

Du modèle de tâches à la configuration de l'ordinateur porté

From Task Model to Wearable Computer Configuration

Olivier CHAMPALLE, Bertrand DAVID, Guillaume MASSEREY, René CHALON

LIESP, Ecole Centrale de Lyon, France
{Olivier.Champalle, Bertrand.David, Guillaume.Masserey, Rene.Chalon}@ec-lyon.fr

Résumé. Cet article décrit une démarche, qui à partir de la modélisation des tâches formalisant des activités que l'utilisateur vise à effectuer, affine et transforme ce modèle en faisant apparaître des tâches d'interaction, des techniques d'interaction et finalement des dispositifs d'interaction en vue d'aider au choix de dispositifs d'interaction pour l'ordinateur porté par un utilisateur mobile évoluant au sein d'un système prenant en compte le contexte. Cette démarche est basée sur une organisation de modèles permettant de passer progressivement des tâches aux dispositifs d'interaction en restant le plus longtemps possible indépendant de ceux-ci dans le respect de la plasticité. Pour cela un nouveau niveau intermédiaire comportant des atomes d'interaction indépendants des dispositifs a été introduit. Les dispositifs sont synthétisés dans un référentiel, qui a pour vocation de guider le concepteur dans le choix de configuration à utiliser à l'aide d'un raisonnement explicite. Les dispositifs choisis dans ce référentiel sont placés dans des matrices dispositifs/critères permettant de les comparer. Ces matrices aident au choix des dispositifs les plus performants c'est-à-dire les mieux adaptés aux tâches à réaliser. Après avoir présenté la démarche, nous l'illustrons dans notre cadre de recherche, à savoir l'ingénierie des systèmes mobiles pour les activités industrielles, notamment de maintenance. Avant de conclure sur l'apport de notre démarche nous montrons une autre voie, celle concernée par la réalité augmentée, dans laquelle la plasticité n'est pas prioritaire, car la création de couplages originaux entre objets réels et virtuels devient la priorité.

Mots-clés. Démarche d'ingénierie, approche dirigée par des modèles, tâches d'interaction, techniques d'interaction, atomes d'interaction, performance, ergonomie, ordinateur porté, réalité augmentée.

Abstract. This paper describes a method which, based on the modelling of the tasks that formalizes the activities the user wishes to perform, refines and transforms this model while revealing interaction tasks, interaction techniques and finally interaction devices in order to help with the choice of interaction devices for wearable computers evolving within a context-aware system. This method is based on an organization of models which allows to gradually move on from the tasks to the interaction devices while remaining independent from the latter for as long as

possible while respecting plasticity. In order to do so, a new intermediate level with device-independent interaction atoms was introduced. The choice of peripherals is based on a referential of interaction devices. This choice of devices depends on tasks to be supported and on contextual functional and non-functional requirements. A well organized selection process based on several device/criteria matrixes allows explicit comparison of configurations in terms of usability criteria. After the theoretical presentation of this method, we will illustrate it within our research framework, that is to say wearable computer interaction devices for mobile, contextual and collaborative maintenance activities. Finally, before concluding on the relevance of our method, we will explain a different type of user interface design which is augmented reality oriented and in which plasticity is not the main objective as it is the design of new and original couplings between real and virtual objects that becomes the priority.

Keywords. Task model, model-based approach, interaction tasks, interaction atoms, interaction techniques, wearable computer peripherals, engineering method, performance, ergonomics, augmented reality.

1 Introduction

L'ingénierie des systèmes mixtes (Wellner *et al.*, 1993) et mobiles (Plouznikoff et Robert, 2004) n'est pas une activité facile, car elle nécessite de bien connaître les dispositifs et technologies existants et de les choisir en tenant compte des exigences qu'il est souhaitable d'explicitier. C'est en particulier le cas en ce qui concerne le choix de dispositifs d'interaction pour les ordinateurs portés, ordinateurs non seulement portables (déplaçables), mais pouvant être utilisés en mouvement, en déplacement. Notre objectif est d'équiper l'acteur¹, porteur d'ordinateur porté, de dispositifs en adéquation avec les tâches qu'il doit assurer.

La diversité des dispositifs d'interaction dans le sillage des PDA et des Tablet PC, comme des lunettes de réalité augmentée, des gants numériques, des lecteurs RFID ou mêmes des téléphones portables... est très importante. Ceux-ci sont plus ou moins spécialisés et donc adaptés ou adaptables à des tâches à effectuer. Leur grand nombre et leur spécialisation contribuent à rendre leur choix difficile. Un choix inadapté peut rendre des tâches à réaliser ergonomiquement inappropriées et peu efficaces. D'un autre côté, l'indépendance des tâches par rapport aux contextes et aux dispositifs est un enjeu connu et dont l'importance n'est plus à démontrer (Thevenin, 2001). **Comment déterminer et composer logiquement des dispositifs d'interaction les mieux adaptés aux besoins de tâches applicatives en fonction des contextes tout en maintenant l'indépendance de ces dernières aussi longtemps que possible pour permettre l'adaptabilité**, c'est la question à laquelle nous tentons de répondre. Notre étude vise à proposer une démarche permettant de déterminer de façon constructive et explicite les dispositifs les mieux adaptés aux tâches applicatives tout en minimisant le nombre de ceux-ci, en adéquation avec le(s) contexte(s) d'utilisation visé(s).

Notre démarche est composée de deux étapes majeures (Masserey *et al.*, 2006). Dans la première, il s'agit d'identifier et de modéliser les tâches applicatives que l'acteur (utilisateur) aura à effectuer, de décomposer ces tâches pour faire apparaître des tâches d'interaction qui mettent en interaction l'homme et le système

¹ Tout au long de l'article nous utilisons le terme acteur, que nous trouvons plus précis que celui d'utilisateur, car dans nos activités plusieurs acteurs assurant différents rôles peuvent exister. Le terme utilisateur ne refléterait pas cette différenciation.

informatique mobile. Ceci est effectué sans préjuger sur les dispositifs d'interaction qui seront utilisés. Puis la seconde étape a pour but de concrétiser ces interactions en choisissant les dispositifs d'interaction (périphériques) appropriés, de faire le lien avec des tâches d'interaction et de valider le choix de l'ensemble des dispositifs à mettre en place.

Cette seconde partie de notre démarche fournit au concepteur un référentiel de dispositifs d'interaction organisé pour faciliter le choix. Un ensemble de matrices, dispositifs/critères, facilite l'évaluation de la performance de l'ordinateur porté équipé de dispositifs au fur et à mesure de sa conception et permet de se rendre compte des compromis à réaliser, en justifiant et traçant les choix effectués selon une approche de Design Rationale (Burge et Brown, 2000 ; Lacaze *et al.*, 2002 ; McKerlie et MacLean, 1994 ; Moran et Carroll, 1996 ; Farenc et Palanque, 1999). On peut ainsi aisément remettre en cause des choix si l'on se trouvait dans une impasse. Le choix d'un dispositif est quant à lui basé sur un raisonnement logique et rationnel QoC : Question – Option – Critère (Lacaze, 2005) prenant en compte différents critères (Lacaze *et al.*, 2002 ; Lingrand *et al.*, 2005). Cette démarche propose un processus itératif qui prend dans un premier temps en compte séparément les tâches à réaliser. Dans un second temps, on cherche à obtenir la continuité de l'interaction dans et entre les tâches (Florins *et al.*, 2004), ainsi que la réduction du nombre de dispositifs et la prise en compte du contexte. Il s'agit de converger vers un compromis entre la performance globale du système et les performances des tâches considérées individuellement.

Nous présentons dans un premier temps les deux étapes de la démarche, après avoir défini les notions fondamentales auxquelles elle fait appel. Puis, dans un deuxième temps nous décrivons son application à un cas d'étude concret. Avant de conclure, nous présentons une deuxième étape alternative qui vise des systèmes à réalité augmentée. En effet, dans ce cas la plasticité et donc l'indépendance aussi tardive que possible vis-à-vis des dispositifs n'est plus une priorité, bien au contraire, il s'agit de proposer d'augmenter des dispositifs réels, en général *ad hoc* par des compléments numériques en respectant cette fois-ci la continuité perceptuelle pour l'acteur.

2 Première étape de la démarche : modélisation à plusieurs niveaux

2.1 Principes

L'approche à base de modèles (Szekely, 1996) a été utilisée avec succès dans plusieurs domaines de l'informatique. C'est également le cas pour la conception des IHM, où les travaux sur les architectures ont été assez vite couplés aux modèles s'y attachant. Tant dans les architectures à couches (Langage, Seeheim, ARCH,...) que agents (MVC, PAC, AMF,...) on a clairement explicité des buts et donc des modèles de chacun des éléments (Fekete et Girard, 2001). C'est ainsi que le modèle de l'univers (monde modélisé) est en relation directe avec le noyau fonctionnel tant monolithique que agencé, le modèle d'interaction abstraite est lié avec la composante contrôle (appelée également dialogue) et les modèles de présentation abstraite et concrète correspondent à la composante présentation (comportant les deux niveaux abstrait et concret) dans ces architectures. Le modèle de tâches (ou de cas d'utilisation) étant plus global, celui-ci ne trouve pas naturellement son équivalent dans les modèles d'architecture, mais contribue de façon non négligeable à la découverte du monde modélisé (noyau fonctionnel) et du contrôle (modèle d'interaction abstraite), exprimant les souhaits des utilisateurs en matière de manipulations. C'est cette absence de projection directe qui a retardé son

implication plus rapide dans le processus de conception et de mise en œuvre des systèmes interactifs. Ceci est désormais le temps perdu rattrapé, car le modèle de tâche est maintenant considéré comme le point de départ de la plupart des démarches de conception des systèmes interactifs et sa participation est plus soutenue en plus soutenue car il contribue non seulement au début du processus, mais intervient par ses affinements dans les étapes successives (Kolski, 2001 Vanderdonckt, 2005).

Nous allons montrer dans les développements ci-dessous, comment la participation du modèle de tâches est centrale dans notre démarche.

Les tâches à réaliser par l'acteur utilisateur de l'ordinateur constitue le point de départ de notre démarche (figure 1, T). Leur modélisation a suscité beaucoup de recherches et d'outils de modélisation dont les deux plus connus sont CTT (ConcurTaskTree) avec CTTill et la méthode CTT (Paterno, 2000) et MAD outillée par K-MADE (Barot et al, 2006). Les deux, après avoir considéré des tâches de haut niveau, très globales, se transforment progressivement en tâches plus typées tâches utilisateur, dites cognitives, effectuées par lui seul, tâches machine, dites calculatoires et tâches de relation, qui expriment les échanges entre l'homme et le système. Ces trois types de tâches constituent un premier affinement. La structuration arborescente de l'organisation que ces affinements mettent en évidence. La disparition des tâches globales au profit de tâches plus précises en ce qui concerne le partage d'actions entre l'homme et la machine s'accompagne par l'explicitation de liens temporels et organisationnels entre ces tâches. Ainsi en utilisant des opérateurs de LOT (Bolognesi et Brinksma, 1988) Choix [], Indépendance d'ordre |=, Entrelacement |||, Synchronisation ||], Désactivation [>, Interruptibilité |>, Ordre séquentiel >>, Ordre séquentiel avec passage d'information []>>, CTT permet d'exprimer des séquences, choix, entrelacements, parallélismes, ... De cette manière les premiers éléments d'organisation des dialogues prennent forme et conduisent à bâtir le modèle de dialogue. Si les tâches cognitives n'interviennent pas directement dans le logiciel, car entièrement à la charge de l'utilisateur, leur explicitation peut intervenir dans l'identification du partage d'activités entre l'homme et la machine, fait qui avec quel effort, est-ce le bon partage...), ainsi que dans les évaluations, notamment prédictives (comme celles s'appuyant sur le DOMS ; cf. (Card et al, 1983)) pour apprécier des temps de déroulement des activités et l'adéquation de ceux-ci par rapport aux exigences initialement exprimées. Les tâches machine, dites calculatoires expriment ce qui est à la charge de l'ordinateur. Leur précision correspond à l'expression des liens entre tâches et le modèle de l'univers (correspondant au monde modélisé).

