

PHASE

*Plate forme Haptique d'Application
Sonore pour l'Eveil musical*

Bilan de fin de projet

02/02/2005

Rédacteurs

Pascal MOBUCHON (ONDIM)
Florian GOSSELIN (CEA)
Claude ANDRIOT (CEA)
Jean-Philippe LAMBERT (IRCAM)
Fabrice GUEDY (IRCAM)
Jérôme PERRET (HAPTION)

Approbation

Consortium PHASE



SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	5
1.1 OBJET.....	5
1.2 DOCUMENTS DE REFERENCE	5
1.2.1 Introduction	5
1.2.2 Documents généraux	5
1.2.3 Cahiers des charges	5
1.2.4 Recherche des métaphores	6
1.2.5 Propositions de métaphores	6
1.2.6 Maquettes de métaphores	6
1.2.7 Scénario du jeu	7
1.2.8 Documentation technique	7
1.2.9 Evaluation	7
1.2.10 Bilan	7
2. PRESENTATION GENERALE	8
2.1 OBJECTIFS DU PROJET	8
2.2 ORGANISATION DU PROJET.....	9
3. COORDINATION	11
3.1 COMITE DE PILOTAGE	11
3.2 ACCORD DE COOPERATION	11
3.3 MOYENS DE COMMUNICATION.....	11
4. ETUDE PRELIMINAIRE	12
4.1 CAHIER DES CHARGES.....	12
4.1.1 Cahier des charges du système	12
4.1.2 Cahier des charges pédagogique	13
4.1.3 Cahier des charges de l'organe haptique	14
4.2 SPECIFICATIONS.....	16
4.2.1 Introduction	16
4.2.2 Métaphores d'interaction	16
4.2.3 Approche musicale	23
4.2.4 Démonstrateur	24
5. DEVELOPPEMENTS	25
5.1 ARCHITECTURE	25
5.1.1 Présentation générale	25
5.1.2 Architecture matérielle	26
5.1.3 Architecture logicielle	28



5.2 ORGANISATION DES DEVELOPPEMENTS	33
5.2.1 Introduction	33
5.2.2 Mise en place des technologies sous-jacentes	33
5.2.3 Développement et évaluation des métaphores	34
5.2.4 Développement du démonstrateur final	34
5.3 DEVELOPPEMENTS LOGICIELS	35
5.3.1 Introduction	35
5.3.2 Librairie haptique	35
5.3.3 Physik SDK	36
5.4 DEVELOPPEMENTS MATERIELS	39
5.4.1 Etude	39
5.4.2 Développements	41
5.4.3 Validation	43
5.5 INTEGRATION FINALE	44
5.6 DELIVRABLES	45
6. EVALUATION	46
7. COMMUNICATION EXTERNE	48
7.1 INTRODUCTION.....	48
7.2 BILAN DES ACTIONS EFFECTUEES.....	48
7.2.1 Participation à des manifestations	48
7.2.2 Supports de communication	51
7.3 ACTIONS PREVUES	52
8. GESTION DES RISQUES	53
8.1 INTRODUCTION.....	53
8.2 ORGANISATION	53
8.3 DEVELOPPEMENTS TECHNOLOGIQUES	54
9. CONCLUSION	55
10. REMERCIEMENTS	56

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Organisation globale du projet	9
Figure 2 : Architecture fonctionnelle	12
Figure 3 : Métaphore « Toucher de surface »	17
Figure 4 : Métaphore « Guide haptique »	18
Figure 5 : Métaphore « Zones »	19
Figure 6 : Métaphore « Textures »	20
Figure 7 : Métaphore « Objets physiques »	21
Figure 8 : Métaphore « Tonalité »	22
Figure 9 : Architecture globale	25
Figure 10 : Restitution visuelle	27
Figure 11 : Restitution sonore	27
Figure 12 : Métaphores visuelles	30
Figure 13 : Exemple de texture haptique	37
Figure 14 : Interface haptique haute fidélité étudiée par le CEA-LIST	39
Figure 15 : Le VIRTUOSE 3D 15-25 d'HAPTION	40
Figure 16 : Vue CAO du VIRTUOSE 3D 15-25 modifié	41
Figure 17 : Evolution du bras haptique	42
Figure 18 : Nouvelle poignée	42
Figure 19 : Implantation du vibreur	43
Figure 20 : Plan de l'installation	44
Figure 21 : Console supportant le bras haptique	44
Figure 22 : Système présenté à « Résonances 2003 »	48
Figure 23 : Système présenté à « Laval Virtual 2004 »	49
Figure 24 : Installation présentée lors de l'exposition « Ecoute »	50
Figure 25 : Plaquette	51

1. INTRODUCTION

1.1 OBJET

L'objet de ce document est de faire le bilan au terme des deux années du projet PHASE (du 21/10/2002 au 31/12/2004).

En préambule, les principaux objectifs du projet sont rappelés, ensuite l'organisation globale est présentée. Les différentes tâches sont ensuite décrites et illustrées par une synthèse de leurs livrables respectifs. Puis, un bilan des risques et des problèmes rencontrés est établi.

Finalement, ce document se termine par une synthèse des évaluations réalisées sur le système.

1.2 DOCUMENTS DE REFERENCE

1.2.1 Introduction

Ce chapitre présente l'ensemble des documents qui ont été rédigés au cours du projet à l'exception de l'ensemble des documents de suivi (comptes-rendus d'avancement, planning, etc.).

Compte tenu du caractère exploratoire de ce projet, certains de ces documents témoignent, avant tout, des différentes voies de recherche explorées et peuvent présenter quelques redondances.

1.2.2 Documents généraux

- [01] PHASE – Dossier RIAM Fiche C
03/10/2001
- [02] PHASE – Accord de coopération
26/08/2003
- [03] PHASE – Etat de l'art
Pascal MOBUCHON - Version 1.0 - 25/12/2003

1.2.3 Cahiers des charges

- [04] Cahier des charges pédagogique
Fabrice GUEDY - 21/03/2003
- [05] Besoins
Jean-Philippe LAMBERT - 03/03/2003
- [06] Cahier des charges
Jean-Philippe LAMBERT - 11/03/2003
- [07] Cahier des charges de l'organe de commande
Florian GOSSELIN - 03/11/2003

1.2.4 Recherche des métaphores

- [08] Couplage son / image
Pascal MOBUCHON - 30/08/2003
- [09] Contretypes multimodaux
Roland CAHEN - 24/04/2003
- [10] Proposition sur les liens image / son
Yanne GISSINGER - 04/02/2003
- [11] Métaphores d'exploration de la tonalité et d'« hyperpartitions »
Fabrice GUEDY - 01/02/2004

1.2.5 Propositions de métaphores

- [12] Proposition de métaphores 1 à 3
Fabrice GUEDY - 03/04/2003
- [13] Proposition de métaphores 1
Fabrice GUEDY - 09/04/2003
- [14] Proposition de métaphore 4
Yanne GISSINGER - 08/04/2003
- [15] Proposition de projet
Daniel HART - 22/05/2003
- [16] Eléments de la charte sonore
Roland CAHEN - 27/05/2003
- [17] Cahier des charges de la maquette No 1 "Sillon"
Thomas GAUDY - 24/09/2003
- [18] Remarques sur le cahier des charges de la maquette No 1 "Sillon"
Fabrice GUEDY - 03/11/2003
- [19] Quelques métaphores
Roland CAHEN - 02/10/2003

1.2.6 Maquettes de métaphores

- [20] Jeu sonore avec une surface haptique - Description des maquettes Max
Jean-Philippe LAMBERT - 27/06/2003
- [21] Evaluation des maquettes Max
Jean-Philippe LAMBERT - 01/09/2003

1.2.7 Scénario du jeu

- [22] Proposition de scénario
Cécile LE PRADO - Stéphane NATKIN - 15/01/2003
- [23] Proposition de scénario
Roland CAHEN - 14/02/2003
- [24] Proposition de scénario
Mauro LANZA - 14/02/2003
- [25] Proposition de scénario "Sound beings"
Roland CAHEN - Xavier RODET - Jean-Philippe LAMBERT - 05/03/2003
- [26] Proposition de scénario réduit "L'art de la courbe"
Roland CAHEN - 08/04/2003
- [27] Proposition de scénario réduit "L'art de la courbe"
Roland CAHEN - Jean-Philippe LAMBERT - Stéphane NATKIN - Daniel HART - Xavier RODET - 13/05/2003
- [28] PHASE – Game design du démonstrateur
Thomas GAUDY - 23/10/2003

1.2.8 Documentation technique

- [29] API VIRTUOSE V2.2
HAPTION - 23/10/2003
- [30] Adressage OSC
Jean-Philippe LAMBERT - Xavier BENECH - 07/2003
- [31] Interface Virtools/Vortex/VirtuoseAPI - Spécifications externes
Pascal MOBUCHON - Fred GUIGNOT - Arnaud ZIRNHELD - 27/06/2003
- [32] Interface Virtools/Vortex/VirtuoseAPI - Spécifications internes
Pascal MOBUCHON - Fred GUIGNOT - Arnaud ZIRNHELD - 27/06/2003
- [33] PHASE – Document d'architecture
Sylvain PENDINO – Pascal MOBUCHON - Version 1.00 - 07/01/2004

1.2.9 Evaluation

- [34] PHASE – Compte rendu de recherche pédagogique
Fabrice GUEDY - 01/2004

1.2.10 Bilan

- [35] Projet PHASE – Rapport final
Pascal MOBUCHON – 15/12/2004
- [36] RIAM PHASE – Contribution du CEA au bilan du projet PHASE
Florian GOSSELIN - Claude ANDRIOT – 16/12/2004
- [37] Projet PHASE – Jouer de la musique avec un bras
Jean-Philippe LAMBERT - 12/2004
- [38] Projet PHASE – Rapport final HAPTION
Jérôme PERRET – 15/12/2004



2. PRESENTATION GENERALE

2.1 OBJECTIFS DU PROJET

L'objet du projet PHASE était de développer un système d'aide à l'éveil musical basé sur une interface multi-sensorielle mettant en œuvre de la visualisation 3D et une interface haptique (retour d'effort, retour tactile et capture de geste).

Il s'agissait avant tout de concevoir un système permettant d'expérimenter et mettre au point de nouvelles formes d'interactions multi-sensorielles pour la manipulation du son et de la musique (exploration, compréhension, contrôle, etc.).

Le cœur du projet fut donc la recherche de métaphores mettant en relation le son, l'image, le geste et le toucher de manière à permettre à l'utilisateur de mieux comprendre la matière musicale : le timbre, l'harmonie, le rythme, etc.

Ces différentes métaphores servirent de base à la réalisation d'un jeu qui a été présenté dans le cadre d'expositions grand public (installation interactive).

D'autres exploitations de ces métaphores sont envisagées comme la composition et l'interprétation musicale, l'étude de nouveaux descripteurs sonores, etc. mais ne pourront pas être traitées dans le cadre de ce projet.

2.2 ORGANISATION DU PROJET

La figure suivante présente l'organisation globale du projet :

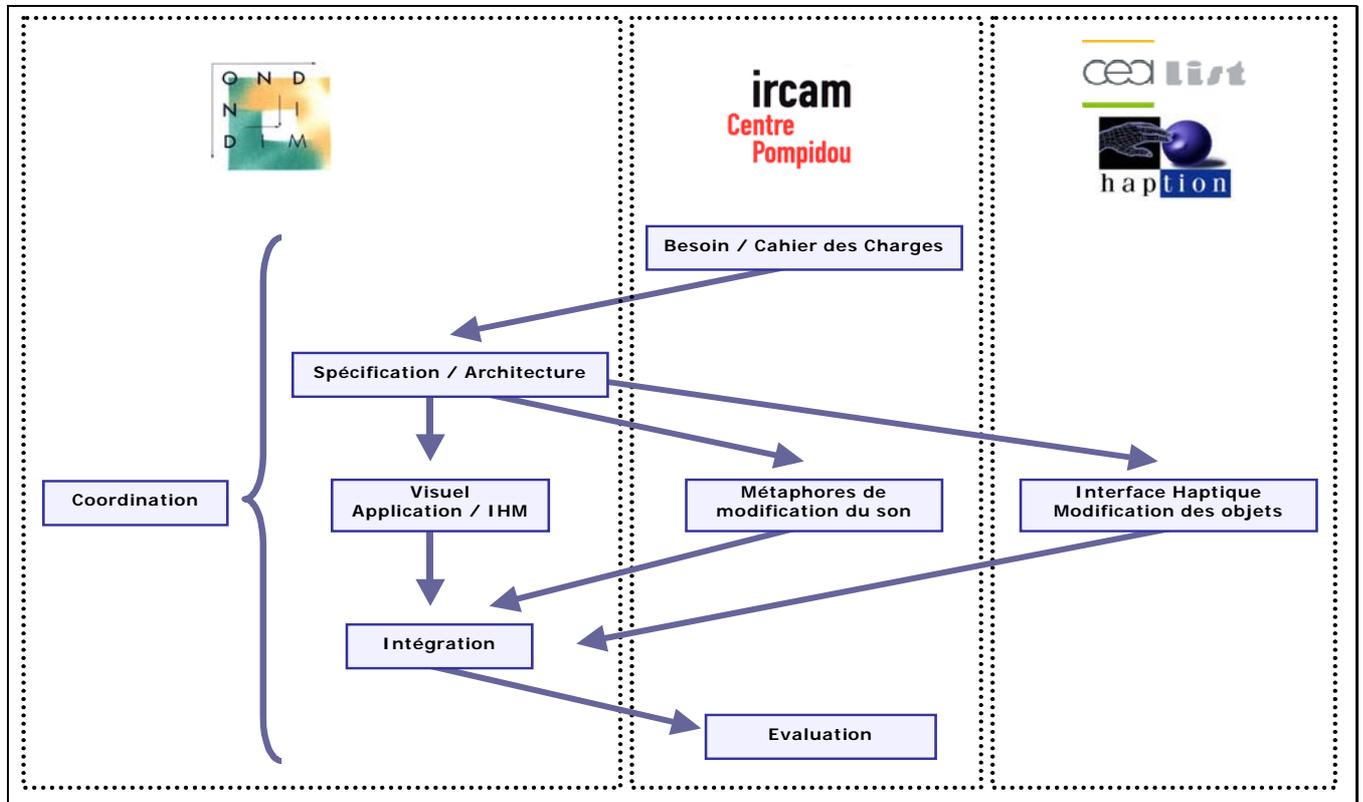


Figure 1 : Organisation globale du projet

Le projet a démarré par une phase de définition du besoin menée par l'IRCAM¹. La collaboration avec les autres partenaires a permis de préciser et valider ces besoins en tenant compte des possibilités et des limitations des technologies liées à l'haptique et à l'image. Cette étape a aussi permis de formaliser un vocabulaire commun à l'ensemble des partenaires qui présente une très grande diversité culturelle.

L'architecture du système a ensuite été définie sur les plans fonctionnels, logiciels et matériels en cherchant le meilleur compromis entre les besoins émis et ce qui était techniquement envisageable dans le cadre de ce projet, compte tenu du background des différents partenaires.

