
- {Luciani 2001} A. Luciani. Le processus de création dans les Arts du temps Musique-Danse-Image Animée. Thème « Art et Cognition » de l'Action Concertée Incitative « COGNITIVE ». Rapport. Décembre 2001.
- {Luciani et al. 2006} A. Luciani, C. Magnusson, M. Carozzino, J. Boerck, I. Mansa, C. Preusche, G. Jansson, H.S. Kim, I. Summers, A. Katchatourov, C. Trestino (2006) Exemplary Enactive Tasks and Associated Technological Bottlenecks. 2nd ENACTIVE Workshop. May 2006.

- {Luciani et al. 2006b} Annie Luciani, Charlotte Magnusson, Nicolas Castagné. Final report on technological specifications for Enactive Interfaces. Deliverable D.IA2.6. 3 November 2006. NOE Enactive Interfaces (2006) www.enactivenetwork.org
- {Luciani et al. 2007} A. Luciani, S. O'Mondrain, C. Magnusson, J-L. Florens, D. Couroussé (2007) Perception of Virtual Multisensory Mobile Objects Wandering around the Enactive Assumption, Proceedings of Enactive/07, 4th International Conference on Enactive Interfaces, Grenoble, France, November 19th -22nd, 2007.
- {Luciani et al. 2008} Annie Luciani, Sile O, Charlotte Magnusson, Jean-Loup Florens, Damien Courouss, "Perception of Virtual Multi-Sensory Objects: Some Musings on the Enactive Approach," 2012 International Conference on Cyberworlds, pp. 354-360, 2008 International Conference on Cyberworlds, 2008.
- {Luciani et al. 2009} A. Luciani, J-L. Florens, D. Couroussé, J. Castet (2009) Ergotic Sounds: A New Way to Improve Playability, Believability and Presence of Virtual Musical Instruments, pp. 309-323, Journal of New Music Research Volume 38, Issue 3, 2009, Special Issue: Enaction and Music.
- {Luciani et al. 2011}. Ambient and Instrumental Creativity / Créativité Instrumentale et Créativité Ambiante. A. Luciani, O. Tache, N. Castagné, Editeurs. ACROE/Enactive Systems Books publisher, 2011 – ISBN 978-2-9530856-1-7 – available online at <http://aicreativity.eu>
- {Luciani, 2011} Annie Luciani. De la matière réelle à la matière simulée : Vers un art visuel dynamique et instrumental. Conférence #AST2011, Grenoble, Nov. 2011. In Ambient and Instrumental Creativity / Créativité Instrumentale et Créativité Ambiante. ACROE/Enactive Systems Books publisher, 2011 – ISBN 978-2-9530856-1-7 – available online at <http://aicreativity.eu>
- {Luciani, Florens, 2011} Annie Luciani, Jean-Loup Florens. « Geste réel sur matière simulée ». Exposition EESI Février 2010. Exposition #AST 2011, Grenoble, Novembre 2011. In Ambient and Instrumental Creativity / Créativité Instrumentale et Créativité Ambiante. ACROE/Enactive Systems Books publisher, 2011 – ISBN 978-2-9530856-1-7 – available online at <http://aicreativity.eu>

- {Luciani, Barthélemy, Denkler, 2011} Annie Luciani, Daniel Barthélemy, Lisa Denkler. « Amplitude ». Vidéo. Performance + vidéo. Grenoble #AST 2011. In Ambient and Instrumental Creativity / Créativité Instrumentale et Créativité Ambiante. ACROE/Enactive Systems Books publisher, 2011 – ISBN 978-2-9530856-1-7 – available online at <http://aicreativity.eu>
- {Luciani et al. 2012} Annie Luciani, Daniel Barthélemy, Claude Cadoz, Marcelo M. Wanderley, Olivier Tache, Stephen Sinclair, Gilles Bollaert, Jean-Loup Florens. « Créativité Instrumentale : Etude du processus de création dans les arts instrumentaux du temps dans le contexte des technologies de l’information et de la communication ». Rapport de contrat ANR. 21 Juin 2012. ???Mettre référence HAL???
- {Luciani, 2014} A . Luciani. Being There & Being With: The Philosophical and Cognitive Notions of Presence and Embodiment in Virtual Instruments. Proc. Of the International Computer Music Conference. Athens. September 2014.
- {Manovich 2001} Lev Manovich (2001) Language of New Media, The MIT Press
- {Marchi et al. 2010} F. Marchi, S. Marlière, J-L. Florens, A. Luciani, J. Chevrier. « An augmented reality nanomanipulator for learning nanophysics : the Nanolearner platform ». Transactions on edutainment. 2010.
- {Marlière 2006} S. Marlière. "Conception et réalisation d’un nouvel outil à réalité mixte et retour d’effort pour toucher et créer les nanomondes". Thèse de doctorat de l’Institut Polytechnique de Grenoble. Ecole doctorale Electronique, Electrotechnique, Automatique et Traitement du signal, Institut national polytechnique de Grenoble, Grenoble. Soutenue le 2006/02/13.
- {Marlière et al. 2008} S. Marliere, F. Marchi, J.L. Florens, A. Luciani, J. Chevrier, "An Augmented Reality Nanomanipulator for Learning Nanophysics: The ," cw, pp.94-101, 2008 International Conference on Cyberworlds, 2008.
- {Merleau-Ponty 1945} Maurice Merleau-Ponty (1945) Phenomenology of Perception. Phénoménologie de la perception (Paris: Gallimard, 1945), trans. by Colin Smith [London: Routledge & Kegan Paul, 1962; rev. 1981]