Ce modèle de l'univers est soit présent, si la conception porte sur la conception d'une nouvelle interface pour un système informatique existant, soit à construire, dans le cas de la conception d'un système interactif tout entier. Dans ce dernier cas, plus riche, il s'agit de découvrir à travers de l'analyse de tâches que le système homme-machine doit assumer. Cette analyse des tâches permet de découvrir l'étendue de la modélisation de la tâche qu'il faut dégager et prendre en compte. Les tâches calculatoires et les tâches interactives contribuent alors de façon très significative à dégager les sous-tâches utilisateur par rapport au comportement du système interactif à bâtir. En effet, les tâches calculatoires expriment ce qui est demandé par les utilisateurs à la partie calculatoire du système interactif, les tâches interactives ont pour rôle d'alimenter cette partie par des entrées et récupérer les résultats soit pour les fournir à l'utilisateur, soit pour s'en servir lors de la suite du processus d'interaction. Les tâches interactives constituent le sujet dominant par

rapport à la conception du système interactif du point de vue des interactions. En effet, ces tâches interactives expriment la participation de l'homme au déroulement du fonctionnement du système interactif. Ce sont ces dernières qui prennent progressivement forme pour enfin faire intervenir les dispositifs d'interaction, dont le choix approprié constitue notre préoccupation majeure. Nous allons donc décrire plus précisément cette organisation.

2.2 Niveaux de décomposition

Les tâches applicatives

Des tâches applicatives sont issues des besoins des charges de l'application tel qu'exprimé par les futurs utilisateurs. Il s'agit donc de tâches que les utilisateurs voudront accomplir. Ces tâches peuvent être multiples et variées et ne sont aucunement standardisées quant à leur nom, leur contenu, etc.

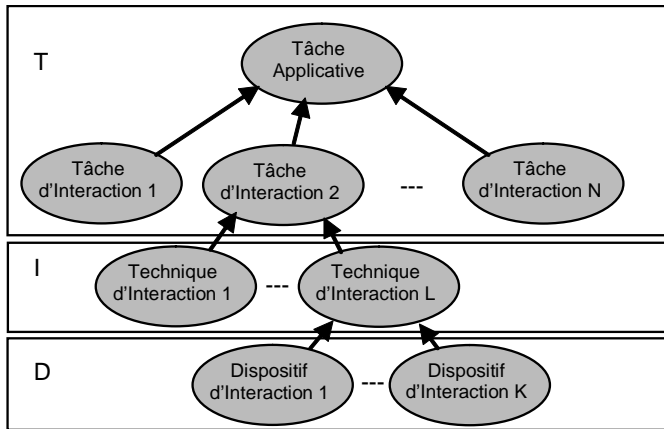


Figure 1. Mise en relation de la Tâche applicative avec les Techniques d'interaction et les Dispositifs d'interaction

Les tâches d'interaction

Le concept de « Tâche d'interaction » trouve naturellement et communément sa place dans tous les modèles des tâches et en particulier ceux cités ci-dessus (Paterno, 2000; Baronet al, 2006). Mais c'est dans l'article de James Foley et ses collègues, « The human Factors of Computer Graphics Interaction Techniques » (Foley et al, 1984) qu'elles prennent vraiment corps pour la première fois de façon précise. Foley en détermine 6 différents : Sélection (Selection), Position (Position), Orientation (Orient), Chemin (Path), Quantité (Quantify) et Saisie de texte (Text Input). Obsolètes pour certains (Dragicevic, 2004), nous pensons qu'elles constituent un bon point de départ pour au moins illustrer le principe des tâches d'interaction, car elles sont orientées interaction et très génériques. Elles ne peuvent pas couvrir toutes les tâches d'interaction, mais elles en constituent une bonne base. Elles correspondent chacune à « une séquence d'interaction, identifiée, nommée et distinguable dans la décomposition d'une tâche applicative en sous-tâches importantes, génériques (sémantiquement neutres) et indépendantes du contexte et des dispositifs ». Ces tâches forment des sous-ensembles pouvant naturellement intervenir, selon le point de vue, dans la construction ou la décomposition de tâches applicatives. Elles sont orientées utilisateur et constituent des unités d'action que l'utilisateur peut appréhender.

Les techniques d'interaction

La suite de la décomposition des tâches d'interaction a reçu différentes solutions plus ou moins détaillées, précises dépendantes ou indépendantes des dispositifs d'interaction (périphériques). C'est ainsi que J. Foley (Foley, 1984) a associé aux tâches génériques qu'il a identifiées des techniques d'interaction plus précises, avec notamment des liens à l'aspect quantitatif de ses paramètres (taille d'ensemble, degré de liberté, espace discret ou continu,...) conduisant à associer très rapidement dans leur finalité des dispositifs d'interaction. Dans ce cas les techniques d'interaction sont liées aux dispositifs. On se retrouverait alors très (trop) vite au niveau de la présentation concrète ou semi-concrète, ce qui ne nous convient pas.

Un autre courant historiquement est lié à la portabilité, vis-à-vis des dispositifs d'applications graphiques avec les contraintes logiques de la norme GKS (Bertrand, 1985), des dispositifs logiques d'entrée de la norme PHIGS (PHIGS, 1989) ou de la norme OSF/Motif (OSF, 1989). Ce niveau élémentaire semble devoir exister, même si les quatre concepts d'échange entre l'utilisateur et l'application (via des dispositifs) tels que l'identification, le choix, la désignation de coordonnées et la saisie de valeurs ont pu légèrement évoluer. (Yehral, 2003) ajoutent par exemple dans le cas d'applications coopératives des primitives d'envoi et de réception d'informations. Ce courant dans le sens de l'existence d'un modèle d'interaction abstraite, qui nous convient bien, pour prendre en compte la plasticité des IHM (Thevenin, 2001).

Afin de clarifier notre position par rapport aux différentes perceptions de ce que peuvent être les techniques d'interaction nous accordons sur la définition due à Foley et complétée par Pierre Dragicevic (Dragicevic, 2004). A savoir une technique d'interaction décrit la manière de servir d'un dispositif d'entrée pour accomplir une tâche sur l'ordinateur (Foley et al, 1990). Par exemple, un fichier peut être supprimé à la souris, soit de l'un menu contextuel, soit par glisser-déposer dans la corbeille. En pratique, une technique d'interaction transforme, interprète des données et produit le feedback nécessaire à l'utilisateur. Les techniques d'interaction sont le plus souvent caractérisées de façon abstraite et générique : par exemple, le menu contextuel glisser-déposer ne sont pas particulièrement liés à un dispositif spécifique, ni à la tâche spécifique de suppression de fichiers. » Cette définition sert donc de support de réflexion concernant notre démarche qui se base sur des techniques d'interaction développées par Foley.

Comme nous l'avons précédemment vu, il existe deux interprétations des techniques d'interaction. Ces techniques peuvent soit être considérées comme dépendantes de dispositifs (choix de Foley par exemple) soit indépendantes de dispositifs (choix de GKS par exemple). Le concept doit donc considérer d'abord le niveau sémantique de la tâche applicative concrétisée en tâche d'interaction, puis le niveau syntaxique (Buxton, 1983) que représentent les techniques d'interaction (Hinckley, 2004) qui composent chaque tâche d'interaction (figure 1, I).

Selon ce principe, chaque tâche d'interaction de la tâche applicative devra naturellement faire appel aux techniques d'interaction qui la concrétisent vis-à-vis des dispositifs. D'un autre côté, une évaluation/comparaison des dispositifs par rapport à ces techniques d'interaction doit exister pour déterminer lesquels utiliser au sein de ces techniques d'interaction et dans les tâches d'interaction et finalement dans les tâches applicatives perçues par les utilisateurs.

Atomes d'interaction

Nous avons pointé ci-avant deux tendances au niveau des techniques d'interaction celle considérant les techniques d'interaction dépendantes des dispositifs, comme Foley, et celle dans laquelle GKS, PHIGS et MUI, où le souci de portabilité, transcende au profit de la plasticité, conduit à identifier des éléments de base indépendants des dispositifs. Pour lever l'ambiguïté, nous appelons les seconds des « Atomes d'interaction », qui sont donc pour nous les éléments de base (donc atomes) d'écran de l'application et les dispositifs (Champalle, 2007). Ils forment les plus petits éléments indépendants du contexte et des dispositifs, impossible à décomposer et qui interviennent naturellement comme éléments d'entrée dans le modèle d'interaction abstraite comparable au modèle AIC de Limbourg (Limbourg, 2004), celui qui échange les informations entre l'utilisateur et le modèle d'univers modélisé. Nous donnons ci-après les définitions des quatre atomes d'interaction que nous avons finalement retenus.

Atome d'interaction « Navigation » : dans le cadre d'une sélection d'une entité entre plusieurs autres, nous nous sommes naturellement conduit à faire apparaître le besoin nécessaire d'attribuer un déplacement de l'entité à sélectionner ou de la première entité d'un ensemble bref ou non. Il s'agit de prendre en compte ce besoin pour offrir à l'utilisateur une possibilité de « Navigation » au cas où l'entité ne soit pas visible, atteignable au premier coup ou que son identité soit inconnue de l'utilisateur.

Atome d'interaction « Identification » : inspiré de GKS (Bertrand, 1985), cet atome d'interaction est lié à la désignation d'entité(s). Ces entités peuvent être des commandes, des icônes, des valeurs numériques ou toute autre entité à « identifier ».

Atome d'interaction « Déplacement » : cet atome se retrouve dans les tâches d'interaction « SÉLECTION d'entité(s) » et « ORIENTATION d'entité(s) ». L'important ici est de distinguer le besoin d'utiliser un déplacement pour déplacer une entité ou indiquer une zone de sélection.

Atome d'interaction « Chaîne(s) alphanumérique(s) libre(s) » : nous utilisons cet atome dans le cadre d'une série de valeur(s) alphanumérique(s) connue(s) et limitée(s) uniquement par l'utilisateur lui-même.

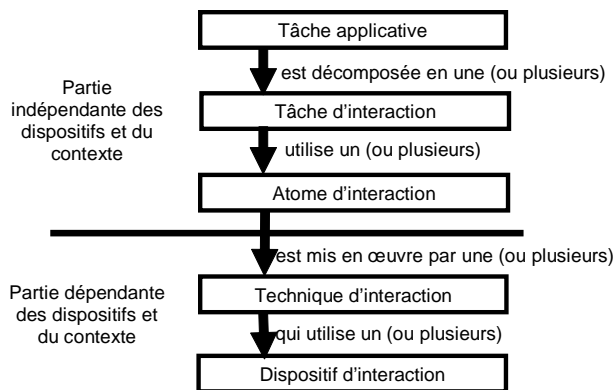


Figure 2. Une relation plus complète entre Tâche applicative, Tâche d'Interaction, Atome d'Interaction, Technique d'interaction et Dispositif d'interaction

Dispositifs d'interaction

Nous entendons par dispositifs d'interaction toutes formes de dispositifs physiques non portés (classiques) comme les claviers alphanumériques, les différents types de souris de joysticks ou portés de types lunettes à écran opaque intégré, lunettes « see-through » de réalité augmentée, gant numérique pour la sélection d'action. Notre travail a consisté à décomposer une tâche applicative en une suite d'éléments interactifs et calculés afin de déterminer les dispositifs d'interaction les mieux adaptés aux éléments interactifs, nous voulons comprendre en compte toutes les formes de dispositifs physiques tant existants qu'à construire spécifiquement notamment dans le cas de la réalité augmentée, tant portés que non-portés tant ubiquitaires que non-ubiquitaires. Le choix de dispositifs se fait d'abord séparément pour chaque tâche d'interaction puis du point de vue plus global sur l'ensemble des tâches d'interaction de la (sous-) tâche à laquelle elle appartient (figure 1, D).