Sur ces bases, différentes métaphores ont été imaginées et discutées. Les différentes technologies nécessaires ont été identifiées, puis développées pour certaines ou intégrées pour d'autres.

Les métaphores ont alors été implémentées sous la forme de maquettes en vue de leur évaluation. Les résultats obtenus lors des évaluations ainsi que les difficultés techniques rencontrées ont impliqué certaines évolutions de ces métaphores en suivant une démarche itérative.

Parallèlement, le scénario du jeu (démonstrateur final) s'est construit en essayant de tirer au mieux parti de ces métaphores.

¹ Au cours du projet, l'IRCAM s'est appuyé sur des partenaires extérieurs : le CNAM-CEDRIC pour le « game design » et l'Atelier des Feuillantines sur la pédagogie.



Cette première phase a duré un peu plus d'un an.

La deuxième année a été consacrée au développement du système : Intégration des composants génériques, développement et intégration des composants spécifiques, production du contenu musical, visuel et haptique.

Parallèlement, l'installation finale au centre Georges Pompidou à été préparée ce qui présentait en soi un challenge compte tenu de la complexité du système et de son aspect exploratoire et innovant en regard des contraintes liées à un événement de ce type qui ne peut être ni déplacé, ni annulé.

Cette deuxième année s'est terminée par la mise à disposition du dispositif au grand public et son évaluation.

3. COORDINATION

3.1 COMITE DE PILOTAGE

Un comité de pilotage a été mis en place en début de projet. Il était chargé du suivi du planning et de toutes les prises de décisions relatives au bon déroulement global du projet. Il s'est réuni en moyenne une fois par mois tout au long du projet.

3.2 ACCORD DE COOPERATION

Un accord de coopération a été rédigé et signé par les différents partenaires. Il précise :

- Les droits et devoirs des partenaires
- Les principes de propriété intellectuelle (couverture, limites, etc.) sur ce qui est utilisé ou développé dans le cadre du projet que ce soit pendant son déroulement ou pour l'exploitation future de ses résultats.

3.3 MOYENS DE COMMUNICATION

Des moyens de communication interne ont été mis en place :

- Site Extranet
Ce site regroupe les différentes informations relatives au projet et notamment l'ensemble de la documentation produite, et les références bibliographiques.
Ce site est hébergé par ONDIM (inet.ondim.fr/projects/phase) et est protégé par un mot de passe.
- Listes de diffusions
Plusieurs listes de diffusions électroniques ont été mises en place. Elles couvrent des thèmes variés comme la coordination, l'architecture, la création, etc.

4. ETUDE PRELIMINAIRE

4.1 CAHIER DES CHARGES

4.1.1 Cahier des charges du système

Le système doit permettre de générer du son et de la musique en s'appuyant sur des interactions multi-sensorielles (haptique, visuel, sonore) basées sur des descripteurs perceptifs innovants issus de recherches IRCAM. Ces différentes modalités sensorielles sont mises en cohérence par le biais de métaphores.

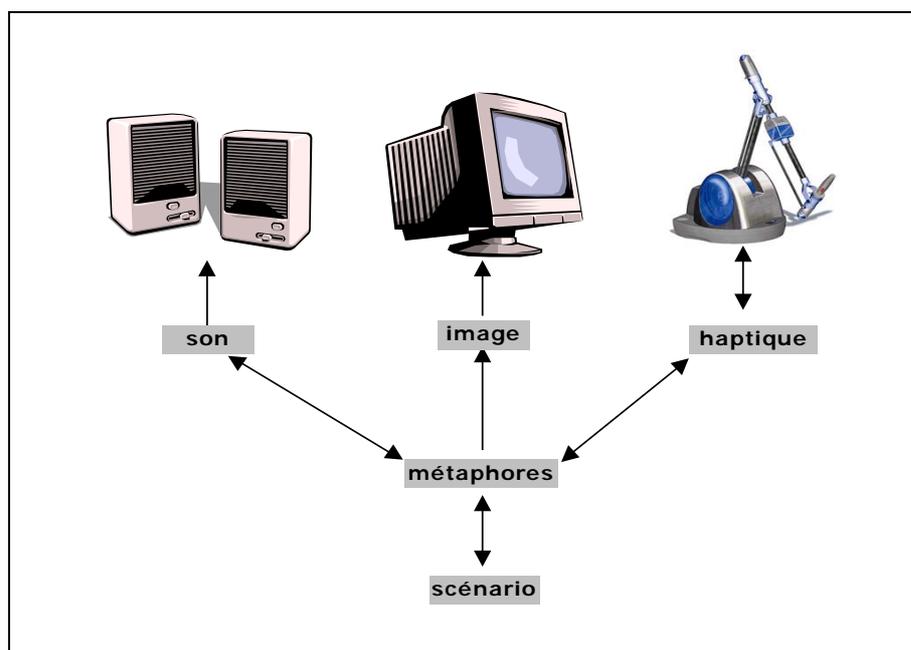


Figure 2 : Architecture fonctionnelle

Le projet étant exploratoire, le système doit permettre l'expérimentation :

- Explorer les processus cognitifs entrant dans la composition musicale à travers la perception du son, la précision du geste et le retour visuel
- Expérimenter de nouveaux modes d'interactivité dans des scénarios multi-modaux
- Proposer une nouvelle gestuelle musicale

Il doit aussi être fortement modulaire et évolutif afin de pouvoir prendre en compte rapidement les différents retours sur expérience.

Ces différents points sont abordés dans le document [05].

Une des premières exploitations envisagées du système devait être un démonstrateur basé sur un jeu destiné à être présenté dans une exposition grand public. Le système devait donc aussi faciliter la réalisation de ce jeu et dans ce sens devait idéalement proposer un outil auteur pour le développement rapide de ce type d'application.

Ces différents points sont abordés dans le document [06].

4.1.2 Cahier des charges pédagogique

L'objectif premier du système est l'aide à l'éveil musical. Certains modèles pédagogiques ont donc servi pour l'établissement du cahier des charges.

De ces modèles émergent certaines idées dont le système PHASE pouvait tirer profit comme par exemple :

- Les exercices dits « sensoriels » qui permettent de favoriser la prise de contact
- Les exercices de répétition et d'imitation
- Les mécanismes de reconnaissance
- Les actions dans le temps et/ou dans l'espace de variation d'un paramètre musical
- La corrélation entre le geste (mouvement, vitesse, force) et le son produit
- Etc.

Ces différents points sont abordés dans le document [04].

Les types de pédagogies concernées par le dispositif PHASE sont d'une part les pédagogies actives et d'autre part les pédagogies sensorielles. Ces deux axes de recherche se réunissent dans les travaux actuels sur la mémorisation musicale, sur le déchiffrage, sur l'exploration de formes musicales anciennes et nouvelles.

Les pédagogies musicales actives privilégient la récréation par l'élève de fragments d'œuvres dont la formalisation le permet, ou dont la technique de jeu est familière.

Les pédagogies musicales sensorielles exploitent la capacité de mémorisation de séquences gestuelles liées à la production d'un objet sonore (par exemple la mémoire de la main du pianiste lorsqu'elle décrit des arpèges), et la perception physique de phénomènes musicaux (pulsation rythmique « sentie » sur le retour de force d'un geste répétitif).

Dans certaines régions de l'Inde, les apprentissages de rythmes se font par des voies multiples : posture de la main et des bras symbolisant certaines figures rythmiques ou certaines notes, produites en même temps que la prononciation de certains mots qui ne veulent rien dire mais dont la scansion simule le rythme à mémoriser. Ces pédagogies où le geste est à la fois la méthode d'apprentissage et la mémoire de la structure apprise ont également guidé la conception des métaphores pédagogiques du projet PHASE.

L'outil PHASE permet d'envisager des extensions aux pédagogies actives et sensorielles en permettant l'amplification d'une sensation ou la visualisation d'un processus musical construit par un élève.

Les particularités du dispositif PHASE permettent en outre de créer des pédagogies nouvelles basées sur la relation qu'il est en mesure d'opérer entre une approche active et multisensorielle de façon simultanée.

4.1.3 Cahier des charges de l'organe haptique

Par retour haptique on entend la restitution du toucher. Le toucher est un sens localisé sur toute l'enveloppe du corps et qui permet de ressentir diverses informations comme les surfaces, la chaleur, la pression, les vibrations, l'électricité, etc.

Dans le cadre de PHASE nous nous limitons à deux aspects de ce sens :

- Le retour d'effort ou retour kinesthésique qui sollicite les muscles et les tendons et qui permet de ressentir les forces, le poids ou l'inertie d'un objet, la dureté, etc.
Il est en relation très proche avec le retour proprioceptif qui nous permet de ressentir l'état de notre propre corps, la position de nos membres, l'équilibre, etc.
- Le retour tactile qui sollicite les capteurs de la peau et qui permet de ressentir les états de surface (rugosité, etc.), les vibrations, etc.

Les caractéristiques de l'organe haptique devant être développé dans le cadre du projet ont été définies en prenant en compte les besoins spécifiques du contexte de PHASE et sur la base des essais qui ont été effectués sur le bras Virtuose 6D de la société HAPTION qui est plutôt destiné à des manipulations dans le domaine de la CAO.

Les musiciens ont souhaité disposer d'un périphérique à retour d'effort possédant un espace de travail important pour une manipulation avec l'avant-bras posé sur un bureau. Dans cette configuration, l'utilisateur peut déplacer librement sa main dans un cube d'environ 20 cm de côté.

Dans ce volume disponible, les musiciens ont ensuite privilégié une prise à bout de doigts plutôt qu'une prise à pleine main. La sensibilité de l'extrémité des doigts permet une dextérité maximum. Telle une baguette de chef d'orchestre, l'utilisateur maniera l'extrémité de l'interface haptique afin de jouer avec les volumes et les surfaces des métaphores. Une prise de type stylo est alors particulièrement adaptée. Elle permet de ressentir finement les efforts générés. De plus la rigidité de certains contacts peut être retranscrite sans pour autant nécessiter des efforts importants. L'interface haptique peut alors être limitée en effort à 15 N en crête et à 5 N en continu.

La faiblesse des efforts exercés en extrémité simplifie la conception mécanique du bras pour aboutir à un système robuste et améliorent les performances en diminuant l'inertie des moteurs.

Enfin, les musiciens ont sollicité la possibilité de disposer d'un vibreur placé sous l'un des doigts de l'utilisateur afin de lui faire ressentir des sensations tactiles (sensations dans une bande de fréquences supérieure à 30 Hz).

Ces besoins, associés aux contraintes d'intégration et d'utilisation dans un cadre grand public, conduisent aux critères suivants :

- L'organe de commande doit être solide dans la mesure où il sera utilisé par le grand public dans le cadre d'une exposition
- Il doit pouvoir être utilisé par un public large, du plus jeune au plus vieux, et par des droitiers et des gauchers
- Il doit pouvoir guider l'utilisateur, ce qui implique une interface de type fixe
- Il doit disposer d'au moins un bouton de sélection et un « homme mort »
- Il doit privilégier dextérité et sensibilité vis-à-vis de force et stabilité
- Il doit permettre le contrôle des mouvements dans l'espace : 6 degrés de liberté en entrée



- En termes de retour d'effort, 3 degrés de liberté sont nécessaires en translation. Un compromis doit être trouvé entre la transparence de l'organe et la possibilité d'obtenir un retour d'effort également sur les 3 degrés de libertés en rotation.
- Espace de travail limité de type A4
- Résolution en position de l'ordre de 0.1 mm et en orientation de 1°
- Effort en crête de 15 N en translation et de 0.5 N.m en rotation
- Raideur de 3000 N/m
- Bande passante pour le retour d'effort de 10 Hz et de 100 Hz pour le retour tactile
- Le maximum d'éléments mobiles doit être couvert, à l'aide de capotages, afin d'empêcher les utilisateurs de se coincer les doigts

Nous nous sommes donc orientés vers un organe à prise de type stylo, qui soit suffisamment courte pour éviter une prise de puissance et risquer d'engendrer des problèmes de solidité. La possibilité d'ajouter un vibreur au préhenseur a aussi été intégrée.

L'ensemble de ces points est détaillé dans le document [07] et synthétisé dans le tableau suivant :

Cahier des charges général		
Type d'interface	Interface haptique fixe	
Degrés de liberté	6 DDL en entrée (mesures de position) 3 ou 6 DDL en sortie (retours d'effort)	
Type de prise	Prise de précision	
Cahier des charges technique		
	Translations	Rotations
Espace de travail	Sphère de 200mm	≥ ±70°
Résolution en position	< 100µm	< 1°
Capacité en effort	15N crête / 5N continu	0.5N.m crête
Frottements secs	0.5N	
Raideur de contrôle	> 3000N/m	
Bande passante	> 10Hz	

Etant entendu qu'en fonction des contraintes de réalisation, il ne serait pas nécessairement possible de satisfaire l'ensemble de ces points et que si des compromis devaient être trouvés, la sensibilité de l'interface serait privilégiée afin d'aboutir à un retour haptique de qualité (sensibilité et dynamique du signal restitué en effort).

4.2 SPECIFICATIONS

4.2.1 Introduction

Nous avons vu que le système PHASE se repose du point de vue métier sur plusieurs niveaux conceptuels :

- Des métaphores d'interaction entre le son, l'image, le geste et le toucher
- Des approches musicales d'appuyant sur ces métaphores
- Un jeu exploitant au mieux ces métaphores et pouvant être présenté de manière autonome au grand public

4.2.2 Métaphores d'interaction

4.2.2.1 Introduction

Ces métaphores mettant en relation le son, l'image, le geste et le toucher sont les fruits de la recherche menée dans ce projet.

Elles doivent être centrées sur des relations entre les différentes modalités en les considérant comme des expérimentations de concepts d'interface. De ce fait, ces métaphores doivent pouvoir être systématisées (en final cela doit pouvoir être automatique) et ne pas être trop spécifiques d'un contenu (que ce soit visuel ou sonore). L'objectif du projet n'est en effet pas une installation artistique mais plutôt un système technologique au service de l'art.

De plus, ces métaphores devront pouvoir être exploitées dans différents contextes applicatifs (pédagogie, création, recherche). Elles pourront être le support de maquettage de nouveaux concepts d'interfaces qui pourront être déclinés après le projet dans des contextes spécifiques comme par exemple la création d'un nouveau type de console de DJ etc.

Les relations élémentaires entre les différentes modalités ont été étudiées dans les documents [08], [09] et [11]. Cette problématique est complexe et n'a pas de réponse universelle. Certaines relations peuvent néanmoins être mises en évidence mais sont en général arbitraires et très dépendantes d'un contexte. Elles doivent donc être utilisées avec précaution mais ont néanmoins servit de base à l'élaboration des métaphores.

Plusieurs métaphores ont été étudiées, spécifiées puis maquettées dans la phase de développement. Certaines de ces métaphores sont rapidement présentées dans les paragraphes suivants et sont détaillées dans les documents [12] à [19]. Ces différentes métaphores peuvent bien évidemment être combinées afin d'enrichir les possibilités d'interaction.

