

Méta-IHM

ou comment contrôler l'espace interactif ambiant

Anne Roudaut, Joëlle Coutaz
Équipe IHM, CLIPS-IMAG, UJF
385, rue de la Bibliothèque, BP 53 38041 Grenoble Cedex 9
+33 4 76 51 48 54
{Anne.Roudaut, Joelle.coutaz}@imag.fr

RESUME

Dans cet article, nous proposons la notion de Méta-IHM, un ensemble de fonctions (et leur IHM) nécessaire et suffisant pour contrôler et évaluer l'état d'un espace interactif ambiant. Parce qu'une méta-IHM est au-dessus des services métiers de l'espace, elle revêt un caractère *méta-*. Parce que la méta-IHM permet de contrôler et d'évaluer l'état de cet espace, elle a une mission fondamentalement *IHM*. Nous présentons un espace de classification nous permettant de situer et comparer les développements de l'état de l'art en matière de méta-IHM. Puis, nous exploitons le pouvoir génératif de notre espace pour proposer de manière rationnelle notre propre conception de méta-IHM.

Mots Clés

Informatique ambiante, espace interactif ambiant, espace de conception, taxonomie, méta-IHM

ABSTRACT

In this article, we propose the concept of meta-UI as the set of functions (as well as their user interface) that are necessary and sufficient to control and evaluate the state of an interactive ambient space. It is *meta-*, since it is an umbrella above all of the domain-dependent services that are currently available in the interactive space. It is *User Interface-oriented* since its role is to help the user to control and evaluate the state of the interactive space. We present a design space to classify, compare, and evaluate current state-of-the-art meta-UI's. Then, by exploiting the generative power of our design space, we propose our own design for a new meta-UI.

Categories and Subject Descriptors: H.5.2 [User Interfaces] Theory and method, windowing systems; I.3.6 [Methodology and techniques] Interaction techniques

General Terms: Design

Keywords: Ubiquitous computing, ambient interactive spaces, design space, taxonomy, meta-UI

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

Conference '04, Month 1–2, 2004, City, State, Country.
Copyright 2004 ACM 1-58113-000-0/00/0004...\$5.00.

1. INTRODUCTION

La possibilité de contrôler et d'évaluer l'état d'un système est un principe fondamental de l'Interaction Homme-Machine [28]. En informatique conventionnelle, le *Shell* d'Unix ou le *desktop* de Windows et de MacOs offrent ces moyens de contrôle et d'évaluation pour l'ensemble des applications d'une station de travail. Avec l'émergence de l'informatique ambiante, l'utilisateur n'est plus limité à un calculateur unique, mais devient façonneur de son espace interactif où se fondent les mondes numérique et physique.

Par exemple, l'utilisateur de Jigsaw construit de nouveaux services par assemblage d'objets augmentés [33]. Avec les tablettes d'Hinckley, les utilisateurs créent des espaces de travail partagé par couplage dynamique d'écrans [19]. Ou encore les TranSticks permettent d'étendre l'espace interactif local à celui d'une machine distante [1]. Ces quelques exemples appellent une révision de nos *Shell* et *desktop* habituels qui doivent passer du contrôle d'espaces d'interaction confinés et statiques à celui d'espaces interactifs ambiants dynamiques et imprévisibles. En réponse à ce problème, nous proposons le concept de méta-IHM.

Une *méta-IHM* recouvre l'ensemble des fonctions (et leur IHM) nécessaire et suffisant pour contrôler et évaluer l'état d'un espace interactif ambiant. Un espace interactif ambiant est constitué d'un ensemble de services métiers qui s'exécutent sur un ensemble dynamique et reconfigurable de ressources de calcul, de communication et d'interaction. Parce qu'une méta-IHM est au-dessus des services métiers de l'espace, elle revêt un caractère *méta-*. Parce que la méta-IHM permet de contrôler et d'évaluer l'état de cet espace, elle a une mission fondamentalement *IHM*. À ce titre, elle doit permettre de répondre aux questions de [6].

Bellotti et ses co-auteurs résumant ainsi les nouvelles difficultés qu'un utilisateur d'espace ambiant peut rencontrer : *Comment dois-je m'adresser au système et comment le système sait-il que je m'adresse à lui ? Comment puis-je savoir que le système est prêt à interpréter mes actions ? Comment dois-je agir sur le système ? Comment puis-je savoir que le système exécute la bonne action ? Comment puis-je éviter les erreurs ?*

Si les questions sont posées et quelques rares éléments de réponse fournis, il n'existe pas, à notre connaissance, de réflexion générale sur le problème du contrôle des espaces interactifs ambiants. Dans cet article, nous proposons de définir les dimensions d'une méta-IHM qui nous permettront de situer et comparer les développements de l'état de l'art. Le pouvoir génératif de notre espace de classification nous permettra ensuite de concevoir une méta-IHM fondée sur des arguments rationnels.

2. DEFINITION ET TAXONOMIE

Comme tout service numérique, une méta-IHM permet de *manipuler des objets*, elle offre des services dont la *puissance* est censée couvrir l'utilité requise, et elle a une *forme* dont la qualité doit répondre aux requis d'utilisabilité. La figure 1 montre ces trois aspects que nous détaillons successivement.

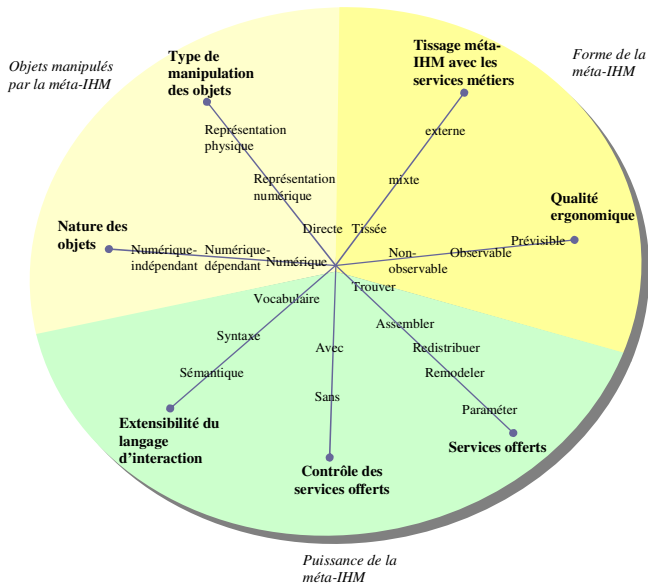


Figure 1. Espace taxonomique pour méta-IHM

2.1 Objets manipulés par la méta-IHM

Dans les desktops conventionnels, les concepts manipulés sont des objets numériques graphiques (icônes, fenêtres, etc.) dont la manipulation s'effectue au moyen d'un instrument de pointage ou du clavier. Dans un milieu ambiant, au-delà des objets numériques, tout objet physique peut être manipulé et ceci de multiples façons. Nous convenons donc de deux axes pour caractériser les objets manipulés par une méta-IHM : la nature des objets manipulables et le type de manipulation.

