

Objets physiques pour manipuler des sources sonores

Phicon + Earcon = Phearcon

Sylvain Daudé
CLIPS-IMAG Equipe IHM
BP 53
38041 Grenoble Cedex 9, France
+33 (0)4 76 51 44 40
sylvain.daude@imag.fr

Laurence Nigay
CLIPS-IMAG Equipe IHM
BP 53
38041 Grenoble Cedex 9, France
+33 (0)4 76 51 44 40
laurence.nigay@imag.fr

RESUME

Cet article présente un nouveau type d'interface, les Phearcons, qui sont des objets physiques liés à des sources sonores spatialisées selon la position des objets et représentant des sources d'informations. Nous visons la conception et la réalisation d'une plateforme appelée Phearcons permettant la définition et l'exécution de telles interfaces. Cet article définit des règles de conception ainsi qu'un processus de spécification et d'implémentation d'une telle plate-forme.

ABSTRACT

This article introduces a new kind of interface, the Phearcons, which are physical objects linked to audio sources that are spatialized according to the objects position and represent information sources. We aim at designing and developing a platform called Phearcons for specifying and running such interfaces. This article provides design rules as well as a process for the specification and implementation of such a platform.

Categories and Subject Descriptors

H.5.2 User Interfaces, D.2.2 Design Tools and Techniques

General Terms

Design, Experimentation.

Keywords

Phearcons, Sources Sonores, Icônes Physiques, Sonification.

1. PHICON+EARCON=PHEARCON

Cet article présente les Phearcons, qui sont des objets physiques (phicons [15]) reliés à des sources sonores (earcons [4]), spatialisées selon la position des objets et représentant des sources d'informations. Nous visons la conception et la réalisation d'une plateforme appelée Phearcons permettant la définition et l'exécution de telles interfaces. Les applications de ce nouveau

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.
Conference '04, Month 1-2, 2004, City, State, Country.
Copyright 2004 ACM 1-58113-000-0/00/0004...\$5.00.

paradigme d'interaction incluent entre autres :

- le suivi de sources d'informations ; en approchant ou en éloignant les objets, l'utilisateur peut faire passer les sources d'informations correspondantes au premier plan ou à l'arrière plan [15].
- l'audio-conférence ; en déplaçant des figurines représentant des interlocuteurs, il est possible d'éteindre momentanément un locuteur ou de passer d'un groupe de discussion à un autre.
- la composition musicale assistée par ordinateur, par la manipulation directe de sources sonores matérialisées par des objets [20].

La figure 1 présente l'interaction avec les Phearcons dans la plateforme en cours de développement :

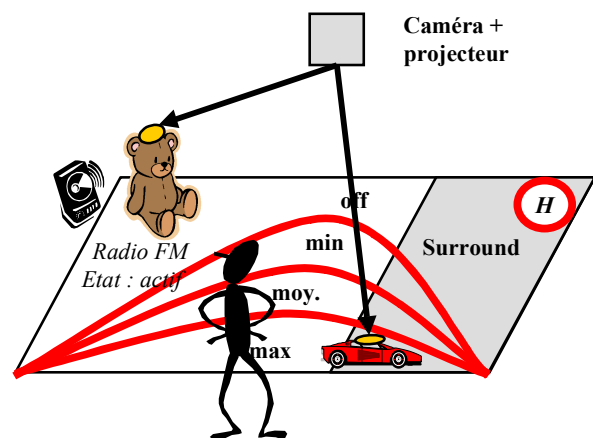


Figure 1. Les Phearcons en cours d'utilisation.

- Les objets sont posés sur une table ; ils sont surmontés de jetons auto-collants, dont les positions sont déterminées par un système de vision par ordinateur [3]. Les objets détectés par le système de vision mais non associés à une source sonore sont identifiables par une croix rouge projetée dessus, ce qui permet à l'utilisateur d'être informé que le lien entre un objet physique et la source sonore associée a été rompu par le système (ce qui peut par exemple arriver si le jeton sur l'objet a été caché momentanément). D'autre part le fait de secouer un objet associé à une source sonore projette des informations contextuelles à côté de l'objet, comme le nom de la source sonore, et joue éventuellement un son caractéristique de la source (toujours le même).

- Trois demi-cercles concentriques définissent quatre zones de volume sonore.
- Une partie Surround de l'interface permet aux sons d'être joués à partir de tous les haut-parleurs.
- Une zone Historique (H) permet de rejouer la dernière séquence d'une source sonore. La durée de la séquence est paramétrable par l'utilisateur.

Nos travaux s'inscrivent dans la lignée des *interfaces naturelles* de la taxonomie des systèmes pervasifs d'Abowd et Mynatt [1]. Cette taxonomie différencie quatre axes de recherche sur les systèmes pervasifs : (i) les interfaces naturelles, permettant de communiquer avec l'environnement informatique selon des modes de communication usuels dans l'environnement physique, comme la parole, l'écriture ou plus récemment la manipulation d'objets physiques [11, 15, 14], (ii) les interfaces sensibles au contexte, (iii) celles qui doublent la mémoire de l'utilisateur en restituant des scènes réelles enregistrées automatiquement et (iv) l'« informatique au quotidien » (*everyday computing*), dont l'enjeu est d'assurer une présence continue auprès de l'utilisateur.

Après avoir justifié l'intérêt et les apports de l'interaction avec les Phearcons, nous présentons nos choix de conception et d'implémentation pour une plate-forme de définition et d'exécution des Phearcons. Nous situons enfin les Phearcons par rapport à des projets existants puis nous concluons par une synthèse de nos contributions et un exposé de nos travaux futurs.

