

Evaluation et conception des systèmes mixtes selon une approche centrée utilisateur

Syrine Charfi

LIHS – IRIT

UPS 118 Route de Narbonne, F-
31062 TOULOUSE CEDEX 9

Charfi@irit.fr

RESUME

Les systèmes mixtes sont des systèmes interactifs impliquant des entités des mondes physiques et numériques. Face à cette spécificité, la conception de tels systèmes doit intégrer des aspects complémentaires à une conception d'IHM traditionnelle.

Le modèle des systèmes mixtes ASUR s'inscrit dans cette optique en permettant de décrire l'interaction dans une tâche mixte. Pour une tâche donnée, il identifie et caractérise les composants impliqués, les informations et les relations entre ces composants. ASUR constitue un support au raisonnement technique, et met en valeur des propriétés en relation avec l'étude de l'utilisabilité du système.

ASUR étant centré sur une tâche, il ne permet pas d'étudier la synchronisation, la dynamique, ni la cohérence entre deux tâches exprimées à un niveau d'abstraction identique ou différent. Il ressort des méthodes de conception d'IHM que ces aspects sont plus facilement explorables au travers des modèles de tâches. Ainsi, le modèle MAD permet de décrire les tâches de l'utilisateur à différents niveaux d'abstraction, leur articulation, les objectifs de l'utilisateur, les pré et post-conditions, etc.

Afin de tirer profit des aspects complémentaires couverts par ces deux modèles, l'objectif des travaux est la mise en évidence d'espaces de recouvrement permettant l'articulation de MAD et ASUR. La caractérisation de ces espaces, constitués d'éléments communs aux deux modèles ou d'éléments liés sémantiquement par d'autres intermédiaires, mènera à l'identification d'enseignements théoriques complémentaires, support à l'étude de la cohérence entre les techniques d'interaction à mettre en œuvre au cours d'une activité impliquant une séquence de sous-tâches.

Categories and Subject Descriptors

H5.2 [Information Interfaces and Presentation]: *User-Centred Design, Theory and Methods, Ergonomics.*

General Terms

Design, Human Factors.

Mots Clés

Systèmes mixtes, conception, modèle d'interaction, modèle de tâches, utilisabilité.

1. INTRODUCTION

Les systèmes mixtes résultent de la fusion du monde physique et du monde numérique regroupant ainsi la réalité augmentée et la virtualité augmentée. La particularité de ces systèmes, de par cette fusion, est la multiplicité des objets intervenant dans la tâche de

l'utilisateur. La présence d'objets numériques et physiques utilisés, a une influence sur l'interaction durant la tâche mixte ainsi que sur le déroulement de l'activité et pose de nouveaux problèmes en termes de conception.

Développer un processus de conception spécifique aux systèmes mixtes constitue un des enjeux actuels en IHM. Dans le domaine des IHM traditionnelles, plus de 12 modèles de conception sont présents dans la littérature. Parmi eux, les modèles du domaine, de présentation et de dialogue sont les seuls à être partiellement pris en compte dans les approches destinées aux systèmes mixtes. Pour enrichir ces approches de conception, nous nous intéressons à deux éléments complémentaires essentiels : (1) l'expression de l'intégration des systèmes mixtes dans l'activité globale de l'utilisateur ; (2) l'intégration des aspects liés à la dynamique des situations interactives mixtes. Or ces 2 éléments sont en partie véhiculés par les modèles de tâches : le but de notre travail est donc d'explorer et de caractériser l'articulation des modèles de systèmes mixtes et des modèles de tâches pour contribuer à l'élaboration d'un processus de conception des systèmes mixtes. Pour illustrer et valider notre approche, nous nous appuyons sur une application concrète en cours de développement, destinée à être implantée dans le Muséum d'Histoires Naturelles de Toulouse.

Après avoir brièvement présenté cette application, nous présentons le domaine et les définitions des systèmes mixtes. Nous présentons ensuite un panorama des modèles de tâches et des modèles de systèmes mixtes existants. Enfin, nous identifions les fondements d'une articulation entre deux de ces modèles, MAD et ASUR, en les illustrant avec notre cas d'étude.