Pour évaluer la capacité d'un dispositif à répondre à une tâche d'interaction, étant donnée la diversité des tâches d'interaction possibles, nous utilisons donc deux intermédiaires entre tâches d'interaction et dispositifs. Il s'agit d'une part d'atomes d'interaction indépendants de dispositifs et d'autre part de techniques d'interaction dépendants de périphériques (figure 2).

2.3 Apport des atomes d'interaction

Pour montrer les relations entre atomes techniques et dispositifs d'interaction, nous prenons comme exemple un scénario issu du projet HMTD présenté dans (Champallat et al., 2006) qui vise l'organisation de l'entretien en milieu industriel. Dans ce scénario, un technicien, en rupture de compétence, collabore à distance avec un expert. Ce dernier peut guider l'intervenant via des indications graphiques, orales ou textuelles. Le contexte d'intervention est le suivant : l'utilisateur est en mobilité complète dans un milieu bruyant et est amené à collaborer à distance sans bénéficier de ses deux mains, occupées à démonter la machine. Le schéma de la Figure 3 résume notre approche. Dans cette décomposition, nous laissons clairement apparaître les différentes couches de la Figure 2 et les parties indépendantes et dépendantes du contexte et des dispositifs. La liaison entre ses deux parties s'opère à travers des atomes d'interaction « Navigation » et « Identification » via les techniques d'interaction « Reconnaissance vocale » (propre à Foley) et « Interaction gestuelle », technique (non prise en compte par Foley) intégrant la modalité gestuelle des dispositifs d'interaction en entrée que nous dégagons répondent au contexte de la tâche applicative. A savoir : des capteurs gestuels, répartis sur le corps construits à partir d'un data glove (capteurs du gant numérique) afin de pallier l'impossibilité pour l'intervenant d'utiliser ses deux mains et le laryngophone complétant la réponse à cette problématique en permettant l'interaction vocale et la conversation dans un milieu bruyant.

2.4 Conclusion de la première étape

La première partie de notre démarche a montré le cheminement depuis les tâches applicatives aux dispositifs en passant par les tâches interactives, des atomes d'interaction (tous indépendants de dispositifs) puis des techniques d'interaction

² Un laryngophone est un microphone conçu pour être placé sur la gorge d'un individu, sanglé autour de son cou et en contact avec sa peau afin de capter les vibrations de son larynx et de ses cordes vocales et ainsi de restituer ses paroles. C'est un type particulier de microphone qui fonctionne sous l'effet des vibrations du larynx (Dictionnaire Hachette 1998).

qui sont en relation avec les dispositifs d'interaction. Du point de vue des modèles, le modèle de tâches dans ses aspects peut aller jusqu'à contribuer à l'identification du modèle de l'univers modélisé, appelé également modèle du domaine selon Limbourg (Limbourg, 2004). Les tâches d'interaction avec les atomes d'interactions se situent et déterminent le modèle d'interaction abstraite, techniques d'interaction et de dispositifs intervenant dans les modèles semi-concret et concret de présentation. Nous confirmons ainsi le rôle prépondérant du modèle de tâche dans la conception de systèmes interactifs, rôle qui n'a pas toujours été estimé à sa juste valeur, et continué à être sous-estimé, voire ignoré par beaucoup d'acteurs du génie logiciel.

Ceci étant fait, nous pouvons maintenant aborder la deuxième partie de notre démarche qui, pour des tâches d'interaction des atomes d'interaction identifiés, va pouvoir dégager des dispositifs potentiels et étudier leur adéquation à l'accomplissement de la tâche dans son contexte donné, et plus généralement à l'accomplissement de toutes les tâches à la charge dans un ou plusieurs contextes.

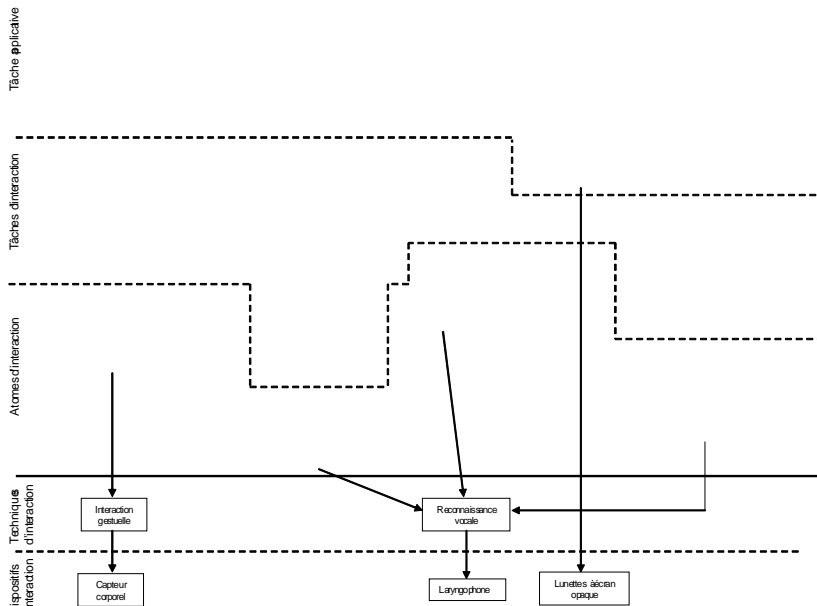


Figure 3. Illustration de la 1^{ère} étape sur un exemple concret de maintenance

3 Deuxième étape de la démarche : choix des dispositifs

3.1 Le référentiel

Le référentiel de dispositifs a pour but de servir d'inspiration lors de la concrétisation des tâches d'interaction. Il agit, en tenant compte des exigences de la tâche et du contexte d'utilisation, à sélectionner les dispositifs capables de satisfaire ces différentes exigences. Ce référentiel doit donc être construit avec précaution pour contenir de manière structurée tous les éléments potentiellement entrant dans la sélection des dispositifs de l'ordinateur porté.

Notre référentiel s'organise en axes (voir figure 4), chaque axe pouvant être utilisé ou non dans la configuration à bâtir. Si un axe n'est pas utilisé, c'est comme s'il prenait la valeur 0. Plus les éléments sont situés vers l'extrémité des axes, plus ceux-ci sont performants relativement à l'usage pertinent de l'axe. Par exemple pour l'axe Affichage, les différents éléments sont placés selon le respect croissant du critère de continuité du regard.

Ce référentiel est adapté à la conception de systèmes mobiles et comporte également certains dispositifs standards pour la Réalité Augmentée (RA). Pour être utilisé dans des situations sédentaires, il doit être complété par des dispositifs plus classiques (souris, tablette de saisie, plus encombrants (grands écrans, tables interactives,...)). On peut remarquer le découpage en 4 groupes : les groupes correspondent aux trois grandes parties des systèmes mobiles et de RA et plus généralement de systèmes interactifs, à savoir une partie consacrée à l'échange de données entre systèmes. Ces groupes possèdent des supports d'interaction homme-machine en entrées, des supports d'IHM de sortie, des supports d'interactions de l'utilisateur avec l'environnement pour certains aspects des environnements ubiquitaires (Weiser, 1991), et enfin un groupe de supports pour la communication système.

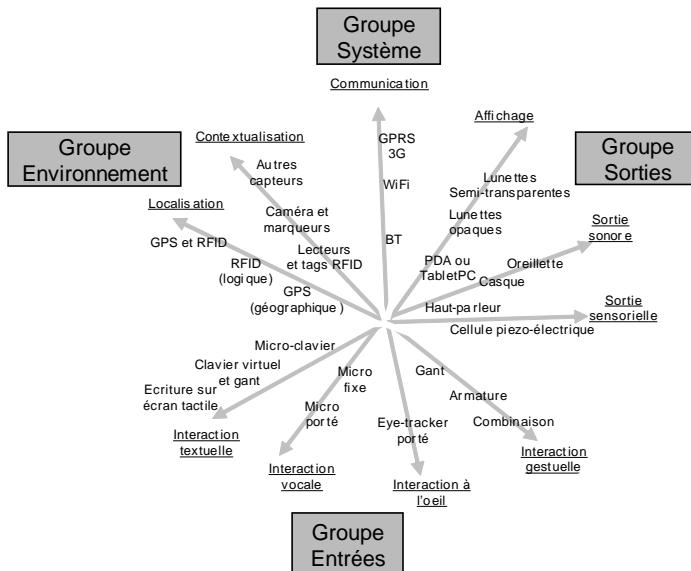


Figure 4. Référentiel des dispositifs pour les ordinateurs portés

Le groupe interaction en entrée

Il comprend quatre axes (Interaction graphique, Interaction vocale, Interaction à l'œil, Interaction gestuelle). Ce découpage en quatre axes n'est pas réalisé au hasard s'inscrit dans un raisonnement initié depuis plusieurs années qui tend à découper les interactions selon les modalités et d'autres critères descriptifs du dispositif ou du média (Bernsen, 1995; Card et al, 1991), (Hinckley et al 2004 ; Jacot et al 1993 ; MacKenzie, 1995).

Le groupe interaction en sortie

Il comprend trois axes (Affichage, Sortie sonore, Sortie sensorielle). Ces trois axes correspondent aux modalités d'interaction en sortie (Bernsen, 1994a; ETSI, 2002) les plus importantes.

Le groupe interaction avec l'environnement

Il comprend deux axes (Localisation, Contextualisation). Ces deux axes définissent les moyens requis pour la mise en place d'environnements ubiquitaires (Shaker et al 2000).

Le groupe système

Il comprend un seul axe, celui de la Communication, qui correspond aux moyens utilisés pour réaliser la communication avec d'autres ordinateurs ou des capteurs ou autres objets communicants.

3.2 Principe d'affectation de dispositifs

Pour affecter un dispositif à une tâche d'interaction, il faut savoir quelles techniques d'interaction supporte pour pouvoir évaluer sa capacité à la réaliser. Dans notre démarche cela équivaut à évaluer :

- x Son adéquation avec la technique d'interaction (et respectivement la tâche d'interaction pour considérer des critères tels que la continuité de l'interaction ou la minimisation du nombre de dispositifs).
- x Ses capacités dans les conditions de réalisation de la tâche, qu'elles soient environnementales (humidité, champs électromagnétiques, ...) ou qu'elles relèvent de l'utilisateur (ressources disponibles, 1 ou 2 mains libres, port ou non des lunettes...).

Ses valeurs expriment ces critères de performance relativement à la technique d'interaction (ou la tâche d'interaction) dans les conditions de réalisation.

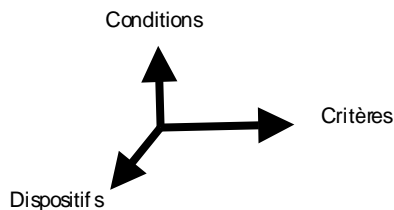


Figure 5. Espace à 3 dimensions des choix possibles pour une tâche d'interaction donnée

De manière plus synthétique, le choix de dispositif se fait selon la tâche d'interaction à réaliser, selon les conditions de réalisation de la tâche et en fonction de ses valeurs dans les différents critères, voir figure 5. Pour chacune des techniques d'interaction, issue du modèle des tâches, on est amené à évaluer chacun des dispositifs, dans les différentes conditions d'utilisation. Cela revient à ajouter une quatrième dimension à l'espace de la figure 5 ou, plus concrètement, à considérer autant d'espaces à dimensions que de techniques d'interaction, ce qui peut conduire à un nombre très important d'espaces à considérer.

Si l'on souhaite appliquer la démarche au niveau tâche d'interaction, il faut considérer les tâches d'interaction types. Il y aurait 6 espaces : Sélection, Position, Orientation, Chemin, Saisie de Texte, Saisie de Nombre.