Nature des objets manipulables

Les objets manipulables par une méta-IHM sont de trois types : les objets numériques, les objets numérique-dépendants et les objets numérique-indépendants, les deux dernières catégories couvrant le domaine des objets mixtes.

Comme pour les desktops actuels, la méta-IHM permet d'agir sur l'état d'*objets numériques* qui servent de support au rendu numérique des services métiers (fenêtres et icônes notamment). Les objets mixtes résultent d'un couplage (permanent ou non) entre un objet matériel et une entité numérique (concept ou fonction) [12]. La taxonomie de Fitzmaurice dédiée au seul cas des briques [14], comme celle de Fishkin fondée sur les métaphores de nom et de verbe [13], et de Holmquist qui caractérise les *tokens* en fonction de leur rôle (conteneur, représentant, outil) [22], sont pertinentes. Toutefois, elles ne reflètent pas la distinction entre objets intrinsèquement numériques de ceux qui ne le sont pas.

On dit qu'un objet est *numérique-dépendant* si, pour être utile, il nécessite une composante numérique : les plates-formes PC, PDA, téléphone mobile et leurs périphériques relèvent de cette catégorie. Ils sont intrinsèquement numériques. Un objet est *numérique-indépendant* s'il ne perd pas sa raison d'être lorsqu'on lui retire son amplification numérique : un stylo

augmenté sans son tag RFID peut toujours servir à écrire. Il est intrinsèquement physique. Cette distinction entre numérique-indépendant et numérique-dépendant traduit la capacité, pour un objet matériel, d'exister ou non en-dehors du système et de migrer en ces deux statuts.

Type de manipulation des objets

Depuis l'apparition des interfaces tangibles, on distingue trois types de manipulation d'objet : 1) manipulation de l'objet proprement dit (non pas d'un représentant). Il s'agit de manipulation directe ; 2) manipulation d'un représentant physique de l'objet ou 3) manipulation d'un représentant numérique de l'objet. Une méta-IHM peut inclure une ou plusieurs de ces techniques, les caractères direct et indirect ayant un impact sur la nature de l'interaction [5].

Par exemple, dans Dynawall [36], la migration de fenêtres (objet numérique de méta-IHM) se fait sur la fenêtre elle-même au moyen du doigt. C'est de la manipulation directe. Dans Jigsaw [33], l'utilisateur programme son environnement par assemblage de pièces de puzzle, chacune représentant un objet de l'environnement. Par exemple, en assemblant les pièces qui représentent la sonnette, l'appareil photo et le PDA l'utilisateur peut construire le programme suivant : « *Quand quelqu'un sonne à la porte, le prendre en photo et envoyer la photo sur mon PDA* ». L'utilisateur (ou le concepteur) a le choix entre deux possibilités : soit les pièces de puzzle sont des objets matériels (alors l'utilisateur manipule une représentation physique des objets de l'environnement) ; soit les pièces sont des objets numériques (et l'utilisateur manipule une représentation numérique des objets de l'environnement).

2.2 Puissance de la méta-IHM

La puissance de la méta-IHM réside dans l'étendue des services qu'elle offre, mais aussi dans l'extensibilité du langage d'interaction mis à disposition des utilisateurs.

2.2.1 Services génériques d'une méta-IHM

Les concepteurs du *desktop* du Xerox Star ont su mettre à profit la notion de commande générique (copier, couper, coller, déplacer, etc.) ancrée aujourd'hui dans tout système interactif [37]. En application de ce principe fondateur, la méta-IHM doit, elle aussi, offrir des services génériques. Lesquels ?

Nous proposons les services suivants : *assembler*, *redistribuer* et *remodeler* que nous tenons de notre expérience en plasticité des IHM [10], mais aussi *trouver* et *paramétrer* que nous tenons des recommandations du projet Speakeasy [27]. En fonction des capacités d'autonomie de la méta-IHM, ces services sont soumis ou non au *contrôle de l'utilisateur*.

Assembler (désassembler) : Assembler permet de construire un espace ambiant par couplage d'objets [3]. C'est le cas des tablettes d'Hinckley. A contrario, dans Aris [7], les objets, des ressources de calcul et d'interaction, sont assemblés d'office. L'utilisateur n'a pas le contrôle de l'assemblage.

Redistribuer : Redistribuer consiste à ré-allouer des objets numériques à des objets mixtes jouant le rôle de ressource d'interaction. Dans un scénario de type *suis-moi*, l'IHM numérique d'un service métier (le journal télévisé) migre vers un objet mixte compatible situé dans une autre pièce. Ou bien, cette IHM peut être répartie dynamiquement entre un PDA qui fait office de télécommande et un mur d'images qui sert de surface partagée à plusieurs utilisateurs [26].

Remodeler : Remodeler, c'est reconfigurer l'IHM d'un service métier pour l'adapter au contexte d'interaction. C'est substituer

des interacteurs par d'autres, en supprimer, en ajouter, les organiser différemment [10]. Typiquement, la redistribution d'une IHM graphique d'un PC vers un PDA nécessite un remodelage. Collapse-to-Zoom, qui permet à un utilisateur d'afficher ou supprimer des parties de pages web, est un exemple de remodelage sous le contrôle de l'utilisateur [4].