4.2.2.2 Toucher de surface

Cette métaphore est basée sur l'interaction avec une surface : chocs, appui, frottement, etc. Les propriétés mécaniques de la surface peuvent varier et influencer sur le rendu, en jouant sur l'élasticité, la dureté, la viscosité, la rugosité, etc. et provoquer des effets de type rebonds, ricochets, résistance, froissures, déchirures, etc.

Ces différents effets peuvent aussi être poussés à l'extrême jusqu'à engendrer des artefacts qui peuvent être mis à profit pour la génération musicale.

La surface peut aussi être mise en mouvement, soit de manière autonome (comme un tapis roulant), soit sous l'action de l'utilisateur (par effet d'entraînement).

Ces interactions de type choc, frottement, appui, perte de contact, etc. peuvent être associés à des déclenchements d'événements musicaux ou sonores modulés en intensité, en durée, en hauteur, en richesse spectrale, etc. selon la vitesse, la force ou la direction d'impact. Ce principe s'apparente à la sonification et lorsque les relations entre l'interaction et le son généré est bien choisi, l'interaction est très vite comprise par l'utilisateur car elle se rapproche de modalités couramment perçues dans la réalité (même si le résultat sonore proprement dit peut s'en écarter significativement). Cette interaction s'apparente aussi au jeu instrumental.

Les éléments musicaux peuvent aussi être projetés sur cette surface. Les éléments vont alors être écoutés en touchant la surface, à la manière d'un diamant sur un vinyle. Le point de contact sur la surface dépend du mouvement propre de la surface et du mouvement de l'utilisateur, qui peut également appuyer plus ou moins fort, jusqu'à ne plus appuyer (et même décoller) ou passer à travers.

En termes visuels, plusieurs « mapping » son / image peuvent être imaginés. Certains effets comme les ombres portées permettent de mieux faire ressentir à l'utilisateur l'espace 3D de l'interaction. D'autres effets visuels comme des ondes de chocs, des particules, un changement de couleur du curseur, etc. participent à la perception de présence de la métaphore.

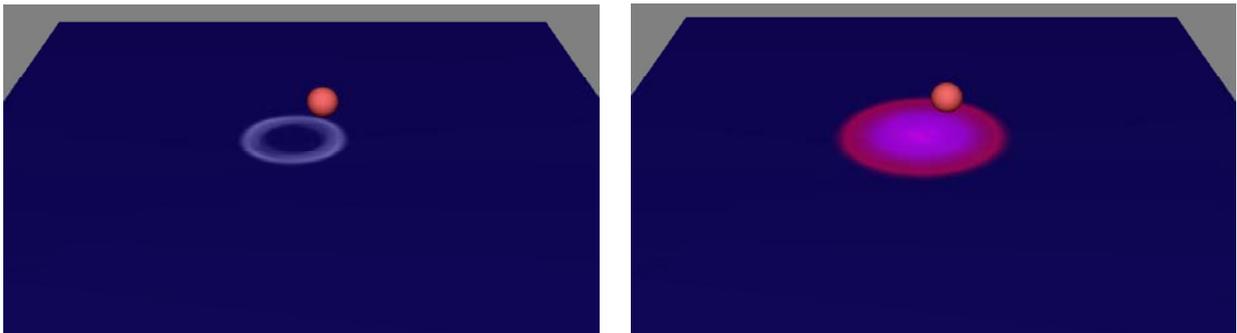


Figure 3 : Métaphore « Toucher de surface »

4.2.2.3 Guide haptique

Le retour haptique permet de guider le geste et a dans ce contexte un intérêt pédagogique évident.

Un premier type de guidage est littéral, il s'agit pour le professeur d'enregistrer un geste (trajectoire spatio-temporelle) puis pour l'élève d'essayer de reproduire ce geste. Dans ce contexte, le retour haptique permet soit d'aider (guider) l'élève à rester sur la trajectoire soit au contraire à le perturber pour exercer son aptitude à suivre un mouvement.

Par extension ce type de guide peut être appliqué non seulement aux positions mais aussi aux orientations. De la même façon au lieu de contraindre le mouvement sur une trajectoire (1D), on peut le contraindre sur une surface (2D).

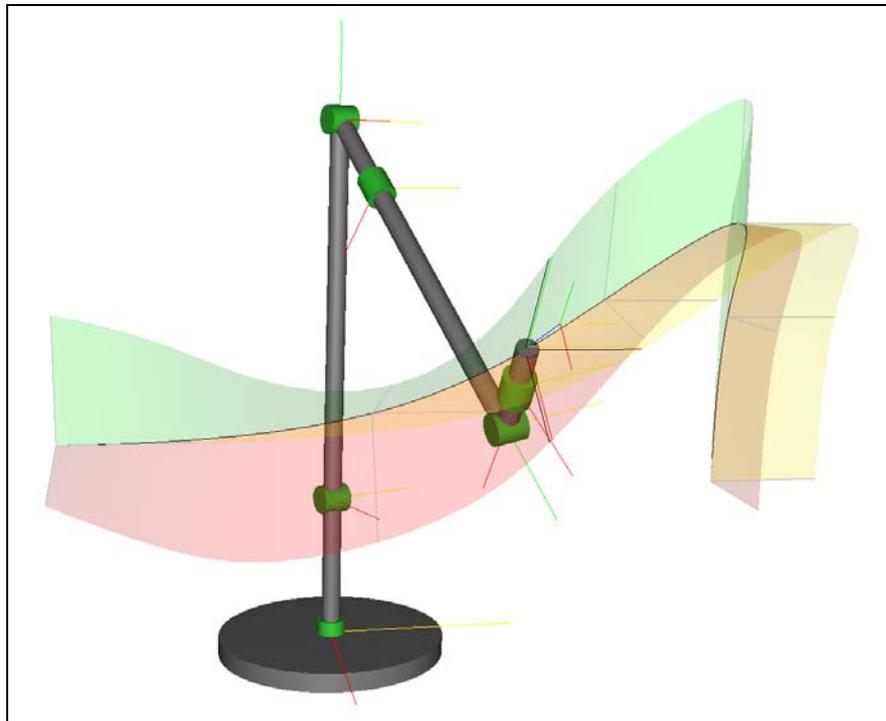


Figure 4 : Métaphore « Guide haptique »

Une autre forme de guide est représentée par la géométrie de l'environnement que l'utilisateur peut toucher. Il peut s'agir par exemple d'un sillon creusé sur une surface. Le déplacement en glissant sur la surface sera guidé au fond du sillon. La restitution sonore peut alors être fonction de la position dans le sillon qui sert de référence et par exemple se brouiller dès que l'on s'éloigne du sillon, etc. Il est possible de cette manière de proposer un contenu musical 2D (et même 3D) tout en proposant quelques chemins privilégiés grâce aux guides ainsi créés.

4.2.2.4 Zones

Ici il s'agit d'explorer le concept de navigation dans un paysage musical. Un contenu musical est donc associé à différentes zones de l'espace. Ces zones peuvent avoir des formes variables : massives, fines et répétitives, etc. Leurs limites peuvent être franches, diffuses, présenter des effets de transparence afin de superposer différents contenus musicaux.

L'utilisateur peut alors se servir de la métaphore comme un peintre de sa palette ou bien plutôt explorer une composition musicale interactive comme un terrain de jeu musical. Ces zones peuvent aussi représenter une cartographie de processus musicaux ou sonores, comme par exemple l'harmonie, permettant ainsi au joueur de se repérer et de les explorer de manière intuitive.

Le comportement haptique dépend du contenu sonore et musical, des caractéristiques des transitions, des éventuels parcours préférentiels, etc. La main de l'utilisateur peut par exemple être attirée ou au contraire être repoussée d'une zone. Les zones peuvent aussi générer des perturbations haptiques spécifiques.

Ce concept de zone peut être décliné en 3D (portions de l'espace) ou en 2D (projection sur une surface de l'espace 3D).

La représentation visuelle peut être en grande partie littérale : représentation des formes, jeu sur les transparences, les dégradés, les matières, etc.

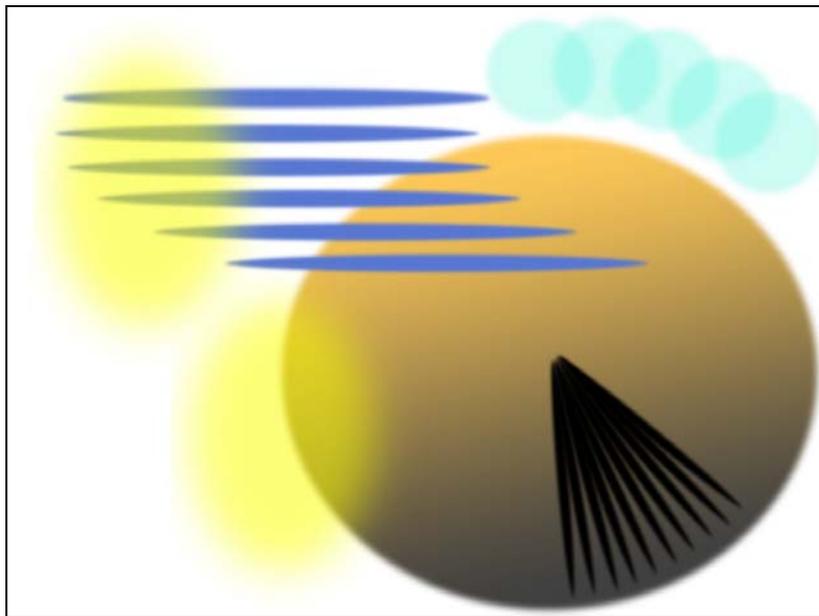


Figure 5 : Métaphore « Zones »

4.2.2.5 Textures

Avec les textures, il s'agit de mettre en œuvre une interaction fine de frottement.

La morphologie de ces textures peut être très variée : de type granulaire, organisée, et même répétitive (grille). Les motifs peuvent être prédéfinis ou bien générés et peuvent symboliser une partition interactive.

Deux types de rendu haptique peuvent être envisagés, d'une part la simulation des micro-reliefs (bump-mapping) et d'autre part un rendu vibratoire (analogue au toucher d'un haut parleur). Le bump-mapping peut être intéressant notamment en exploitant les perturbations induites du geste de l'utilisateur. Les textures vibratoires se rapprochent plus d'un instrument traditionnel, que le joueur sent vibrer sous ses doigts.

Qu'elles soient visuelles ou haptiques, ces textures sont directement reliées au contenu musical : enveloppe, fondamentale, brillance, grain, etc.

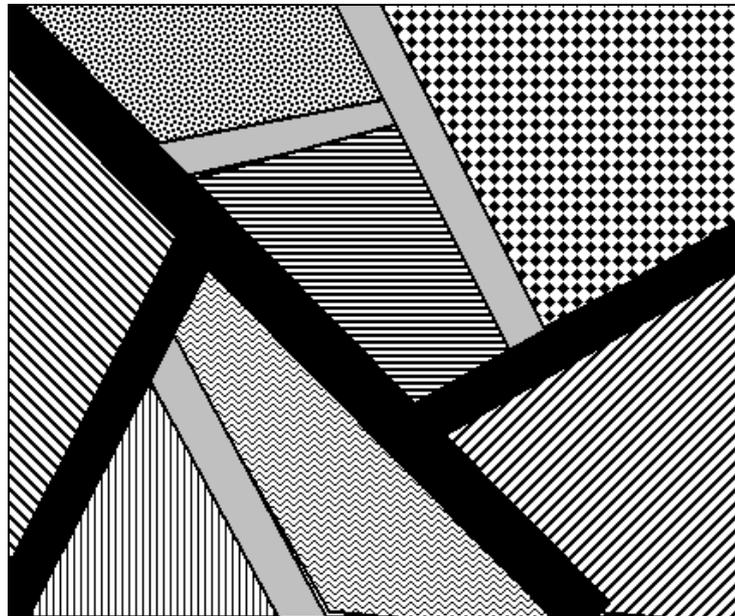


Figure 6 : Métaphore « Textures »

4.2.2.6 Objets physiques

Il s'agit d'exploiter les interactions liées au comportement physique des objets que l'utilisateur peut toucher, percuter, mettre en mouvement. Les différents objets peuvent ensuite interagir entre eux, rebondir, etc. Ils peuvent aussi être liés entre eux par des liaisons mécaniques (ressorts, articulations, etc.) et selon des dispositions géométriques prédéfinies en fonction du contenu musical. Le contenu musical peut dépendre des caractéristiques des objets (forme, matériau, etc.).

Cette métaphore se combine très naturellement avec celle du toucher de surface décrite précédemment.

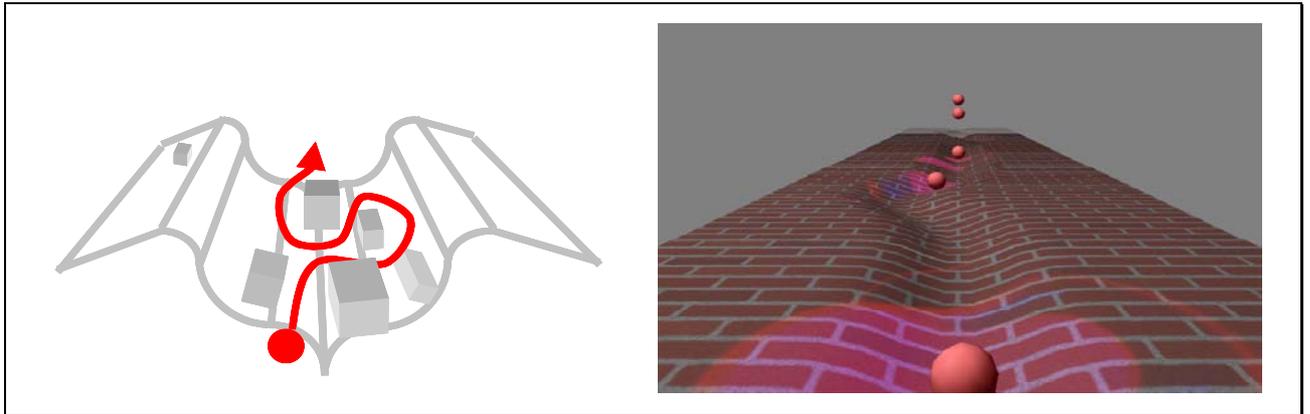


Figure 7 : Métaphore « Objets physiques »

4.2.2.7 Tonalité

Cette métaphore se base sur une représentation hexagonale toroïdale de l'espace tonal. Cette représentation présente l'avantage de visualiser facilement les cycles de quintes (diagonales), les suites de tierces majeures (verticalement, par enharmonie), les gammes par tons (horizontalement), les échelles chromatiques (diagonales). Les accords dits « classés » autour de chaque alvéole pouvant être respectivement une fondamentale, sur un degré quelconque, ou l'une des notes constitutives d'un accord renversé. Chaque accord se ramène donc à une figure géométrique dont le sens de parcours définit un arpège. La figure est toroïdale et infinie.

Ce modèle peut être avantageusement étendu à la représentation d'une tonalité majeure. (Les tonalités mineures sont plus complexes à modéliser à causes de leurs différentes versions (mineurs mélodiques, mineur harmonique)).

