

# Métamorphose des IHM et Plasticité : Article de synthèse

*Gaëlle Calvary*  
*Lionel Balme*

*Joëlle Coutaz*  
*Alexandre Demeure*

*Olfa Dâassi*

*Vincent Ganneau*  
*Jean-Sébastien Sottet*

Université Joseph-Fourier  
Laboratoire CLIPS-IMAG  
BP53, 38041 Grenoble Cedex 9  
Prenom.Nom@imag.fr

## RESUME

Cet article traite de la métamorphose des Interfaces Homme-Machine (IHM) qui, grâce aux progrès technologiques, passent du centralisé au distribué, du classique à l'exotique, du monomodal au multimodal, de l'explicite à l'implicite, du sédentaire au nomade et du rigide au plastique. L'article se focalise sur la plasticité des IHM, c'est-à-dire la capacité d'une IHM à s'adapter à son contexte d'usage (<utilisateur, plate-forme, environnement>) dans le respect de son utilisabilité. Un espace problème est dressé, recensant les questions à se poser lors de l'ingénierie d'IHM plastiques. Ces questions sont aujourd'hui ouvertes, en l'attente d'un recul suffisant pour l'élaboration peut-être de recommandations ergonomiques servant alors de garde-fou à l'ingénierie d'IHM plastiques.

**MOTS CLES :** Métamorphose des IHM, plasticité des IHM, adaptation, contexte d'usage, utilisabilité.

## ABSTRACT

This paper deals with the metamorphosis of User Interfaces (UI) in ambient intelligence. Thanks to technological advances, UIs can now be distributed, multimodal, exotic in their input and output devices, no more limited to explicit interaction, mobile and plastic. This paper focuses on plasticity. In Human-Computer Interaction, plasticity refers to the ability of a UI to withstand variations of context of use while preserving usability. A problem space is provided. It identifies open issues that computer scientists have to deal with when developing plastic UIs. A revision or extension of traditional ergonomic criteria might be relevant for both guiding developers and sustaining evaluation.

**KEYWORDS :** Metamorphosis of UIs, advanced UIs, plasticity of UIs, adaptation, context of use, usability.

## INTRODUCTION

Jusqu'ici l'interaction Homme-Machine était confinée à une unique plate-forme : l'utilisateur était scotché à son ordinateur boîte grise et interagissait avec ses traditionnels clavier-souris. Les Interfaces Homme-Machine (IHM) étaient conçues selon des méthodes centrées utili-

sateur [16] en renfort desquelles venaient les critères d'ergonomie. Par exemple, dans le référentiel de C. Bastien et D. Scapin [3], le critère de guidage/sous-critère retour d'information qui prône l'affichage de l'information là où l'utilisateur est censé regarder pouvait être interprété comme : au moins afficher l'information dans la zone la plus visible de l'écran. Dans ce même référentiel, le critère charge de travail/sous-critère actions minimales qui incite à une longueur de trajectoire d'interaction la plus courte possible était entendu comme : réduire le nombre d'actions physiques (déplacements de la souris, entrées de données) nécessaires à l'accomplissement d'un but. Si la complexité de l'ouvrage pour des IHM classiques s'est toujours soldée par un échec des générateurs d'IHM [14], le déconfinement des IHM complexifie encore le problème.