Découvrir : Découvrir est nécessaire à l'utilisateur pour exploiter les ressources de l'espace ambiant. La recherche avec filtrage permet d'affiner les besoins. Dans Speakeasy [27] un browser liste l'ensemble des objets disponibles (fichiers, services métiers et projecteurs vidéo) répondant à des critères de lieu et d'appartenance : dans la salle, dans le bâtiment, ou appartenant à une personne précise.

Paramétrer : Paramétrer correspond au contrôle d'un objet particulier. C'est l'équivalent des valeurs par défaut du desktop usuel. La méta-IHM permet de paramétrer les objets de l'espace ambiant. Par exemple, un projecteur peut configurer sa résolution d'affichage en fonction de l'ordinateur auquel il est connecté. Ce paramétrage peut être contrôlé par l'utilisateur et lui permettre de programmer son environnement plus finement.

2.2.2 Extensibilité du langage d'interaction

Comme tout langage, un langage d'interaction est défini par l'ensemble des phrases conformes à une grammaire donnée : vocabulaire (les objets manipulés, notamment), syntaxe (règles d'agencement des mots du vocabulaire) et sémantique (le, ou les services demandés), sachant que, pour un langage d'interaction, les mots du vocabulaire sont produits au moyen d'objets mixtes jouant le rôle de ressource d'interaction.

L'extensibilité du langage d'interaction va de pair avec le caractère dynamique des espaces ambiants. Or, une méta-IHM peut être limitée en vocabulaire, notamment par la couverture des objets manipulés. Par exemple, le vocabulaire d'Arise est réduit aux classes d'objets attendus dans une salle : murs, mobiliers, dispositifs d'affichage et services numériques (voir Figure 2b). Une méta-IHM peut être limitée en syntaxe : le système ne sait pas apprendre de nouvelles constructions sémantiquement équivalentes. Et elle peut être limitée en sémantique si l'ensemble des services cible est figé par conception. Par exemple, CubeTV [8] n'est destiné qu'à la sélection de chaînes de télévision.

2.3 Forme de la méta-IHM

Une méta-IHM regroupant un ensemble de services, il convient de s'interroger sur sa forme, c'est-à-dire sur l'IHM qui donne accès à ces services. Comme toute IHM, la forme de la méta-IHM doit obéir à des principes directeurs d'ergonomie. Mais, au-dessus des autres IHM de l'espace ambiant, la méta-IHM a un statut particulier. Nous caractérisons donc sa forme selon deux axes : ses qualités ergonomiques et son intégration avec les autres IHM de l'espace ambiant.

2.3.1 Qualités ergonomiques de la méta-IHM

En IHM, nous disposons de nombreux guides ergonomiques. Nous retenons deux propriétés de [16] pour leur capacité à couvrir de manière synthétique les questions de Bellotti : *observabilité* et *prévisibilité*. L'observabilité de l'état des concepts et services pertinents de l'espace ambiant doit permettre à l'utilisateur de répondre aux questions : *Comment puis-je savoir que le système est prêt à interpréter mes actions ? Comment puis-je savoir que le système exécute la bonne action ?* La prévisibilité, qui permet à l'utilisateur de deviner les réactions du système en réponse à une future action, permet de répondre aux autres questions soulevées par Bellotti :

Comment dois-je agir sur le système ? Comment puis-je éviter les erreurs ?

2.3.2 Mixage de la méta-IHM avec les IHM métier

Nous voyons trois lignes directrices à l'intégration de la méta-IHM dans l'espace ambiant : soit l'IHM de la méta-IHM est externe aux IHM des services métiers, soit elle est tissée avec ces IHM, soit elle est à la fois externe et tissée.

Considérons les exemples de la figure 2. En 2a) une fenêtre est sécable en deux parties : le service de reconfiguration de la méta-IHM est représenté par un objet numérique analogique (paire de ciseaux) tissé avec l'IHM d'un service métier (ici, la gestion du confort du domicile). A contrario, l'IHM d'Arise [7] est externe : dans une fenêtre dédiée, sont présentés sous forme graphique, l'environnement (murs, mobiliers, dispositifs d'affichage) ainsi que les services métiers disponibles dans l'espace ambiant. Pour re-distribuer l'IHM d'un service métier, l'utilisateur place la représentation du service en question sur la représentation d'un objet mixte jouant le rôle de surface d'affichage.

Ayant présenté les éléments de notre classification, nous sommes maintenant en mesure d'analyser de manière systématique les exemples de l'état de l'art les plus représentatifs.

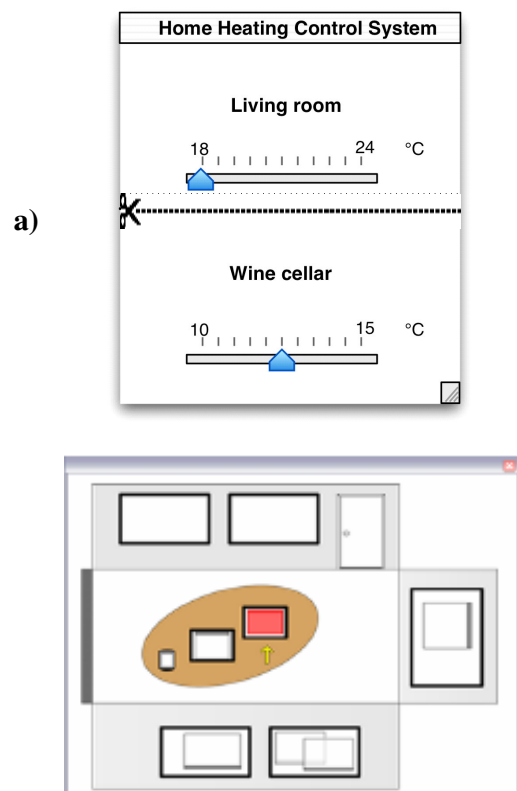


Figure 2. a) méta-IHM tissée. b) méta-IHM externe

3. ANALYSE DE L'ETAT DE L'ART

Le tableau 1 synthétise les résultats de notre étude de l'état de l'art. Nous les analysons en détail selon les axes de notre taxonomie, puis nous en tirons les leçons pour notre propre conception.