Cette métaphore s'appuie donc sur un terrain fait d'alvéoles dont les côtés constituent des sommets à gravir. Le manipulateur passe d'une alvéole à l'autre si la note qu'elle représente fait partie de l'accord entendu. Un néophyte ne connaît bien évidemment pas l'harmonie et le contrepoint, ni même le nom des notes, toutefois, l'association entre les accords entendus et les silhouettes délimitées par les alvéoles au cours de l'audition d'une oeuvre tonale lui permet d'être sensibilisé et l'amener à comprendre certains aspects liés à la tonalité.

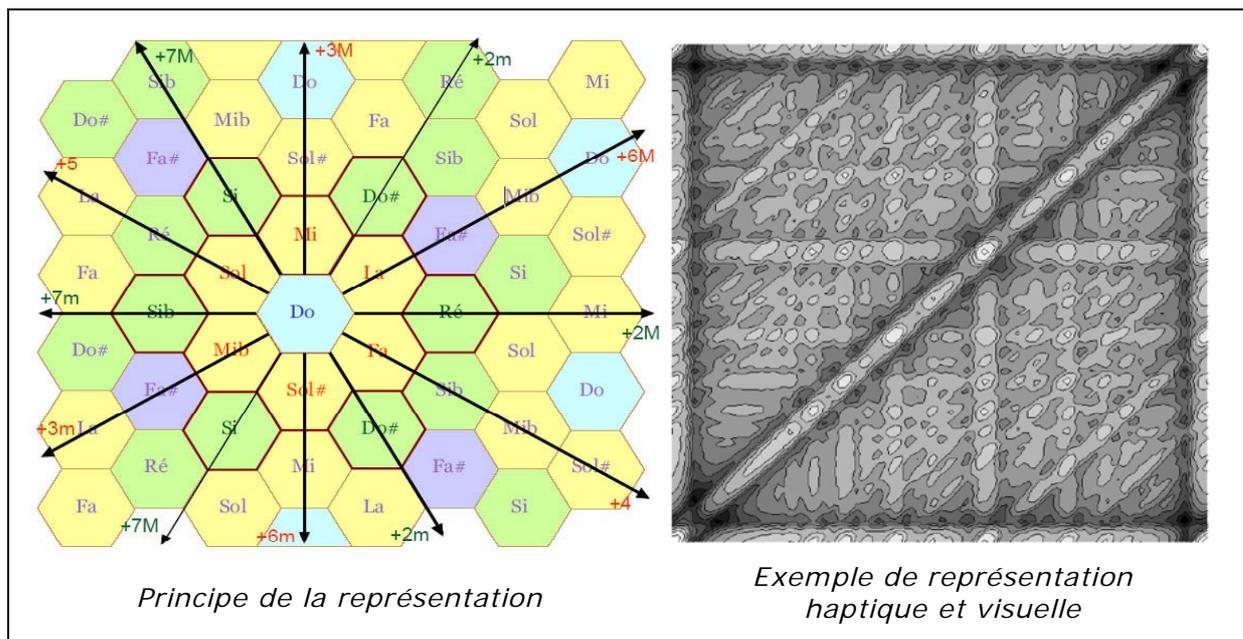


Figure 8 : Métaphore « Tonalité »

4.2.3 Approche musicale

C'est par le geste que l'utilisateur agit sur le système : le jeu instrumental est une possibilité, parmi d'autres, pour jouer de la musique. Plus généralement, nous avons cherché quelles libertés pouvaient être laissées au joueur dans un espace musical donné. On peut par exemple avoir accès au rythme, au timbre, à la tonalité, etc.

Différents modes de jeu (gestuel et musical) ont alors été recensés :

- **Positionnement**
On peut se positionner dans un espace musical, la musique entendue n'étant pas le résultat d'un déplacement dynamique, celle-ci conservant une certaine autonomie : par exemple, on peut écouter un concert en étant placé proche d'un piano ou de la contrebasse.
- **Parcours**
On peut tenir compte de la dynamique du parcours de l'utilisateur, qui peut bien sûr se déplacer de point en point, un point d'arrêt n'étant alors qu'une singularité. Les différentes musiques accessibles n'ont alors que peu d'autonomie et le parcours est prépondérant.
Dans ces deux cas, la topologie de l'espace accessible à l'utilisateur détermine la musique qu'il peut écouter.
- **Conduite**
L'utilisateur peut conduire la musique, c'est-à-dire que son mouvement influe sur la musique qui est entendue, par exemple comme un chef d'orchestre, qui peut modifier l'allure générale, la présence de certains instruments, etc.
- **Instrumental**
Enfin, le jeu instrumental est une possibilité, intéressante notamment car les sources sonores sont directement accessibles au joueur par les objets physiques les représentant. Pour véritablement jouer de la musique par contre, cela implique de travailler une gestuelle spécifique, comme pour tout instrument.

Il existe par ailleurs différentes musiques à jouer (ou rejouer) :

- Les musiques connues sont identifiables et il est aisé de s'y repérer, mais elles sont par ailleurs figées et peu malléables.
On peut cependant y naviguer, principalement en modifiant la temporalité de la lecture. La synthèse granulaire est alors particulièrement adaptée car celle-ci offre un accès privilégié au temps, indépendamment de l'effet de hauteur, en contrepartie d'un son qui peut être assez typé.
Plusieurs variantes peuvent être proposées, par exemple l'utilisateur peut naviguer activement dans le contenu musical, le contenu musical peut aussi présenter un mouvement autonome, etc.
- On peut réaliser des musiques adaptées aux manipulations attendues
Par exemple en jouant sur les structures musicales, dont le rythme (quantification, durées, tempo), l'intensité (quantification, sélection), la hauteur (transposition, changement d'échelle, changement de mode tonal) et l'orchestration de voie (en hauteur, en temps et en timbre)
- On peut enfin concevoir des générateurs permettant d'interagir sur des points musicaux en particulier
Le générateur, qui dispose d'une certaine autonomie vis-à-vis du joueur, assure que les contraintes musicales choisies sont respectées pendant le jeu avec les différents contrôles dynamiques proposés. Les paramètres produisant la musique étant explicitement définis, ils pourront être interpolés entre plusieurs situations de jeu le long du parcours.

4.2.4 Démonstrateur

Le démonstrateur final a pris la forme d'une installation interactive mettant en oeuvre les métaphores d'interaction. Ces métaphores ont servi de briques de base pour la construction d'un jeu interactif. Sa spécification correspond à l'écriture de son scénario et à l'établissement de ses règles (game design).

Plusieurs voies ont été explorées comme par exemple la navigation dans un paysage musical (solfège graphique et haptique pour la navigation sonore), la poursuite (et l'imitation), le labyrinthe musical.

Ces différentes voies sont décrites dans les documents [22] à [28].

Le « game design » s'est plus particulièrement appuyé sur la métaphore des têtes d'enregistrement et de lecture qui est construite sur la base des métaphores élémentaires décrites précédemment. Cette métaphore met en scène trois acteurs principaux :

- La tête d'enregistrement qui dépose dynamiquement un contenu musical en fonction des actions de l'utilisateur. Cette musique est déposée dans l'espace en prenant la forme d'une trace visuelle et haptique que la tête d'enregistrement laisse derrière elle quand elle se déplace.
- La tête de lecture que le joueur manipule. Lorsqu'il se place sur la trace, il sent et entend la musique qu'il est en train de rejouer tout en poursuivant la tête d'enregistrement.
- La trace représentant la musique qui a été inscrite par la tête d'enregistrement. Cette trace est déposée au fond d'un sillon gravé sur une surface. Cette surface se met en mouvement lorsque la tête de lecture est positionnée sur la trace, ce qui permet au joueur de contrôler indirectement la vitesse de la musique qu'il rejoue.

C'est une métaphore du disque vinyle dont le sillon est gravé par la tête d'enregistrement, et parcouru par le diamant tenu dans la main du joueur.

Elle met en place un mode de jeu courant : la course poursuite, jeu qui présente certaines analogies avec des schémas musicaux comme la fugue, le canon ou le contrepoint.

Le geste du joueur peut être guidé par le sillon au fond duquel est déposée la trace musicale et suivre ainsi au mieux la musique qui y a été gravée par la tête d'enregistrement. Mais il peut aussi prendre plus de liberté en explorant ses alentours peuplés de divers objets musicaux qui peuvent avoir un comportement physique (obstacles) ou représenter des zones d'effets particuliers.

5. DEVELOPPEMENTS

5.1 ARCHITECTURE

5.1.1 Présentation générale

La figure suivante présente l'architecture globale du système PHASE. Y sont représentés :

- Les périphériques d'acquisition et de restitution
- Les 4 calculateurs (2 PC et 2 Mac) et leurs OS respectifs
- Les communications via réseau Ethernet sous le protocole UDP
- Les composants logiciels et les principaux flux de données
- Les principaux processus et leur fréquence d'exécution

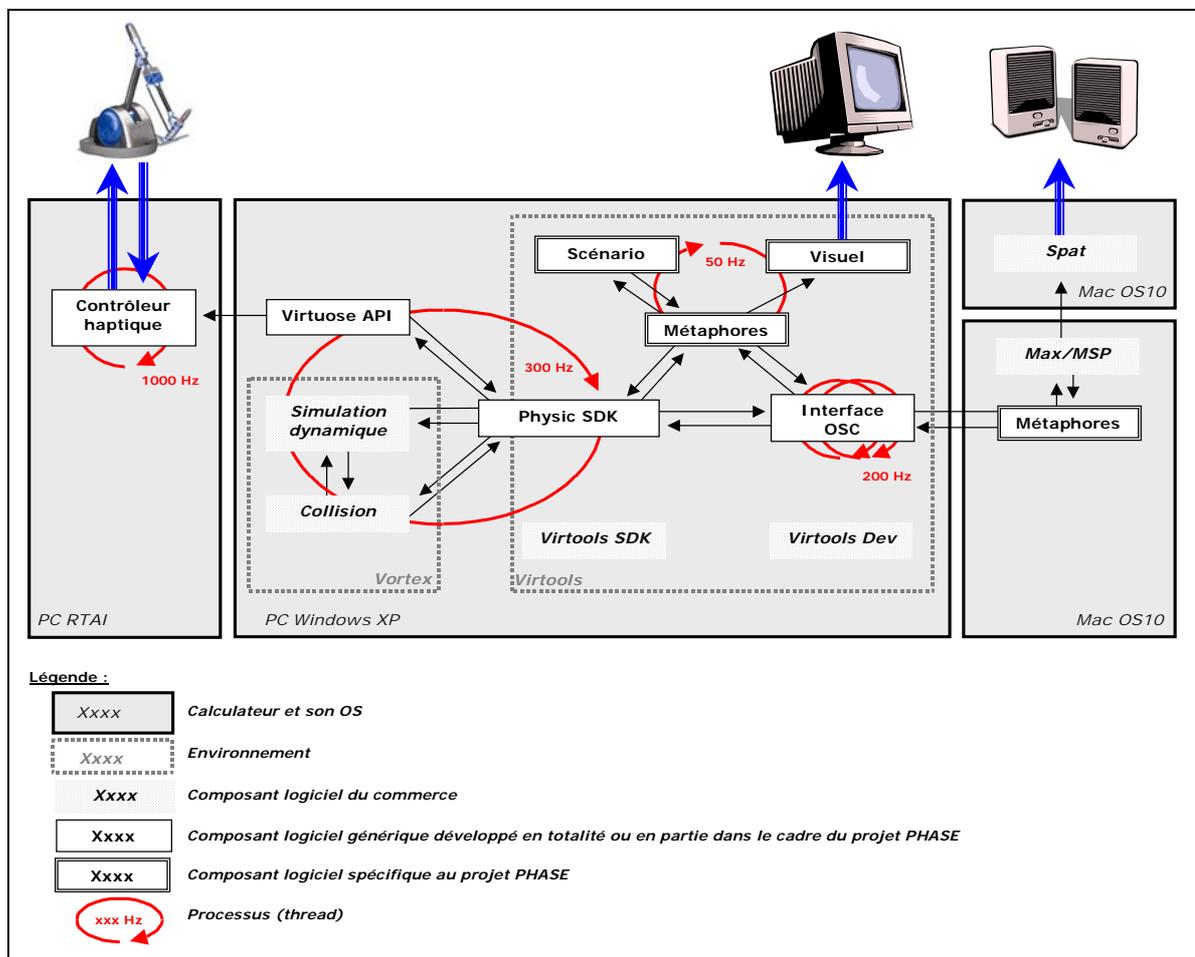


Figure 9 : Architecture globale

La principale contrainte devant être respectée par le système porte sur le respect de faibles temps de latence.

En effet, en ce qui concerne la combinaison des sens de l'ouïe et du toucher, le décalage temporel maximal toléré de manière générale pour avoir une bonne sensation de simultanéité des événements est de l'ordre de 20 ms. Dans le cas particulier des musiciens, population ayant une sensibilité très fine, ce décalage temporel doit être inférieur à 10 ms.

Les différentes machines étant reliées entre elles par un réseau, cette contrainte de temps de latence est d'autant plus complexe à respecter.

Le respect de cette contrainte passe par une optimisation des différents traitements, des flux de données et de la synchronisation entre processus.

5.1.2 Architecture matérielle

Le système est constitué de 4 calculateurs :

- Un *PC* sous *Windows 2000*, hébergeant la simulation physique, le moteur de scénario et le visuel
- Un *PC* sous *RTAI* équipé d'un ensemble de cartes pour la commande des moteurs de l'interface haptique. Il héberge le logiciel contrôleur haptique.
- Un *Mac* assurant la synthèse sonore
- Un *Mac* assurant la spatialisation sonore

A noter qu'en mode dégradé, ce calculateur peut ne pas être présent (au détriment de la spatialisation)

En terme de périphériques le système dispose :

- D'un organe haptique
Durant la première partie du projet, il s'agissait d'un bras *Virtuose 6D* de HAPTION.
Dans la dernière phase du projet, il a été remplacé par l'organe spécifiquement développé pour PHASE (cf. [07]). Cet organe est précisément décrit dans la suite de ce document.
- D'un système de restitution visuelle
En mode dégradé, ce système est composé d'un simple moniteur (associé éventuellement à des lunettes stéréo).
En configuration nominale (démonstration publique), il est constitué d'un système de projection vidéo en stéréo passive PROJECTION DESIGN F1XVGA.



Figure 10 : Restitution visuelle

- D'un système de restitution sonore
Ce système est constitué en mode dégradé d'une chaîne Hi-Fi (ou d'un casque).
Dans la configuration nominale (démonstration publique), il est constitué de huit enceintes PMC TB2S associées à deux amplificateurs YAMAHA XM4220.



Figure 11 : Restitution sonore

5.1.3 Architecture logicielle

5.1.3.1 Introduction

Ce chapitre présente globalement l'architecture logicielle en mettant en évidence :

- Les modules externes non développés dans le cadre du projet,
- Les modules génériques apportés par les différents partenaires et qui ont fait l'objet d'évolutions notables dans le cadre du projet
- Les modules spécifiquement développés pour le projet.