2. Cas d'étude en contexte muséal

Ce travail est réalisé dans le cadre du projet Protopraxis en collaboration avec la société Metapages et le Muséum d'Histoires Naturelles de Toulouse. Le but de ce projet est le développement d'une application interactive permettant d'apprendre la cladistique (nouvelle méthode de classification des êtres vivants).

L'application existante, codée en Director et basée sur le paradigme WIMP, est constituée de trois étapes principales : (1) l'utilisateur organise librement dix animaux qui lui sont présentés puis annote son organisation; (2) les animaux sont présentés ensuite par groupe de trois. Les caractéristiques communes de l'animal de référence et des deux autres animaux sont ensuite affichées (Fig. 1.a). Une représentation graphique (cladogramme) structure le résultat de ces comparaisons (Fig. 1.b); (3) l'utilisateur réorganise librement les animaux et ré-annote l'organisation.

Cette approche constitue un noyau original pour transmettre un contenu en contexte muséal. Afin d'offrir des formes d'expériences interactives complémentaires, le développement d'alternatives basées sur l'usage de techniques d'interaction mixtes pour tout ou une partie de l'application existante est en cours d'étude.



**Figure 1 : a. Comparaison des animaux par groupe de 3
b. Structuration du résultat de comparaison en cladogramme**

3. SYSTEMES MIXTES

Il existe différentes approches de classification des systèmes mixtes. Dans le domaine de la synthèse d'image, les systèmes de réalité mixte sont classés selon trois concepts [9] : *extent of world knowledge* qui exprime la quantité de connaissance qu'a le système du monde, *reproduction fidelity* qui exprime le taux de fidélité du système quant à sa représentation du monde et *extent of presence metaphor* qui correspond au degré d'immersion de l'utilisateur et au point de vue exocentrique ou egocentrique.

Une deuxième approche, basée sur la réalisation de la tâche de l'utilisateur, regroupe plusieurs axes de classification [8]. Le premier axe de classification proposé est la forme de l'augmentation, optique et vidéo, graphique 3D et textuelle, guidage sonore et haptique. Le second axe est la cible de l'augmentation qui peut être l'utilisateur, l'environnement ou l'objet.

Une autre approche caractérise ces systèmes selon leur capacité à reconnaître la situation de l'utilisateur et à pallier aux problèmes de frontières entre les mondes réels et virtuels [12]. L'interaction est désignée par le terme « interaction augmentée ».

Enfin, le terme « système mixte » a été introduit pour désigner un système interactif mêlant une partie du monde physique et une partie du monde numérique [3]. Deux caractéristiques sont identifiées : l'objet de la tâche (physique ou numérique) et le type d'augmentation (évaluation ou exécution). Le système est dit de réalité augmentée (RA) lorsque l'objet de la tâche est physique et de virtualité augmentée (VA) lorsqu'il est numérique. Par exemple, lorsque l'utilisateur est guidé dans un bâtiment grâce à des indications numériques affichées sur un HMD [11], il s'agit d'un système de RA proposant une augmentation de l'évaluation. Dans un système de VA, des palets magnétiques représentant des données numériques - articles ou noms d'auteurs- sont manipulés physiquement pour les organiser sur un tableau [6]. Il s'agit d'un système de VA enrichissant l'exécution de l'utilisateur.

Les systèmes mixtes sont au cœur de nos travaux, quelque soit le type d'augmentation. Nous synthétisons dans la section suivante les travaux relatifs aux 2 dimensions essentielles que nous identifions pour la conception des systèmes mixtes : les approches de modélisation de la tâche ainsi que les approches spécifiques aux systèmes mixtes.