		Objets manipulés par la Méta-IHM			Forme de la Méta-IHM				Puissance de la Méta-IHM								
		Nature		Manipulation		Mixage		Ergonomie		Services et contrôle des services					Extensibilité		
		Num. indep	Num. dép	Directe	R.Num	R.Phys	Tissée	Ext	Observabilité	Prévisibilité	Découvrir	Assembler	Redistribuer	Remodeler	Paramétrer	Voca	Synt
[7]	ARIS		X	X				X	X	X				X	N		
[3]	AmbientDesktop		X	X	X	X		X	X	X				X	N		
[27]	SpeakEasy		X	X				X	X		C	C	C	X	N		
[33]	JIGSAW	X	X			X	X	X	X		C			C			N
[24]	E-Gadget	X	X			X		X	X	X	C			C			
[34]	ICAP	X	X			X		X	X	X				C			
[25]	LEGOLOGO	X	X				X	X			C				N		N
[29]	Bope		X	X		X	X	X			C	C			N		
[9]	MightyMouse		X	X		X		X	X	X		X	C		N		
[23]	Dynamo		X	X		X		X	X		X	X					N
[26]	Peebles		X	X		X		X	X			X			N		
[18]	PutThatThere			X	X	X		X				C				N	
[2]	ISuff	X	X		X			X						C			N
[30]	Icraft		X	X		X		X	X			X	C		N		
[4]	Collapse			X	X			X					C		N		
[17]	AttachMe		X	X		X		X				C	X		N		
[20]	Stitching		X	X	X			X				X	C		N		
[8]	DubaTV			X			X	X						C		N	N
[32]	DataTiles			X		X	X	X				C	C		N		
[15]	Triangle		X	X		X	X	X	X			C			C	N	N
[35]	MediaBloc			X		X		X						C			N
[19]	Hinckley		X	X	X			X				C	C	X	N	N	
[21]	Smart-Its		X	X	X			X				X			N	N	
[31]	SyncTap		X	X	X	X		X				X			N	N	N
[1]	TranSticks		X	X		X		X				C			N	N	

Tableau 1. Résultat de la classification de l'état de l'art. X satisfait le critère, C si le contrôle des services est explicite, N ne satisfait pas le critère d'extensibilité.

3.1 Forme de la méta-IHM

Le tableau 1 indique qu'en majorité les formes des méta-IHM sont de type externe. Deux exceptions méritent d'être relevées : « Collapse to zoom » [4] et « Attach Me, Detach Me, Assemble Me like You Work » [17]. Toutes deux permettent à l'utilisateur d'encadrer au stylet ou à la souris, des morceaux d'IHM de service métier pour les supprimer, les déplacer, ou les modifier. Mais les IHM tissées ne sont pas toujours observables, sans doute pour ne pas surcharger les IHM des services métiers ou pour ne pas risquer d'être incohérentes avec le style de ces IHM.

On observe une forte dépendance entre les propriétés d'externalité et d'observabilité. En effet, une méta-IHM externe non observable comme celle de Stitching, a peu de chance d'être découverte. Dans Stitching inspiré des gestes synchronisés [20], l'utilisateur fait appel à deux services de méta-IHM en un seul geste continu au stylet : assembler deux tablettes et redistribuer des objets numériques entre ces tablettes. L'interaction est efficace en termes de trajectoire, les effets du geste sont observables pendant l'action et a posteriori, mais si le geste est inconnu, rien dans l'espace ambiant n'indique cette possibilité. C'est aussi le problème des *smart rooms* où des agents intelligents, fondés sur les principes de l'interaction implicite, assurent des services de méta-IHM sur la seule reconnaissance des activités humaines.

Le deuxième constat concerne le critère de prévisibilité. D'après le tableau 1, les cinq IHM de méta-IHM satisfaisant la prévisibilité satisfont également l'observabilité. Ne possédant pas de contre-exemple, nous ne pouvons que supposer un lien de dépendance. Une IHM de méta-IHM observable permettrait donc mieux la prévision des effets des actions de l'utilisateur.

3.2 Objets manipulés par la méta-IHM

Aucune méta-IHM ne couvre la manipulation de toutes les catégories d'objets. Comme l'indique la colonne de gauche du

tableau 2, on assiste en majorité à des méta-IHM mixant objets numériques et objets numérique-dépendants (52%), suivies par des méta-IHM ne traitant que des objets numériques (28%), et seulement par 20% de cas où tous les objets sont uniquement mixtes (numérique-dépendants et numérique-indépendants). Notons l'absence de méta-IHM portant sur des objets numériques purs et des objets numérique-indépendants.

Si l'on considère maintenant, le type de représentation retenue en fonction des types de mixage :

- Pour les méta-IHM mixant objets numériques purs et objets numérique-dépendants (1^{ère} ligne du tableau 2), la représentation numérique indirecte prévaut à 58% tandis que la représentation physique est peu présente (17%). Les paires de TranStick, où l'un des TranStick peut représenter de manière physique un calculateur distant, est en effet une exception [1]. Alors que ces méta-IHM incluent des objets mixtes, on aurait pu s'attendre à l'exploitation massive de la manipulation directe de la composante matérielle de ces objets (seulement 25%).
- Pour les méta-IHM à objets purement numériques (2^{ème} ligne du tableau 2), c'est la représentation directe qui prime (40% des cas) - en conformité avec les principes de la manipulation directe du style WIMP (Window Icon Menu Pointing). Si une représentation indirecte est utilisée, elle est aussi bien de nature numérique que physique (soit 30%).
- Pour les méta-IHM à objets mixtes, la représentation indirecte numérique est fortement présente (50%) alors que la représentation indirecte physique est très peu utilisée. Notons Jigsaw qui autorise les deux formes de représentation indirecte [33]

Au bilan, contre toute attente, la représentation directe s'impose dans les méta-IHM à objets numériques et la représentation indirecte est le fait des méta-IHM qui incluent des objets mixtes. De plus, quand il y a indirection, le numérique

l'emporte sur le physique. Une explication possible est l'encombrement de l'environnement local que provoqueraient des objets matériels supplémentaires.