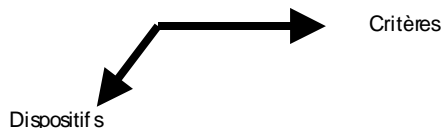


Figure 6. Un plan dispositifs/critères pour une étude technique d'interaction donnée

3.3 Matrices multicritères

Pour chaque condition, le plan formé par les axes dispositifs et critères pris indépendamment des conditions (figure 6) forme une matrice dispositifs/critères (figure 7). La figure 7 présente une matrice dispositifs/critères de valeurs. Cette matrice est celle de la technique de notation Saisie de Texte dans un espace des possibilités à deux dimensions spatiales. A noter que les conditions s'expriment comme des contraintes plutôt que comme des possibilités. Ainsi on pourrait avoir la contrainte « mains prises » au lieu de donner la contrainte « 0 main libre ». Les préférences et différences interindividuelles s'expriment aussi sous forme de conditions. A titre d'exemple, les critères peuvent être la mobilité, l'efficience, ...

Dispositifs	Cr1	Cr2	...	CrN	SCORE
Clavier					
Souris					
Gant					
Eyetracker					
Micro					
Ecran-tactile+stylet					
Ecran-tactile+doigt					
Tablette-tactile+stylet					
MOYENNE					

Figure 7. Une matrice de description dispositifs/critères

Définition d'une matrice multicritère

Les critères sont placés sur les colonnes (Cr1, Cr2, ... CrN). Les dispositifs sont indiqués sur les lignes. La dernière ligne contient le score du dispositif. Ce score est la valeur globale du dispositif. La valeur est définie par une formule établie par le concepteur et utilisée pour calculer la valeur des scores de chacun des dispositifs d'une même matrice. La formule la plus simple étant la somme des valeurs du dispositif dans chaque critère, d'autres formules telles que la somme de la valeur des critères pondérés peuvent s'avérer pertinentes.

La dernière ligne contient une ou plusieurs valeurs caractéristiques pour chacun des critères et se rapporte à l'ensemble des dispositifs. Ce peut être la valeur moyenne du critère ou du score la valeur MMM (Minimum / Moyenne / Maximum) qui permet de se rendre compte des valeurs minimales, moyennes et maximales que peuvent avoir les dispositifs et le score par rapport à l'ensemble des dispositifs. Ces valeurs calculées permettent d'estimer rapidement la place qu'occupe notre dispositif en respect de ces critères ou de son score, notamment si certains dispositifs ont des valeurs de critères ou des meilleurs scores et cela sans parcourir la table complète.

Notes des dispositifs selon les différents critères

L'affectation de notes dans chaque critère et à chaque dispositif doit se faire avec précaution, le plus objectivement possible peut être réalisé que par un expert des domaines concernés à savoir les systèmes mobiles et de RA mais aussi des domaines induits par les critères considérés. Dans le cas de critères tels l'utilisabilité, les valeurs à affecter à chaque dispositif devraient soit être le résultat d'études réalisées au préalable, soit calculées par un ergonomiste expert. Dans tous les cas, les valeurs doivent être affectées le plus objectivement possible pour ne pas fausser tout le processus.

Utilisation des couleurs dans la matrice

L'utilisation de différentes couleurs de fond est recommandée pour définir la matrice de manière à la rendre la plus lisible possible et donc la plus efficiente. Ainsi, on conseille l'usage de quatre couleurs distinctes pour mettre en évidence différentes cellules de la matrice :

- Élément non singulier,
- Valeur la plus faible (de critère pris séparément),
- Valeur la plus forte (de critère pris séparément),
- Rubrique calculée pour la dernière colonne (score) et la dernière ligne (moyenne ou valeur MMM).

Ces différentes couleurs devront se retrouver respectivement dans chaque matrice. Si les dispositifs ne sont ordonnés par score (parce qu'ils le sont par modalités par exemple) le dispositif de faible score (et respectivement de plus fort score) peut être mis en évidence en coloriant sa cellule « nom » de la couleur « Valeur de plus faible score » (et respectivement de la couleur « Valeur de plus fort score »). Il est important de mettre en évidence ces valeurs minimales et maximales de chaque critère puisque l'on va être amené à considérer les critères selon un ordre précis dans une première phase, puis de manière globale dans une deuxième.

3.4 Présentation de la démarche de sélection

Une fois les éléments précédents modélisés (Tâche, Référentiel, Matrices), la démarche de sélection peut s'appliquer. Il s'agit de parcourir la tâche « en profondeur d'abord » et d'affecter à chaque tâche d'interaction un dispositif selon un compromis tendant à maximiser la performance, au sens où l'on veut le meilleur dispositif dans chacun des critères. Mais il est également important de tenir compte de toutes les techniques d'interaction de la tâche pour faire un bon choix de dispositif ainsi que de tenir compte de l'ensemble des dispositifs qui ont déjà été sélectionnés pour réaliser une autre sous-tâche. De cette manière on tente de minimiser le nombre de dispositifs, le coût des équipements, le poids, l'encombrement, maximiser la continuité de l'interaction et tout autre critère relatif à la prise en compte de la tâche de façon globale.

Nous décrivons maintenant le raisonnement que doit mener le concepteur lorsqu'il doit affecter un dispositif à une tâche d'interaction.

Sélection de dispositifs pour une tâche d'interaction

Le concepteur doit d'abord demander à quelle tâche d'interaction type (Sélection, Position, ...) la tâche d'interaction est assimilable pour déterminer les techniques d'interaction qui vont pouvoir être utilisées. Ayant décomposé la tâche d'interaction en techniques d'interaction (Foley et al 1984, Florinset al 2004, Hinckley et al 2004, Jacob et al 1993, Jacob et al 1994), il va devoir appliquer de manière itérative le raisonnement de sélection de dispositifs pour chacune de ces

techniques d'interaction, tout en tenant compte des choix réalisés pour chacune d'entre elles.

Sélection de dispositifs pour une technique d'interaction

Le concepteur ne peut encore comparer des dispositifs tant qu'il n'a pas déterminé les conditions de réalisation de la tâche. Ces conditions peuvent être des indications hors formalisme (ex : La tâche se déroule en extérieur) ou des conséquences logiques sur les tâches d'interaction qui viennent d'être réalisées ou qui peuvent être réalisées en parallèle. Elles sont donc par des dispositifs précédemment sélectionnés ou couramment utilisés. Une fois fait, la matrice dispositifs/critères est déterminée.

Dans un premier temps, le concepteur voit le référentiel pour se remettre en tête les différents dispositifs qui peuvent répondre à son problème. Cette évaluation reste fortement subjective. Dans un deuxième temps, une fois qu'il a déterminé les dispositifs (Lingard et al 2005) qui lui semblent les mieux adaptés dans le référentiel et selon les critères de performance de la matrice dispositifs/critères sélectionnée, il évalue ce dispositif en le comparant aux autres et fait alors le choix selon les critères préétablis. Si son choix n'est pas particulièrement performant, il peut consulter à nouveau le référentiel pour choisir d'autres dispositifs ou continuer son choix directement depuis la matrice.

Application des critères pour le choix du dispositif

Les critères sont ordonnés préalablement au déroulement de la démarche. La prise en compte de cet ensemble de critères doit cependant se comprendre comme un compromis. Aussi un critère ayant une valeur très mauvaise peut écarter un dispositif même si celui-ci a une très bonne valeur dans un critère plus prioritaire. En effet, nous sommes bien dans un raisonnement multicritère visant à atteindre un équilibre entre différentes contraintes pour pouvoir à proposer une configuration de dispositifs cohérente. Le concepteur va donc considérer les critères dans un certain ordre, mais sans jamais appliquer de raisonnement tout ou rien.

Traçage – Retour en arrière

Le processus de sélection est incrémental. Un choix de dispositif peut empêcher l'exécution complète de la tâche et altérer la performance globale de celle-ci s'il est incompatible avec ceux permettant de réaliser des parties de la tâche qu'il ne permet pas d'effectuer. Dans ce cas, il faut se demander si les choix précédents, bien qu'ils formaient alors le meilleur compromis, ne doivent pas être révisés pour finalement sélectionner un autre dispositif certes moins performant mais aboutissant finalement à un meilleur compromis. Pour rendre possible ce mécanisme de retour en arrière il faut tracer les choix effectués, c'est-à-dire les explications/justifications de chacun de ceux-ci avec leurs scores, leurs avantages et inconvénients. Grâce à cette trace, le concepteur est, en principe, capable de justifier tous les choix réalisés et de se refaire un même choix lorsqu'il ne peut aboutir à l'ingénierie complète du système mais aussi de modifier des choix antérieurs, unitairement (technique d'interaction) ou par bloc (technique(s) d'interaction, tâche(s) d'interaction, etc.). Cette trace peut être représentée de manière graphique sur l'arbre de tâches, dans un tableau ou textuellement. Dans tous les cas, il est vivement conseillé de la structurer sinon elle va devenir rapidement illisible et inexploitable.

Il est à noter qu'en fonction des dispositifs retenus, de leur coût, de leur fragilité et de l'impossibilité de les porter en même temps, le concepteur peut être amené, en dernier recours, à considérer l'organisation des tâches dans le but de

déduire une configuration (ensemble cohérent de dispositifs) en appliquant à nouveau la démarche.

3.5 Outil informatique pour la démarche

Un outil informatique (s'inspirant de Jacobal, 1993) en cours de développement en Java/XML va bientôt permettre d'éditer ces choix numériquement et ainsi d'explicitier les choix effectués plus simplement tout en stockant les traces de chaque choix dans un fichier et tout en calculant le score au fur et à mesure des options choisies bas valeurs moyennes selon les différents critères. Cet outil permettra à terme de représenter graphiquement les choix sur l'arbre de tâches de présenter les choix sous forme de tableau et d'imprimer ceux-ci avec leurs justifications. Il permettra également d'historiser les différents chemins empruntés, des solutions obtenues ou sans issues constatés (par exemple dues à l'absence de dispositifs compatibles avec ceux déjà utilisés pour cette tâche). Cette historisation permet une explication a posteriori des choix effectués, ce qui est particulièrement important si ces choix sont amenés à être remis en question par exemple suite à un retour d'expérience.

4 Etude de cas

Dans cette partie, nous mettons en avant la démarche explicitée plus haut. Pour ce faire, nous décidons d'évoluer dans le cadre du projet HelpMeToDo actuellement traité au laboratoire visé à exploiter des nouveaux moyens de communication mobiles pour le grand public et les professionnels dans les activités nécessitant de l'aide. Les besoins d'information, de formation, d'assistance, d'aide à la maintenance et de dépannage de la contextes individuels, collectifs, industriels ou grand public sont donc pris en compte. Le Mobile Learning (apprentissage juste à temps situé dans le contexte d'intervention) vise à amener le lieu d'action, grâce aux principes MOCO (Mobilité – Collaboration – Contextualisation) (David et Chaloz, 2007), l'ensemble des informations nécessaires. Les besoins d'information, formation, d'assistance, d'aide à la maintenance et de dépannage sont ainsi pris en compte (David, 2007).

4.1 Contexte du scénario

Nous nous plaçons ici dans la situation d'un technicien «volant» chargé d'intervenir sur un équipement qu'il ne connaît pas ou peu. Ce technicien est employé dans une société de service fournissant des prestations de maintenance sur des équipements de type bureautique imprimante, photocopieuse, scanner, fax, PC (portable et fixe), téléphone. Ces équipements peuvent avoir été loués par les clients. Ce technicien est considéré comme polyvalent et capable d'intervenir sur ces différents équipements même s'il n'est pas spécialiste des appareils qu'il va être amené à réparer. Dans ce but, il maîtrise et est capable d'utiliser des dispositifs innovants, mobiles ou de réalité augmentée.