2. JUSTIFICATION

2.1 Justification éthique

Notre première motivation est de proposer un système pervasif laissant le plus de contrôle possible à l'utilisateur. Nous nous opposons en effet à une certaine approche de l'informatique pervasive, qualifiée par Araya d'« absolutisme technologique » [2], qui consiste à faire disparaître l'informatique de l'environnement perceptif de l'utilisateur et à la rendre autonome. Avec les Phearcons, l'utilisateur définit lui-même les objets qui seront associés aux sources sonores ainsi que les paramètres des sources sonores. L'utilisateur peut enfin contrôler à tout instant les sources sonores en manipulant les objets physiques.

2.2 Justification conceptuelle

2.2.1 Intérêt du son dans les interfaces en sortie

La diffusion d'informations sous forme sonore dispose de multiples atouts.

Tout d'abord, le son en sortie fournit un canal de communication supplémentaire qui permet d'alléger ou de remplacer le système humain de perception visuelle. Outre les interfaces pour aveugles, cette propriété s'avère utile dans les situations mobiles, où la vue de l'utilisateur est nécessaire à la navigation. L'autoradio est un bon exemple de source sonore utilisée en situation mobile. Le son est aussi utilisé dans les interfaces graphiques pour fournir un retour d'informations complémentaires ne saturant pas l'affichage.

En second lieu, l'ouïe est particulièrement compétente pour traiter certains types d'informations. Sa faculté à analyser plusieurs sources simultanées a été qualifiée d'« effet cocktail » [17] : si dans une réception plusieurs personnes nous parlent simultanément, le fait de nous concentrer sur une personne

particulière nous permet de l'entendre indépendamment des autres ; nous sommes de plus capables de passer à un autre locuteur très rapidement. Les alertes sont un autre type d'informations où l'oreille s'avère très efficace, du fait que le son est non évitable et que le système auditif est très réactif (probablement car sa fonction première est de permettre une réaction rapide en cas de danger immédiat). Enfin, de récentes études ont montré que l'ouïe pouvait être plus efficace que la vue pour analyser des données complexes, comme l'évolution de données numériques d'un nombre élevé de dimensions [10].

Utilisé en arrière-plan, le son devient un média d'ambiance [16] qui se fond naturellement dans l'environnement perceptif de l'utilisateur. Si un événement inhabituel intervient dans une source sonore présentée à l'utilisateur, son attention est automatiquement attirée (écoute passive) ; à l'inverse, il peut choisir d'écouter une source sonore particulière (écoute active). Ces deux types d'écoute lui permettent de suivre des sources sonores en arrière-plan tout en menant une activité principale indépendante.

Enfin, le son, lorsqu'il est spatialisé, peut procurer à l'utilisateur un sentiment d'immersion. C'est une de ses principales utilisations en réalité virtuelle [13].

2.2.2 Propriétés ergonomiques des Phearcons

Nous envisageons de nombreux avantages à ce nouveau paradigme d'interaction et à la possibilité qu'a l'utilisateur de définir lui-même ses Phearcons. Nous les classons selon des critères d'ergonomie [23, 25] :

- Adaptabilité : L'utilisateur choisit les objets physiques et les sons les plus pertinents par rapport aux informations diffusées. De plus il positionne les objets selon son but et sa tâche courants : par exemple, en approchant un objet il fait passer la source sonore correspondante au premier plan.
- Familiarité : L'utilisateur s'entoure d'un environnement familier en choisissant des objets et des sons familiers.
- Concision de la manipulation des sources sonores : L'utilisateur manipule directement les sources sonores (non tangibles) à l'aide d'objets physiques (tangibles). Par exemple, le fait de déplacer un objet revient à changer la position et le volume de la source sonore correspondante.
- Interaction multifilaire avec les sources sonores : L'utilisateur peut manipuler plusieurs sources simultanément et suivre plusieurs sources d'informations simultanément.
- Observabilité des sources sonores par leur meilleure discrimination : l'effet cocktail permettant de séparer les sources sonores est amélioré d'une part par la spatialisation des sons, et d'autre part par leur association avec des objets. Cette association permet en effet une meilleure mémorisation de la nature et de l'emplacement des différentes sources sonores.

2.3 Justification expérimentale

Avant de développer la plate-forme d'interaction avec des Phearcons, nous avons mené une expérimentation Magicien d'Oz afin d'obtenir des règles de conception pour ce type d'interface.

2.3.1 Méthode

L'expérimentation simulait une situation médicale impliquant le suivi par onze sujets de deux sources sonores relatives à un

patient : une alerte indiquant une pression sanguine anormale et le son continu d'une respiration. Trois autres sources sonores étaient de plus présentées : une radio, le son émis par le bébé supposé du sujet à la maison et un son représentant la météo, joué toutes les cinq minutes.

Après avoir choisi parmi un ensemble d'objets lesquels associer à chaque source sonore, il était demandé aux sujets de choisir les actions qui leur permettraient de contrôler les sources sonores – lire, arrêter, diminuer ou augmenter le volume, faire venir un son de tous les hauts parleurs, lire ou arrêter toutes les sources sonores à la fois– en utilisant le langage naturel, les gestes ou des manipulations d'objets. Durant l'expérimentation, les sujets devaient compléter des formulaires médicaux et répondre à des appels téléphoniques. Il leur était de plus demandé d'appeler un médecin en cas d'anomalie dans les deux sons suivis.