	Directe	Représentation numérique	Représentation physique
Mixage objets numériques et numérique-dépendants (52%)	25%	58%	17%
Objets numériques seulement (28%)	40%	30%	30%
Objets mixtes seulement (20%)	16%	50%	33%

Tableau 2. Répartition des types de manipulation dans l'état de l'art étudié selon le type d'objets manipulés

3.3 Puissance de la méta-IHM

3.3.1 Couverture des services

Comme le montre le tableau 1, aucune méta-IHM ne couvre l'ensemble des services génériques de notre taxonomie. Le tableau 3 indique que l'assemblage de ressources est le service le plus fréquent (à 72%) suivi à 44% par la redistribution. Si, les services de redistribution sont actuellement à 100% sous le contrôle de l'utilisateur (ce qui signifie que les systèmes ambiants actuels ne sont dotés d'aucune autonomie sur ce plan), l'assemblage de ressources se fait assez souvent sans contrôle humain : dans Aris [7], les ressources s'assemblent automatiquement sans que l'utilisateur ait la possibilité d'influencer la construction.

Découvrir	Assembler	Redistribuer	Remodeler	Paramétrer
8%	72%	44%	20%	32%
50% de contrôle	55% de contrôle	100% de contrôle	20% de contrôle	87% de contrôle

Tableau 3. Proportion des services proposés dans l'état de l'art étudié avec leur pourcentage de contrôle

Dans les exemples étudiés, l'assemblage et la redistribution vont souvent de pair. Mais l'assemblage est également proposé avec le paramétrage comme dans E-Gadget [24] où l'utilisateur peut assembler et paramétrer une lampe et un livre pour que la lumière s'allume quand le livre s'ouvre. On note que l'assemblage, la redistribution et le paramétrage devançant largement le remodelage et la découverte avec filtrage.

Le remodelage est un problème difficile qui relève de la plasticité des IHM [10] pour lequel il n'existe pas encore de solution générale. L'accent est pour l'instant centré sur la définition de modèles en vue de l'automatisation. Speakeasy est à notre connaissance, le seul système à proposer la recherche de ressources avec filtrage.

3.3.2 Langage d'interaction

Les méta-IHM qui offrent le plus de services sont limitées par leur langage d'interaction. Un compromis doit être fait entre couverture des services, puissance d'expression du langage d'interaction et facilité de compréhension pour l'utilisateur.

Typiquement, Aris [7] couvre l'assemblage de ressources d'un milieu donné (une salle) et la redistribution des IHM-métiers

sur ces ressources. L'IHM de la méta-IHM opère par manipulation directe sur des représentations numériques en conformité avec la topologie du monde réel (celui dans lequel l'utilisateur se trouve). Cette représentation est simple à comprendre, mais résolument ancrée dans la métaphore du monde réel, elle perd la puissance d'expression du monde numérique. Speakeasy, au contraire, utilise des représentations numériques abstraites (des hiérarchies), moins faciles à comprendre, mais plus puissantes puisque l'utilisateur peut traiter de redistribution et de filtrage sur un espace autre que la salle dans laquelle il se trouve.

3.4 Synthèse : Patrons, Tendances et Failles

En synthèse, des patrons de méta-IHM semblent émerger comme suit :

- Les méta-IHM de redistribution sont soit externes (comme pour Aris [7], Speakeasy [27], Ambient Desktop [3]), soit tissées (comme pour « Collapse-to-zoom » [4] et « Attach Me Detach Me Assemble Me like You Work » [17]). Lorsqu'elles satisfont la propriété d'observabilité, elles s'appuient sur une métaphore visuelle respectant la topologie du lieu d'interaction.
- Les méta-IHM qui permettent de programmer l'environnement comme E-gadget [24], Jigsaw [33] ou encore ICAP [6], sont toujours externes et satisfont la propriété d'observabilité.
- Les méta-IHM tangibles telles que LégoLogo [25], Triangles [15], Datatiles [32] ou encore le cube TV [8] visent toujours la manipulation d'objets numériques via des objets physiques. Elles sont souvent externes et ne satisfont pas toujours le critère d'observabilité.
- Certaines méta-IHM de redistribution sont centrées sur la technique d'interaction plutôt que sur le service lui-même. Les tablettes d'Hinckley [19] ou les smart-Its [21] illustrent cette catégorie.

Au-delà de ces patrons, notre analyse montre que la tendance actuelle est à la méta-IHM externe portant sur un mélange d'objets numériques et d'objets numérique-dépendants, de même aux méta-IHM de programmation.

- Les méta-IHM externes offrent une bonne observabilité de l'état de l'espace ambiant et une bonne prévisibilité. Un grand pan de la recherche se penche aussi sur les méta-IHM tangibles, mais, en l'état, celles-ci ne respectent pas nécessairement nos propriétés ergonomiques lorsque les objets manipulés ne sont pas uniquement de nature numérique. Concevoir des méta-IHM tangibles pour espaces ambiants est peut-être prématuré : il faut que l'utilisateur puisse forger de nouveaux intuïts comme nous l'avons fait, il y a 20 ans, pour la souris et les objets numériques cliquables.
- Aucune IHM de programmation d'environnement n'intègre à la fois la redistribution ou le remodelage. On constate une réelle dichotomie entre les méta-IHM de programmation et les méta-IHM de redistribution. Leurs fonctionnalités sont disjointes alors que la finalité est la même : configurer l'espace interactif ambiant.
- Aucune méta-IHM n'est à la fois « externe » et « tissée ». Nous estimons qu'il s'agit là d'une piste intéressante de solution sachant que les méta-IHM externes sont plutôt faciles à utiliser au regard des propriétés d'observabilité et de prévisibilité et que les méta-IHM tissées sont par définition mieux intégrées dans le tissu de nos activités.

Dans la section qui suit, nous exploitons les tendances et les failles de l'existant pour proposer notre propre conception de méta-IHM pour espaces interactifs ambiants.

4. ESPACE GENERATIF

Nous proposons ici la conception d'une méta-IHM en nous appuyant systématiquement sur les éléments de notre taxonomie et sur les avantages des solutions de l'état de l'art. Dans l'idéal, il convient de couvrir tous les types d'objets (du numérique pur au numérique-indépendant), tous les services génériques, d'assurer l'extensibilité du langage d'interaction tout en restant simple et en respectant les propriétés d'observabilité et de prévisibilité.