4.2 Scénario

Nous décrivons ci-après l'intervention d'un technicien sur une imprimante de la marque et le modèle lui sont inconnus :

- 1 Le technicien utilise un dispositif mobile pour se connecter au site web de sa SSII.
- 2 Il s'identifie et accède à la partie réservée aux techniciens.

³ Il ne peut s'agir que d'imprimante haut-de-gamme (grand format, gros débit) sur laquelle une intervention sur site est économiquement viable.

- 3 Il recherche le nom et la marque de l'imprimante à dépanner pour accéder à sa documentation.
- 4 De là, le technicien détermine l'origine du problème correspondant au remplacement du tambour de l'imprimante, modèle standard dont il dispose dans son véhicule. Cependant, il ne sait pas comment opérer pour remplacer le tambour défectueux.
- 5 A ce moment, le dépannage commenté le technicien utilise ses deux mains pour pouvoir intervenir sur l'équipement tout en consultant la documentation adaptée utilisant le média approprié (texte, image, vidéo, son), et accomplir sa tâche.
- 6 A l'issue de l'intervention, le technicien rédige un rapport, une facture...

4.3 Analyse du scénario

Dans ce scénario, nous pouvons, en se basant sur notre expérience issue de nos travaux précédents, deviner des équipements adaptés que d'autres. Et ce, notamment pour les tâches 1, 2, 3, 4 et 6. Les dispositifs de type PDA ou Tablet PC semblent convenir naturellement. Cependant, il n'en va pas de même pour la tâche 5 correspondant à l'intervention directe du technicien sur l'imprimante défectueuse, dont les contraintes (deux mains prises et consultation de documentation) ne nous permettent pas d'appréhender simplement le ou les dispositifs nécessaires. Nous détaillons l'application de notre démarche aux contraintes de la tâche 5 avec comme critères la mobilité, l'efficacité et la satisfaction. Il est important de préciser dans cette étude de faisabilité nous ne prenons pas en considération les aspects économiques même s'ils sont très importants dans les situations réelles. Résumons dans la figure 8 ci-dessous l'arbre simplifié de la tâche 5 exprimé du formalisme CTT (Paterno, 2003).

Figure 8. Arbre de la tâche 5

L'arbre de la tâche 5 «Changer le tambour avec les deux mains prises» laisse clairement apparaître les techniques d'interface auxquelles l'utilisateur doit avoir

faire appel afin de sélectionner la documentation indispensable pour accomplir son intervention. Notre but est de pouvoir déterminer à l'aide de la démarche, explicitée plus haut, le ou les dispositif(s) à retenir dans les conditions d'intervention de la tâche 5 et suivant les critères de l'efficacité, de l'efficiency et de satisfaction.

Nous choisissons arbitrairement de traiter la tâche applicative « Sélection du média » qui est une tâche d'interaction centrée contrairement aux autres (« Consulter .. »). Nous ne traitons pas la tâche « consulter le média » car elle ne met pas en valeur d'autres aspects de la démarche, excepté des critères comme la continuité de l'interaction et la mise en situation du nombre de dispositifs, car il y a récurrence des tâches d'interaction.

Nous nous occupons maintenant de l'affectation des dispositifs à chacune des techniques d'interaction nous nous limitons au raisonnement basé sur les matrices sans insister sur la consultation du référentiel antérieur à l'utilisation de ces matrices. Dans les différentes matrices ci-dessous, le système de notation retenu va de 1 (très peu adapté) à 5 (très adapté).

1. Défiler

Nous présentons en figure 9 la matrice de description dispositifs/critères propre à la technique d'interaction « Défiler » et avec la condition « deux mains prises » et les critères mobilité, efficiency et satisfaction utilisateur.

Dispositifs	Mobilité	Efficiency	Satisfaction utilisateur	SCORE
EyeTracker porté	2	4	2	8
Micro porté	5	2	2	9
Moyenne	3,5	3	2	8,5

Figure 9. Matrice dispositifs/critères « Défiler » avec les deux mains prises

Privilégier le critère de mobilité nous conduit, à l'issue de l'utilisation de notre matrice, au choix du micro porté, plus léger et plus agréable pour les utilisateurs que l'Eye-Tracker lourd et inconfortable. Il faut toutefois ne pas oublier la faible efficiency du micro porté liée à la perfection du système de reconnaissance vocale, notamment dû à sa difficulté de calibrage. Ce critère pourrait être crucial dans la suite de notre analyse, car les erreurs du système pourraient dérouter le technicien.

2. Choisir item

La figure 10 présente la matrice de description dispositifs/critères propre à la technique d'interaction « Choisir Item ».

Dispositifs	Mobilité	Efficiency	Satisfaction utilisateur	SCORE
EyeTracker porté	2	5	3	10
Micro porté	5	2	2	9
Moyenne	3,5	3,5	2,5	9,5

Figure 10 Matrice dispositifs/critères « Choisir item » avec les deux mains prises en mobilité

Cette nouvelle matrice nous conduit à retenir le dispositif Eye-Tracker dont l'efficacité et la satisfaction utilisateur pour la technique d'interaction « Choisir Item », dans les conditions établies est supérieure au micro porté.

3. Confirmer

Nous nous intéressons à présent au dernier dispositif d'interaction « Sélection du média ». Pour ce faire nous utilisons la matrice dispositifs/critères suivante (Figure 11).

Dispositifs	Mobilité	Efficience	Satisfaction utilisateur	SCORE
EyeTracker porté	2	3	2	7
Micro porté	5	4	4	13
Moyenne	3,5	3,5	3	10

Figure 11 Matrice dispositifs/critères « Choisir Item »

Le micro porté est le dispositif le plus intéressant en rapport à nos besoins. En effet, il est plus facile pour un utilisateur de confirmer le choix d'un item avec le son de sa voix qu'avec le regard. Le résultat de notre analyse, pour la tâche « Sélection du média », fait ressortir le besoin d'utiliser en même temps un dispositif micro porté ainsi qu'un eye-tracker. Notre technicien sera donc capable de faire défiler la liste de média disponible avec le son de sa voix et de choisir un média à l'aide de ses yeux et pour finir de confirmer la sélection avec le son de sa voix.

Notre étude ne serait pas complète si nous ne choisissons pas, via la même démarche, les dispositifs en sortie. Nous avons déjà précisé dans notre scénario, que l'utilisateur devrait être à même de visualiser des menus, via la tâche système « Consulter menu média » et de consulter la documentation adaptée que ce soit du texte, des images, de la vidéo ou du son. Nous traitons donc maintenant la tâche d'interaction en sortie « Consulter menu média ».

4. Visualiser

La figure 12 nous permet de choisir le dispositif le mieux adapté au besoin du technicien. En fonction de nos constatations, nous décidons de porter notre choix sur les lunettes à écran opaque (micro-écran 3 pouces). Ce dispositif, moins mobile que les lunettes à écran semi-transparent, est cependant le mieux adapté aux besoins de visualisation du technicien.

Dispositifs	Mobilité	Efficience	Satisfaction	SCORE
Lunettes à écran opaql	3	4	3	10
Lunettes à écran emi-transparent	4	2	2	8
Moyenne	3,5	3	5	9

Figure 12 Matrice dispositifs/critères « Visualiser »

Faisant suite à notre analyse concernant la technique d'interaction « Visualiser », notre démarche nous permet de nous intéresser sur la difficulté ergonomique pour

Du modèle de tâches à l'action de l'ordinateur porté

le technicien de porter en même temps sur toute la phase d'intervention un eye-tracker (déterminé plus haut) ainsi que des lunettes opaques. Nous décidons cependant de conserver cette organisation mais nous nous montrerons vigilants sur le calibrage et la précision de l'eye-tracker en question afin de permettre au technicien de désigner « facilement » les informations qui lui seront utiles.

Notre dernière analyse porte sur la technique d'interaction « écouter ». Le technicien pouvant être à même de lire des documentations sonores, nous utilisons la matrice suivante (figure 13) :

Dispositifs	Mobilité	Efficienc	Satisfaction	SCORE
Casque aud	4	5	3	12
Oreillete	5	4	4	13
Moyenne	4,5	4,5	3,5	12,5

Figure 13. Matrice dispositifs/critères « Écoute mains prises-en mobilité

La lecture de cette matrice nous permet de guider le choix de l'oreillete. Plus légère et ne couvrant qu'une seule oreille contrairement à un casque stéréo, elle offre un bon équilibre entre l'efficacité de nos recherches et la satisfaction. En outre, l'oreillete et le micro portent deux éléments importants de notre configuration. Nous décidons donc de n'utiliser en tant que seul dispositif porté composé micro et oreillete, si possible. Le choix de ce équipement s'avère, en fait, judicieux et confortable pour le technicien (et souvent plus économique).

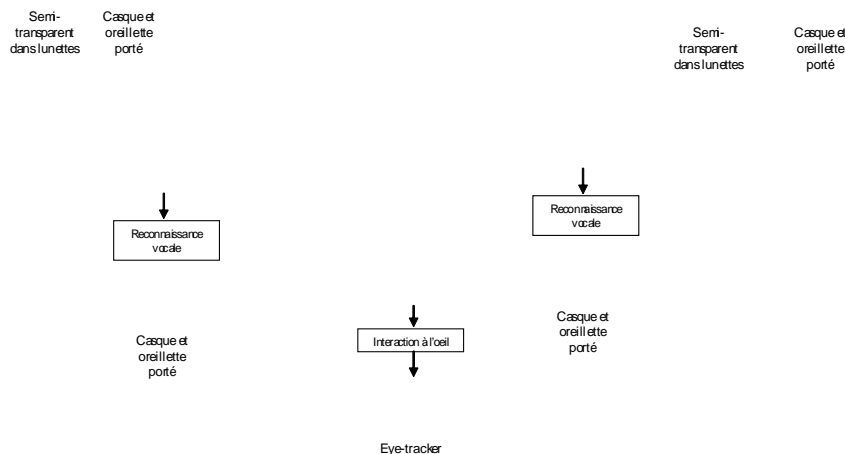


Figure 14 Récapitulatif des choix proposés par la démarche

Bilan : dispositifs requis

La figure 14 présente un bilan récapitulé des résultats établis en suivant la démarche, pour la réalisation de la tâche Dépannage (5) de scénario Le technicien devra donc utiliser les types de dispositifs retenus, associés à chaque tâche d'interaction. A savoir le micro et l'oreillette portés, l'eye-tracker et l'écran opaque dans des lunettes.

Validation de la configuration

Il faut maintenant se demander si le fait d'utiliser en entrée et un eye-tracker est judicieux et si l'utilisation d'un ou l'autre de ces dispositifs n'aboutirait pas à une meilleure performance globale. On peut s'interroger sur l'usage du micro seulement en entrée, pour un meilleur compromis. L'utilisation d'un eye-tracker est contraignante, il faut l'installer, le calibrer, le manipuler avec précaution. Finalement sa faible implication dans la tâche (seulement pour « Choisir item »), fait que l'usage du micro seulement est le compromis qui maximise la continuité de l'interaction et minimise le nombre de dispositifs requis. L'usage du micro seul en entrée augmente la performance globale du système. La configuration déterminée par la démarche est finalement l'ensemble formé par les Lunettes à écran opaque, casque comportant Micro et oreillette.