4. MODELES CANDIDATS POUR LA CONCEPTION DES SYSTEMES MIXTES

4.1 Modèles de tâches

Parmi les modèles de tâche les plus utilisés [7], nous distinguons 3 formes de couvertures : (1) En phase d'analyse, le modèle GTA permet de modéliser la complexité des tâches dans un environnement coopératif. TKS est une représentation conceptuelle de la connaissance qu'a un utilisateur d'une tâche particulière. Une tâche est ici déterminée selon le rôle de la personne ; (2) En phase de conception, les modèles CTT et MAD [10] permettent de décrire différents types de tâches et les relations entre tâches de même niveau en utilisant des opérateurs. DIANE + décrit formellement une tâche en se basant sur les concepts d'opération, séquençage et décomposition. (3) En phase d'évaluation, GOMS a pour but l'optimisation de la performance de l'utilisateur en permettant l'évaluation du temps d'exécution et d'apprentissage.

Les modèles de tâches, cités ci dessus, utilisent des notations différentes. Un méta modèle unifié des modèles de tâches a été proposé par [7], synthétisant les représentations fournies par les différents modèles.

4.2 Modèles des systèmes mixtes

Plusieurs modèles ont été proposés pour la conception des systèmes mixtes : ils adoptent des approches différentes. Dans le domaine des interfaces tangibles, le paradigme TAC [13] et l'architecture MCPrd [5] décrivent les éléments requis. Le premier s'intéresse à la description des éléments physiques tandis que le deuxième se focalise sur la structure logique des TUI. Trevisan [14], ASUR [4], IRVO [2] et MIM [1] sont des modèles et des notations fondés sur l'identification des entités, des caractéristiques et des outils pertinents pour les systèmes mixtes.

Ces modèles fournissent différents points de vue sur des dimensions spécifiques aux systèmes mixtes, non intégrées dans les approches de conception traditionnelles en IHM. En effet, ils permettent de décrire la tâche en identifiant les objets physiques et numériques ainsi que leurs rôles et les relations entre eux. Ils permettent, ensuite, de comparer et d'explorer les systèmes en constituant un support à l'exploration des techniques d'interaction mixtes. D'autre part, ils aident à l'évaluation, en mettant en valeur des propriétés liées à ces concepts et en relation avec l'étude de l'utilisabilité du système.

5. FONDEMENTS DE L'ARTICULATION MAD – ASUR

Parmi les différentes instances de ces deux classes de modèles, tâches et systèmes mixtes, nous avons retenu respectivement les modèles MAD et ASUR. En effet, l'articulation s'inscrivant dans la phase de conception et les systèmes mixtes impliquant des objets et des dispositifs, la gestion des objets du monde proposée dans MAD constitue un atout par rapport aux autres modèles de tâches. De plus, MAD est doté d'un éditeur graphique : K-MADe. Par ailleurs, ASUR est le seul modèle des systèmes mixtes à proposer un éditeur graphique dédié, GuideMe, qui permet en outre l'export des modèles dans un format standard (XML).

Nous présentons les principes conducteurs de ces deux modèles ainsi que les bases de leur articulation.

5.1 Le modèle MAD

MAD (Méthode Analytique de Description) [10] est centré sur l'unité tâche, qui peut être décrite selon deux aspects, la décomposition et le corps.

La *décomposition* d'une unité tâche d'un niveau donné donne lieu à plusieurs unités tâches de niveau inférieur. La décomposition offre des opérateurs de synchronisation, d'ordonnement temporel et auxiliaire.

Le *corps* permet de caractériser la tâche et est constitué du noyau, des conditions et de l'état du monde. Le noyau regroupe un ensemble d'attributs textuels tel que le nom, la priorité, le but, le type, la modalité etc. Les conditions, quant à elles, expriment les pré et post-conditions de manière formelle suivant une grammaire prédéfinie. Enfin, l'état du monde permet d'identifier les différents objets manipulés par la tâche.