5.1.3.2 Environnement Virtools

Afin de concentrer les efforts de développements sur les technologies spécifiques au projet, il a été décidé de se reposer sur un environnement auteur du commerce. Notre choix s'est porté sur l'environnement *Virtools* (www.virtools.com) car il présente un certain nombre d'avantages :

- Outil auteur puissant permettant de maquetter rapidement des applications fortement interactives de type jeu
- Environnement complètement ouvert pouvant être enrichi par des bibliothèques spécifiques
- Environnement déjà connu de certains partenaires

5.1.3.3 Simulation physique

Ce composant a pour rôle de gérer le comportement physique des scènes et de simplifier leur couplage avec une interface haptique. Il comprend un moteur de collision suffisamment performant et un simulateur dynamique.

Cette librairie est directement interfacée avec la librairie haptique. Et depuis l'environnement *Virtools* elle est exploitée via le *Physic SDK*.

Une première solution tierce de simulation physique a été intégrée car elle présentait l'avantage d'être gratuite : La librairie *ODE* (*Open Dynamics Engine* opende.sourceforge.net). Malheureusement, cette solution s'est avérée trop limitée, notamment en ce qui concerne ses performances pour le traitement des objets de type maillage quelconque. Elle a donc été remplacée dans le système final par une solution commerciale beaucoup plus performante : La librairie *Vortex* de la société canadienne *CM-Labs* (www.cm-labs.com/products).

5.1.3.4 Librairie haptique

Elle est constituée de la *VirtuoseAPI* qui est la librairie générique de gestion des interfaces haptiques HAPTION. Elle est avant tout l'interface d'accès au contrôleur Virtuose déporté sur un ordinateur spécifique géré par un OS temps réel (*RTAI*). Le contrôleur haptique assure l'acquisition et la commande des moteurs de l'organe haptique et intègre la boucle d'asservissement à 1000 Hz.

Les fonctionnalités suivantes ont été développées dans le cadre du projet PHASE :

- Gestion des mécanismes virtuels généralisés permettant de mettre en œuvre des guides virtuels
- Gestion des textures de type vibratoires et de type bump mapping

Ce composant a été développé par HAPTION en partenariat avec le CEA.

5.1.3.5 Physic SDK

Il s'agit de l'interface d'accès à la simulation physique depuis l'environnement *VirtoolsDev*. Il est constitué d'un ensemble de managers et building blocks *Virtools* permettant au développeur d'initialiser la simulation physique et d'être informé sur son état (mouvements, collisions, etc.).

Il possède son propre cadencement indépendant de *Virtools* et permet de ce fait d'assurer un pont rapide entre le toucher et le son (latence < 10 ms).

Il a été développé par ONDIM en s'appuyant sur le *Virtools SDK*. Il est générique et pourra être ré exploité hors du cadre du projet PHASE.

5.1.3.6 Interface OSC

Ce module assure la communication via UDP entre le générateur sonore et le reste du système. Il est basé sur le protocole OSC (Open Sound Control) développé par l'université de Berkeley (www.cnmat.berkeley.edu/OpenSoundControl).

Cette communication est bi-directionnelle :

- *Max* -> *Virtools*
Dans ce sens, le générateur sonore informe l'application du contenu musical (enveloppes, hauteurs, etc.) qui pourra être exploité dans les métaphores haptiques et visuelles.
- *Virtools* -> *Max*
Dans ce sens l'application envoie des informations continues ou événementielles liées à l'interaction (déplacement, chocs, etc.) qui sont exploitées par le générateur sonore (rejeu, modulation de paramètre, etc.).

De la même façon que le Physic SDK, il possède son propre cadencement indépendant de *Virtools* afin d'assurer de courts temps de latence.

Il est constitué d'une couche système et d'une couche applicative et est réparti sur deux machines (un PC et un Mac). Du côté du PC, il est développé par ONDIM en s'appuyant sur le *Virtools SDK*. Du côté du Mac, la couche système est assurée par le logiciel Max, et la couche applicative est développée par l'IRCAM.

5.1.3.7 Visuel

Il s'agit de building blocks spécifiques permettant de gérer des représentations visuelles génériques en fonction du contenu musical et des interactions utilisateur. En termes de ressources logicielles il s'appuie en grande partie sur ce qui est proposé en standard dans l'environnement *Virtools*. En terme de contenu il s'appuie sur la production d'infographistes.

Le visuel étant moins critique en termes de temps de latence, ce composant est directement exécuté dans la boucle du moteur de comportement *Virtools*.

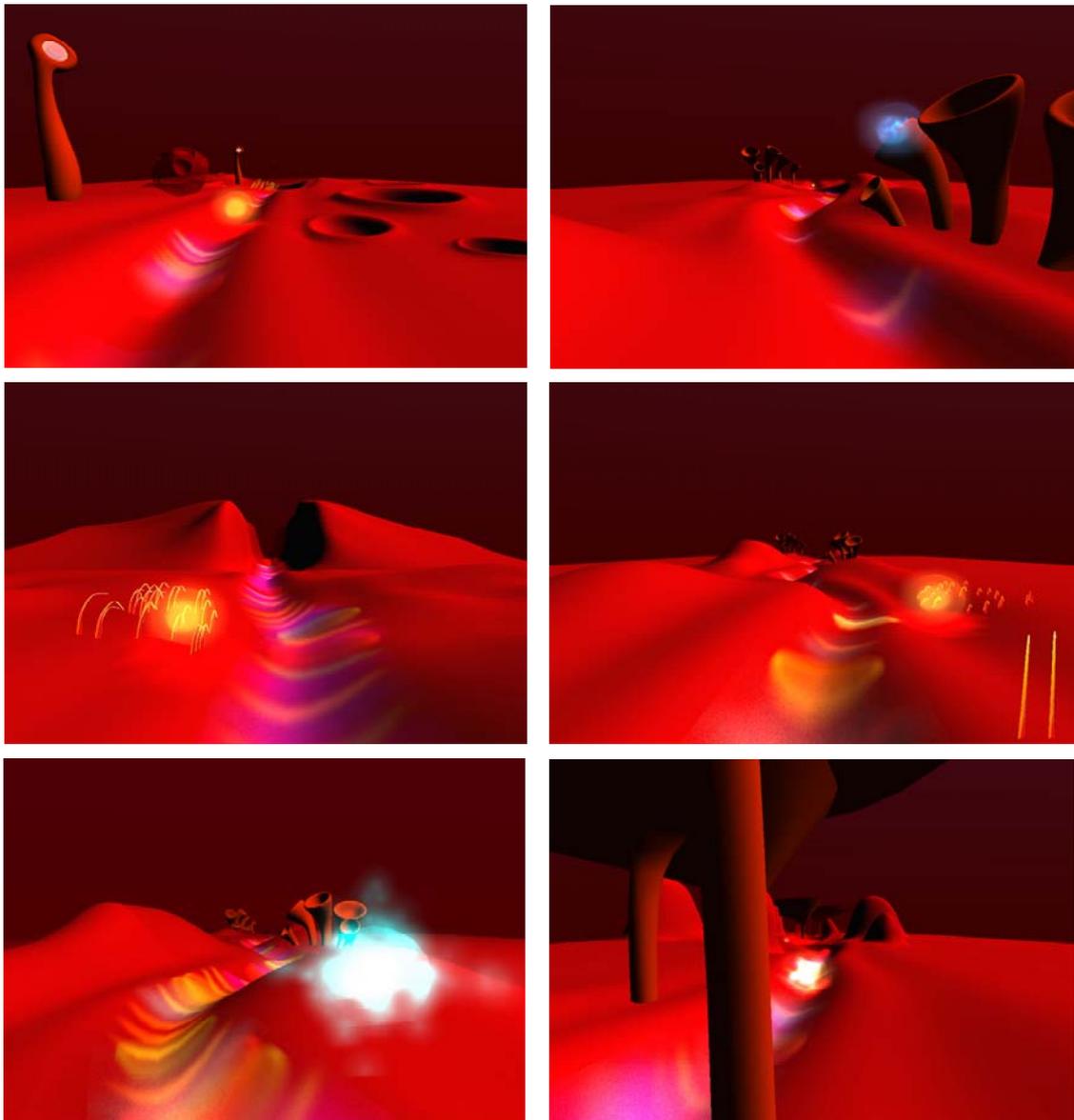


Figure 12 : Métaphores visuelles



5.1.3.8 Génération sonore

La génération sonore est constituée de deux sous-ensembles distincts :

- Le module de synthèse sonore
- Le module de spatialisation

La synthèse sonore peut être assurée par deux sources :

- Le logiciel *Max* initialement développé par l'IRCAM et actuellement maintenu par une société commerciale (www.cycling74.com/products/maxmsp.html)

Ce logiciel tourne surtout en environnement *Mac*, la version *Windows* vient de seulement de sortir. Son principal intérêt est qu'il est largement utilisé, il est donc bien connu des compositeurs et préparateurs, et un grand nombre de patches (extensions) est disponible.

- Le logiciel *jMax* issu initialement de la même souche que *Max* mais développé maintenant dans un contexte libre (www.ircam.fr/produits/logiciels/jmax.html)

Ce logiciel tourne en environnement *Linux*. Son principal intérêt est son coût, en revanche, il propose beaucoup moins d'extensions que *Max*.

Théoriquement, les deux logiciels sont exploitables, mais les métaphores s'appuyant sur de nombreux patches existants, c'est sur le logiciel *Max* que s'appuient la plupart des métaphores PHASE.

La spatialisation sonore est assurée par le logiciel *Spat* développé par l'IRCAM (www.ircam.fr/produits/logiciels/spat-e.html) et offrant de puissantes possibilités de spatialisation tant du point de vue de la définition des sources virtuelles (position), de l'environnement de restitution virtuel (simulation de salle) que du système de restitution (nombre et position des haut-parleurs et acoustique de la salle réelle).

Ce logiciel, totalement compatible avec *Max* tourne en environnement *Mac*. Etant très consommateur de ressources CPU, un *Mac* spécifique lui est réservé. En revanche, il n'était pas toujours indispensable en phase de développement, ce qui a permis de simplifier la configuration matérielle.

Ces deux logiciels ne furent pas modifiés dans le cadre de PHASE, par contre un ensemble de configurations et extensions spécifiques ont été développées par l'IRCAM pour implémenter les métaphores PHASE.

5.1.3.9 Métaphores

Les métaphores sont implémentées :

- Dans l'environnement *Max* (sur ordinateur *Mac*) sous la forme de patches *Max* pour la gestion de leur composante sonore et musicale
Ces patches sont développés par l'IRCAM.
- Dans l'environnement *VirtoolsDev* sous la forme de building blocs pour la gestion de leurs composantes visuelles et haptiques
Ces building blocks sont développés par ONDIM.

5.1.3.10 Scénario

L'implémentation du scénario est répartie sur l'environnement *VirtoolsDev* et le logiciel *Max*. Il est en charge de la mise en place des métaphores et du déroulement du jeu.

Afin d'en simplifier la mise au point une interface de paramétrage du scénario a été développée. Cette interface permet de modifier rapidement l'implantation et l'enchaînement des métaphores.

Il est développé par l'IRCAM en collaboration avec ONDIM.

5.2 ORGANISATION DES DEVELOPPEMENTS

5.2.1 Introduction

Sur la base des spécifications, des maquettes des métaphores ont été définies. Le rôle de ces maquettes fut d'améliorer et de valider ces métaphores par une utilisation réelle (approche exploratoire itérative).

La mise en œuvre des maquettes de métaphores reposait en premier lieu sur un ensemble de technologies qui n'étaient pas toutes disponibles ou directement exploitables au début du projet.

Il a donc fallu dans un premier temps identifier et choisir les solutions technologiques adaptées, puis dans un deuxième temps assurer les développements et l'intégration de ces technologies afin d'aboutir à une plate-forme exploitable pour le développement des maquettes de métaphores.

5.2.2 Mise en place des technologies sous-jacentes

- Choix d'un outil auteur (*VirtoolsDev*), d'un moteur physique (*Vortex*), et d'un moyen de communication (OSC) entre le moteur applicatif et le synthétiseur de l'IRCAM (*Max* et *jMax*).
- Couplage haptique du moteur physique avec la librairie haptique développée conjointement par le CEA et HAPTION.
- Développement et intégration du protocole de communication OSC dans l'outil auteur.
- Intégration du moteur de simulation physique
- Implémentation de textures haptiques
- Développement des mécanismes virtuels permettant d'implémenter des guides haptiques
- Optimisation du temps de latence entre le moteur physique/haptique et le moteur son afin d'être en deçà des 10 ms nécessaires à une bonne impression de simultanéité des événements.

5.2.3 Développement et évaluation des métaphores

Il s'agissait, sur la base des travaux précédents, du développement applicatif des métaphores conformément aux spécifications initiales. Ces métaphores ont alors pu être évaluées et affinées en fonction du retour sur expérience. Une phase de généralisation a ensuite suivi afin d'aboutir à l'architecture finale du système.

Ces développements ont été effectués suivant une séquence itérative : spécification, développement, évaluation. Au fur et à mesure, ils ont permis de mieux situer les limites du système mais aussi d'en exploiter mieux les différentes fonctionnalités originales.

Cette phase a aussi permis de finaliser la spécification du système final, tant du point de vue de l'interface haptique que du démonstrateur (installation et « game design »).

5.2.4 Développement du démonstrateur final

Les métaphores ont ensuite été intégrées puis mises en scène suivant le « game design ».

Cette étape a aussi vu la montée en puissance des compositeurs et des infographistes afin de proposer un contenu le plus attrayant possible au public. Une des difficultés a alors porté sur des délais de production très court, entre la mise à disposition d'un système opérationnel pour la production et sa présentation au grand public, d'autant qu'il ne s'agit pas d'un système traditionnel et qu'il a nécessité une période de prise en main par les créateurs.

Cette phase de développement et production a progressivement laissé place à une période de validation de système avant son exploitation par le public. Au cours de ces évaluations, des reprises du développement ont été effectuées afin d'améliorer le système en termes d'utilisabilité, de pertinence, de performances, etc.

En raison des fortes contraintes de planning, peu de temps avant l'inauguration de l'exposition nous avons surtout mis l'accent sur la fiabilisation du système, puis nous avons continué d'enrichir le système pendant la phase d'exposition en prenant en compte certaines remarques des visiteurs.

5.3 DEVELOPPEMENTS LOGICIELS

5.3.1 Introduction

Ce chapitre décrit plus précisément les développements logiciels les plus importants effectués dans le cadre du projet PHASE.

5.3.2 Librairie haptique

5.3.2.1 Guides virtuels

Le développement des guides virtuels a été basé sur une approche permettant de représenter de manière simple et intuitive le comportement désiré du système en le décrivant sous la forme d'un mécanisme.

Les mécanismes virtuels permettent de simuler des contraintes cinématiques au niveau du contrôleur embarqué du système à retour d'effort VIRTUOSE. Ils sont souvent qualifiés de « blocage de degrés de liberté », et les plus élémentaires correspondent au blocage en translation ou en rotation de certains axes du système haptique.