- {Morrie 2007} Morie, J.F. (2007), 'Performing in (virtual) spaces: Embodiment and being in virtual environments', *International Journal of Performance Arts and digital Media*, pp. 123–138.
- {Munster 2006} Anna Munster (2006) *Chapitre : Interfaciality. Materializing New Media: Embodiment in Information Aesthetics*. Hanover: Dartmouth, 2006.
- {Novakovic 2010} Novakovic G. (2010) A new paradigm: plastic brains in the post-digital world. In: (Proceedings) DRHA 2010 Digital Resources for the Humanities & Arts: 'Sensual Technologies. Brunel, London 2010.
- {Oiticica 2006} Helio Oiticica, *Dance in My Experience (Diary Entries) //1965-66* p.107, 'Participation, Documents in Contemporary Art', Ed. Claire Bishop Whitechapel and the MIT Press 2006.
- {Pasquinelli 2007} Elena Pasquinelli: *Enactive Knowledge. Enaction and Enactive Interfaces: A handbook of terms* (2007)
- {Petitmengin 1999} Claire Petitmengin-Peugeot (1999) *The Intuitive Experience*, pp. 43-77, Published in F.J. Varela and J. Shear (ed.), *The View from Within. First-person approaches to the study of consciousness*, London, Imprint Academic, 1999.
- {Petitmengin 2006} Petitmengin, Claire (2006) *Describing one's subjective experience in the second person: An interview method for the science of consciousness*, PCS, 5: 229-269
- {Petitmengin 2007} Claire Petitmengin (2007) *Towards the source of thoughts, the gestural and transmodal dimension of lived experience*, *Journal of Consciousness Studies*, 14, No. 3, 2007, pp. 54-82.
- {Pfeifer et al. 2006} Pfeifer, Lungarella & Iida (2007), 'Self-Organization, Embodiment, and Biologically Inspired Robotics', *Science* 318(5853), 1088-1093.
- {Presence} *Presence, Teleoperators and virtual environments : Journaux de MIT Press.*
- {Prytherch et al. 2003} D. Prytherch, R. Jerrard, 'Haptics, the Secret Senses; the covert nature of the haptic senses in creative tacit skills', *Proceedings of Eurohaptics 2003*, pp.384-396
- {Rauterberg 1999} Rauterberg M. (1999). *From Gesture to Action: Natural User Interfaces*. Dierede 1999 (pp. 15-26), Technical University Eindhoven.

- {Salter 2010} Chris Salter (2010) Entangled, Technology and the transformation of performance. The MIT Press 2010.
- {Tache et al. 2002} Olivier Tache, Maria Christou, Annie Luciani. Rapport interne. FOP04_02_CREA_Axe1_110202.doc
- {Tesch 1990} R. Tesch (1990), Qualitative research : analysis types and software tools, The Flamer Press.
- {Van Rompay et al. 2005} Van Rompay, T. J. L., Hekkert, P., Saakes, D., & Russo, B. (2005). Grounding abstract object characteristics in embodied interactions. *Acta Psychologica*, 119 (3), 315-351.
- {Varela et al. 1991} Varela, F.J., Thomson, E., and Roch, E. (1991) "The Embodied Mind : Cognitive Science and Human Experience". *Cognitive Science : Philosophy, Psychology*. MIT Press 1991.
- {Varela 1992} Varela, F.J. (1992). "Whence Perceptual Meaning? A Cartography of Current Ideas," in F. Varela and J. Dupuy (eds.) *Understanding Origins: Contemporary Views on the Origin of Life, Mind and Society*, Dordrecht, Kluwer Academic, pp. 235-263.
- {Vermersch 1994} Pierre Vermersch. *L'entretien d'explicitation en formation continue et initiale*, Paris, ESF, 1994
- {Yin 2002} Yin, Robert (2002) *Conducting Case Studies: Collecting the Evidence*, chapter 4, in *Case Study Research: Design and Methods*, Third Edition. Applied Social Research Methods Series – Volume 5. Edited by Leonard Bickman and Debra J.Rog. Sage Publications.
- {Zeki 1999} S. Zeki (1999) Art and the brain. *Journal of Consciousness Studies : Controversies in Science and Humanities*, vol. 6, pp. 76-96.

ANNEXE I : Les éléments scientifiques et technologiques du laboratoire ACROE-ICA utilisés pour ces travaux

Les Transducteurs Gestuels Rétroactifs (TGR)

Pour permettre une interaction instrumentale de geste avec l'ordinateur, ACROE-ICA développent depuis plusieurs années des Transducteurs Gestuels Rétroactifs à l'intérieur desquels un capteur de déplacement est couplé avec un déclencheur (moteur). Ainsi, nous parlons de systèmes à retour d'effort.

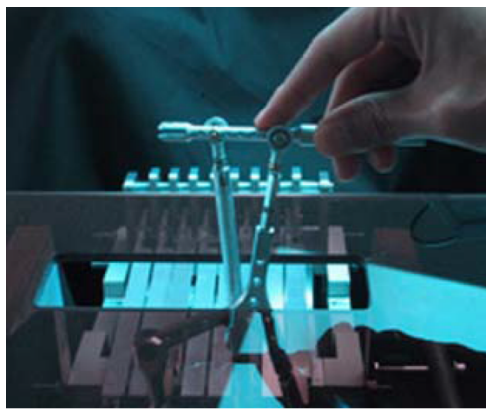


Figure 44 Transducteur gestuel à retour d'effort

En outre, la bidirectionnalité de ces systèmes permet à l'utilisateur de recevoir des informations riches en contenu sur l'objet manipulé avec le sens tactiloproprio kinesthésique.

Le formalisme CORDIS - ANIMA

CORDIS - ANIMA est un système de modélisation et de simulation d'objets physiques, qui modélise le monde comme des assemblages de masses ponctuelles répondant aux lois de Newton. Sa caractéristique particulière est sa modularité, c'est-à-dire la manière de traiter les entités comme de modules autonomes.

Le formalisme CORDIS - ANIMA représente la communication entre les objets comme une communication ponctuelle, qui est en plus bidirectionnelle, réalisée par de paires indissociables d'entrées - sorties. Cette symétrie entre les objets, n'a pas ni de sens d'orientation, ni de chronologie. Dans cet univers discrétisé, ils existent deux types de points de communication : ceux pour lesquels la variable intensive constitue l'entrée et la variable extensive la sortie, et ceux pour lesquels c'est l'inverse. Les points de premier type sont appelés "points M" et ceux du second type "points L". Comme variables extensives on considère les positions et les déplacements, et comme intensives plutôt la force. On parle

alors des points M pour les points en entrée de force et sortie de déplacement, et des points L pour ceux que l'entrée est la position et sortie la force.

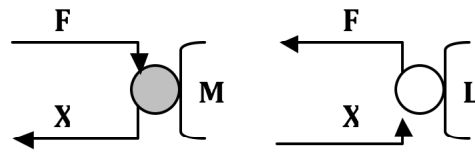


Figure 45 Les Points "M" et "L"

On peut construire tout modèle, avec certain nombre de composants et en connectant leurs points de communication. C'est ici qu'on introduit les règles du formalisme, pour garantir que les objets ont un sens physique. Dans ce contexte, les éléments MAT (pour Matériel) sont ceux qui possèdent un point de communication M, et les éléments LIA (pour Liaison) ceux qui possèdent deux points L.