5.2 Le modèle ASUR

La notation ASUR (Adaptor, System, User, Real objects) permet de décrire l'interaction de l'utilisateur avec un système mixte durant une tâche. Pour une tâche donnée, ASUR décrit les composants intervenant dans la tâche : l'utilisateur **U** ; les objets physiques **R** : objet de la tâche **RObject** ou outil utilisé pour réaliser la tâche **RTool** ; les objets numériques **S** : objet de la tâche **SObject**, entité agissant sur d'autres objets numériques, **STool**, et **SInfo** ; les adaptateurs **A** : notés **AIn** en entrée et **AOut** en sortie, ils relient les mondes physique et numérique.

Les relations entre les composants - échange de données, contraintes spatiales, liens de représentation - font également partie du modèle ASUR. Ce dernier permet également d'identifier des caractéristiques propres aux relations ou aux composants, comme le langage d'interaction, le poids de la relation, le sens perceptif ou actionnel requis etc.

5.3 Bilan

Pour illustrer ces deux modèles et leurs points d'ancrage et de complémentarité, nous nous appuyons sur l'application muséale. Nous considérons, pour cette section, la tâche *Comparer deux Figurines* qui consiste à comparer deux animaux en manipulant des figurines. Durant cette tâche, l'utilisateur commence par choisir la figurine à comparer, la déplace ensuite vers la figurine de référence et découvre alors les caractéristiques communes aux deux animaux que le système rend perceptibles.

5.3.1 Apports de MAD pour les systèmes mixtes

MAD exprime le déroulement des tâches à un niveau « macro ». En effet, il décrit des relations de synchronisation (parallèle, séquentiel, simultané) et d'ordonnement (et, ou, alternatif) entre une tâche mère et ses sous-tâches. Figure 2, réalisée sur K-MADe, décrit en MAD la décomposition de la tâche mère *Classer animaux* en *Comparer deux figurines* puis *Examiner cladogramme*. Au niveau de la tâche mixte *Comparer deux figurines*, MAD décrit un enchaînement séquentiel des sous-tâches : repérage de la figurine, déplacement puis découverte de la comparaison. Il décrit aussi la décomposition de la tâche *Découvrir comparaison* de manière séquentielle.

MAD décrit aussi le déroulement d'une tâche à un niveau « micro ». En effet, il permet pour une tâche donnée d'utiliser des opérateurs temporels (début, fin, durée).

En outre, les conditions décrites dans le corps de la tâche MAD permettent de décrire la dynamique et les relations entre les tâches grâce aux pré et post-conditions décrites de manière formelle. Dans notre exemple, la tâche *Découvrir comparaison* a pour *pré-condition* le rapprochement de la figurine de comparaison et de la figurine de référence, exprimé en *post-condition* par la tâche *Déplacer figurine comparée vers figurine de référence*.

Enfin, la gestion des objets du monde réalisée dans MAD permet de regrouper les objets physiques et numériques et de définir l'état des objets avant et après le déroulement d'une tâche.

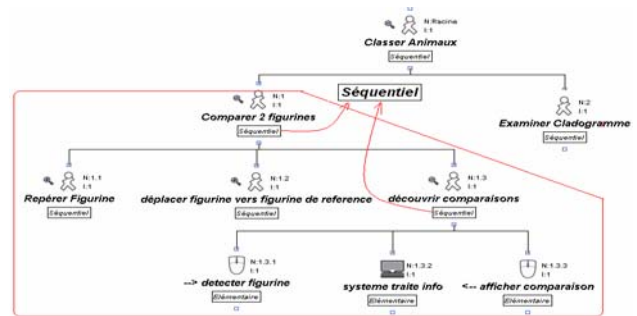


Figure 2 : Arbre MAD de la tâche « Comparer deux Figurines »

5.3.2 Apports de ASUR pour les systèmes mixtes

ASUR permet de représenter les entités physiques et numériques impliquées. Figure 3 représente la tâche *Comparer deux Figurines* en ASUR réalisée avec l'outil GuideMe. Elle montre l'utilisateur U, à droite du diagramme, la figurine de référence, la figurine comparée, l'animal de référence, l'animal comparé, le localisateur et le dispositif d'affichage.