Avec les avancées des réseaux et les progrès en miniaturisation, l'utilisateur est imaginé comme mobile, évoluant dans un environnement varié et recourant, de manière opportuniste, à des plates-formes d'interaction diverses. Si cette vision séduit du point de vue de l'usage, elle pose de nouveaux défis en ingénierie de l'Interaction Homme-Machine. Vous êtes au salon, confortablement installé dans votre canapé quand tout à coup votre mobile, perdu au fin fond de votre sac, vous annonce l'arrivée d'un message (SMS). Dans le meilleur des cas, vous entendez la sonnerie et courez à la recherche de votre mobile. Mais quid alors des critères de guidage et charge de travail ? Dans le pire des cas, vous n'entendez pas la sonnerie et découvrez votre message trois jours plus tard. Pourquoi votre SMS ne s'afficherait-il pas sur la surface d'affichage à laquelle vous faites face (mur, télévision, etc.), filtrant les éléments du SMS selon votre contexte d'usage ? Si typiquement vous êtes en réception, il pourrait être indiscret de dévoiler l'identité de l'émetteur. En revanche, au départ de vos convives, pourquoi la pièce ne vous rappellerait-elle pas l'existence de ce message en attente ? Pourquoi ne vous permettrait-elle pas d'y répondre sans grimper à l'étage pour chercher votre mobile ? La notion d'espace interactif prend alors tout son sens extirpant le *desktop* de sa boîte grise.

Dans une première section, l'article dresse les lignes de force de la métamorphose des IHM. Parmi elles, nous retenons la plasticité qui, lorsqu'appliquée aux IHM, dénote la capacité d'un système interactif à s'adapter à son contexte d'usage dans le respect de son utilisabilité. Le contexte d'usage est ici défini comme un triplet <utilisateur, plate-forme, environnement>. L'article se focalise sur la plasticité. Il en présente l'espace problème mettant ainsi au jour un ensemble de questions à se poser lors de l'ingénierie d'IHM plastiques. Ces questions, aujourd'hui sans réponse, pourraient justifier une relecture, voire un ré-examen des critères et recommandations ergonomiques actuels pour mieux assister les informaticiens dans la conception et l'évaluation de tels systèmes.

### METAMORPHOSE DES IHM

Avec les avancées technologiques, les IHM passent :

- Du *centralisé* au *distribué*. Pour exemples : la métaphore du peintre explorée dans Pick and Drop [20] ou la télécommande universelle développée dans Pebbles [15]. Les IHM ne sont plus concentrées en un unique écran. Elles s'étalent sur un ensemble de plates-formes mettant à profit les caractéristiques intrinsèques et extrinsèques de ces plates-formes. Dans Pick and Drop par exemple (Figure 1), l'assistant personnel (PDA), par son caractère mobile (intrinsèque) est perçu comme une palette d'outils dans laquelle l'enseignant vient piocher couleurs, dessins, films...



Figure 1: La métaphore du peintre dans Pick and Drop [20]. L'IHM de l'éditeur de dessin est distribuée entre un PDA et un PC.

On pourrait imaginer d'autres rôles aux PDA, par exemple, l'affichage d'informations personnelles. Par leur petite taille d'écran et a priori leur proximité de l'utilisateur, l'information devrait en effet y être peu lisible pour des coups d'œil indiscrets ;

- Du *classique* à l'*exotique* dans les dispositifs d'entrée/sortie. Alors que nos ordinateurs de bureaux arborent inlassablement le triptyque écran-clavier-souris, des prototypes de recherche rivalisent d'imagination tant en entrée qu'en sortie. Pour

exemples, AmbientRoom [12] (Figure 2) qui imaginait les fioles comme dispositifs de sortie ou plus récemment l'IO Brush [23], un pinceau magique permettant de prélever un motif (couleur, texture, mouvement) dans le monde physique puis de le reproduire et le manipuler dans le monde numérique. En produits commercialisés, mentionnons le lapin de Violet (le «Nabaztag») qui allie entrée et sortie (<http://www.nabaztag.com>).



Figure 2: De l'écran aux fioles en dispositifs de sortie [12].