L'approche du mécanisme virtuel a été généralisée au cas d'une courbe mathématique de type « Spline », afin de pouvoir générer des positions de consigne le long d'une courbe « quelconque ».

Les guides virtuels basés sur le principe des mécanismes virtuels permettent de contraindre les déplacements, mais ils ne sont pas suffisants pour l'application, dans la mesure où le système VIRTUOSE n'est pas moteur sur les axes laissés libres et ne peut donc pas entraîner le mouvement de l'utilisateur.

L'approche a donc été enrichie afin de pouvoir faire évoluer la position de consigne le long des axes laissés libres par le mécanisme virtuel en implémentant un algorithme d'interpolation linéaire simple, gérant des rampes d'accélération et de décélération entre les points de consigne.

Ce développement s'est déroulé en trois étapes principales :

- Implémentation du mécanisme virtuel généralisé
- Ajout d'une fonctionnalité d'enregistrement de trajectoire et de calcul de Spline
- Couplage avec le générateur de trajectoire

Ce développement a abouti à un démonstrateur complet en terme de fonctionnalités embarquées, c'est-à-dire que toutes les fonctions sont en place pour permettre d'enregistrer une trajectoire et de la faire rejouer.

5.3.2.2 Textures haptiques

Le développement des textures haptique a été effectué en collaboration étroite avec le module de simulation physique et de couplage haptique. Afin de simplifier les expérimentations, nous nous sommes limités au niveau du contrôleur haptique à fournir les fonctionnalités minimales permettant d'implémenter des textures haptique au niveau supérieur, c'est à dire au niveau du couplage avec la simulation physique.

Les fonctionnalités implémentées permettent d'introduire des perturbations contrôlées du rendu haptique. La détermination de ces perturbations reste donc à la charge du module de couplage haptique.

5.3.3 Physik SDK

5.3.3.1 Volume de données

La quantité de données représentant une scène musicale est d'une extrême richesse. Chaque objet sonore est caractérisé par un ensemble de paramètres élémentaires finement échantillonnés comme le timbre, l'enveloppe, la hauteur, la spatialisation, etc. Une composition musicale intègre un très grand nombre d'objets de ce type dont les caractéristiques vont évoluer au cours du temps tout au long de la composition.

Les métaphores envisagées s'appuient sur la mise en œuvre d'un moteur de simulation dynamique, or les moteurs de ce type disponibles dans le commerce ou dans les laboratoires de recherche sont incapables de traiter un tel volume de données en temps réel à une fréquence au moins égale à 300 Hz.

Ce point a été traité en recherchant des méthodes de rafraîchissement dynamique du moteur de simulation physique s'appuyant sur un principe de modèle local mis à jour progressivement en prenant garde de ne pas déstabiliser la simulation.

Nous sommes partis du principe que la totalité des informations n'est pas nécessaire à un moment donné à la simulation dans la mesure où certaines de ces informations ont une zone d'influence temporelle limitée. Il s'agit alors d'introduire les informations dans la simulation peu de temps avant qu'elles aient une véritable influence, d'où la nécessité d'établir un modèle de prédiction suffisamment fiable afin de ne pas provoquer de discontinuités pouvant entraîner une divergence de la simulation.

Par ailleurs, l'intégration d'un objet dans la simulation physique est un processus relativement long. De plus le moteur de simulation utilisé (Vortex) ne permet pas de chargement dynamique au sens propre dans la mesure où la simulation doit s'arrêter lors du chargement d'un nouvel objet. Il a donc été nécessaire de pré-charger l'ensemble des objets et de gérer dynamiquement leur activation/désactivation en fonction de la position d'observation.

Dans le cas particulier de la scène visée dans le démonstrateur représentant un sillon « infini », d'autres problèmes se sont posés. Tout d'abord, il a été nécessaire de construire ce sillon à partir de briques élémentaires pouvant se raccorder de manière générique les unes aux autres. Il a aussi été nécessaire de gérer le déplacement de cette scène par rapport à l'avatar de l'interface haptique, ce qui a été fait en motorisant le déplacement de la scène. Mais cela a entraîné un certain nombre de difficultés concernant la stabilité de la simulation qui devait gérer l'entraînement d'un grand nombre de blocs reliés entre eux par des liaisons mécaniques sans que ces liaisons n'apparaissent que ce soit au niveau haptique ou visuel.

5.3.3.2 Textures haptiques

Plusieurs approches ont été étudiées pour simuler les micro-reliefs (bump mapping) tout en respectant une très forte contrainte : ne pas déstabiliser la simulation physique qui est basée sur un modèle de collision géométrique indépendant de ces micro-reliefs.

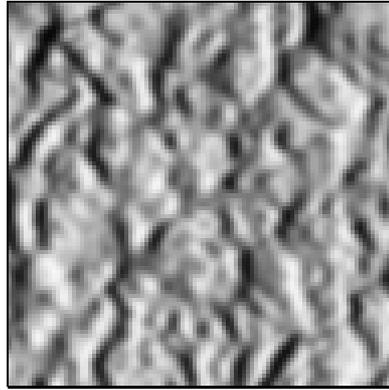


Figure 13 : Exemple de texture haptique

La première approche a été basée sur la restitution littérale des perturbations de positions engendrées par les micro-reliefs. Cette approche a comme principal inconvénient d'entrer en conflit avec la simulation physique, notamment sur le plan de la gestion des collisions.

La deuxième approche a été basée sur la restitution du gradient latéral tangentiel à la surface explorée. Cette dernière approche est beaucoup plus facile à stabiliser en termes de simulation numérique car elle n'a pas d'interférences avec le modèle de macro-géométrie géré par la physique. De plus, elle permet de restituer les informations sensorielles les plus pertinentes notamment dans le cas de restitution tactile mono point. En revanche, elle ne permet de restituer que de manière dynamique l'information de texture. En effet si le point de contact ne bouge pas, aucune perturbation n'est renvoyée. Cette limitation est relative car le sens tactile permet de restituer un état de surface soit de manière statique si un ensemble de capteurs tactiles sont actifs (cas de la peau), soit de manière dynamique (mouvement) si un seul capteur tactile est actif (exemple d'un ongle), ce dernier cas étant analogue à notre problématique.

Ces algorithmes ont été adaptés aux deux types de retour haptique gérés par l'organe développé : le retour tactile (via la peau) et le retour d'effort (via les muscles). Ce travail a porté tant sur la mise au point des algorithmes que sur leur paramétrage (production des données de texturation haptique)



5.3.3.3 *Exploitation des informations issues de la simulation*

La simulation physique n'étant qu'une approximation discrète de la réalité, un certain nombre d'artefacts en découlent tant sur le plan temporel que sur les domaines de variation des valeurs physiques. A titre d'exemple, le glissement d'un objet contre un autre objet n'est pas un phénomène continu dans la simulation mais provoque au contraire une multitude d'événements de collision qui sont dus aux approximations de la simulation et qui n'ont aucune réalité physique.

Avant tout couplage avec le générateur sonore, il est donc impératif de pouvoir filtrer ces artefacts en ne sélectionnant que les événements pertinents.

Différents critères de filtrages ont été étudiés, de manière théorique (analytique) ou empirique (expérimentale) sans qu'une solution universelle ait pu être trouvée. Certaines lois ont quand même pu être dégagées pour aboutir à un certain degré de généralité comme par exemple les relations entre la finesse géométrique des modèles, le pas temporel de simulation et la profondeur de pénétration lors des collisions, etc. Cela a permis de définir un jeu de paramètres de filtrage qui dans le cas des applications visées se sont révélés efficaces.

5.4 DEVELOPPEMENTS MATERIELS

5.4.1 Etude

Sur la base des spécifications, une pré étude a été menée par le CEA-LIST en vue du développement d'un organe de commande à 6 degrés de liberté à retour d'effort de grande sensibilité.

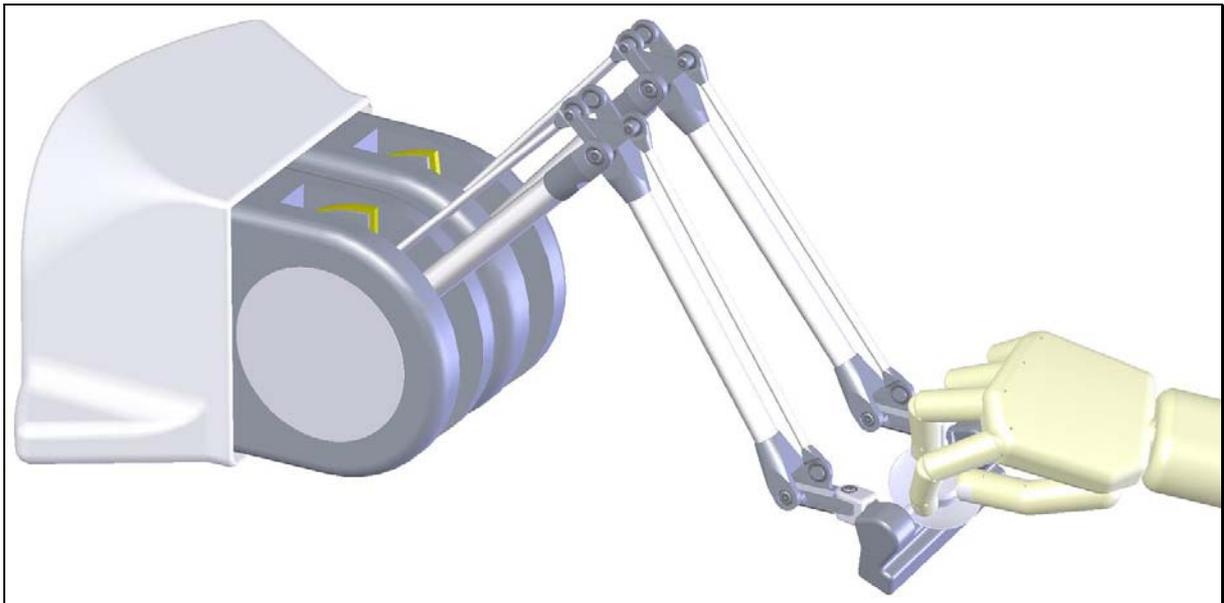


Figure 14 : Interface haptique haute fidélité étudiée par le CEA-LIST

Cette interface haptique présente les avantages suivants :

- Elle utilise pour obtenir 6 degrés de liberté à retour d'effort deux branches semblables à 3 axes motorisés chacune reliant une base commune à une poignée motorisée saisie par l'opérateur. Cette solution permet de simplifier chacune des branches élémentaires par rapport à une structure série, ce qui limite la complexité et le coût de l'interface. Par ailleurs, cette solution permet facilement d'obtenir une interface à seulement 3 degrés de liberté à retour d'effort en ne conservant qu'une seule branche,
- Cette interface fait appel à deux branches semblables, ce qui limite les coûts en mutualisant l'utilisation répétée des mêmes pièces,
- Il a été fait appel à des composants standards du commerce et à des pièces simples pour limiter les coûts de fabrication,
- La motorisation a été optimisée pour permettre d'obtenir une grande raideur des asservissements, permettant un retour d'effort de grande qualité,
- Tous les moteurs sont fixes, ce qui limite l'inertie apparente et augmente encore les performances du bras. Par ailleurs, cela simplifie le câblage et facilite la maintenance,
- La structure et les transmissions ont été renforcées pour améliorer la raideur mécanique de l'interface et minimiser les risques d'avaries mécaniques,
- Les transmissions ont été simplifiées pour rendre plus aisés le montage et le réglage du bras,
- Cette structure est équilibrée statiquement, ce qui limite la fatigue de l'opérateur et augmente l'ergonomie du dispositif.

Tous les aspects technologiques ont été discutés avec HAPTION pour valider les choix permettant une future industrialisation.

Afin de satisfaire les exigences du projet et en particulier pour concilier le respect du planning (prévoyant une exposition grand public en septembre 2004) et les délais de développement, il a été décidé, de mener en parallèle d'une part la pré-étude de ce bras à 6 degrés de liberté adapté aux spécifications énoncées précédemment et permettant de mettre en œuvre toutes les métaphores envisagées et d'autre part d'adapter un bras existant pour cette exposition.

Le VIRTUOSE 3D 15-25 commercialisé par HAPTION répond en grande partie aux spécifications PHASE. Il s'agit d'une version industrialisée d'un bras développé par le CEA-LIST pour la télé-chirurgie. De plus, il présente le potentiel évolutif suffisant à son adaptation aux besoins spécifiques de PHASE. Cette approche a permis de se concentrer sur l'innovation PHASE tout en assurant un bon niveau de fiabilité et de maintenabilité pour son exploitation par le grand public.



Figure 15 : Le VIRTUOSE 3D 15-25 d'HAPTION

Ses principales caractéristiques sont présentées dans le tableau suivant :

Espace de travail utile	200mm - 200° - 120° - 300 °
Retour d'effort maximal en translation	15N
Retour d'effort continu en translation	5N
Résolution de position (translations)	150µm
Résolution de position (rotations)	0,35°
Bande passante	> 10Hz
Raideur d'asservissement	2000N/m
Raideur apparente globale	800N/m
Résistance mécanique maximale	> 40N

5.4.2 Développements

Au niveau du bras VIRTUOSE 3D 15-25, les principales modifications ont porté sur les points suivants :

- Augmentation de la robustesse des articulations mécaniques par le renforcement des pièces plastiques
- Renforcement des butées articulaires et amélioration de l'interchangeabilité de ces butées pour permettre une maintenance sur site rapide
- Re-conception complète des trois derniers axes afin de supprimer les pièces plastiques pour les remplacer par des pièces aluminium
- Intégration de l'ensemble des conducteurs électriques nécessaire pour : les boutons, le vibreur et l'homme-mort
La nouvelle conception ne laisse aucun câble électrique apparent et limite donc le danger pour les utilisateurs.
- Conception d'une nouvelle poignée