Le formalisme ASUR complète cette représentation par une description pointue du rôle et de la nature de ces entités impliquées dans l'IHM en prédefinisant les types de composants ASUR et de relations. Dans cet exemple, l'animal de référence est représenté par un *SInfo* montrant ainsi qu'il s'agit d'une entité numérique. Par contre la figurine de référence est représentée par un *RTool*, montrant qu'il s'agit d'une part d'un objet physique et d'autre part que cet objet sert d'outil à l'interaction. La *figurine comparée* et la *figurine de référence* sont des représentations des deux objets numériques, *animal de référence* (*SInfo*) et *animal comparé* (*SObject*). Cette relation est modélisée dans le diagramme par les *flèches en pointillées*. En rapprochant la figurine comparée de celle de référence, les caractéristiques communes sont rendues perceptibles. La *contrainte spatiale* entre les deux figurines est modélisée par une *flèche à deux lignes*.

ASUR contribue aussi à l'analyse ergonomique du système en exprimant des propriétés sous forme de combinaison de caractéristiques des composants et/ou des relations ASUR. Dans notre exemple, le modèle ASUR indique que le sens perceptuel des animaux et des caractéristiques est visuel. Il indique aussi que le lieu de perception des différentes informations est le même.

Il permet, d'autre part de raisonner sur l'interaction indépendamment de toutes considérations matérielles. Le sens de perception étant visuel, *Aout* désigne donc un dispositif d'affichage mais le type - projecteur, HMD etc. - n'est pas imposé.

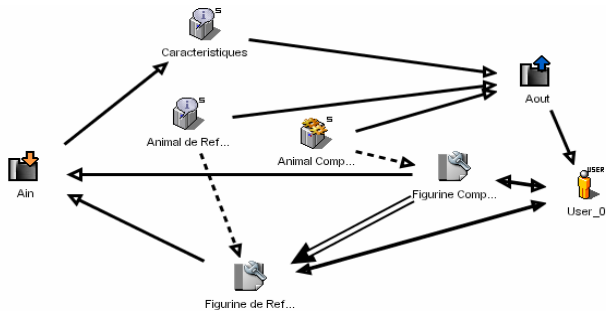


Figure 3 : Diagramme ASUR de la tâche « Comparer deux Figurines »

5.3.3 Éléments communs aux modèles MAD et ASUR

La couverture de chacun des deux modèles est différente ce qui permet de définir un ensemble plus vaste d'éléments pertinents pour la conception des systèmes mixtes. Il ressort également de cette analyse que trois éléments de conception sont exprimés par ces deux modèles : le concept de tâche, d'entités et de décomposition d'une tâche.

Le concept de tâche est exprimé dans les deux modèles. MAD véhicule une vision globale de la tâche puisqu'il décrit l'activité de l'utilisateur de manière procédurale. ASUR, quant à lui, adopte une vision atomique, puisqu'il décrit l'interaction de l'utilisateur avec le système pour une tâche donnée. Une tâche ASUR correspond donc soit à une feuille MAD, soit à un agrégat de sous-tâches MAD : dans notre exemple, le diagramme ASUR de la Figure 3 correspond au sous-arbre MAD *Comparer deux figurines* de la figure 2.

Le concept d'entité est présent dans les deux modèles. Les objets sont fortement typés et décrits dans ASUR de manière formelle. MAD gère les mêmes objets du monde de manière textuelle. Dans figure 3, ASUR représente les objets physiques et numériques, tandis que dans figure 2, MAD évoque textuellement les objets animal et figurine qui appartiennent aux objets du monde.

Une partie de la décomposition en sous-tâches est exprimée dans les deux modèles. Les relations entre les sous-tâches d'une même tâche d'interaction sont traduites dans ASUR graphiquement et formellement. Elles sont décrites dans MAD de manière formelle avec les conditions. La pré-condition rapprochement de la figurine de comparaison et de la figurine de référence dans MAD (fig. 2) est représentée dans ASUR par la flèche à double trait entre les RTool figurine comparée et figurine de référence (fig. 3).

6. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les modèles de systèmes mixtes et les modèles de tâches couvrent tous les deux des aspects pertinents pour la conception des systèmes mixtes. En nous concentrant sur deux instances particulières, MAD et ASUR, nous avons mis en évidence et illustré des espaces de recouvrement directs (entités présentes, concepts de tâche, relations entre sous-tâches). Ces espaces de recouvrements directs sont au centre de l'articulation de ces deux modèles. Outre ces aspects communs, des aspects complémentaires sont traités pour chacun de ces modèles, ce qui renforce les besoins d'articulation des deux modèles. Afin de tirer profit de cette complémentarité, des espaces de recouvrement indirects devront également être identifiés et caractérisés pour parfaire l'articulation de ces différents aspects de conception des systèmes mixtes.

Notre travail à long terme est de tirer profit de cette articulation pour pouvoir : (1) établir l'équivalence entre un sous-arbre MAD et un diagramme ASUR compte tenu des entités reprises et des descriptions de chacun des modèles ; (2) définir pour une tâche MAD de haut niveau des éléments de choix entre différentes alternatives mixtes ASUR ; (3) étudier l'enchaînement de tâches mixtes modélisées en ASUR dans un arbre MAD.

7. REFERENCES

- [1]. Coutrix, C., Nigay, L., *Mixed Reality : A Model of Mixed Interaction, Actes AVI'06, Venise, Italie, (2006), pp 43-50*
- [2]. Delotte, O., David, B., Chalon, R., *Task Modelling for Capillary Collaborative Systems based on Scenarios, Actes de TAMODIA, Prague, Rep. Tchèque, (2004), pp. 25-31*
- [3]. Dubois, E., *Chirurgie Augmentée, un cas de réalité augmentée ; Conception et Réalisation Centrées sur l'utilisateur, thèse de l'université Joseph Fourier, Grenoble I, (2001).*
- [4]. Dubois, E., Gray, P., D., Nigay, L., *ASUR ++ : a Design Notation for Mobile Mixed Systems, Interacting with computers (15), (2003), p.497-520*
- [5]. Ishii H., Ullmer B., *Emerging Frameworks for Tangible User Interfaces, IBM Systems Journal 39, (2000),p. 915-931*
- [6]. Jacob, R., Ishii, H., Pangaro, G., Patten, J., *A Tangible Interface for Organizing Information Using a Grid, CHI (2002), April 20-25, 2002, Minneapolis, Minnesota, USA.*
- [7]. Limbourg, Q., Pribeanu, C., Vanderdonckt, J., *Towards Uniformed Task Models in a Model-Based Approach, 8th International Workshop on Interactive Systems: Design, Specification, and Verification-Revised Papers, pp. 164-182, (2001).*
- [8]. Mackay, W.E., *Réalité Augmentée : le meilleur des deux mondes, La recherche n°285, (1996), p. 80-84*
- [9]. Milgram, P., Kishino, F., *A Taxonomy of Mixed reality Visual Displays, Transactions on Information Systems, E77-D(12), (1994), p.1321-1329*
- [10]. Pierret-Golbreich, C., Delouis, I., Scapin, D., *Un outil d'acquisition et de représentation des tâches orienté-objet, INRIA Rocquencourt, Le Chesnay, FRANCE, (1989).*
- [11]. Reitmayr, G., Schmalstieg, D., *Location based Applications for Mobile Augmented Reality, Fourth Australasian User Interface Conference (AUIC2003)*
- [12]. Rekimoto, J., Nagao, K., *The world through the computer : Computer Augmented Interaction with Real World Environments, Actes du symposium UIST'95, (1995)*
- [13]. Shaer, O., Leland, N., Calvillo-Gamez E. H., Jacob R. J. K., *The TAC paradigm : specifying tangible user interfaces, Personal and Ubiquitous Computing 8.5, (2004), pp. 359-369.*
- [14]. Trevisan, D. G., Vanderdonckt, J., Macq, B., *Conceptualising mixed spaces of interaction for designing continuous interaction, VR'05, Bonn, Germany, 2005, p. 83-95*