2.3.2 Résultats

Les résultats ont été encourageants, 91% des sujets ayant apprécié ce type d'interaction. Ils ont particulièrement aimé pouvoir surveiller des informations tout en faisant autre chose. Tous les sujets se sont sentis à l'aise avec les associations (qu'ils avaient définies) entre les objets et les sources sonores. Toutefois, contrairement à l'identification des objets, ils ont trouvé difficile de se souvenir des actions sur les objets physiques qu'ils avaient choisies au début de l'expérimentation pour contrôler les sources sonores.

A partir des comportements observés et des commentaires des sujets, nous avons pu identifier un ensemble de règles de conception pour une interaction de type Phearcons, qui ont été intégrées dans la plate-forme de définition et d'exécution des Phearcons que nous sommes en train de développer.

- Association entre source d'information et objet : L'apparence de l'objet doit rappeler la sémantique de la source d'informations associée.
- Actions possibles : L'aspect physique des objets doit suggérer leurs manipulations –être tridimensionnel, de la taille de la main et si possible contenir des boutons–. Il est cependant conseillé que ces manipulations se limitent à actionner des boutons sur les objets ou à les déplacer dans des zones délimitées. Enfin, les tâches accessibles directement doivent inclure la possibilité de rejouer la dernière séquence d'une source sonore et de faire venir un son de tous les haut-parleurs à la fois (cette dernière fonction ayant été particulièrement appréciée pour la radio).
- Sources sonores : Les sons suivis doivent être faciles à différencier et si possible être émis discrètement dans le temps, soit à intervalles réguliers, soit lors de chaque événement, afin de ne pas surcharger l'utilisateur. Par ailleurs, lorsqu'une source sonore a été éteinte par l'utilisateur, l'arrivée d'événements devrait être signalée de manière non auditive, par exemple en éclairant l'objet. Enfin, lorsqu'aucun son n'est émis par une certaine source sonore, l'utilisateur doit être en mesure de déterminer si cette source est en panne ; une solution proposée spontanément par plusieurs sujets consistait à secouer l'objet associé à la source.

3. PROCESSUS DE SONIFICATION

Avant de pouvoir utiliser les Phearcons, l'utilisateur doit définir les objets, les sources d'informations, les sources sonores et leurs

associations. L'association d'une source d'informations à une source sonore requiert de définir le processus pour passer de l'une à l'autre, le processus de « sonification ».

Nous avons donc identifié les étapes et les paramètres du processus de sonification, ces étapes et paramètres sont explicites dans notre plate-forme de définition des Phearcons.

Pour identifier ces étapes et paramètres de conception, nous avons adapté le processus de visualisation défini par Ed Chi [6] à la sonification¹. La figure 2 montre le parallèle entre les deux processus.

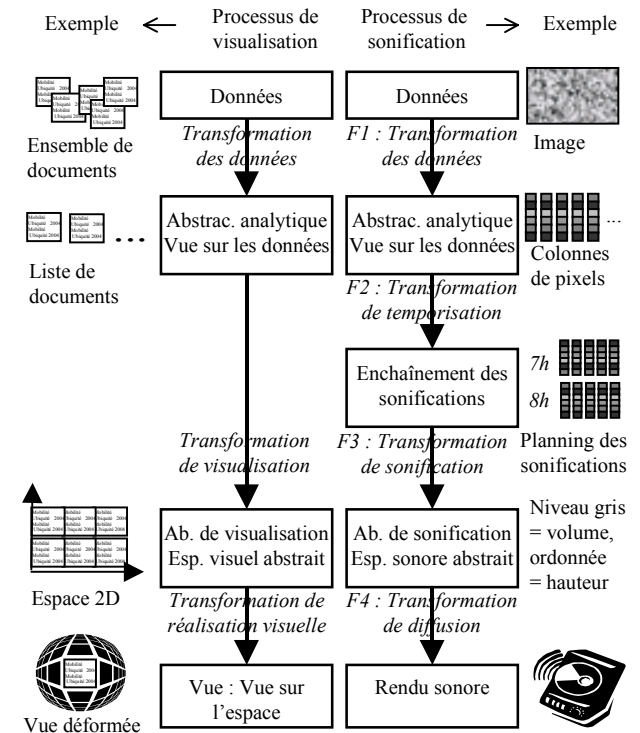


Figure 2. Parallèle entre le processus de visualisation de Chi et notre processus de sonification

La sonification d'un ensemble de données se décompose en cinq niveaux d'abstraction et quatre transformations successives, F1 à F4, entre les niveaux. F1 consiste à abstraire, à partir de l'ensemble initial de données, les données à sonifier ; elle dépend à la fois des données, de leur sémantique et de la tâche de l'utilisateur final. F2 définit l'ensemble des instants où l'ensemble de données ainsi obtenu va être sonifié, et gère par exemple la répétition des sons dans le temps ou l'interruption explicite de cette répétition par l'utilisateur. F3 définit, à partir de l'ensemble de données abstraites, un son abstrait localisé dans un espace euclidien. F3 implique deux étapes : la transformation de chaque élément de l'ensemble de données à sonifier en un son abstrait (en faisant correspondre leurs valeurs, leurs structures et leurs sémantiques), puis la coordination des sons abstraits obtenus dans le temps et dans l'espace. Enfin, F4 transforme le son abstrait en

¹ Une description détaillée du processus de sonification pourra être trouvée dans [8].