5 Deuxième étape dans le contexte de la réalité augmentée

Dans ce qui précède nous avons présenté une approche qui conduit à dégager des dispositifs d'interaction pour l'ordinateur à partir du référentiel proposant ceux-ci. La logique qui régit notre méthode est celle de la plasticité, c'est-à-dire un raisonnement qui retarde aussi longtemps que possible la spécialisation, voire permet de proposer des solutions alternatives pouvant être changées plus ou moins rapidement, soit au redémarrage du système interactif soit à chaud pendant son exécution. Cette orientation d'interchangeabilité a toutefois des limites qui sont notamment caractéristiques de l'approche de réalité augmentée. En effet, dans le cas de la réalité augmentée il s'agit plus d'échanger librement des dispositifs, mais au contraire d'en construire des spécifiques. Le mariage de convenance entre la réalité et la virtualité ne donne plus priorité à la variabilité des dispositifs, mais à l'efficacité grâce aux couplages innovants entre les objets réels et virtuels. Dans les travaux que nous menons dans ce domaine nous nous situons dans la logique de l'interaction instrumentée de M. Beaudouin-Lafon (Beaudouin-Lafon, 2000) et nous proposons un modèle de l'interaction de réalité augmentée et un formalisme correspondant appelé IRVO (Interaction with Real and Virtual Objects). Après avoir rappelé les bases d'IRVO, nous montrons comment la concrétisation s'effectue.

5.1 Principes d'IRVO

IRVO cherche à modéliser, dans le cadre d'une tâche donnée, l'interaction entre le (ou les) utilisateur(s) et le système de réalité mixte en explicitant les artefacts mis en jeu et leurs relations. IRVO couvre la phase de conception du cycle de vie et modélise l'usage projeté du système. Il ne modélise pas l'architecture du système par conséquent ne couvre pas la phase de réalisation, cependant le lien entre les deux phases a été étudié (Chalon et David, 2004 ; Chalon et David, 2005).

Le modèle IRVO distingue trois catégories principales d'entités (Figure 15a) :

- x l'utilisateur (U), ou plus généralement les utilisateurs pour des systèmes collaboratifs,

- x les objets manipulables et/ou perceptibles par les utilisateurs sont distingués en deux sous-catégories **selon** qui en est fait par l'utilisateur :
 - o l'objet du domaine de la tâche (O) (C'est l'objet sur lequel se porte l'intérêt de l'utilisateur pour la tâche: agit soit d'un objet physique, soit de données informatiques **présentées** sous une forme externe perceptible (objet virtuel).
 - o les outils (T=tool en anglais) : ils **interviennent** à la réalisation de la tâche en permettant à l'utilisateur d'agir sur d'autres objets (d'autres outils ou l'objet du domaine de la tâche).
- x le modèle interne de l'application (M) **représente** l'application informatique privée de la couche de présentation concrète.

Les utilisateurs sont en relation avec les objets mais pas directement avec le modèle interne. Le modèle interne **est en relation** avec les objets pour connaître leurs états et éventuellement les modifier.

Si les utilisateurs se trouvent **clairement** dans le monde réel le modèle interne de l'application dans le monde virtuel. Dans le cas de la réalité mixte, les outils peuvent être réels ou virtuels **peuvent agir** sur des objets du domaine réel ou virtuel. La Figure 15b montre les 4 **cas possibles** de relation entre un outil réel (Tr) ou virtuel (Tv) et un objet réel (Or) ou virtuel (Ov). Ces cas **ne sont pas** exclusifs car la frontière entre les mondes réels et virtuels peut passer à travers un outil ou un objet mixte.

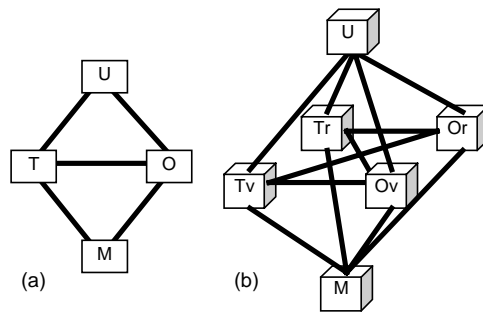


Figure 15. Principales entités du modèle IRVO.

5.2 Formalisme graphique d'IRVO

Frontières

Les frontières (Figure 16) ne **pas** des entités mais elles permettent de représenter des propriétés des entités **à l'échelle** topologique : il suffit qu'une entité se trouve dans un lieu délimité par **des** frontières pour qu'elle possède l'**une** des valeurs possibles de la propriété représentée par la frontière.

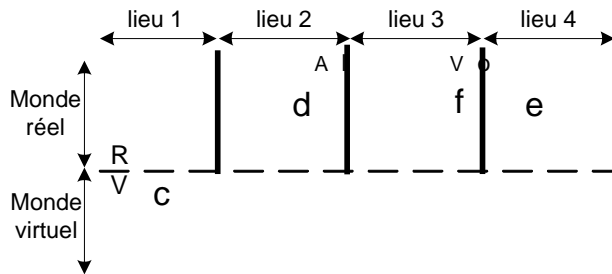


Figure 16. Représentation des frontières

Deux types de frontières sont représentés :

- x La frontière monde réel/monde virtuel est représentée par une ligne horizontale pointillée (item c, Figure 16). La nature (réelle/virtuelle) des entités est donc simplement précisée par leur position par rapport à cette frontière. Cette frontière est franchissable par des sons à l'aide de transducteurs (Cf. ci-après).
- x Les frontières entre différents lieux du monde réel sont représentées par une ligne verticale pleine pour montrer qu'elles sont infranchissables par une relation (Figure 16, item d). Cependant, si 2 lieux sont « assez proches » l'un de l'autre, les sons peuvent franchir leurs et, par exemple, 2 personnes peuvent communiquer par la voix sans se voir (item e). De même il est possible de représenter des miroirs sans teint (item f) : le lieu 4 peut voir le lieu 3 mais pas l'inverse.

Nous considérons qu'il n'y a pas de frontière dans le monde virtuel car les réseaux fournissent un environnement numérique. Bien sûr, cela n'est pas totalement transparent aux utilisateurs : les retards apportés essentiellement par les délais de transmission peuvent être perceptibles et même gênants en particulier pour les transmissions audio.

Entités

Utilisateurs. Un utilisateur (U) est principalement représenté par les canaux qu'il peut utiliser (figure 17a) ; nous considérons :

- x Le canal Visuel (V) : c'est essentiellement une entrée (sens de la vue) mais aussi une sortie (direction du regard détectée par un eye-tracker ou oculomètre).
- x Le canal audio (A) : en entrée (ouïe) et sortie (voix : parole, chant, ...).
- x Le canal kinesthésique/haptique (KH) : en sortie (manipulation, geste, ...) et en entrée (sens du toucher).

D'autres sens, comme le goût, pourraient être ajoutés si nécessaire à la représentation de l'utilisateur.

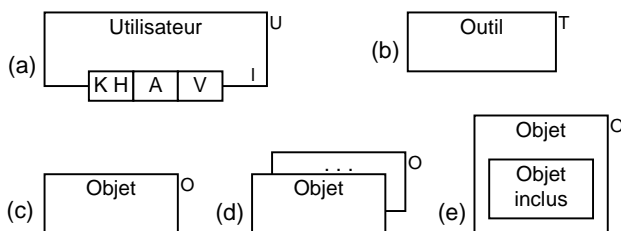


Figure 17. Entités d'IRVO

Objets. Les objets sont représentés en Figure 17b (outils) et Figure 17c (objets du domaine) la différence entre les deux types d'objets est uniquement faite par l'étiquette T ou O placée en haut à droite de la représentation graphique. Ces étiquettes précisent aussi si ces objets sont réels (Tr, Or) ou virtuels (Tv, Ov), cette indication étant redondante avec leur position relative à la frontière R/V. Des piles d'objets (Figure 17d) représentent des collections d'objets de même type et la Figure 17e montre la représentation d'objets inclus dans un autre.

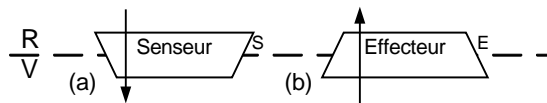


Figure 18. Transducteurs

Transducteurs. Pour communiquer entre les mondes réels et virtuels, l'information provenant du monde réel doit être transformée en données numériques, ce qui est réalisé par des capteurs (Figure 18a). L'opération inverse est réalisée par des effecteurs ou actuateurs (Figure 18b). Ces deux transducteurs sont toujours placés à la frontière entre les mondes réel et virtuel. Parce qu'ils ne font que transformer la nature de l'information (réel vers virtuel ou l'inverse), ils ne participent pas directement à l'interaction. Leurs représentations sur un schéma sont facultatives. Cependant, les caractéristiques des transducteurs (et surtout leurs limitations) ont une influence directe sur l'interaction au point de la rendre impossible dans certains cas ; ainsi, une modélisation fine d'un système de Réalité Mixte en phase de conception est un élément essentiel de la prise en compte afin de pouvoir explorer plusieurs solutions techniques alternatives.

Dans IRVO, les transducteurs modélisent la fonctionnalité de traduction des phénomènes réels en données virtuelles et sont distincts des dispositifs. En effet, des dispositifs complexes peuvent proposer plusieurs fonctionnalités qui seront représentées par autant de transducteurs dans le modèle IRVO.

Relations

Les relations (matérialisées par des flèches) représentent l'échange d'information entre deux entités. Pour un utilisateur, cela peut être une action (flèche partant de U) ou une perception (flèche arrivant à U). Le canal de l'utilisateur (KH, A ou V, Cf. Figure 17a) d'où part ou arrive la flèche renseigne sur la nature de l'information. Une relation peut aussi représenter une communication entre deux utilisateurs. Entre des outils et objets, les flèches expriment les actions des outils sur les objets. Une relation matérialisée par une ligne pointillée signifie que la relation existe mais qu'elle est peu importante vis-à-vis de la tâche courante (par exemple le retour haptique d'une souris n'est pas important pour la déplacer de droite à gauche ou de bas en haut). Le feedback est principalement assuré par la vision du pointeur sur l'écran).

Les transducteurs sont traversés par les relations pour montrer qu'ils changent la nature de l'information (réel / virtuel) mais pas la sémantique. Par exemple les mouvements d'un stylo sur des pages sont transformés en coordonnées x, y dans le monde virtuel pour être acceptés et créés un objet virtuel. Les relations peuvent être plus précisément caractérisées par les propriétés multimodales Bensen (1994b) comme dans ASUR (Debais 2001).

Représentation des objets mixtes

Dans le modèle IRVO, les objets ne peuvent se trouver "à cheval" sur la frontière réel/virtuel. Les objets mixtes sont modélisés comme une composition

entre un objet réel (O) et un objet virtuel (Ov). Cette composition est représentée sous forme d'un rectangle en traits pointillés entourant les deux objets réels et virtuels (Figure 19).

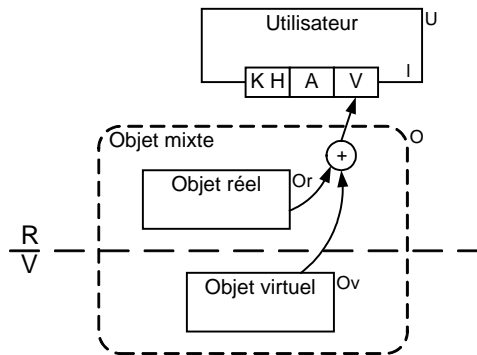


Figure 19. Objets mixtes représentés comme une composition

Pour faire ressortir le fait que l'utilisateur perçoit l'objet mixte comme un tout, la perception des parties réelle et virtuelle est fusionnée par l'opérateur.

Mobilité des entités

Les entités peuvent être fixes ou mobiles dans l'environnement. Cette propriété est représentée par un symbole placé en bas à droite de l'entité. Pour représenter qu'une entité est mobile, le symbole 'o' est utilisé (Figure 20a). Si une entité ne peut pas bouger pendant la tâche, le symbole 'u' est utilisé (Figure 20b) et si une entité est toujours fixe, le symbole 'E' est utilisé (Figure 20c). Ces symboles ne constituent qu'un résumé des principales situations. La nature exacte des mouvements doit être précisée dans le détail des entités en détail dans le schéma.