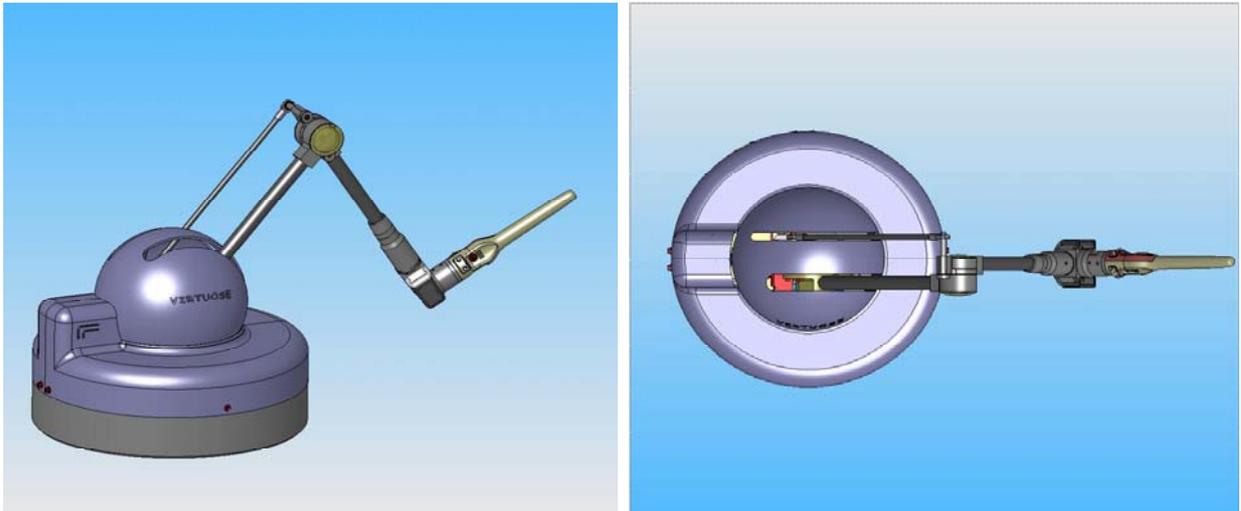


Figure 16 : Vue CAO du VIRTUOSE 3D 15-25 modifié

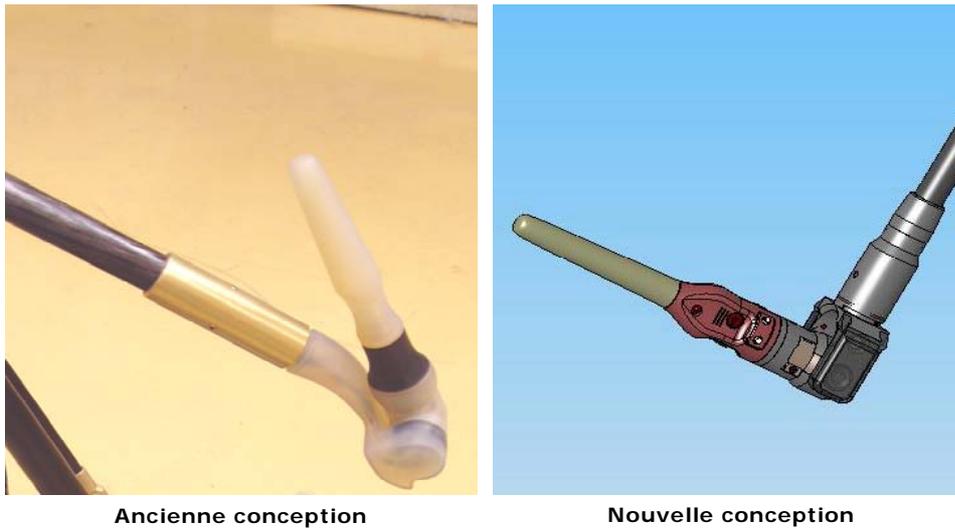


Figure 17 : Evolution du bras haptique

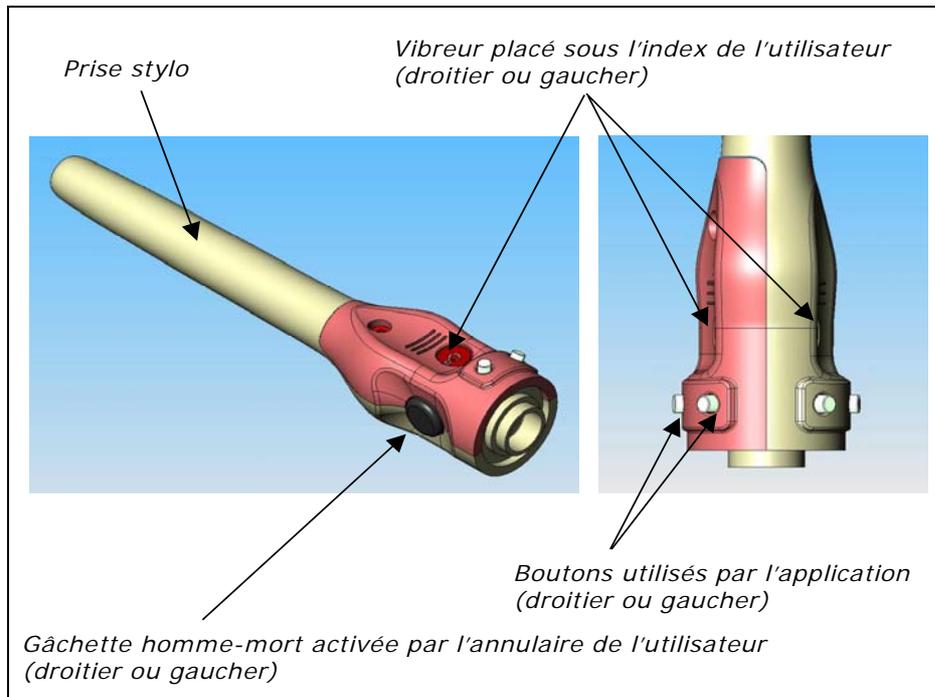


Figure 18 : Nouvelle poignée

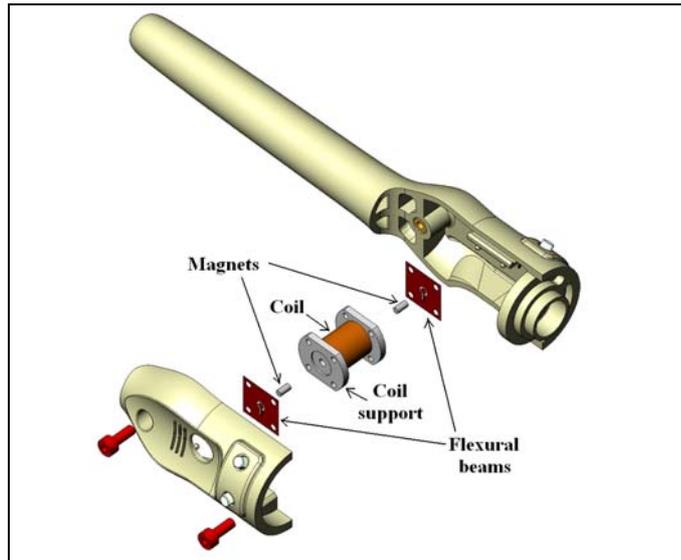


Figure 19 : Implantation du vibreur

Le vibreur tactile est basé sur un activateur électromagnétique constitué d'une bobine et de deux aimants placés symétriquement de part et d'autre et permettant de renvoyer des vibrations des deux côtés de la poignée. Cette bobine est contrôlée par un amplificateur lui envoyant des impulsions périodiques de largeur variable.

Les caractéristiques de ce vibreur sont résumées dans la figure suivante :

Déplacement maximal	150µm
Bande passante	> 800Hz
Effort maximal (crête)	~50mN

Ce vibreur peut être actionné en le reliant à la sortie d'une carte son standard.

5.4.3 Validation

Cette interface haptique étant un produit industriel adapté et non un nouveau prototype, l'essai d'endurance d'une vingtaine d'heures initialement prévu n'a pas été jugé nécessaire. Une maintenance préventive régulière a cependant été effectuée dans le cadre de son utilisation grand public, ce qui a permis de minimiser les pannes et d'assurer un fonctionnement correct sur des périodes d'une cinquantaine d'heures environ.

5.5 INTEGRATION FINALE

L'intégration finale a pris en compte le contexte particulier d'utilisation au sein d'une exposition grand public. Notre attention s'est particulièrement portée sur :

- La scénographie
- La sécurité du public
- La sécurité du matériel
- La facilité d'exploitation

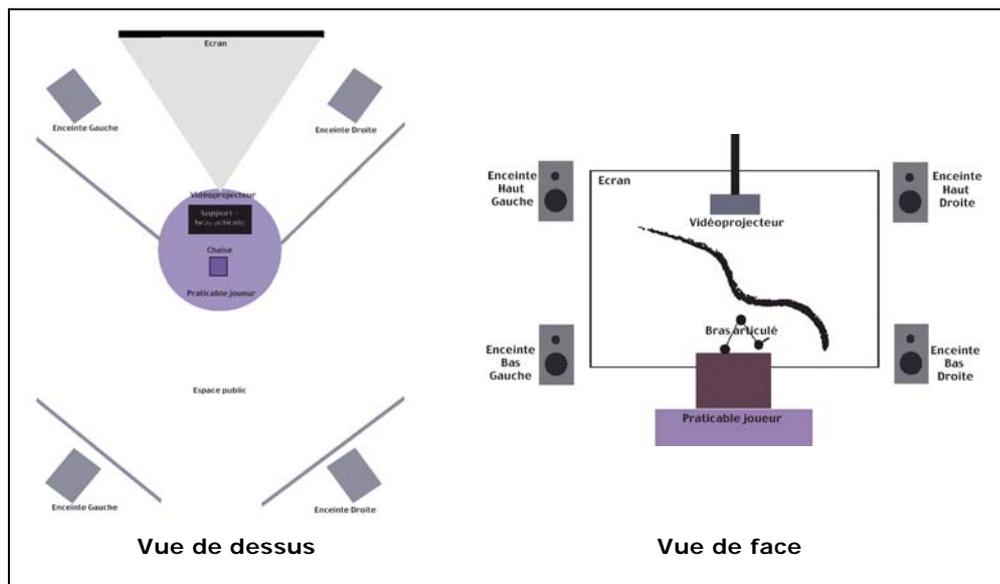


Figure 20 : Plan de l'installation

A cette occasion, un bureau ergonomique a été développé et réalisé par le CEA-LIST pour permettre une utilisation assise coude posé. Ce bureau permet à l'utilisateur une manipulation confortable et précise sans fatigue. Il permet également de visualiser l'espace de travail de l'interface haptique, ce qui facilite la compréhension des capacités de déplacement du bras.

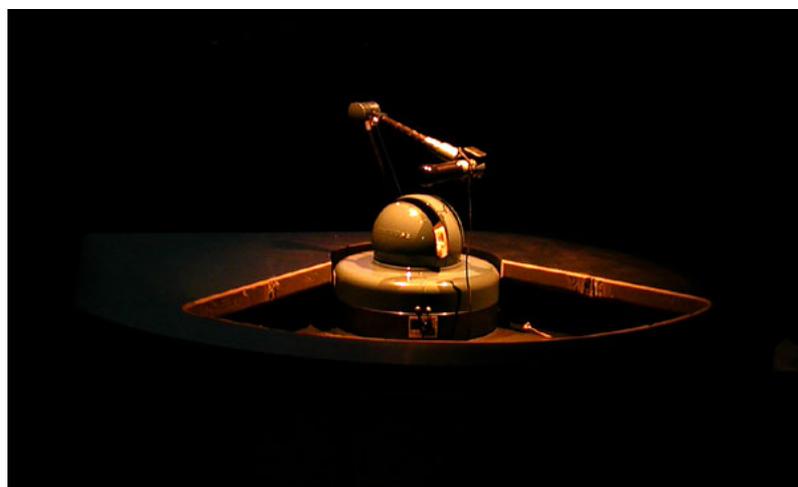


Figure 21 : Console supportant le bras haptique

5.6 DELIVRABLES

Le tableau suivant présente l'état des livrables du projet :

Sous-projet	Responsable	Nature	Contenu	Echéance	Avancement
SP1	IRCAM	Rapport	Rapport de définition des besoins	T0+2	Livré
	IRCAM	Rapport	Cahier des charges	T0+3	Livré
	IRCAM	Rapport	Plan de validation initial du système	T0+3	² Livré
SP2	ONDIM	Rapport	Spécifications fonctionnelles	T0+4	Livré
	ONDIM	Rapport	Dossier d'architecture système	T0+7	Livré
	ONDIM	Rapport	Planning prévisionnel détaillé	T0+7	Livré
SP3	CEA	Matériel Logiciel	Démonstration de l'organe haptique couplé à la bibliothèque haptique	T0+16	Livré
SP4	IRCAM	Rapport	Documentation des modèles, des scénarii et des API	T0+9	Livré
	IRCAM	Logiciel	Logiciel de synthèse sonore	T0+15	Livré
	IRCAM	Rapport	Rapport d'évaluation	T0+16	
SP5	ONDIM	Rapport	Dossier de conception du générateur d'application	T0+12	Livré
	IRCAM	Logiciel	Scénarii	T0+15	Livré
	ONDIM	Logiciel	Démonstration de l'IHM du démonstrateur	T0+16	Livré
SP6	ONDIM	Logiciel	Démonstration du démonstrateur	T0+20	Livré
	ONDIM	Rapport	Compte-rendu de recette du démonstrateur	T0+20	
SP7	IRCAM	Rapport	Cahier des charges de l'installation finale ³	T0+15	Livré
	IRCAM	Rapport	Rapport d'évaluation final	T0+24	Livré
SP8	ONDIM	Coordination	Documents de suivi	T0+24	Livré

² Compte tenu du caractère exploratoire du projet, le plan de validation du système a été reporté la fin des développements

³ Ce livrable n'était pas prévu mais s'est avéré indispensable pour la bonne marche du projet

6. EVALUATION

Plusieurs expériences ont été menées lors de tests au sein d'une structure enseignant de façon concurrente les arts plastiques et la musique (l'atelier des feillantines atelier.feillantine.free.fr), et lors de l'exposition du dispositif au centre Pompidou.

Les échelles de force appliquées à chaque axe, aussi bien en entrée (imprimée par l'utilisateur) qu'en sortie (retour d'effort) ont été adaptées à une tranche d'âge moyenne, le public visé pour l'exposition n'étant pas sélectionné. Pour borner le dispositif PHASE, nous avons donc arbitré entre des besoins de précision et de raffinement dans la tenue du bras et la force naturellement imprimée par un enfant, un adolescent et un adulte à la machine.

De la même façon, la forme de la poignée et le type de prise ont fait l'objet de tests avec une maquette auprès d'élèves des feillantines, musiciens et non musiciens, dont les tranches d'âge couvraient un large éventail.

Ces expérimentations et évaluations ont permis de montrer que le dispositif expérimental pouvait déboucher sur des applications concrètes dans des domaines de la pédagogie musicale que nous avons classés par thèmes :

- Les apprentissages instrumentaux

Apprentissages concernés : instruments (percussion, piano, archets). Le moteur audio peut être basé sur une modélisation physique et amplifier certains effets sonores ou musicaux dus à une mauvaise position. Les forces appliquées doivent dans ce cas être calibrées au lancement de l'application par l'élève. La fréquence d'échantillonnage du dispositif haptique permet un travail pertinent sur le rebond en classe de percussion, permettant de simuler des baguettes douces ou dures sur des matériaux divers.

- Les apprentissages théoriques

- La formation musicale

Le solfège rythmique : battue d'une mesure, direction d'orchestre.

L'analyse musicale : exploration d'un espace tonal en associant la graduation d'un retour d'effort à une distance entre deux tonalités durant une modulation.

L'oreille : exploration d'un timbre en localisant dans un espace visité au moyen du bras des phénomènes tels que la brillance, la rugosité, dont le degré est lié à la force nécessaire pour s'y déplacer.

- L'exploration d'une oeuvre musicale

Navigation dans une oeuvre dont certains paramètres ont été déployés dans l'espace du modèle physique. Exemple : « Partiels de Gérard Grisey » qui est basé sur l'exploration et la modélisation d'un spectre par l'orchestre et peut voir les bornes inférieures et supérieures de ce spectre contrôlées par la pression imprimée sur le dispositif par l'auditeur de la pièce.