un son physique en trois étapes : après avoir choisi un point de vue sur l'espace sonore abstrait, les paramètres du périphérique sont calculés, puis transformés en un signal sonore qui est diffusé sur un dispositif physique. Les principales contributions de notre processus sont (i) de permettre la classification d'interfaces sonores existantes et (ii) de guider le concepteur en structurant sa conception et en l'aidant à se poser les bonnes questions au bon niveau d'abstraction. Nous avons intégré explicitement les éléments de notre processus de sonification à la plateforme de spécification des Phearcons

4. LA PLATE-FORME PHEARCONS

4.1 L'interface graphique de spécification des Phearcons

4.1.1 Présentation générale

Dans l'interface graphique de définition des Phearcons en cours de développement, chaque Phearcon est présentée en trois zones de texte alignées décrivant respectivement l'information, l'objet et le son qui la constituent. Les représentations des différents Phearcons sont ensuite disposées en étoile, afin de minimiser le temps de recherche d'une Phearcon, comme le montre la figure 3.

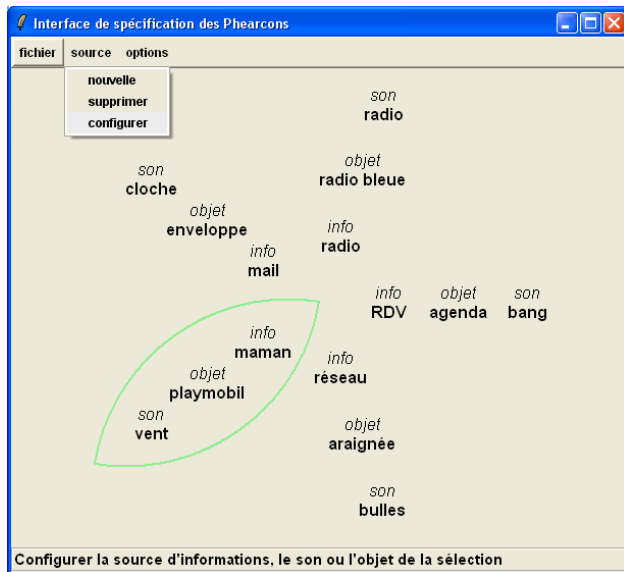


Figure 3. Écran principal de l'interface de définition des Phearcons.

Comme le montre la figure 4, trois niveaux de configuration d'une Phearcon sont proposés selon le degré d'expertise de l'utilisateur :

- L'utilisateur débutant peut choisir la source d'informations de la Phearcon parmi une liste prédéfinie. Un choix dans cette liste détermine automatiquement un parcours dans le processus de sonification, c'est-à-dire les valeurs d'un ensemble de paramètres de sonification. Il peut de même choisir un son parmi une liste prédéfinie de sons.
- L'utilisateur intermédiaire peut définir la valeur des paramètres du processus de sonification à partir des choix qui lui sont proposés ; si par exemple les données initiales sont numériques, il peut les faire passer par un filtre à seuil dont il

fixe le seuil. Il lui est de plus possible d'enregistrer ses choix et ainsi d'augmenter la liste des sources d'informations et des sons prédéfinis.

- L'utilisateur confirmé ou le développeur d'applications peut ajouter dynamiquement ses propres paramètres, à l'aide d'une entrée « Définir... » dans certaines listes à choix ; par exemple il peut importer son propre algorithme de filtrage des données ou de synthèse sonore.

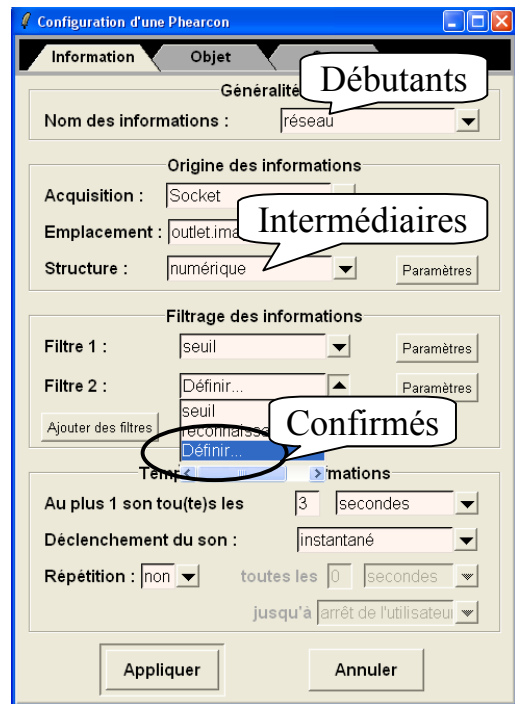


Figure 4. Trois niveaux de configuration des Phearcons pour trois niveaux d'expertise.

Nous présentons ici les choix proposés par défaut à l'utilisateur intermédiaire, des informations concernant l'extensibilité de la plate-forme sont présentées en section 5.

4.1.2 Définition d'une source d'informations

Définir une source d'informations revient à définir les trois premières étapes et les deux premières transformations F1 et F2 du processus de sonification. Les paramètres proposés à l'utilisateur pour définir la source d'informations d'une Phearcon ont été obtenus à partir de paramètres du processus de sonification identifiés dans [8].

Nous proposons de définir les données initiales par :

- leur nom, qui peut être entré manuellement ou choisi parmi une liste prédéfinie (utilisateurs débutants).
- leur acquisition, qui peut provenir d'une socket, d'un flux sur internet ou de l'entrée d'un périphérique sonore.
- leur emplacement, qui référence la socket, le flux ou le dispositif sonore où trouver les données. Alors que l'emplacement d'une socket peut être défini manuellement, l'emplacement d'un dispositif sonore ne peut être choisi qu'à partir d'une liste générée automatiquement par le système.