ANNEXE II : Les paramètres des modèles utilisés dans le « Geste réel sur matière simulée »

Pour la scène « Pebble Box »

Plus précisément pour le modèle aux contacts durs, les paramètres employés sont les suivants :

Modèle 30

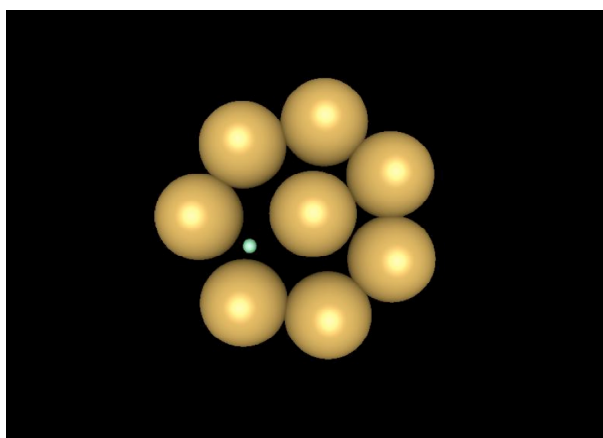


Figure 46 Pebble Box : Modèle 30 et Visualisation Boules

8 masses	Seuil STA : Petit (15), Seuil SAA : Gros (25)
Elasticité de collisions KTA: Fort : KTA = 1	Viscosité ZTA: Moyenne: ZTA = 0,01
Elasticité de collisions KAA : Fort : KTA = 1	Viscosité ZAA : Moyenne: ZAA = -10

où T : la masse du TGR et A : la masse de l'agglomérat

Pour le modèle aux contacts mous les paramètres se modifient ainsi :

Modèle 22

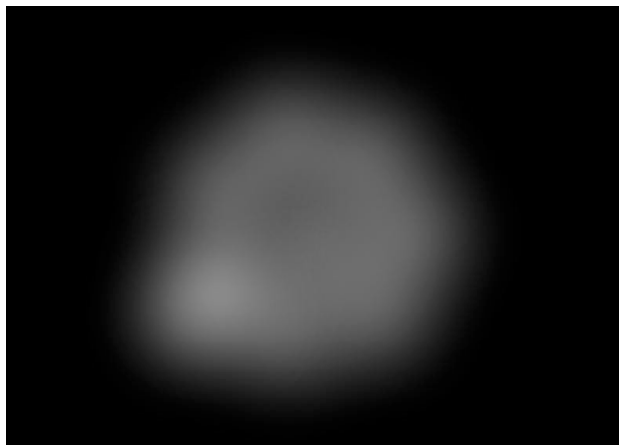


Figure 47 Pebble Box : Modèle 22 et Visualisation Floue

8 masses	Seuil STA : Moyen (19) Seuil SAA : Moyen (19)
Elasticité de collisions KTA: Faible : KTA = 0,015 Elasticité de collisions KAA : Faible : KTA = 0,015	Viscosité ZTA: Moyenne: ZTA = 0,01 Viscosité ZAA : Moyenne: ZAA = -10

où T : la masse du TGR et A : la masse de l'agglomérat

Pour la scène « Friction »

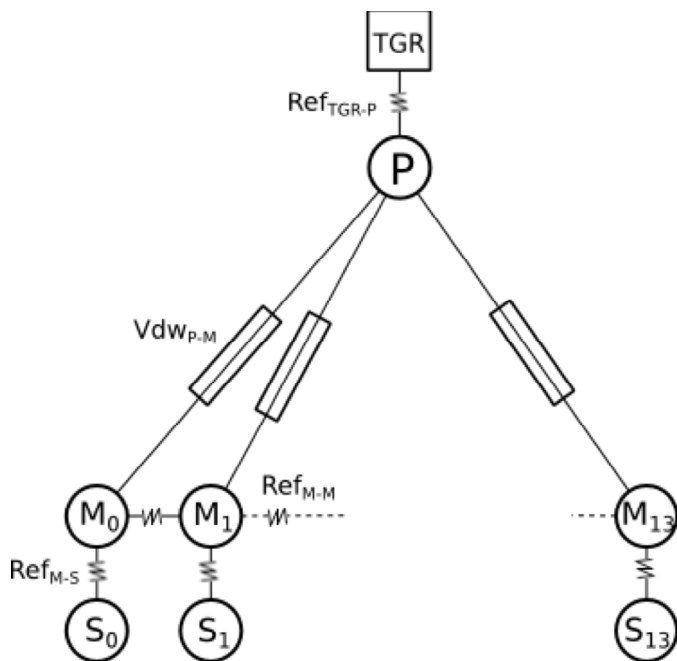


Figure 48 Structure du modèle en 2D de Friction où on voit les masses et les interactions entre elles. Il y a 14 masses M alignées et liées entre elles. Ces masses sont chacune liée par une relation viscoélastique à un sol (S) et aussi connectée avec une pointe (P) avec une relation de type Van der Waals. P : Masse Pointe, M : Masse du tapis, S : Masse inerte (sol), TGR : le point de la manette TGR, Ref : Relation viscoélastique, Vdw : Relation de type Van der Waals

Tableau 2 Les paramètres du modèle Friction.

<p>14 masses du tapis (M_n), 1 masse pour la pointe (M_p).</p>	<p>$M_n = 100, Z_{Mn} = 0.5$ où Z_{Mn} : viscosité du milieu</p>		<p>$M_p = 100$</p>
<p>Equation générale pour l'interaction viscoélastique REF =</p> $K(d_n - L) + Z(d_n - d_{n-1})$ <p>où K : élasticité, Z : viscosité, L : distance au repos</p>	<p>Pour la REF_{TGR-P}</p> <p>K = 0.08 Z = 0.1 L = 10</p>	<p>Pour la REF_{M-M}</p> <p>K = 0.16 Z = 0.1 L = 5</p>	<p>Pour la REF_{M-S}</p> <p>K = 0.16 Z = 0.1 L = 80</p>
<p>Equation générale pour l'interaction de type Van der Waals</p> <p>VDW =</p> $A/d_n^3 - B/d_n^2 + Z(d_n - d_{n-1})$	<p>Pour la VDW_{P-M}</p> <p>A = 150 B = 60 Z = 10⁻¹⁰</p>		

ANNEXE III : La présentation des artistes de JIM'09

« Métapiano » de Jean Haury

Jean Haury est pianiste, chercheur et musicologue et auteur d'une thèse sur "Le clavier et le mouvement de ses touches" (1993 – Université de Paris VIII).