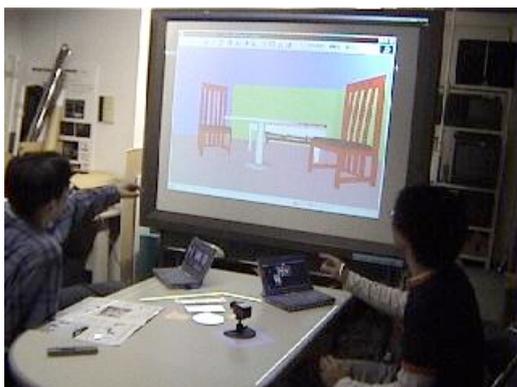
Si ces dispositifs restent marginaux, ils forcent néanmoins une ouverture d'esprit : les sorties ne sont plus limitées aux seuls écrans et les entrées peuvent être médiées par des dispositifs autres que les claviers-souris. Dès lors, les notions d'entités physiques et de rôles supplantent l'ex triptyque écran-clavier-souris [13]. Un mur est une entité physique appropriée pour jouer le rôle de surface d'affichage. Le doigt ou un stylo par leurs formes allongées peuvent jouer le rôle de dispositifs d'entrée. Quant à la main, certains y voient dans l'alignement des doigts l'opportunité d'un affichage par lignes [1] (Figure 3).



Figure 3: La main en dispositif de sortie [1].

Ainsi, tout objet de l'environnement, dès lors qu'il est perçu et/ou manipulable par le système, devient dispositif potentiel d'entrée/sortie et prend alors part à la plate-forme au même titre que les anciens écrans-claviers-souris. C'est un déconfinement des IHM au profit du monde physique. Les recherches en systèmes mixtes entrent dans ce cadre ;

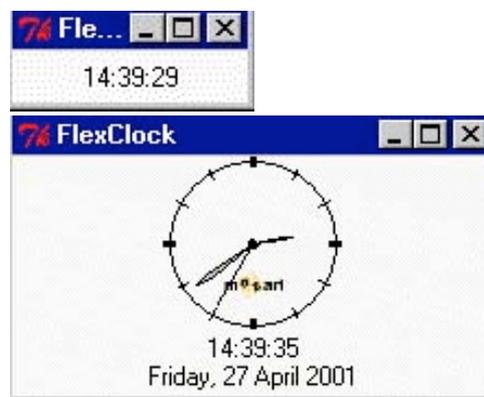
- Du *monomodal* au *multimodal*. Classiquement, l'interaction Homme-Machine privilégie la vue, le toucher et l'ouïe. Les autres sens humains sont négligés. Le projet Exhalia de France Telecom explore l'olfactif. Lorsque l'utilisateur navigue sur Internet, des odeurs accompagnent les images. Les recherches sont aujourd'hui prospectives, mais on pourrait imaginer, pour la sécurité, d'exprimer un danger ou d'en renforcer le signal par une odeur diffuse. L'utilisateur n'est alors plus rivé devant l'écran ou le voyant. L'odeur est diffusée là où l'utilisateur se trouve, satisfaisant ainsi l'exigence de retour d'information telle qu'exprimée dans le référentiel de C. Bastien et D. Scapin [3] ;
- De l'*explicite* à l'*implicite*. Alors que les actions physiques explicites de l'utilisateur sur les dispositifs d'entrée dirigeaient jusqu'ici l'interaction Homme-Machine, elles perdent aujourd'hui leur monopole. Désormais, la pièce peut vous écouter, comprendre le propos du discours et en compléter la teneur par des informations affichées, par exemple, au mur. C'est de l'interaction implicite ;
- Du *sédentaire* au *nomade*. Jusqu'ici scotchées à leur ordinateur d'exécution, les IHM "valsent" désormais dans leur espace interactif, au gré de l'utilisateur, selon l'arrivée et le départ de ressources. Elles migrent partiellement ou totalement, changeant ainsi leur état de distribution et s'adaptant si nécessaire aux capacités de la plate-forme cible. Typiquement, dans les surfaces augmentées de Rekimoto [21], la présentation des objets (tables et chaises) s'adapte à l'inclinaison horizontale (vue de dessus 2D) ou verticale (perspective 3D) de la surface d'affichage (Figure 4).



**Figure 4 :** Les objets s'affichent en 2D versus 3D selon l'inclinaison de la surface d'affichage (table horizontale / écran vertical) [21].