- leur type, qui peut être numérique, vidéo, audio ou temporel (c'est-à-dire de la forme (*instant, valeur*)). L'ensemble des types proposés dépend encore une fois de l'acquisition des données ; par exemple si les données sont obtenues par un dispositif sonore, seul le type « audio » sera disponible. Pour chaque type, il est possible de spécifier des paramètres avancés, comme les bornes de données numériques ou les dimensions d'une vidéo.

La spécification de la transformation des données consiste quant à elle à définir une séquence de filtres disposés en série, l'entrée du premier filtre correspondant aux données initiales. Les choix proposés pour chaque étape du filtrage sont contraints par le type de données obtenues en sortie du filtre précédent. Des données numériques pourront par exemple être filtrées par un filtre à seuil, tandis qu'une image vidéo peut être traitée en sommant les intensités de tous ses pixels.

Enfin, les paramètres de temporisation qui s'appliquent aux données filtrées permettent de définir :

- Un élagage des données sur des critères temporels, par exemple en ne conservant qu'une donnée par seconde.
- Le moment de la première sonification des données, la fréquence de répétition des diffusions et la condition d'arrêt de la répétition. Par exemple, l'utilisateur peut choisir de présenter une donnée temporelle représentant un rendez-vous à partir de dix minutes avant l'heure du rendez-vous, puis de la rejouer toutes les cinq minutes jusqu'à ce que l'utilisateur bouge l'objet correspondant ou que l'heure du rendez-vous soit écoulée.
- La durée pendant laquelle le système doit conserver la trace des dernières sonifications déclenchées, afin de pouvoir les répéter si l'utilisateur le souhaite (c'est-à-dire, dans notre plate-forme d'interaction, s'il place un objet dans la zone d'historique).

4.1.3 Définition d'un son

Les paramètres permettant à l'utilisateur de spécifier le son d'une Phearcon ont été obtenus en regroupant des paramètres de conception identifiés pour les transformations de sonification F3 et de diffusion F4 du processus de sonification. Ils décrivent un son suivant :

- son nom, entré manuellement ou choisi dans une liste déroulante. Le nom du son permet d'une part d'en faciliter la représentation textuelle dans l'interface graphique, et d'autre part de fournir l'accès à des définitions de sons prédéfinis.
- son mode de dépendance avec les données, qui peut être statique si la sonification consiste à déclencher un unique échantillon sonore à chaque arrivée de donnée, ou dynamique si elle implique un calcul en temps réel du son en fonction des données.
- son mode de synthèse, qui peut être entré manuellement ou choisi parmi une liste prédéfinie. Cette étape revient à entrer un nom de fichier pour un son calculé statiquement et à indiquer le nom d'un algorithme de synthèse pour un son calculé dynamiquement. Dans le cas d'une sonification dynamique, les algorithmes de synthèse sonore proposés dépendent du type des données filtrées. La valeur de données numériques peut par exemple être associée à la hauteur d'un son musical dont le timbre et la durée sont paramétrables ou encore à l'intensité d'un son de vent [7].

- son intensité absolue, qui caractérise le gain à appliquer au signal avant de diffuser le son. Ce paramètre est indépendant du volume sonore relatif défini par la position de l'objet ; il permet à l'utilisateur d'harmoniser le volume des différentes sources sonores.
- son mode de diffusion, c'est-à-dire le dispositif sonore à partir duquel le son va être émis. La liste des dispositifs est déterminée automatiquement par le système, et dépend de l'algorithme de synthèse choisi ; si par exemple l'algorithme génère des événements MIDI, seuls les périphériques acceptant cette norme seront proposés.

4.1.4 Définition d'un objet physique

Enfin, nous proposons d'identifier un objet par :

- son nom, entré manuellement ou choisi dans une liste déroulante. Le nom de l'objet permet d'une part d'en faciliter la représentation textuelle dans l'interface graphique, et d'autre part de fournir un accès à des définitions d'objets physiques prédéfinies.
- son mode de reconnaissance, qui se limite dans notre cas au suivi par vision par ordinateur. Pour chaque mode de reconnaissance il doit être possible de calibrer l'objet, c'est-à-dire de le faire identifier par le système. Dans notre plate-forme la calibration s'effectue en agitant l'objet devant la caméra.
- son utilisation, qui se limite en général à déplacer l'objet.
- son identifiant sonore ou « jingle », qui est un échantillon sonore caractérisant l'objet. Un jingle est défini par un fichier sonore et par les conditions dans lesquelles il doit être joué : à chaque déplacement de l'objet (ce qui permet de savoir si la source sonore correspondante est en panne), ou à chaque son émis (ce qui permet de donner une information supplémentaire sur l'identité de la source sonore et peut s'avérer utile si par exemple le son émis n'est pas facilement identifiable).
- le son émis lorsque l'objet est déplacé. Ce son est calculé en temps réel en fonction de la vitesse de déplacement de l'objet pour confirmer à l'utilisateur que le déplacement a été pris en compte. Les sons disponibles incluent des sons « aérodynamiques » ressemblant aux sons émis par un fleuret déplacé vivement dans l'air [9], et un son de frottement utilisé dans le Sonic Finder [12].