« Trace27 » de Hugues Genevois

Hugues Genevois est Ingénieur de recherche au Ministère de la culture et de la communication. Il est responsable de l'équipe Lutherie Acoustique et Musique (LAM) de l'Institut Jean Le Rond d'Alembert à l'Université de Paris VI. Il concentre ses activités de recherche entre autres sur le contrôle gestuel de la synthèse et la projection sonore.

Le prototype présenté ici est un dispositif de laboratoire. Cette démarche s'inscrit dans un courant de recherches qui a vu naître, ici et là, différentes réalisations (La Timée – IRCAM, Spherical Speaker - CNMAT, Delorean – PRINCETON, etc.).

« Dégénérescence », « Mario », « Barcode » de Bertrand Merlier et Simon Dufour

Bertrand Merlier est Maître de conférences en informatique musicale et compositeur. Il est co-directeur, avec Jean-Marc Serre, du master professionnel MAAAV. Il est également co-fondateur de Groupe d'Etudes sur l'Espace en Musiques Electroacoustiques (GETEM).

Simon Dufour est compositeur et pianiste. Il est aussi un maître en langue des signes.

« Somnambule » de Noé Guirand et Kevin Sillam

Noé Guirand, jeune ingénieur diplômé de Grenoble INP, pianiste et ancien "Art-Etudes", tout en débutant sa carrière d'ingénieur, prépare actuellement son Diplôme d'études musicale (DEM) au Conservatoire de Grenoble, où suit la classe de composition du compositeur Arnaud Petit.

Kevin Sillam est doctorant en Art, Sciences, Technologies au laboratoire ICA (Informatique et création artistique) de Grenoble INP. Son sujet de thèse porte sur la visualisation dynamique d'images animées par la technique de "l'écran d'épingles numérique" du laboratoire ICA sous la direction d'Annie Luciani.

ANNEXE IV :

Collaboration Son-Image avec les logiciels Genesis et Mimesis

Son et image sont deux très puissants éléments d'expression et depuis les débuts de la création artistique ont été associés. Cette association a été essentiellement temporelle (voir cinéma) et ses capacités expressives ne font aucun doute. Dans le domaine du numérique après des décennies de développement séparé, les technologies sonores et graphiques informatiques sont de plus en plus utilisées en conjonction, en particulier dans l'industrie (ex. industrie automobile et aéronautique) et dans les arts, pour la conception de scènes virtuelles interactives.

La conception d'environnements de modélisation et de rendu des scènes audio - visuelles est un problème difficile, étudié actuellement par de nombreux chercheurs dans différents domaines. On peut distinguer quatre modalités d'interaction entre les deux composants: un modèle graphique qui actionne (donne *input*) un modèle audio ; l'inverse ; un modèle graphique qui actionne et reçoit de l'information du modèle audio ; et enfin un seul et même modèle audio-visuel.

Bien que la dernière approche - d'intégrer le son et l'image dans une scène virtuelle et d'avoir un seul processus qui génère les deux canaux - semble évidente d'un point de vue théorique, elle est difficile à mettre en pratique puisque les technologies pour la production sonore et graphique ne sont généralement pas basées sur des concepts et des représentations directement compatibles. La modélisation physique a été proposée comme une solution à cette question et des simulations multisensorielles en temps réel s'adressant à la perception visuelle, sonore et haptique, ont été réalisées depuis les années '80.

Nous avons vu les raisons d'étudier la question de la cohérence dans les chapitres III, IV et V. Dans le but d'examiner l'élément la cohérence, constituant d'une pièce numérique, nous avons demandé une collaboration avec Olivier Tache, docteur en Informatique Musicale, afin de construire ensemble des objets audiovisuels cohérents. La logique des logiciels GENESIS et MIMESIS se base sur le même principe de physique newtonienne d'action-réaction. Les deux plate-formes permettent la simulation des phénomènes acoustique et de mouvements grâce à la modélisation physique exprimée dans le formalisme CORDIS-ANIMA (voir ANNEXE I) qu'elles utilisent. Le rôle principal de la conception du système CORDIS-ANIMA a été justement pour la simulation des scènes multisensorielles (audio-visio-haptiques).

D'autres efforts de collaboration de simulation visuelle et sonore ont existé dans le passé, notamment « Esquisses » {Cadoz et al. 1994} qui est constitué d'esquisses de différentes natures (sonores, visuelles, audiovisuelles) faites avec des modèles physiques démontrant les capacités du formalisme CORDIS-ANIMA.

« Esquisses »¹¹ explore aussi les différents couplages entre modèles visuels et modèles sonores. La figure ci-dessus est parue dans la scène Horloge. Il s'agissait d'une pièce qui a exploité les possibilités de la modélisation physique mais qui n'a pas eu de suite directe, car elle a été produite avec des outils *ad hoc*.

Il n'existe aujourd'hui aucun environnement pour modéliser des scènes audio-visuelles basées sur des modèles de masse-interaction. Cependant, des environnements sophistiqués existent pour chaque modalité : GENESIS pour la partie audio et MIMESIS pour la partie graphique. Chacun fournit un ensemble complet d'outils adaptés dans le but de faciliter le processus de création dans les domaines sonore et graphique. Nous avons étudié la liaison entre ces milieux dans le but de produire des pièces audiovisuelles tout en utilisant l'avantage des fonctionnalités spécifiques développées de chaque côté.

Le projet présenté ici avait comme but la collaboration entre son et image, une pièce multisensorielle où musique et animation sont intrinsèquement liées. Cette liaison n'est pas juste due à l'utilisation des modèles physiques pour la production de stimuli sensoriels, mais elle est surtout basée sur la manière de travailler les modèles en commun, sur la communication continue pendant le développement afin de créer une consistance dès la génération des phénomènes.