En réponse à ces requis, l'IHM de notre méta-IHM suit les principes directeurs suivants :

- *Mixage d'IHM externe et d'IHM tissée.* On choisit l'externalité pour mettre en œuvre l'extensibilité du langage d'interaction et suivant nos observations sur les méta-IHM existantes, pour augmenter nos chances de satisfaire les critères d'observabilité et de prévisibilité. On choisit le tissage pour son caractère intégré en respect du concept de continuité en Interaction Homme-Machine.
- *Répartition des services génériques entre IHM externe et IHM tissée fondée sur la portée intrinsèque des services.* Par exemple, l'assemblage et la découverte de ressources, qui sont au-dessus des services-métiers, seront réalisés en IHM externe. La redistribution des composants des IHM-métiers ou des supports numériques à ces IHM métiers sera accessible par l'IHM externe mais aussi par l'IHM tissée, cela permettant à l'utilisateur le choix d'une manipulation directe, ou par représentation numérique.
- *Catégorisation des services génériques en services de base et en services avancés.* L'assemblage et la redistribution seront des services de base tandis que la découverte par filtrage et la programmation, réputés complexes, seront offerts en tant que services avancés.
- *Choix d'un langage d'interaction spécifique pour les services de base et les services avancés* (en application du principe *une taille unique ne convient pas à tous*). Pour les services de base dont l'assemblage est le plus représentatif, nous nous appuyons sur la métaphore du puzzle : le puzzle suggère l'assemblage et la forme de chaque pièce suggère les constructions valides.

Ayant justifié notre approche, nous en présentons maintenant la solution : les IHM externes et internes illustrées par la figure 4 et leur collaboration, puis les services avancés.

4.1 L'IHM externe

La figure 4 présente le design général de notre méta-IHM : à droite la fenêtre d'un service internet de réservation d'hôtel ; à gauche l'IHM externe constituée de deux panels. Le panel du bas assure le service de *découverte* (ici, avec un filtrage par défaut) : l'utilisateur y voit un ensemble de pièces de puzzle qui représentent chacune un objet manipulable par la méta-IHM (dispositifs d'interaction, objets physiques ou numériques, etc.). Le panel du haut est l'espace de travail où l'utilisateur *assemble* par glisser-poser, des pièces piochées dans le panel du bas. Sur la figure 4, on peut ainsi noter que l'utilisateur a créé deux puzzles : Sur celui du haut, les quatre écrans de la salle de réunion sont assemblés ; Sur celui du bas, il a assemblé son ordinateur avec un PDA. La couleur jaune de la pièce

représentant l'ordinateur indique que l'utilisateur manipule la méta-IHM externe à partir de cet ordinateur.

4.2 L'IHM tissée

Le rôle de l'IHM tissée est de rendre observables les capacités de l'espace ambiant à se faire découper ou recoller en portions d'IHM. Ces portions peuvent appartenir aux IHM-métier ou aux supports numériques à ces IHM métiers comme les fenêtres auxquelles il doit être possible d'appliquer des fonctions génériques. Les Windows Manager actuels ne permettent pas de copier-couper-coller une fenêtre pour en créer une jumelle. On ne peut pas davantage découper une fenêtre en morceaux (à l'exception des menus détachables).

Dans le cadre des espaces ambiants, nous proposons donc les fonctions supplémentaires suivantes :

- *dupliquer* qui crée une fenêtre ou un morceau de fenêtre identique,
- *éclater* qui permet de découper les fenêtres en morceaux,
- *fusionner* qui permet de fusionner des fenêtres ou morceaux de fenêtre entre eux.

4.3 Collaboration entre IHM externe et tissée

La collaboration entre IHM externe et IHM tissée assure les services *distribution* et *remodelage*. L'utilisateur peut redistribuer une IHM vers un autre dispositif en déposant une portion d'IHM sur la pièce de puzzle associée au dispositif ciblé. Par exemple, sur la figure 4, l'utilisateur a éclaté la fenêtre de réservation d'hôtel grâce au bouton vert intégré en haut de cette fenêtre. Il redistribue le menu du site en le déposant sur la pièce représentative du PDA, et peut ainsi contrôler le site depuis son PDA. Cette redistribution entraînera un remodelage automatique du menu pour qu'il s'adapte à la résolution graphique du PDA. Ce remodelage n'est pas sous contrôle de l'utilisateur afin d'éviter l'ajout d'une complexité d'utilisation au service de redistribution.

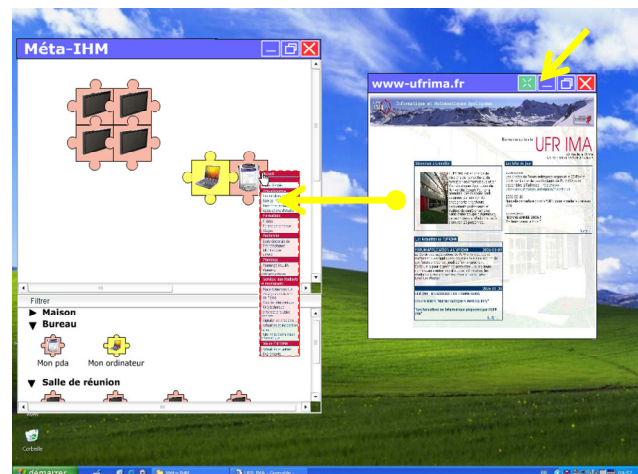


Figure 4. Conception de notre méta-IHM. Sur la gauche, l'IHM externe avec la zone inférieure de liste des pièces et la zone supérieure d'assemblage. Sur la droite, l'IHM tissée représentant une fenêtre augmentée de la fonction éclater qui permet à l'utilisateur de redistribuer le menu de son site Web sur son PDA.

4.4 Services avancés

Les services avancés correspondent à la découverte avec filtrage et le paramétrage contrôlé de l'environnement. Nous abordons aussi le cas de la manipulation par représentation numérique qui n'a pas encore été traité.

Pour la découverte avec filtrage, nous reprenons à notre compte l'approche de Speakeasy [27] en proposant à l'utilisateur la liste des filtres de Speakeasy, mais dont la teneur à termes demandera une analyse approfondie.