4.2 Implémentation

4.2.1 Langage de programmation

Les spécifications de la plate-forme exigeant une grande flexibilité, par exemple de pouvoir ajouter des algorithmes dynamiquement, l'essentiel de la plate-forme est écrit dans le langage interprété Tcl/Tk muni d'un mécanisme objet. Les routines sonores sont implémentées en C et utilisent la boîte à outils sonore FMOD ; elles peuvent être appelées à partir de Tcl par le biais d'une librairie dynamique. Enfin les fonctions de vision par ordinateur et de projection sur la table sont assurées par une boîte à outils de vision par ordinateur [3]. Ces éléments étant disponibles sur plusieurs systèmes comme Mac, PC et Linux, la plate-forme sera disponible sur ces systèmes.

4.2.2 Extensibilité de la plate-forme

La nature interprétée de Tcl permet d'exécuter un algorithme en évaluant la valeur d'une variable contenant le nom de la fonction

ou procédure qui l'implémente. Ceci fournit une manière élégante d'importer dynamiquement ses propres algorithmes. Par exemple, pour importer une fonction de filtrage prenant en argument une donnée et un ensemble de paramètres et renvoyant la donnée filtrée, il suffit d'indiquer à partir de l'interface de spécification des Phearcons (i) le nom du filtre, (ii) le type des données d'entrée et de sortie (nécessaires à l'interface), (iii) le nom de la fonction de filtrage et (iv) le nom d'une fonction permettant la spécification des paramètres du filtre par l'utilisateur. Cette fonction prend en argument une liste de valeurs –correspondant aux paramètres de l'algorithme–, ouvre une fenêtre permettant à l'utilisateur de modifier ces valeurs, et renvoie la liste des valeurs modifiées.

4.2.3 Architecture logicielle de l'interface de spécification des Phearcons

Comme le montre la figure 5, l'interface de spécification des Phearcons est structurée selon le modèle d'architecture ARCH [24], et communique avec des implémentations de Phearcons elles-aussi structurées selon ce modèle.

La partie de l'interface de spécification que nous implémentons s'étend du noyau fonctionnel à la présentation logique. En effet, l'utilisation combinée de Tcl/Tk et d'une boîte à outils de vision par ordinateur nous a permis de nous abstraire des contraintes liées à la plate-forme matérielle qui sont la spécialité de la présentation physique (PP), et d'obtenir un code portable sur plusieurs systèmes d'exploitation.

- Le noyau fonctionnel (NF) enregistre une représentation abstraite des Phearcons dans des fichiers.
- L'adaptateur du noyau fonctionnel (ANF) gère la modification et la récupération de ces représentations abstraites.
- Le contrôleur de dialogue (CD) gère l'enchaînement des tâches de l'utilisateur. Les tâches de l'utilisateur concernent ici la création, la suppression et la spécification des Phearcons, ainsi que la manipulation de fichiers.
- Enfin, la présentation logique (PL) gère l'interface graphique de définition des Phearcons, la projection d'informations générales (non spécifiques à une Phearcon) sur la table ainsi que le suivi des objets non associés à des Phearcons.

4.2.4 Architecture du composant « source sonore »

Comme le montre la figure 5, chaque source sonore est implémentée par cinq composants structurés selon le modèle ARCH. Nous avons en effet établi une correspondance entre ce modèle et notre processus de sonification :

- Le NF manipule les concepts centraux de l'application, qui pour une source sonore correspondent aux données de la source d'informations. Dans notre cas la récupération des données s'effectue par un module séparé, qui peut alimenter plusieurs sources sonores.
- L'ANF consiste à abstraire le noyau fonctionnel des spécificités de la plate-forme, tout comme la transformation des données vise à abstraire les données à sonifier à partir des données initiales (par une série de filtres dans notre implémentation).
- Le CD gère l'enchaînement des tâches de l'utilisateur. Pour une source sonore, ceci revient à organiser la séquence des sons

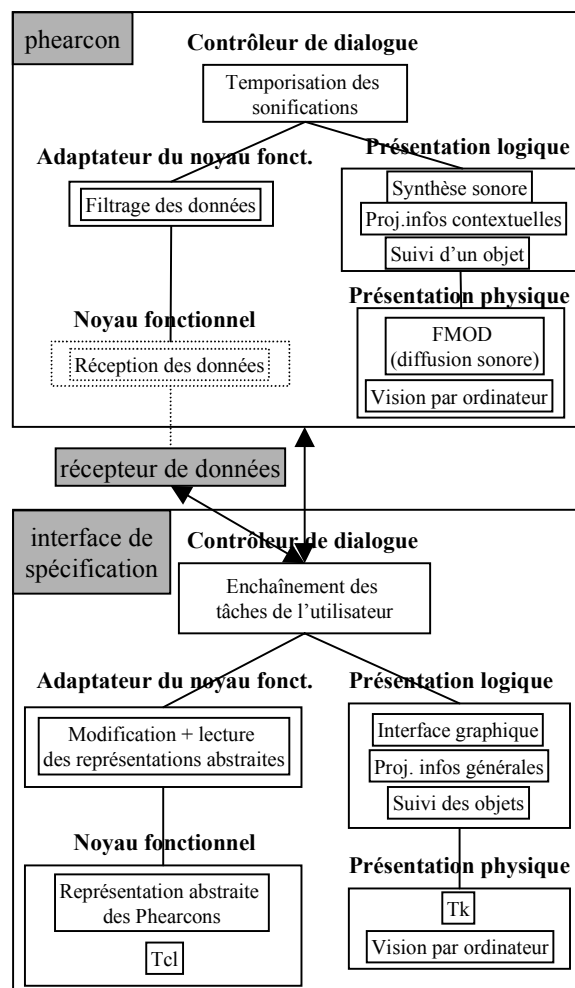


Figure 5. Architecture de la plateforme en cours de développement.