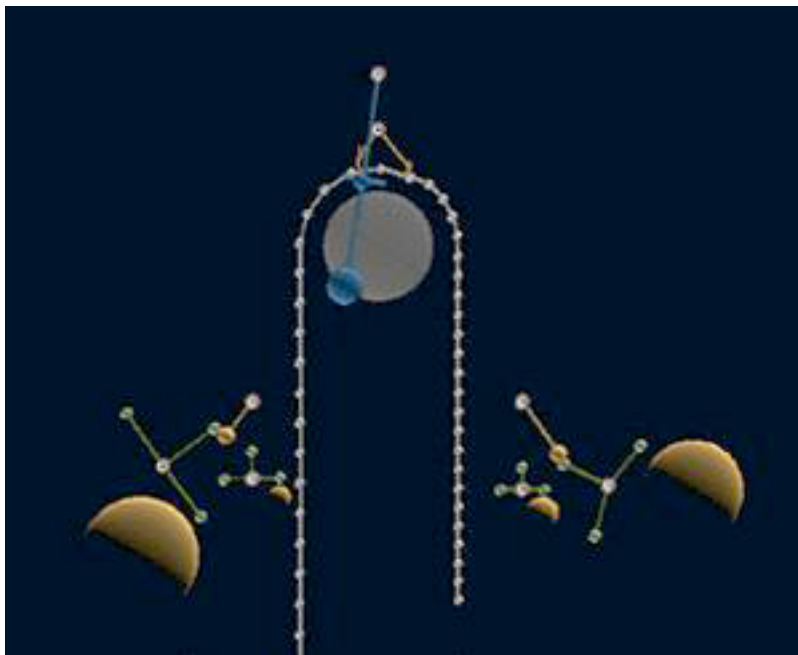


Figure 49 Horloge, une de trois tableaux de la pièce Esquisses. Le modèle physique génère du son et il a en même temps une dimension graphique.

La construction de la pièce est basée sur des modules sonores et graphiques. Ces modules, bien qu'ils soient conçus de façon indépendante, Oliver Tache pour les modèles sonores et Maria Christou pour les modèles graphiques, se développent autour d'une ambiance

¹¹ CADOZ (C), LUCIANI (A), FLORENS (JL), "Physical Models for Music and Animated Image. The use of CORDIS-ANIMA in ESQUISSES a Music Film by ACROE" - ICMC 94 12-17 Sept Aarhus, Denmark. ICMC 94 Proceedings - 1994 pp. 11-18

commune qui indique les propriétés du comportement du phénomène étudié. Il s'agit d'avoir au minimum, une structure jouant le rôle de générateur d'événement et une qui sert de structure acoustique. Cette expression, qu'on pourrait transposer à l'image en parlant d'un excitateur et d'une structure résonnante, est le fil conducteur de cette expérimentation.

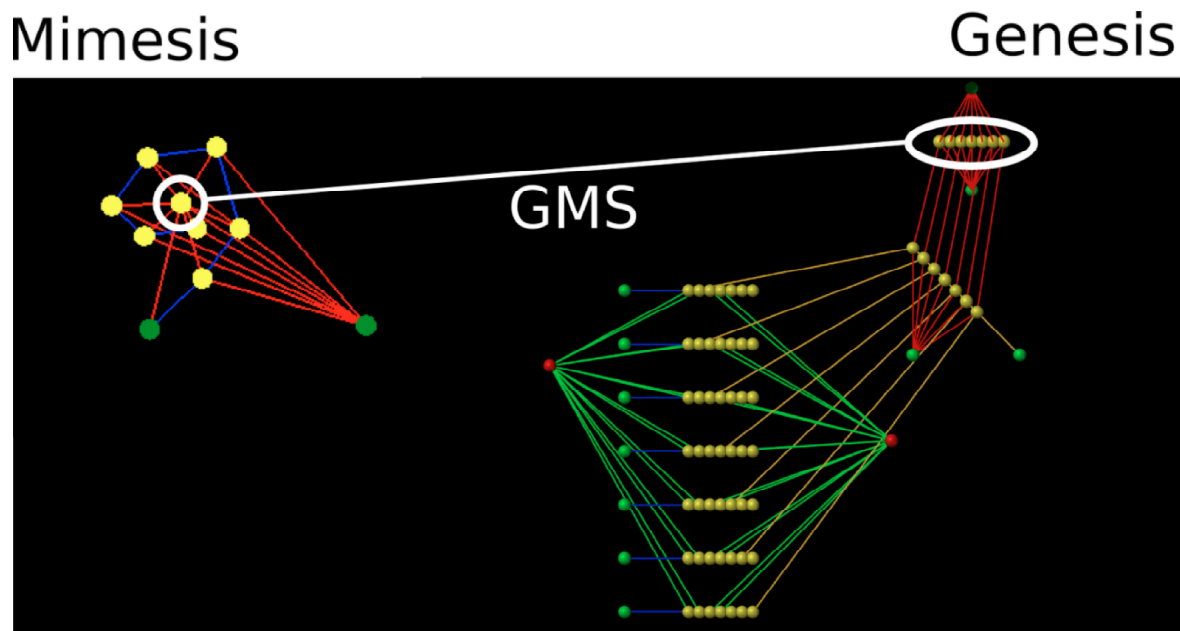


Figure 50 Vue de la structure du modèle d'animation en Mimesis (à gauche), connecté via le GMS avec la structure d'excitation du modèle sonore en Genesis (à droite).

Les deux plates-formes bien que basées sur le formalisme CORDIS-ANIMA, ont d'importantes différences qui empêchent d'envisager une collaboration directe au niveau du logiciel (en tout cas à ce stage de leur développement). Nous avons alors utilisé le format GMS (Gesture and Motion Signal), développé au sein du laboratoire, pour lier par le signal du mouvement les deux modèles. Le GMS permet de garder dans le même fichier des informations de mouvement, comme les dimensions, la structure du modèle, les variables de position et de force. De cette manière nous pouvons « faire communiquer » des modèles créés dans des univers différents. Dans la figure ci-dessus nous pouvons voir de façon graphique le lien d'une structure graphique et d'une structure sonore. Les informations du mouvement de la masse qui joue le rôle de l'excitateur dans la partie MIMESIS (à gauche) servent d'entrée pour mettre en mouvement la structure acoustique dans la partie GENESIS (à droite). De façon générale la conception des modèles de ce projet était faite dans la logique du geste comme générateur d'événements (ex. déclencheur) et des structures qui répondent à cette excitation (ex. structure acoustique).

Cependant il y a d'autres questions auxquelles il a fallu répondre afin de donner du sens à cette communication, car dans GENESIS l'espace est en 1D et dans MIMESIS en 3D. Le premier utilise une fréquence de simulation de 44,1 kHz, le deuxième de 1050 Hz.