- Du *rigide* au *plastique*. Alors que jusqu'ici les IHM étaient "de marbre" répondant aux seules actions de l'utilisateur, elles s'adaptent désormais à un contexte d'usage changeant. On parle de plasticité lorsque l'adaptation se fait dans le respect de l'utilisabilité. Un exemple classique est celui de FlexClock [11] qui, selon la taille de la fenêtre, affiche l'heure cou-

rante de différentes façons et rajoute la date lorsque ceci est possible (Figure 5). Cette forme de plasticité est appelée remodelage : elle joue sur la présentation des concepts du domaine et des tâches utilisateur sans changer l'état de distribution de l'IHM : l'IHM était centralisée sur une certaine machine *M*. Elle reste centralisée sur cette même machine *M*.



**Figure 5 :** Dans FlexClock [11], la présentation de l'heure et optionnellement de la date s'adapte à la taille de la fenêtre. C'est un exemple de remodelage. A l'époque, la plasticité n'était étudiée que sous cet angle.

C'est plus tardivement que la réflexion est élargie comprenant que la métamorphose des IHM diversifie les leviers de plasticité. Par exemple, dans Sedan-Bouillon [2] (un site web pour la promotion des pays de Sedan et Bouillon, site web plastique développé dans le cadre du projet européen CAMELEON), l'arrivée d'un PDA est vue comme l'opportunité d'étaler l'IHM entre l'actuel PC et ce nouveau PDA. Dans ce prototype, lorsque l'utilisateur Lionel se ballade sur le site web à partir d'un PC (log\_Lionel\_0 sur la figure 6a) et s'y connecte subitement via un PDA (log\_Lionel\_1), une proposition de *redistribution* lui est faite (Figure 6a) : le site est structuré en un titre, une barre de navigation et un contenu. Lionel peut afficher là où il le souhaite les différents espaces de travail. Lionel choisit d'avoir le titre et le contenu sur PC (Figure 6b) et souhaite disposer sur PDA du titre et de la navigation (Figure 6c). Cette redistribution lui permet de parcourir le site, confortablement installé dans son canapé. On notera que, dans ce prototype, l'adaptation est placée sous le contrôle de l'utilisateur. Ce contrôle explicite requiert une IHM (Figure 6a). Nous appelons *méta-IHM* cette IHM de la plasticité. La méta-IHM est en charge de rendre observable et contrôlable à l'utilisateur le processus d'adaptation.

Si, dans la métamorphose des IHM, la multimodalité (du monomodal au multimodal) est un moyen de remodelage en plasticité, les autres axes relèvent de

la redistribution : "du centralisé au distribué" est une redistribution de l'IHM sur la plate-forme ; "du classique à l'exotique", une redistribution entre les mondes physique et numérique ; "de l'explicite à l'implicite", une redistribution des tâches entre l'utilisateur et le système, "du sédentaire au nomade", une redistribution dynamique. La redistribution est donc un levier fondamental à considérer en cette période de métamorphose des IHM. Elle peut, en pratique, être assortie d'un remodelage pour s'accommoder de capacités différentes entre les plates-formes source et cible. Par exemple, alors que sur PC la barre de navigation figurait en bandeau gauche, elle apparaît horizontalement en partie haute sur PDA (Figure 6c).