Pour la programmation de l'environnement, nous proposons un mode expert accessible depuis une pièce spéciale du puzzle : la pièce de construction. Lorsqu'elle est placée dans la zone de travail du puzzle, une interface de programmation inspirée de ICAP [34] apparaît. L'utilisateur dispose d'une hiérarchie de ressources à assembler, qui sont disposées sous forme de trois onglets : conditions, résultats et macros. L'utilisateur combine alors les conditions, et les résultats dans les panels prévus à cet effet. Il peut aussi réutiliser des macros qu'il aura créés auparavant. La figure 5 montre un exemple de programmation : *En semaine, si Marie est là à 7h30, ou en week-end, si Marie est là à 10h, alors faire sonner le réveil, allumer progressivement la lumière et allumer la cafetière.*

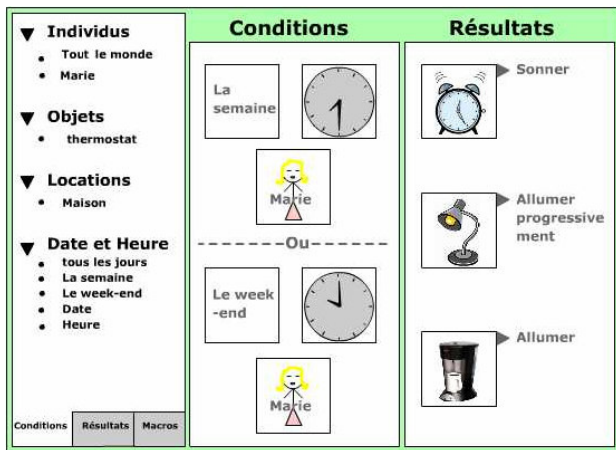


Figure 5. Interface de programmation. Sur la gauche l'utilisateur choisit les ressources dans la hiérarchie. Au centre il combine ces objets pour former une condition. Sur la gauche, il donne le résultat attendu si les conditions sont remplies.

La dernière fonctionnalité de l'IHM de notre méta-IHM concerne l'observabilité et la technique de manipulation des objets par représentation numérique. Nous proposons un mécanisme de zoom à un niveau sur la zone d'assemblage des pièces de puzzle, qui a pour effet de détailler la configuration des pièces. En zoomant, l'utilisateur observe, sur chacune des pièces, les illustrations miniaturisées des IHM métiers en cours d'exécution sur les dispositifs concernés. À la manière d'Arise [7], il peut redistribuer les IHM métiers en déplaçant ces miniatures représentatives à travers les pièces de puzzle. La manipulation des objets peut donc se faire par l'intermédiaire d'un représentant numérique. Cette apport est conséquent, notamment si l'utilisateur a redistribué une fenêtre vers un dispositif à distance et qu'il veut la rapatrier.

4.5 Résumé

Pour résumer notre méta-IHM offre les cinq services. Tous sont contrôlables à l'exception du remodelage qui est laissé à la

charge du système sous-jacent. Elle combine une partie externe et une partie tissée. Elle manipule tous les styles d'objet par manipulation directe ou par l'intermédiaire d'une représentation numérique. Notre méta-IHM répond aux critères d'observabilité et de prévisibilité (la forme des pièces indique si l'assemblage est possible ou non). Elle est extensible au niveau vocabulaire car elle n'est pas limitée à une pièce, au niveau syntaxe puisqu'elle n'est pas dépendante d'une technique d'interaction, et au niveau sémantique puisqu'elle n'est pas destinée à un domaine applicatif particulier.

5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans cet article, nous avons présenté le concept de méta-IHM comme élément intégrateur de nombreuses approches et travaux sur le contrôle des espaces ambiants. Nous en avons donné une définition et précisé les dimensions sous forme d'une taxonomie que nous avons voulue à la fois simple mais suffisante pour comparer les solutions existantes, pour identifier des failles mais aussi des sources d'inspiration. Nous avons illustré le pouvoir génératif de notre taxonomie en proposant la conception d'une méta-IHM. Cette conception fait l'objet d'une mise en œuvre qui sera suivie d'une évaluation.

6. REFERENCES

- [1] Ayatsuka, Y., Rekimoto, J., tranSticks: Physically Manipulatable Virtual Connections. *In Proceedings of CHI 2005*, 251-260.
- [2] Ballagas, R., Ringel, M., Stone, M., Brochers, J., iStuff: A Physical User Interface Toolkit for Ubiquitous Computing Environments. *In Proceedings of CHI 2003*, 537-544.
- [3] Barralon, N., Nguyen, V.T., Rey, G., Techniques de couplage de bureaux : Ambient-Desktop comme illustration. *Conférence UBIMOB 2005, Deuxièmes Journées Francophones: Mobilité et Ubiquité 2005*, ACM Press.
- [4] Baudisch, P., Xie, X., Wang, C., Ma, W.Y., Collapse-to-zoom: Viewing Web Pages on Small Screen Devices by Interactively Removing Irrelevant Content. *In Proceedings of UIST 2004 (technote)*, Santa Fee, MN, Nov 2004, pp. 91-94.
- [5] Beaudouin-Lafon, M., Interaction instrumentale : de la manipulation directe à la réalité augmentée. *Dans les actes d'IHM'97 Cépaduès-Éditions*. 1997, 97-104.
- [6] Bellotti V., Back M., Edwards K., Grinter R., Henderson A., Lopes C. Making Sense of Sensing Systems: Five Questions for Designers and Researchers. *In Proceedings of CHI 2002 Conf., Vol. 4(1)*, ACM New York (2002) 415-422
- [7] Biehl, J.T., Bailey, B.P., ARIS: An interface for application Relocation in an interactive space. *In Proceedings .GI 2004, Canadian Human-Computer Communications Society (2004)*, 107-116.
- [8] Block, F., Schmidt, A., Villar, N., Gellersen, H.W., Towards a Playful User Interface for Home Entertainment Systems. *In Proceedings of EUSAI'04, Eindhoven, Netherlands, 2004*, pp. 207-217.
- [9] Booth, K.S., Ficher, B.D., Lin, C.J.R., Argue, R., The « mighty Mouse » Multi-Screen Collaboration Tool. *In Proceedings of UIST 2002*, 209-212.
- [10] Calvary, G., Coutaz, J., Thevenin, D. A Unifying Reference Framework for the Development of Plastic User Interfaces. *In Proceedings of EHCI'01*, 173-192.