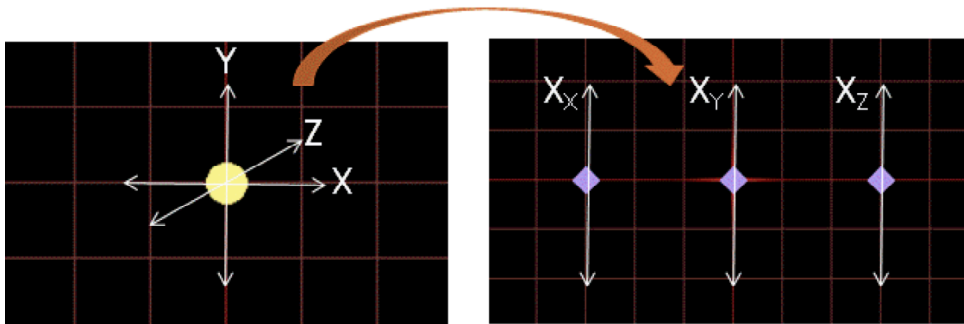


Figure 51 Les coordonnées XYZ d'une masse en MIMESIS doivent être transposées en trois positions X dans GENESIS car le premier univers est tridimensionnel et le deuxième unidimensionnel.

Nous avons résolu ces questions en choisissant de faire du sur-échantillonnage pour faire correspondre les fréquences de simulation et en transposant les positions tridimensionnelles en trois positions unidimensionnelles (figure 51 ci-dessus).

La suite du processus de la création a consisté à faire la co-conception dans le mouvement de deux modèles. Une série de trois mouvements a été créé, testée et présentée dans trois conférences. Même si l'écriture ne permet pas de représenter l'animation ni le son, nous allons présenter ci-dessous les structures des modèles et le lien entre l'univers sonore et l'univers graphique.

A la suite de cette expérimentation nous sommes arrivés à certaines conclusions qui nous amènent à de nouvelles pistes à expérimenter. Néanmoins, le fait d'avoir eu des retours très positifs lors des présentations par rapport à la cohérence entre le son et l'image, nous permet de soutenir que la cohérence inhérente à de ces expérimentations de production audiovisuelle par modèle physique est appréciée aussi lors de la perception et pas seulement pendant la production.

Par rapport aux translations dans certains cas, utiliser seulement une ou deux des dimensions de position donne des résultats aussi riches que faire toutes les translations (c.-à-d. qu'il y a des situations de mouvements où le X, Y ou Z peuvent être utilisés seuls). La translation des dimensions peut aussi être mélangée (c.-à-d. lier le mouvement en Y, en mouvement en Xz) et donner des résultats « aléatoires ». Il y a besoin de bien tester les transformations de 3D en 1D pour choisir prendre en compte les distances, les vitesses et/ou les accélérations.

Les interactions de type frottement comme le frottement d'archet se sont avérées très adéquates pour « traduire » le mouvement dynamique de l'image en son.

Se déplier

Du côté du modèle sonore une structure acoustique contenant des cordes rend le modèle susceptible de réagir aux mouvements d'un modèle (visuel) générateur d'excitation de type frottement d'archet. La structure du modèle visuel est une double spirale qui se déplie. Cela donne l'impression d'une fougère qui se développe.

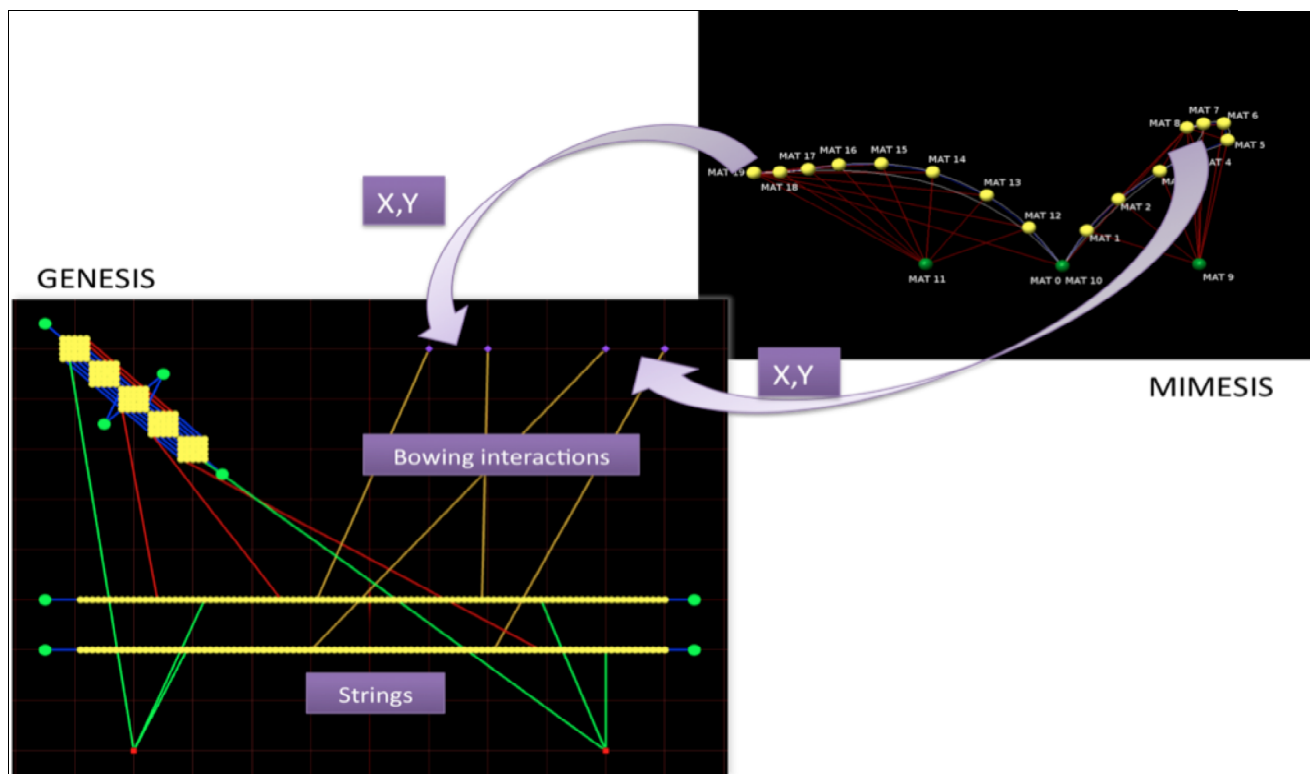


Figure 52 Les liens entre le modèle visuel et le modèle sonore.