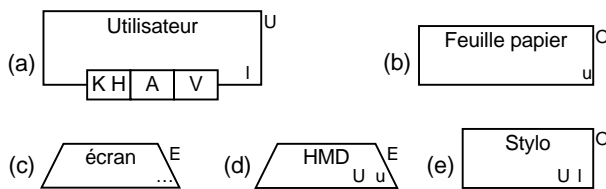


Figure 20. Représentation de la propriété de mobilité

Si les symboles de mobilité sont précédés du nom d'une autre entité, alors le mouvement n'est plus absolu mais relatif à cette entité par exemple dans la Figure 20d, un casque de visualisation (HMD) est porté par l'utilisateur et se déplace avec lui : il est donc fixe par rapport à U ('U') mais mobile par rapport à l'environnement. Dans la Figure 20e, le stylo est tenu par l'utilisateur mais n'est pas lié à U de manière rigide (d'où le symbole 'U').

Les symboles de mobilité sont facultatifs si le symbole n'est pas présent, cela signifie que la propriété de mobilité n'est pas spécifiée, sauf pour les objets inclus qui sont supposés être liés de manière rigide à l'objet englobant.

5.3 Exemple d'application de la démarche de conception avec IRVO

Dans ce qui suit nous montrons les scénarios, deux modèles et deux configurations de dispositifs engagées avec la méthode de sélection et la modélisation IRVO des deux activités génériques importantes.

Scénarios

Les scénarios que nous relatons sont différents des scénarios précédents, car plus orientés réalité augmentée. En effet, ils portent sur une intervention répondant aux besoins de maintenance et obligatoires nécessitant un respect et un contrôle stricts des procédures.

1. L'intervenant se connecte à l'application et accède à son environnement ainsi qu'à son planning. Une fois sur le lieu de l'intervention, grâce au tag RFID de la machine concernée, il récupère toutes les caractéristiques de cette dernière et l'historique des interventions et des derniers intervenants, ...

2. Il lance ensuite le workflow (aussi appelé flux d'activités) de maintenance correspondant à la machine sur laquelle il veut intervenir.

3. La procédure impose à l'intervenant de faire la correspondance entre l'identité de la machine, stockée dans le tag RFID, et celle du workflow. Une fois cette étape validée, la maintenance commence et l'heure de démarrage est sauvegardée dans l'historique de l'intervention.

4. Le technicien procède ensuite au montage, étape suivante du workflow, et utilise ses deux mains, tout en consultant la documentation adaptée, utilisant le média approprié (texte, image, vidéo, son).

Nota : Lors de chaque étape, le workflow affiche les outils à utiliser, les plans précis des sous-ensembles et pièces à monter, et enregistre les actions de l'intervenant. Outils et pièces sont équipés de tags RFID que le technicien doit « taguer » dans l'ordre de la procédure. Cette action conditionne le passage à l'étape suivante.

5. En cas de rupture de compétence, le technicien collabore à distance avec un expert. Ce dernier accède au contexte, à l'historique de l'intervention et guide l'intervenant via des indications graphiques, orales, textuelles.

6. Si au cours de la maintenance, l'intervenant repère une pièce défectueuse, il peut, via l'étiquette RFID située sur chacune d'elles, lancer un processus de remplacement.

7. Le remontage est intégré dans la procédure. Chaque pièce et outil sont « tagués » pour vérifier que la maintenance est correctement effectuée.

8. La procédure se termine par la mémorisation d'un historique de maintenance dans l'étiquette RFID de la machine.

Tâches modélisées

A titre d'exemple, les étapes 4 et 5 sont modélisées sur les figures 21 et la figure 22 sous forme d'arbre de tâches CTT. Dans ces arbres apparaissent les tâches élémentaires d'interaction en entrées et en sorties, ce qui nous permet d'appliquer la démarche d'aide au choix de dispositifs pour l'ordinateur porté. Pour la figure 21, nous ne détaillons que la sous-tâche « vérifier la pièce et l'outil » illustrant le concept de prescription d'opération et de traçabilité.

Figure 21. Arbre de tâches de pré-ét exprimé avec CTT

Configurations dégagées

Suite à l'étude des scénarios et à la modélisation des tâches, avec l'aide au choix de dispositifs pour l'ordinateur porté nous obtenons deux configurations :

- x La première configuration se caractérise par les lunettes à écran opaque intégré, le lecteur RFID dans le creux de la main numérique pour la sélection d'actions à effectuer et le casque avec micro et écouteur intégrés pour la collaboration et la consultation d'informations sonores. Cette configuration a pour but d'assurer la traçabilité des opérations et de valider la bonne utilisation d'outils lors des séquences d'opérations prescrites.
- x La seconde configuration comporte le lecteur RFID, le gant numérique, et le casque avec micro et écouteur intégré, les lunettes « see-through » et sur ces lunettes une caméra pour partager le contexte visuel de l'intervenant avec l'expert distant et pour repérer les tags se trouvant sur la machine. De cette façon le guidage de type réalité mixte est possible.

Figure 22. Arbre de l'étape 5 exprimé avec CTT

Modélisation IRVO

L'étape suivante de notre démarche est la modélisation des interactions avec IRVO. A titre d'exemple nous présentons la modélisation de la tâche « démonter pièce » sans la sous-tâche « vérifier pièce à démonter » de l'étape 4 (Cf. figure 21).

La figure 23 présente le modèle IRVO dans la configuration n° 1. L'utilisateur manipule l'outil avec sa main (flèche entechicien U et l'outil Tr) qui agit sur la machine à réparer (flèche ADr), ce qui correspond à la sous-tâche vérifier pièce à démonter de la figure 21. En prenant l'outil, le lecteur RFID (modélisé comme un senseur S1) placé dans sa paup permet de vérifier que c'est bien un bon outil grâce au tag RFID collé sur la machine. Cette confirmation est présentée à l'utilisateur sous forme d'une indication visuelle (modélisée par un outil virtuel Tv) affichée dans les lunettes à écran opaque « effecteur » E). La perception visuelle de l'utilisateur est représentée par l'outil Tv arrivant sur le canal visuel (V). Cette 2^{me} boucle action-perception correspond à la sous-tâche vérifier outil à utiliser de la figure 21. Enfin, la sous-tâche afficher procédure et aide se réalise par la perception par l'utilisateur de l'outil « procédure et aide » affichée dans les lunettes opaques.

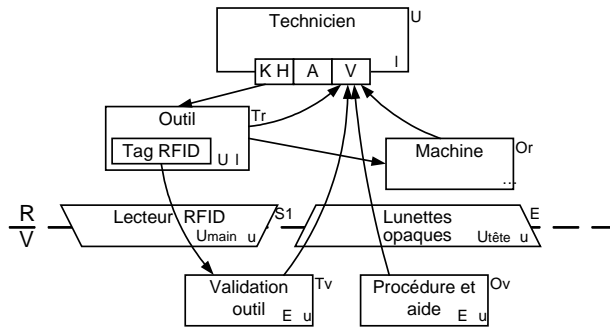


Figure 23. Modèle IRVO dans le cas de la configuration 1

La figure 24 présente le modèle IRVO dans la configuration n° 2. La partie correspondant au lecteur RFID est presque similaire au cas précédent ; cependant, les lunettes see-through (effecteur E) permettent d'afficher les informations (Tv) en surimpression sur la scène réelle. Le modèle IRVO fait clairement apparaître dans ce cas la perception augmentée de l'outil réel (Tr) par, d'une part le cadre pointillé (T) entourant l'ensemble des éléments réels et virtuels, et d'autre part l'opérateur '+' qui montre la fusion des perceptions visuelles de l'outil réel (Tr) et de l'outil virtuel (Tv). La caméra (ensembles S2), fixée aux lunettes permet de capturer la position de la machine à l'aide de visuels et ainsi de pouvoir afficher en surimpression la procédure et l'aide. A nouveau le modèle IRVO fait apparaître la perception augmentée de la machine réelle grâce au cadre pointillé (O) et à l'opérateur '+'.
 Le modèle IRVO fait clairement apparaître dans ce cas la perception augmentée de l'outil réel (Tr) par, d'une part le cadre pointillé (T) entourant l'ensemble des éléments réels et virtuels, et d'autre part l'opérateur '+' qui montre la fusion des perceptions visuelles de l'outil réel (Tr) et de l'outil virtuel (Tv). La caméra (ensembles S2), fixée aux lunettes permet de capturer la position de la machine à l'aide de visuels et ainsi de pouvoir afficher en surimpression la procédure et l'aide. A nouveau le modèle IRVO fait apparaître la perception augmentée de la machine réelle grâce au cadre pointillé (O) et à l'opérateur '+'.

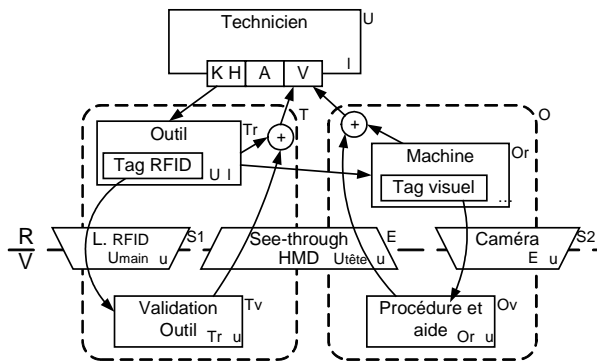


Figure 24. Modèle IRVO dans le cas de la configuration 2

Ces deux modélisations IRVO nous permettent par exemple, de comparer la propriété ergonomique de continuité perceptuelle pour chaque configuration. En effet, dans la figure 23, le technicien doit continuellement regarder 4 sources d'informations (2 réelles et 2 virtuelles) géographiquement dispersées dans l'environnement perceptuel alors que dans la figure 24, via la réalité augmentée, n'y a plus que deux sources d'informations. La deuxième configuration apparaît donc comme plus ergonomique, car réduisant en principe la charge cognitive du technicien.

6 Conclusion

Dans cet article, nous avons décrit une démarche aidant la conception de dispositifs d'ordinateur porté dans le contexte de réalité virtuelle et de réalité augmentée. Nous avons d'abord décrit le cadre dans lequel nous nous situons, celui de l'approche basée modèles, où le modèle de tâches est en étant en dehors des éléments architecturaux qui sont généralement plus bas, joue un rôle prédominant. Nous avons montré comment la transformation et l'affinement de tâches permettent de dégager le modèle de l'univers des modèles abstraits d'interaction et alimente les modèles de présentation (d'interaction) concrets. Nous avons dégagé le besoin d'interaction comme dernier stade indépendant de contextes et de dispositifs. Puis nous avons montré le passage vers des dispositifs concrets. La seconde partie de notre modèle a pour but de choisir les dispositifs d'interaction de l'ordinateur porté de façon aussi explicite et raisonnée que possible, dans la logique de Design Rationnel. Ce choix des dispositifs issus d'un référentiel est guidé par un ensemble de matrices explicitant les critères et les coefficients de pondération. Nous avons donné un aperçu de l'efficacité et de la reproductibilité sur un exemple concret.

Cette démarche se veut générique et s'applique à l'ensemble des dispositifs d'interaction existants ou à venir. Elle permet de configurer l'ordinateur porté en relation avec les tâches à effectuer. Nous n'avons néanmoins voulu insister sur une autre voie qui s'éloigne de l'objectif de plasticité, qui conduit à rester indépendant de dispositifs aussi longtemps que possible jusqu'à l'utilisation, permettant à l'utilisateur final de changer et dynamiquement les dispositifs utilisés. En effet, certaines situations de réalité augmentée ne se trouvent pas dans la situation de plasticité (le chirurgien ne peut abandonner le scalpel ou une aiguille au profit d'un dispositif original) sont donc dès le départ conçues dans la logique de la symbiose entre les objets réels et les objets virtuels et outils réels et virtuels. Dans ce cas, des nouvelles configurations originales sont à imaginer, mettre en place et valider. Le référentiel joue dans ce cas une importance, car il est possible de proposer des dispositifs qui ne se trouvent pas. Des travaux de création de nouvelles configurations d'interaction dans le contexte classique (informatique) sont menés en particulier par Dragicevic (Dragicevic, 2004) et (Hollnagel, 2006). Dans le contexte de la réalité augmentée, les travaux sur WComp (Figueroa, 2006) sont très intéressants. Nous avons montré la contribution d'IRVO à cette démarche de conception de systèmes de réalité augmentée, tout en restant aussi près que possible de la logique de notre méthode.