- [11] Coutaz, J., Borkowski, S., Barralon, N., Coupling Interaction Resources: an Analytical Model, *In Proceedings of Eusai'05*, 183-188.
- [12] Coutrix, C., Nigay, L., Renevier, P, Modèle d'Interaction Mixte : la Réalité Mixte à la lumière des Modalités d'Interaction. *Conférence UBIMOB 2005, Deuxièmes Journées Francophones: Mobilité et Ubiquité 2005, ACM Press*.
- [13] Fishkin, K.P., A taxonomy for and analysis of tangible interfaces. *Journal of Personal and Ubiquitous Computing (2004) 8: 347-358*.
- [14] Fitzmaurice, G., Ishii, H., Buxton, W., Bricks: Laying the foundations for graspable user interfaces. *In Proceedings of CHI'95, New York, 1995, 432-449*.
- [15] Gorbet, G.M., Orth, M., Ishii, H., Triangles: Tangible Interface for Manipulation and Exploration of Digital Information Topography. *In Proceedings of CHI'98, Los Angeles, 1998, 49-56*.
- [16] Gram, Ch., Cockton, G. (Eds.). Design Principles for Interactive Software. *Chapman & Hall, London, 1996*.
- [17] Grolaux, D., Vanderdonckt, J., Van Roy, P., Attach Me, Detach Me, Assemble Me Like You Work. *Proceedings of 10th IFIP TC 13 Int. Conf. on Human-Computer Interaction Interact'2005, Rome, 198-212*.
- [18] Harada, S., Hwang, J., Lee, B., Stone, M., « Put-That-There »: What, Where, How? Integrating Speech and gesture in Interactive Workspace. *In International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, 262-270*.
- [19] Hinckley, K., Pierce, J., Sinclair, M., Horvitz, E., Sensing Techniques for Mobile Interaction. *ACM UIST 2000 Symposium on User Interface Software & Technology, CHI Letters 2 (2), 91-100*.
- [20] Hinckley, K., Ramos, G., Guimbretiere, F., Baudish, P., Smith, M., Stitching: Pen Gesture that Span multiple Displays. *UIST 2000, 91-100*.
- [21] Holmquist, L.E., Mattern, F., Schiele, B., Alahuhta, P., Beigl, M., Gellersen, H.W., Smart-Its Friends: A Technique for Users to Easily Establish Connections between Smart Artefacts, *in Proceedings of Ubicomp 2001, Atlanta, Georgia, 2001, 116-221*.
- [22] Holmquist, L.E., Redström, J., Ljungstrand, P., Token-Based Access to Digital Information. *Lecture Notes in Computer Science 1707 (1999) 234-245*.
- [23] Izadi, S., Brignull, H., Rodden, T., Rogers, Y., Underwood, M., Dynamo: a public interactive surface supporting the cooperative sharing and exchange of media, *in Proceedings Of UIST'03, Vancouver, Canada, 2003, 159-168*.
- [24] Markopoulos, P., Mavrommati, I., Kameas, A., End-User Configuration of Ambient Intelligent Environments: Feasibility from a User Perspective. *In Proceedings of EUSAI'04, Eindhoven, Netherlands, 2004, 243-254*.
- [25] McNERNEY, T.S, From turtles to Tangible Programming Bricks: explorations in physical language design. *Journal of Personal and Ubiquitous Computing (2004) 8: 326-337*.
- [26] Myers, B., Mobile Devices for Control. *In Proceedings of the 4th International Symposium on Mobile Human-Computer Interaction, Springer-Verlag, 2002, 1-8*.
- [27] Newman, M.W., Sedivy, J.Z., Neuwirth, C.M., Edwards, W.K., Hong, J.I., Izadi, S., Marcelo, K., Smith, T.F., Designing for Serendipity: Supporting End-User Configuration of Ubiquitous Computing Environments. *In Proceedings of Designing Interactive Systems (DIS), (London, UK, 2002), 147-156*.
- [28] Norman, D.A., Draper, S.W., User Centered System Design: New Perspectives on Human-Computer Interaction. *Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ, 1986*.
- [29] Pering, T., Ballagas, R., Want, R., Spontaneous marriages of Mobile Devices and Interactive Spaces. *Communications of the ACM, Volume 48, Issue 9, (Sep. 2005), 53 - 59*.
- [30] Ponnekanti, S.R., Lee, B., Fox, A., Hanrahan, P., Winograd, T., ICrafter: A Service Framework for Ubiquitous Computing Environments. *In Proceedings of Ubiquitous Computing Conference. Lecture Notes in Computer Science", vol. 2201, 2001, pp. 56-75*.
- [31] Rekimoto, J., Ayatsuka, Y., Kohno, M., SyncTap: An Interaction Technique for Mobile Networking, *in Proceedings of MOBILE HCI'03, Udine, Italy, 2003, 104-115*.
- [32] Rekimoto, J., Ullmer, B., Oba, H., DataTiles: A Modular Platform for Mixed Physical and Graphical Interactions, *in Proceedings of CHI'01, Seattle, Washington, 2001, 269-276*.
- [33] Rodden, T., Crabtree, A., Hemmings, T., Koleva, B., Humble, J., Akesson, K.P., Hansson, P., Configuring the Ubiquitous Home. *In Proceedings of the 2004 ACM Symposium on Designing Interactive Systems, August 1st-4th, Cambridge, Massachusetts: ACM Press*.
- [34] Sohn, T.Y., Dey, A.K., iCAP: An Informal Tool for Interactive Prototyping of Context-Aware Applications. *In Proceedings of the International Conference on Pervasive Computing 2006. Dublin, Ireland, May 2006, 974-975*.
- [35] Ullmer, B., Ishii, H., Glas, D., MediaBlocks: Physical Containers, Transports, and Controls for Online Media. *In Proceedings of SIGGRAPH'98, Orlando, Florida, 1998, ACM Press, 379-386*.
- [36] <http://www.ipsi.fraunhofer.de/ambiente/english/projekte/projekte/dynawall.html>
- [37] <http://www.guidebookgallery.org/articles/designingthestaruserinterface>