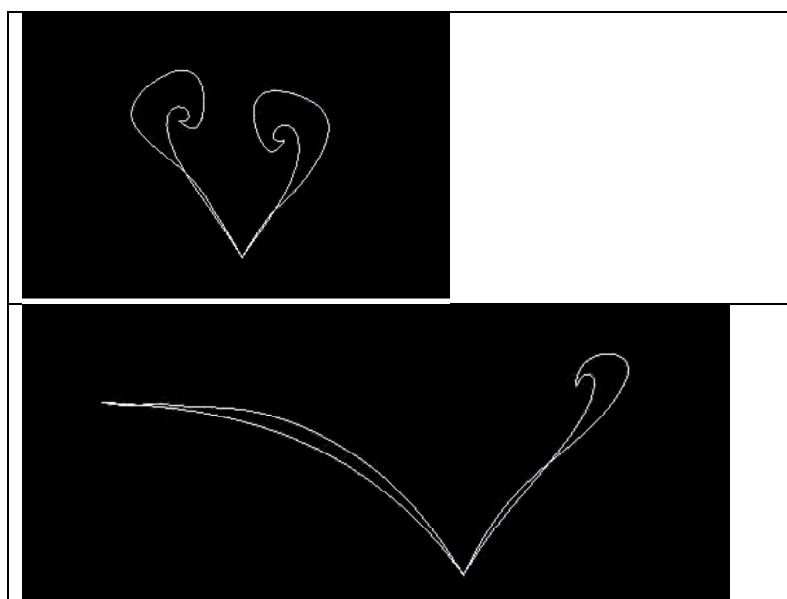


Figure 53 Les différentes phases de l'ouverture de la fougère.

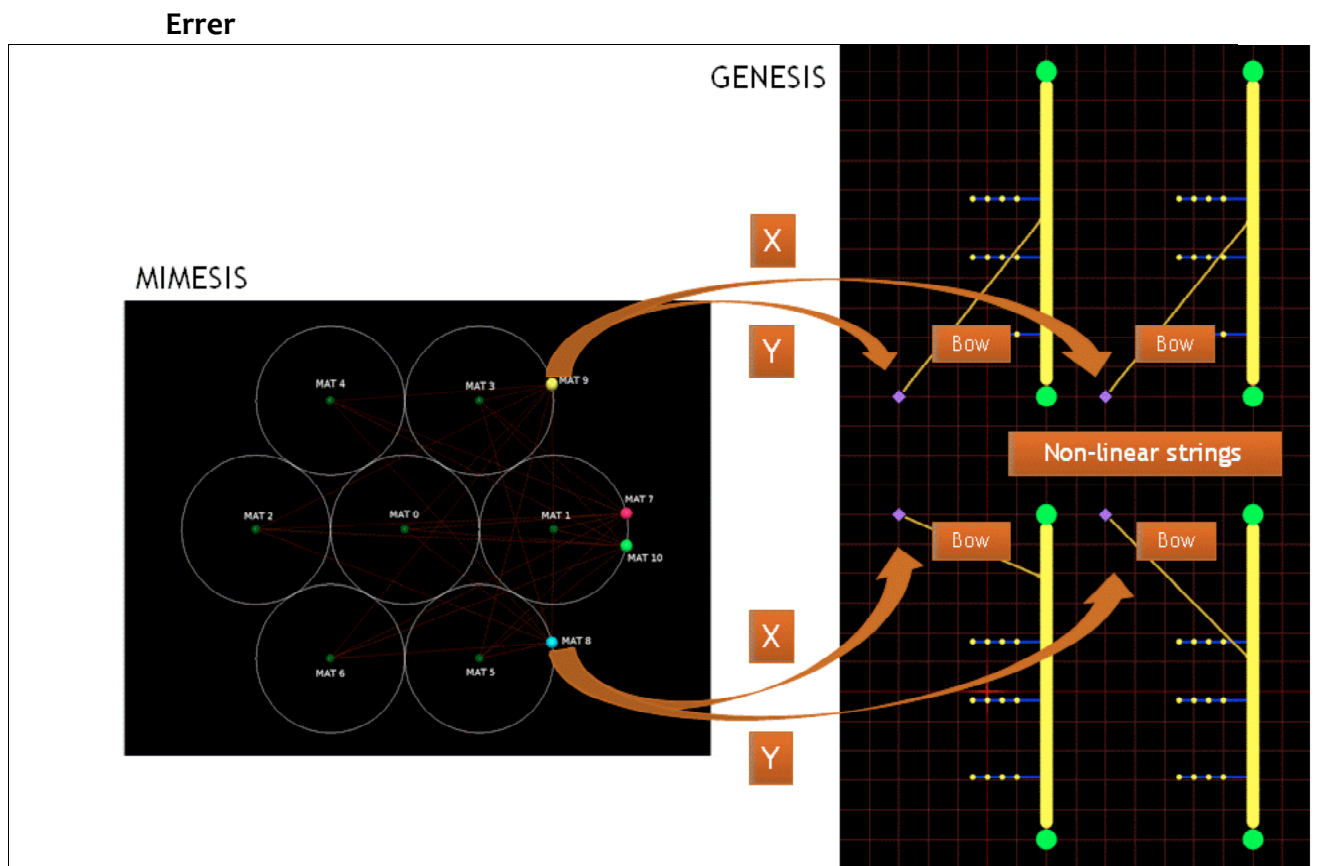


Figure 54 Les liens entre le modèle visuel et le modèle sonore.