à jouer et à mémoriser les derniers sons joués en fonction des actions de l'utilisateur, ce qui est le rôle de la transformation de temporisation.

- La PL définit une abstraction de l'interface sonore finale, de même que la transformation de sonification permet d'obtenir une abstraction du rendu sonore par un algorithme de synthèse sonore. La PL est de plus chargée de l'affichage d'informations relatives à la Phearcon

- La PP calcule le rendu physique de l'interface sonore à partir de la PL, tout comme la transformation de diffusion calcule le son final à partir des données abstraites.

Nous voyons deux intérêts à transposer le découpage du processus de sonification à l'architecture de la source sonore :

- La modularité : il est par exemple possible de répartir la plate-forme sur plusieurs machines.
- La simplicité de configuration : configurer une étape du processus de sonification revient à définir des champs du composant correspondant.

5. TRAVAUX RELATIFS

5.1 Objets physiques

Plusieurs systèmes permettent de manipuler des sources sonores à l'aide d'objets physiques, notamment en informatique musicale où chaque objet représente une piste musicale [20]. Cependant à notre connaissance seul le projet Tangible Bits [15] permet la manipulation simultanée de plusieurs sources d'informations et utilise des objets physiques pour les représenter. Par exemple, le fait de déboucher une bouteille diffuse un son de trafic routier et permet à l'ingénieur système de connaître l'activité sur le réseau informatique. Outre le fait que l'association entre le son de trafic et la bouteille est dans ce cas arbitraire, le son est mélangé avec celui des autres sources sonores, ce qui rend la différenciation des sources délicate.

Plus généralement, les interfaces naturelles utilisant des objets physiques se divisent en deux catégories. La première catégorie présente les objets physiques comme des outils de manipulation agissant sur des représentations d'entités numériques. [15] propose par exemple d'agrandir ou de réduire des images projetées en leur « attachant » des briquettes qui agissent comme des poignées. Cette utilisation suppose néanmoins qu'il existe dans le monde physique une représentation des entités numériques localisée spatialement, ce qui n'est pas le cas des sources sonores en général. La deuxième catégorie considère les objets physiques comme des représentations dans le monde physique d'entités numériques. Ainsi, le Tangible Geospace [15] permet de projeter sur une table le plan d'un campus en fonction de la position de deux objets physiques représentant chacun un bâtiment du campus. Cependant, ceci ne permet pas d'avoir d'informations sur la source d'informations et il est généralement nécessaire de fournir à l'utilisateur une autre représentation des entités numériques. Les Phearcons adoptent une approche hybride, puisqu'elles décomposent l'association de sources d'informations (entités numériques) avec des objets physiques en deux étapes : la présentation des informations sous forme sonore, puis l'association des sons obtenus avec des objets physiques. De plus, alors que l'ensemble des systèmes existants utilisant des objets physiques fixent l'association entre l'objet physique et les entités du monde numérique associées lors de la conception, dans les Phearcons, l'utilisateur définit explicitement et dynamiquement l'association des objets physiques avec les sources sonores.

5.2 Sources sonores paramétrables par l'utilisateur

Plusieurs systèmes de sonification permettent à l'utilisateur de définir la valeur de paramètres de la sonification, selon des dimensions perceptives, comme le timbre d'un instrument [26], physiques, c'est-à-dire décrivant les caractéristiques physiques de la source sonore [5] ou orientés vers le signal sonore [22]. Cependant ces systèmes ne sont pas adaptés à la sonification en temps réel de sources d'informations et de plus ne différencient pas les niveaux d'abstraction du processus de sonification.

5.3 Le son comme média d'ambiance

Les systèmes utilisant le son comme média d'ambiance, lorsqu'ils ne visent pas à immerger l'utilisateur dans un environnement virtuel sont généralement dédiés au suivi d'activités en arrière-plan. Le système AROMA [21] permet par exemple de suivre

l'activité distante de collègues en altérant volontairement le son de leurs voix ; [19] proposent quant à eux de suivre l'état du réseau à l'aide de flux musicaux et [18] présente un environnement émettant un fond sonore diffusé en permanence et variant de manière continue en fonction des sources sonores suivies. Cependant dans ces systèmes, l'ensemble des sources sonores que l'utilisateur peut suivre est fixé à la conception.

6. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

6.1 Contributions

Les Phearcons définissent un nouveau paradigme d'interaction pervasive, permettant un contrôle direct et multifilaire de sources sonores par le biais d'objets physiques. L'association des sources et des objets permet de plus d'améliorer la discrimination des sources sonores, et donc leur suivi en arrière-plan.

Une contribution majeure des Phearcons est de permettre la définition explicite et dynamique par l'utilisateur des sources d'informations à surveiller, des paramètres de chaque étape de leur transformation en sons et des objets associés, selon trois niveaux d'expertise.

Enfin, cet article fournit des règles de conception générales ainsi qu'une façon de spécifier et d'implémenter une plate-forme de définition et d'exécution des Phearcons.