L'expérience menée autour de la représentation toroïdale de la tonalité démontre qu'il peut y avoir une représentation mentale d'une oeuvre induite d'un geste, qui peut être amplifiée par une sensation haptique.

- Construction formelle

Construction d'un processus musical où les éléments placés au moyen du bras haptique deviennent des obstacles si l'on essaye de mettre des objets aux mêmes endroits. De la même façon, si la formule rythmique d'une séquence a été choisie et placée par l'utilisateur, il est impossible d'y placer une autre et l'utilisateur le ressentira comme un obstacle à contourner ou déplacer. Dans un mode particulier, une pression plus importante peut déclencher un processus d'unification des deux rythmes.



Concernant le démonstrateur présenté au centre Pompidou, la perception générale des visiteurs a été très favorable et encourageante. L'exposition du dispositif a permis de recueillir des prescriptions du public au travers des questionnaires sur une durée d'exposition significative (plus de deux mois).

L'impression manifeste communément partagée par les utilisateurs est d'avoir eu entre les mains ce qui constitue selon eux une prochaine génération d'interface communicante adaptée au système sensoriel humain. La particularité de l'installation a également motivé une curiosité sur les domaines investis (création musicale, jeux...), de la part d'un public n'ayant pas forcément de pratique culturelle habituelle ou clairement définie. Le dispositif peut donc être un moyen de toucher un nouveau public se sentant peu concerné par les supports actuels d'exploration d'œuvres anciennes ou nouvelles.

En faisant sortir l'interface haptique de son contexte strict, celui de détecter des objets, pour lui faire investir un champ de création, le projet a permis de rendre – littéralement – palpables des espaces dont l'exploration requiert généralement un bagage culturel et théorique important. Le dispositif peut donc potentiellement décroiser des disciplines et des publics, en même temps que des formes d'art.

7. COMMUNICATION EXTERNE

7.1 INTRODUCTION

Ce chapitre fait le point sur les actions de communication externe du projet PHASE tant du point de vue de ce qui c'est passé au cours des deux années du projet que de ce qui est prévu pour la suite.

7.2 BILAN DES ACTIONS EFFECTUEES

7.2.1 Participation à des manifestations

Le projet PHASE a été présenté dans les manifestations suivantes :

- **Octobre 2002 : Colloque « Résonances » à l'IRCAM**

Alors qu'il démarrait à peine, le projet a été présenté par Xavier RODET et Pascal MOBUCHON lors de la session RIAM de cette manifestation (resonances2002.ircam.fr).

- **Avril 2003 : Journées RIAM organisées à Marseille**

Le projet a été présenté dans le cadre des posters par Pascal MOBUCHON.

- **Juin 2003 : Journées d'Informatique Musicale 2003**

Le projet PHASE a été présenté par Fabrice GUEDY lors de cette manifestation (jim2003.agglo-montbeliard.fr).

- **Octobre 2003 : Colloque « Résonances » à l'IRCAM**

Le projet a été présenté lors des conférences « grand public » et lors de la session RIAM par Xavier RODET, Jean-Philippe LAMBERT, Roland CAHEN et Pascal MOBUCHON (resonances2003.ircam.fr).

La plate-forme PHASE et des maquettes des métaphores « tubes » et « sillon » ont aussi été présentées au cours des journées portes ouvertes de l'IRCAM.

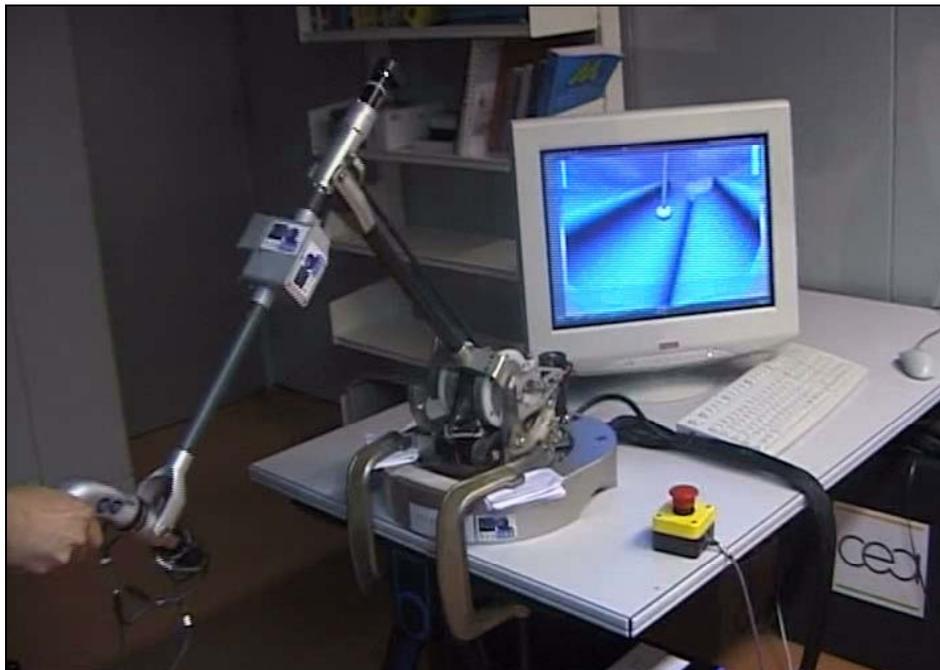


Figure 22 : Système présenté à « Résonances 2003 »

Le système a pu être utilisé par le grand public et les professionnels. Les réactions ont été dans l'ensemble très positives malgré le stade d'avancement du projet. Il semble même, que nous ayons créé un événement remarqué dans « Résonances ». Environ une centaine de personnes ont pu essayer les deux métaphores que nous avons mises à leur disposition. Malgré certains défauts et quelques pannes le système a été opérationnel à 90 % du temps.

Des comptes rendus détaillent les enseignements que nous avons pu tirer de cette expérience. Par ailleurs, un film de l'installation a été réalisé par le département « Image Média » du CNRS.

- **Mars 2004 : Séminaire IRISATECH**

Le projet a été présenté par pascal MOBUCHON à l'IRISA lors du séminaire IRISATECH sur les interfaces à retour d'effort en réalité virtuelle

(www.irisa.fr/bibli/videos/irisatech/retoureffort/mobuchon/chapitre2.htm).

- **Mai 2004 : Salon Laval Virtual**

Un nouveau démonstrateur a été proposé en libre service au public du salon (www.laval-virtual.org).



Figure 23 : Système présenté à « Laval Virtual 2004 »

- **Juin 2004 : Journées RIAM organisées à Rennes**

Le projet a été présenté dans le cadre des posters par Pascal MOBUCHON.

- **Octobre 2004 : Colloque « Résonances » à l'IRCAM**

Le projet a fait l'objet d'une communication qui a été présentée lors des journées du design sonore par Jean-Philippe LAMBERT (www.design-sonore.org/prog_fr.html, resonances2004.ircam.fr).

- **Septembre à décembre 2004 : Exposition « Ecoute » au CAC Beaubourg**

Le démonstrateur final a présenté lors de l'exposition « Sons & Lumières » organisée au centre Beaubourg, et plus précisément dans la galerie des enfants dans le cadre de l'exposition « Ecoute ». Cette exposition a accueilli de l'ordre de 20000 visiteurs et le système a pu être essayé par plus de 3000 personnes qui sont repartis avec le résultat de leur prestation gravé sur un CD audio.



Figure 24 : Installation présentée lors de l'exposition « Ecoute »

Dans ce cadre, le système a rencontré un franc succès auprès du grand public et des professionnels comme le témoigne le livre d'or de l'exposition. Les réactions ont été très positives et de cette expérience émergent de nouvelles idées d'interactions. Maintenant que le système est techniquement opérationnel, il va permettre d'expérimenter d'autres métaphores d'interface.

A noter que cette exposition au centre Pompidou a duré trois mois aux cours desquels le système est resté opérationnel et accessible au public 90% du temps. Ceci est une première car aucun système complexe intégrant une interface haptique n'avait déjà été mise en libre service pour le grand public pendant une si longue période.

7.2.2 Supports de communication

Des supports de communication ont été réalisés pour diffuser les concepts mis en place dans le cadre de PHASE.

Une plaquette et un poster de présentation du système ont été édités :



Figure 25 : Plaquette

D'autre part, un film d'une durée de une demi-heure a été réalisé. Ce film présente le système, son exploitation par le public et des explications détaillées par les différents intervenants.



7.3 ACTIONS PREVUES

Le projet et ses résultats vont être présentés dans les manifestations suivantes :

- GW 2005 : The 6th International Workshop on Gesture in Human-Computer Interaction and Simulation (www-valoria.univ-ubs.fr/gw2005)

Des soumissions sont d'ores et déjà prévues dans le cadre de plusieurs tribunes scientifiques internationales qui ont été identifiées :

- NIME (www.nime.org)
- EuroHaptics (www.worldhaptics.com)
- ACM Multimedia (www.acm.org/sigmm)
- IEEE Multimedia (www.computer.org/multimedia/edcal.htm)
- ICME (www.icme2005.org)
- IEEE VR (www.vr2005.org)

Par ailleurs, le système va être, une nouvelle fois, présenté au grand public dans une configuration proche de celle de l'exposition « Ecoute » à l'espace de création numérique « Le Cube » à Issy-les-Moulineaux en mars 2005 (www.lesiteducube.com) dans le cadre de la fête de l'Internet.

8. GESTION DES RISQUES

8.1 INTRODUCTION

Ce chapitre liste les risques qui ont été rencontrés au cours de ce projet et la manière dont ils ont été gérés.

8.2 ORGANISATION

Les six premiers mois du projet PHASE ont mis en évidence le caractère purement exploratoire du projet :

- Champ de recherche
Nous avons travaillé sur un matériau relativement vierge et les directions de recherche potentielles étaient très nombreuses tant le sujet est vaste.
- Multiplicité des intervenants
Le projet a fait intervenir une grande quantité d'intervenants qui ont des origines extrêmement diversifiées : compositeurs, musiciens, graphistes, ergonomes, informaticiens, roboticiens, mécaniciens, etc.
Leur niveau de connaissance des différents domaines concernés était très hétérogène d'autant plus qu'il leur était difficile de se faire une idée concrète d'un dispositif qui n'était pas encore développé.

Des recentrages réguliers ont été nécessaires dans le but de refocaliser le projet sur son cœur innovant : la recherche de métaphores multi-sensorielles originales pour la manipulation du son et de la musique. En d'autres termes, le projet ne devait pas trop s'attarder sur le contenu artistique mais plutôt sur la manipulation de ce contenu et sur les moyens associés (création, modification, exploration, etc.).

Il est par ailleurs rapidement apparu que l'organisation originellement prévue n'était pas adaptée. En effet cette organisation suivait le schéma classique d'un développement informatique (cycle en V, etc.) et occultait complètement l'aspect exploratoire du projet. Il en a découlé l'introduction d'une phase de maquettage itératif qui s'est avérée absolument nécessaire mais néanmoins très lourde en charge de travail. En conséquence, un nouveau planning a été établi.

D'autre part, la fin du projet s'est concrétisée par une présentation publique au cours d'une exposition dont le planning était fixé de longue date et ne laissait donc aucune marge de manœuvre en termes de dérive. Un suivi très rigoureux a donc du être mis en place afin de respecter cette contrainte.

Les importants délais de paiement des subventions ont posé de réels problèmes d'organisation, problèmes particulièrement critiques pour des PME n'ayant pas une importante structure financière comme ONDIM et HAPTION.

8.3 DEVELOPPEMENTS TECHNOLOGIQUES

Le principal autre problème rencontré lors de ce projet porta sur le fait que son cœur – La recherche de métaphores d'interaction – supposait qu'un ensemble de technologies soit disponible. Or le développement de ces éléments était très lourd, et tant qu'il ne fut pas terminé, la phase de mise au point des métaphores ne put être pleinement lancée.

Ces développements concernaient principalement :

- Le matériel

Un organe haptique spécifique a été développé dans le cadre du projet. Sa spécification nécessitait un minimum de maturité du projet et de ses partenaires. Compte tenu des délais de conception et de réalisation, cet organe haptique ne fut disponible que tardivement. Cependant, nous avons quand même pu d'une part utiliser temporairement un autre organe haptique mais qui n'était pas disponible à 100 % pour le projet, et d'autre part nous avons pu émuler partiellement l'aspect positionnement/mouvement à l'aide d'une tablette graphique.

- Le logiciel de base

Mise en place de la plate-forme avec ses différents éléments : librairie haptique, communication, interfaces et intégration.
Les métaphores ont été évaluées partiellement avant intégration des différentes modalités. La modalité sonore des métaphores a été développée à l'aide d'une tablette graphique.

9. CONCLUSION

L'utilisation d'un dispositif haptique pour jouer de la musique soulève de nombreuses questions : techniques, scientifiques et musicales. Dans le cadre du projet PHASE, des outils matériels, logiciels et méthodologiques ont été développés, pour permettre l'élaboration et la réalisation de métaphores ayant un sens musical. Ceux-ci sont maintenant disponibles et utilisables via le prototype existant.

La réalisation d'une installation interactive pour le grand public sous la forme d'un jeu musical intégrant différentes métaphores, et le succès qu'elle a rencontré auprès d'un public très varié allant d'enfants à des compositeurs montre la validité d'un tel dispositif et ouvre la voie à de nombreuses manipulations musicales gestuelles originales.

Sur le plan technique, le projet PHASE a aussi permis à chacun des partenaires de réaliser des développements capitalisables dans un contexte beaucoup plus large :

- Pour le CEA et HAPTION, par l'amélioration significative de la robustesse et de l'ergonomie du bras Virtuouse, et par l'ajout de nouvelles fonctionnalités (guides virtuels)
- Pour ONDIM, par l'enrichissement des fonctionnalités de son composant physique et haptique pour Virtools
- Pour l'IRCAM par des algorithmes de "mapping" de gestes sur le contrôle, de nouveaux modèles (métaphores) de contrôle de processus musicaux implantés en MAX/MSP et enfin de nouveaux patches MAX/MSP de synthèse sonore

Ce projet nous a également permis d'expérimenter la combinaison du retour d'effort et du retour tactile. Cependant, les contraintes matérielles d'intégration et les contraintes de planning ne nous ont pas permis pour l'instant de mener à terme le développement d'applications exploitant pleinement cette combinaison dont l'apport reste donc à démontrer. Ce domaine de recherche reste ouvert.

Enfin, l'installation à Beaubourg a permis d'améliorer l'image du retour d'effort :

- Après du grand public, pour qui le retour d'effort est en général associé à des systèmes de mauvaise qualité (joysticks, volants)
- Après de compositeurs, qui pourraient être intéressés par des expérimentations utilisant cette technologie
- Après de publics professionnels, en particulier des professeurs d'écoles, qui pourraient solliciter le développement d'outils pédagogiques mettant en œuvre la réalité virtuelle et le retour d'effort

10. REMERCIEMENTS