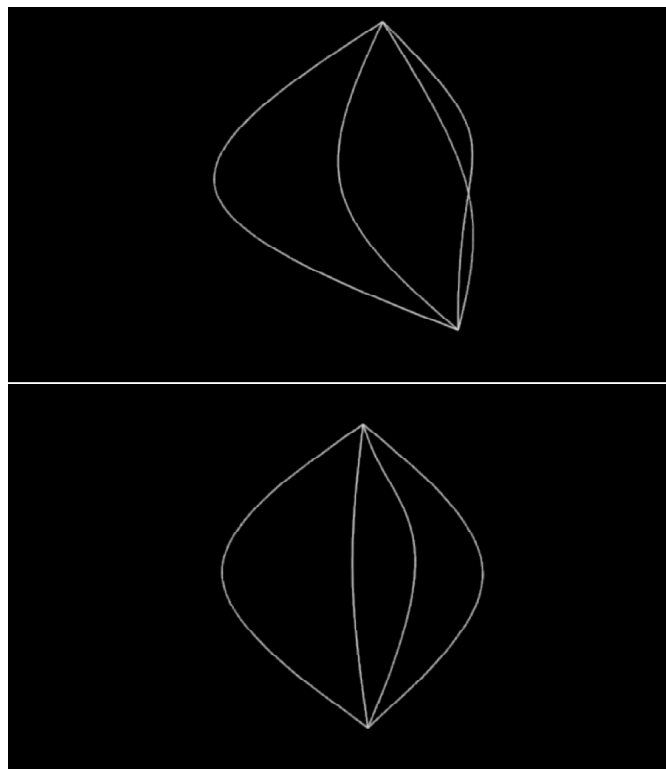


Figure 55 L'habillage du modèle ne permet pas d'imaginer la structure qui se cache derrière. Ici l'ensemble de billes qui se déplacent, constituent un objet unique qui « erre » dans l'univers.

Virevolter

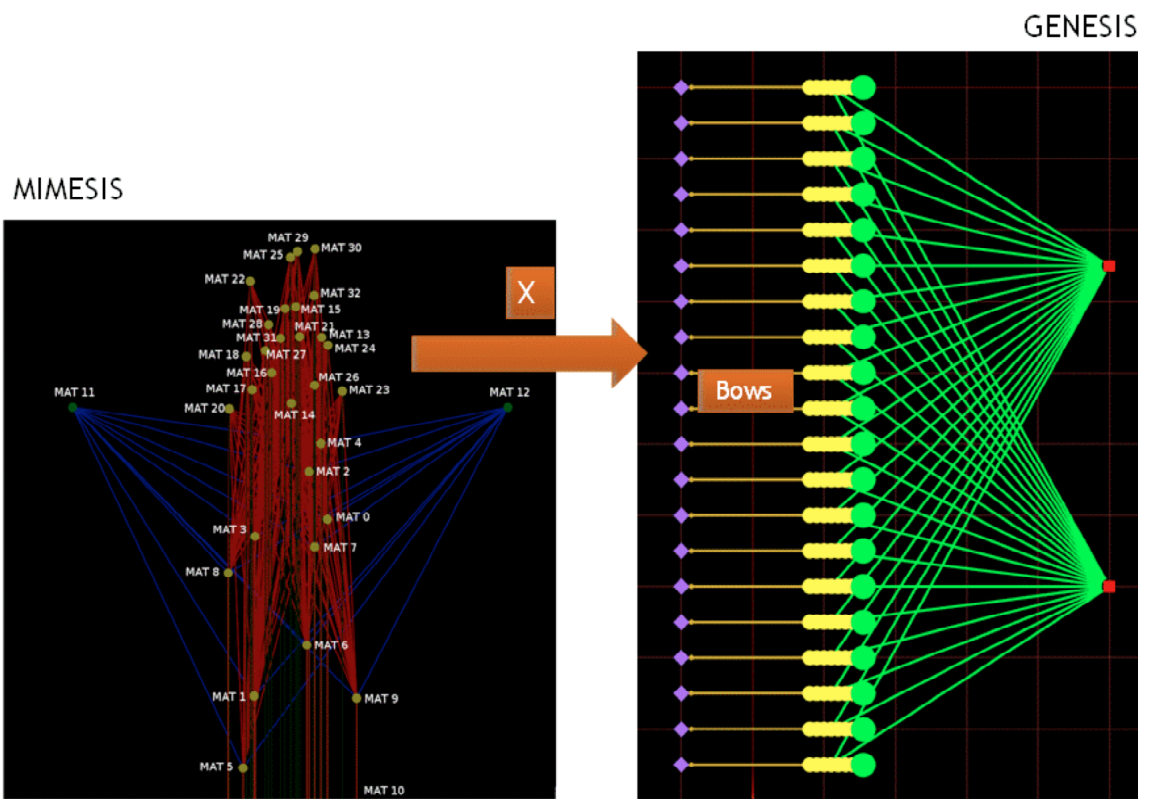


Figure 56 Les liens entre le modèle visuel et le modèle sonore.

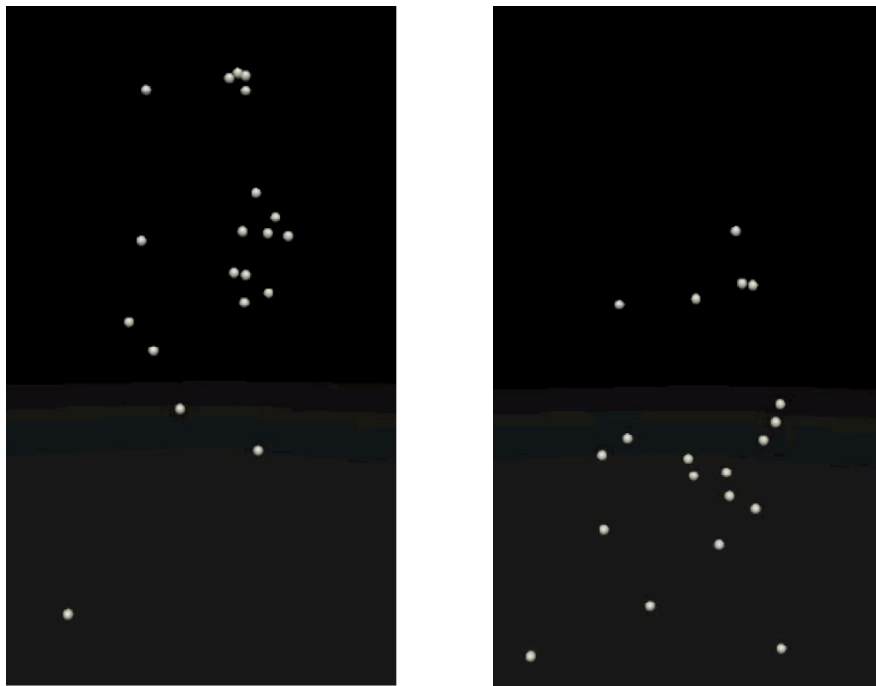


Figure 57 Les flocons qui virevoltent.