La démarche que nous avons décrite dans cet article peut apparaître à certains comme lourde, basée sur un couplage trop important entre l'homme et la machine, ... A ces détracteurs nous répondons que l'interaction informatique mobile, ubiquitaire et pervasive n'est qu'à ses débuts. L'interaction ambiante qui se met progressivement en place conduira inévitablement les acteurs à profiter et capter, interpréter, assimiler et utiliser ces informations pour des activités à mener. Des nouveaux dispositifs d'interaction utilisables en continu apparaissent tous les jours tant au niveau des dispositifs génériques, réutilisables, que des dispositifs hybrides de réalité augmentée. C'est dans ce cadre que se situe notre démarche. Le couplage ainsi obtenu entre l'humain et son ordinateur porté permettra de créer une nouvelle symbiose qui sera plus ou moins longue à capter et à digérer. Cela ne se passera évidemment pas de la même manière dans tous les contextes applicatifs, les exigences d'efficacité, de fiabilité, de qualité et de performance n'étant pas les mêmes.

Nous n'avons volontairement, par manque de place, pas abordé certains aspects, qui sont néanmoins à ne pas négliger s'agit notamment du rôle des

patterns, qui peuvent rendre le processus de configuration plus efficace grâce à un côté à des patterns non contextualisés dépendants de dispositifs et l'autre des patterns liés aux dispositifs. De fait, les deux étapes du processus, explicitation des tâches et configuration de l'ordinateur porté, pourraient bénéficier des acquis des expériences passées.

7 Références

- Baron, M., Lucquiaud, V., Autard, S., Scapin, D. L. (2006). K-MADe : un environnement pour le noyau du modèle de description de l'activité. Proceedings of IHM 2006 International Conference Proceedings Series, ACM Press, 287-288.
- Beaudouin-Lafon M. (2000). Instrumental interaction: an Interaction Model for Designing Post-WIMP Interfaces. Proceedings ACM Human Factors in Computing Systems, CHI'2000, The Hague (Netherlands), April 2000, ACM Press, 446-453.
- Bernsen, N.O. (1994a). A revised generation of the taxonomy of output modalities. Basic Research project AMEUS-2 Working Paper RP5-TM-WP11.
- Bernsen, N.O. (1994b). Foundations of multimodal representations. A taxonomy of representational modalities for interacting with Computers, No. 4, 347-371.
- Bernsen, N.O. (1995). A taxonomy of input modalities. Working Papers in Cognitive Science and HCI, PCS-95-9 Centre for Cognitive Science, Roskilde University.
- Bertrand, P. (1985). Présentation des interfaces graphiques. Supports technique n°48, INRIA Centre de Rocquencourt. Mars 1985.
- Bolognesi T., Brinksma, E. (1988). Introduction to the ISO Specification Language LOTOS. Computer Networks and ISDN Systems, 11, 25-29.
- Burge, J., Brown, D.C. (2000). Being with Design Rationale. Artificial Intelligence in Design, J. S. (Eds.), Springer, 611-629.
- Buxton, W. (1983). Lexical and Pragmatic Considerations of Input Structure. Computer Graphics, 17, num. 1, 31-37.
- Card, S., Moran, T., Newell, A. (1983). Psychology of Human-Computer Interaction. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ.
- Card, S. K., Mackinlay, J. D., Robertson, G. (1991). A morphological analysis of the design space of input devices. ACM Transactions on Information Systems, 10, 99-122.
- Chalon R., David B. T. (2004). Modélisation de l'interaction collaborative dans les systèmes de Réalité Mixte. Proceedings of IHM 2004 International Conference Proceedings Series, ISBN 0-13-926-8, ACM Press, 37-44.
- Chalon R., David B.T. (2005). IRVO: an Interaction Model for designing Collaborative Mixed Reality Systems. Proceedings HCI International 2005, Las Vegas, USA, 22-27 July.
- Champalle, O. (2007). Mobile learning situation au dépannage (Thématique HelpMeToDo). Mémoire CNAM soutenu le 10 décembre 2007, 224 p.

Champalle, O., David, B., Chalon, R., Masserey (2006). G. Ordinateur porté support de réalité augmentée pour des activités de maintenance et de dépannage. Actes des 3e Journées Françaises Ubiquité, UbiMob'06 Paris, 5-8 septembre, 103-106.

David B., Masserey G., Champalle O., Ch., Gagne O., Chalon R. (2007). L'ordinateur porté et la réalité augmentée dans les activités de diagnostic – maintenance – réparation. 7e Congrès International de génie industriel, CI GI 2007 Rivières, Québec (Canada).

David, B., Chalon, R. (2007). IMERA: Experimentation Platform for Computer Augmented Environment for Mobile Act. 3rd IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications, WiMob'07 8-10, 2007, Crowne Plaza Hotel, White Plains, New York, USA.

Dragicevic, P. (2004). Un modèle d'interaction pour des systèmes interactifs multi-dispositifs hautement configurables. Thèse de l'Université de Nantes.

Dubois E., Nigay L., Troccaz J. (2001) Consistency in Augmented Reality Systems. In Proc. of EHCI'01 Toronto, LNCS 2254, Springer-Verlag

European Telecommunications Standards Institute (2002) Human factors: Guidelines on the multimodal icons, symbols, and pictograms support technique, N. ETSI EG 202 048 v 1.1.1, ETSI, Sophia Antipolis, août.

Farenc, C., Palanque, P. (1999). Exploitation des notations de Design Rationale pour une conception justifiée des applications interactives. Actes de la 11ème conférence francophone de l'homme-Machine, IHM99, Montpellier, 33-40.

Fekete, J.-D., Girard, P. (2001). Environnements de développement de systèmes interactifs. In C. Kolski. (Ed.), Interaction homme-machine pour les Systèmes d'Information, volume 2, 232, Editions HERMES, Paris.

Foley, J. D., Wallace, V. L., Chan, P. (1984). The human factors computer graphics interaction techniques. IEEE Computer Graphic Applications, 13-48.

Foley, J.D., van Dam, A., Feiner, S., Hughes, J. (1990). Computer graphics Principles and Practice. Addison-Wesley, 2nd edition.

Florins, M., Trevisan, D., Vanderdonck (2004). The Continuity Property in Mixed Reality Systems and Multiplatform Systems: a comparative study. In Proceedings of CADUI'04, Funchal, Madeira Island, Portugal, 328-339.

Hinckley, K., Jacob, R.J.K., Ware, C. (2004). Input/output Devices and Interaction Techniques. In The Computer Science Handbook Second Edition, Tucker, A.B. (Ed.), Chapman and Hall/CRC Press, 20.1-20.32.

Huot, S., Drgicevic, P., Dumas, C. (2006). Flexibilité et modularité pour la conception d'interactions : Le modèle d'architecture logicielle des Graphes Combinés. In Proceedings of IHM, 2006 International Conference Proceedings Series, ACM Press, 43-50.

Jacob, R.J.K., Leggett, J.J., Myers, P., Asch, R. (1993). Interaction Styles Input/Output Devices Behaviour and Information Technology. Journal of Human-Computer Studies, 2, 69-79.

- Jacob, R. J., Sibert, L. E., McFarlane, C., Mullen, M. P. (1994). Integrality and separability of input devices. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction* 1, num. 1, 3-26.
- Kolski C. (Ed.) (2001). Analyse et conception de l'interaction homme-machine pour les systèmes d'information, Hermès, Paris.
- Lacaze, X. (2005). La conception rationalisée des systèmes interactifs. Thèse de l'Université Paul Sabatier, IRIT, Toulouse.
- Lacaze, X., Palanque, P., Navarre, D. (2002). Evaluation de modèles de tâches comme support à la conception raisonnée des systèmes interactifs. In Proceedings of 2002 International Conference Proceedings Series, ACM Press, 17-24.
- Limbourg Q. (2004). Multi-path Development of User Interfaces. Ph.D. Thesis. Université catholique de Louvain, IAG-School Management. Louvain-la-Neuve.
- Lingrand, D., de Morais, W., Tigli, J.Y. (2005). Ordinateur porté : dispositifs d'entrée-sortie. In Proceedings of IHM 2005 International Conference Proceedings Series, ACM Press, 219-222
- MacKenzie, I. S. (1995). Input devices and interaction techniques for advanced computing. In W. Barfield, & T. A. Furness III (Eds.), *Virtual environments and advanced interface design*, UK: Oxford University Press, 437-470.
- Masserey, G., Champalle, O., David, C., Balon R. (2006). Démarche d'aide au choix de dispositifs pour l'ordinateur portable. Actes du colloque ERGO'IA 2006 «L'humain comme facteur de succès des systèmes informatiques», 14-18 octobre 2006, Biarritz, 171-178.
- McKerlie, D., MacLean, A. (1994). Reason with Design Rationale: Practical Experience with Design Space Analysis. *Design Studies* (2), 214-226.
- Moran, T.P., Carroll, J.M. (1990). *Design Rationale: Concepts, Techniques, and Use* Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Open Software Foundation (1995). *OSF/Motif Style Guide Revision 1.0*
- Paterno, F. (2000). *Model-Based Design and Evaluation of Interactive Applications* Applied Computing Series, Springer.
- Paterno, F. (2003). Concurrency Engineered Notation for Task Models. Chapter 24, in Diaper, D., Stanton, N. (Eds.), *The Handbook of Task Analysis for Human-Computer Interaction* Lawrence Erlbaum Associates, 483-503.
- Plouznikoff, N., Robert, J.-M. (2004). Caractéristiques, enjeux et défis de l'informatique portée. In Proceedings of IHM 2004 International Conference Proceedings Series, ACM Press 125-132.
- Programmer's Hierarchical Interactive Graphics System (PHIGS) (1989). Functional Description, Computer Graphics 9592-1:1989, American National Standards Institute, New York, NY.
- Szekely P. (1996). Retrospective and changes for Model-Based Interface Development. In Proceedings of the 2nd International Workshop on Computer-Aided Design of User Interfaces Vanderdonck, J. (Ed.), Namur University Press.

- Shakeri, C., Brown, D., Noddl, M. (2000) Discovery of Design Methodologies. In Artificial Intelligence in Design. Gero J. S. (Ed.), Springer, Netherlands, 479-496.
- Thevenin, D. (2001) Adaptation en Interaction Homme-Machine cas de la plasticité. Thèse en informatique, Université Joseph Fourier, Grenoble, 212 p.
- Tigli J.-Y., Cheung-Foo-Wo D., Lavirotte, Riveill M. (2006) Adaptation au contexte par tissage d'aspects d'assurements composants déclenchés par des conditions contextuelles. STSI Série ISI 11 (5), 89-114.
- Vanderdonckt, J. (2005) MDA-Compliant Environment for Developing - User Interfaces of Information Systems. In O. Pastor and J. Falcão e Cunha (Eds.), CAiSE 2005 Springer-Verlag, LNCS 3520, 16 – 31.
- Weiser M. (1991). The Computer of the 21st Century. Scientific American, num. 3, 66-75.
- Wellner, P., Mackay, W., Gold, R. (1996) Computer Augmented Environments: Back to the Real World. Communications of the ACM 36, num. 7, 24-27.
- Yeh R.B., Brant J., Boli Klemmer S.R. (2006) Interactive Gigapixel Prints: Large, Paper-Based Interfaces for Visual Context and Collaboration. Stanford University Computer Science Department Technical Report. October, 2006.