6.2 Travail à venir et perspectives

Une fois l'implémentation de la plate-forme terminée, nous mènerons un ensemble d'expérimentations visant à valider la plate-forme en testant respectivement :

- la pertinence des paramètres de haut niveau présentés par l'interface de définition d'une Phearcon.
- l'utilisation des Phearcons pour surveiller des sources sonores représentant des informations contextuelles, comme l'activité de groupe, en arrière-plan.
- l'utilisation des Phearcons sur une longue durée pour surveiller des sources distantes.
- la possibilité de contrôler les sources d'informations à l'aide des Phearcons en plus des sources sonores.

7. REFERENCES

- [1] Abowd, G. D., and Mynatt, E. D. Charting Past, Present, and Future Research in Ubiquitous computing. *ACM Trans. Comp.-Human Int.*, 7, 1 (Mar. 2000), 29-58.
- [2] Araya, A. A. Questioning ubiquitous computing. In *Proc. of the 1995 ACM 23rd annual conf. on Comp. Sci.*, 1995.
- [3] Bérard, F. The Magic Table: Computer-Vision Based Augmentation of a Whiteboard for Creative Meetings. *IEEE workshop on Projector-Camera Systems*, 2003.
- [4] Blattner, M., Sumikawa, D., and Greenberg, R. Earcons, icons : their structure, common design principles. In *Proc. HCI'89*, 1989.
- [5] Cadoz, C., Luciani A. and Florens, J.-L. CORDIS-ANIMA : a Modeling and Simulation System for Sound and Image Synthesis - The General Formalism. *CMJ*, 17, 1, 1993.
- [6] Chi, E. and Riedl, J. An Operator Interaction Framework for Visualization Systems. In *Proc. Info Vis '98*, 1998.

- [7] Conversy, S. *Conception d' Icônes Auditives Paramétrées pour les Interfaces Homme-Machine*. Thèse de doctorat, Université de Paris-Sud, 2000.
- [8] Daudé, S. and Nigay, L. Design Process for Auditory Interfaces. In *Proc. ICAD'03*, 2003, 176-179.
- [9] Dobashi, Y., Yamamoto, T., and Nishita, T. Real-time Rendering of Aerodynamic Sound Using Sound Textures based on Computational Fluid Dynamics. *ACM Trans. on Graphics*, 23,1 (*Proc. SIGGRAPH2003*), 2003, 732-740.
- [10] Fitch, W. T., and Kramer, G. Sonifying the body electric: Superiority of an auditory display over a visual display in a complex, multivariate system. In *Auditory display: Sonification, audification and auditory interfaces*, G. Kramer (Ed.), Reading, MA: Addison-Wesley, 1994, 307-326.
- [11] Fitzmaurice, G., Ishii, H., Buxton, W. Laying the Foundations for Graspable User Interfaces. In *Proc. CHI'95*, 1995, 442-449.
- [12] Gaver, W. The SonicFinder : An interface that uses auditory icons. In *Proc. HCI'89*, 1989, 67-94.
- [13] Gröhn, M., Lokki, T., and Takala, T. Comparison of Auditory, Visual, and Audio-Visual Navigation in a 3D Space. In *Proc. ICAD'02*, 2002, 200-203.
- [14] Harrison, B. L., Fishkin, K. P., Gujar, A., Mochon, and C., Want, R. Squeeze me, hold me, tilt me! An exploration of manipulative user interfaces. In *Proc. CHI'98*, 1998, 17-24.
- [15] Ishii, H., and Ullmer, B. Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms. In *Proc. CHI'1997*, 1997, 234-241.
- [16] Ishii, H., Wisneski, C., Brave, S., Dahley, A., Gorbet, M., Ullmer, B. and Yarin, P. *ambientROOM: Integrating Ambient Media with Architectural Space*. Published in the Conference Summary of CHI '98, April 18-23, 1998.
- [17] Jost, W. A. The Cocktail Party problem: Forty Years Later. In *Binaural and Spatial Hearing in Real and Virtual Environments*, R. H. Gilkey, T. R. Anderson (eds.). Erlbaum, NJ, 1997, 329-347.
- [18] Kilander, F., and Lönnqvist, P. A Whisper In The Woods - An Ambient Soundscape For Peripheral Awareness Of Remote Processes. In *Proc. ICAD'02*, 2002, 93-97.
- [19] Malandrino, D., Mea, D., Negro, A., Palmieri, G., and Scarano, V. NeMoS : Network monitoring with sound. In *Proc. ICAD 2003*, 2003, 251-254.
- [20] Paradiso, J. A., Hsiao, K. Y., and Benbasat, A. Tangible Music Interfaces Using Passive Magnetic Tags. *Presented at the NIME Workshop - CHI 2001*.
- [21] Pedersen, E., and Sokoler, T. AROMA: abstract representation of presence supporting mutual awareness. In *Proc. CHI'97*, 1997.
- [22] Puckette, M. Combining Event and Signal Processing in the MAX Graphical Programming Environment. *CMJ*, 15, 3, 1991, 68-77.
- [23] Scapin D., *Guide ergonomique de conception des interfaces homme-machine*, rapport INRIA n°77, 1986.
- [24] The UIMS Tool Developers Workshop. A metamodel for the runtime architecture of an interactive system. *ACM SIGCHI Bulletin*, 24, 1, 1992, 32-37.
- [25] Vernier F. *Usage de la multimodalité pour rendre perceptible un espace d'informations de grande taille*. Rapport de DEA, Université de Grenoble 1, 1997.
- [26] Walker, B. N., and Cothran, J. T. Sonification Sandbox: A graphical toolkit for auditory graphs. In *Proc. ICAD'03*, 2003, 161-163.