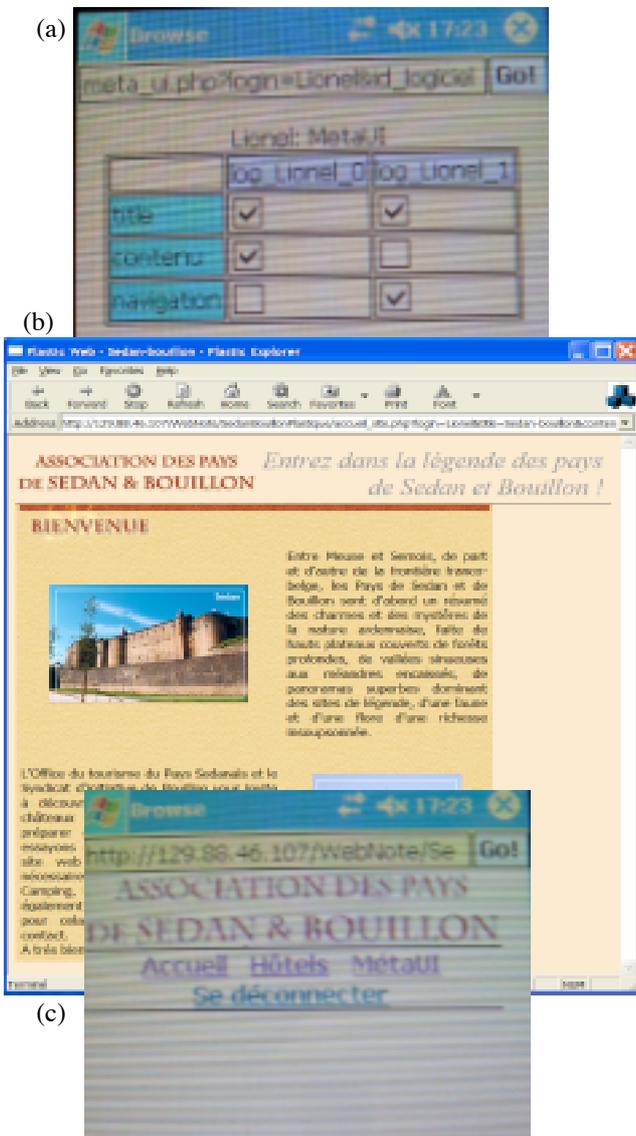


Figure 6 : (a) Méta-IHM rendant observable le contexte d'usage (ici les plates-formes) et proposant à l'utilisateur une redistribution. Lionel demande à disposer sur PC (log\_Lionel\_0) du titre et du contenu (a et b) et placer sur PDA (log\_Lionel\_1) la navigation et le titre (a et c).

Jusqu'ici les deux leviers (remodelage et redistribution) ont été étudiés de façon cloisonnée (découverte progressive des difficultés et séparation des préoccupations). La section suivante en propose un espace problème unificateur.

### PLASTICITE DES IHM

La plasticité des IHM est une propriété des systèmes interactifs qui fut introduite en 1998 en réponse à la diversité des plates-formes [25]. Comme à l'évidence l'IHM ne peut être la même sur grand et petit écran, l'idée était de régler, par l'adaptation, les coûts de développement et de maintenance ainsi que les incohérences ergonomiques résultant de développements cloisonnés entre les versions petit et grand écran. Très vite, l'environnement est considéré, l'utilisateur ensuite, pour enfin revenir à la plate-forme comprenant que les IHM n'étaient plus seulement centralisées et sédentaires mais pouvaient se redistribuer au gré du contexte d'usage en termes d'utilisateur, de plate-forme et d'environnement. La définition était alors posée.

Le sujet connaît très vite un vif engouement. Différents angles d'attaque se dessinent, en particulier le multiciblage (méthodes et outils pour la construction d'IHM adaptées à un contexte d'usage donné – pour exemple, des outils de forward et reverse engineering tels que Tereza [4] ou WebRevenge [19]), l'information située [24] et la technologie support dite « context aware computing » [7]. Ces différents éclairages confirment la complexité de l'ouvrage.

L'ambition de cette section est une prise de recul par rapport aux différentes recherches pour établir un espace problème unique regroupant et structurant les questions clé de l'ingénierie d'IHM plastiques. La structuration s'appuie sur la décomposition fonctionnelle présentée en Figure 7. Cette décomposition fonctionnelle rappelle que la plasticité s'appuie sur des fonctions de reconnaissance du contexte d'usage ; qu'elle consiste à calculer l'évolution du système interactif sur changement de ce contexte ; que cette évolution peut être apprise ; et enfin que l'ensemble du processus peut être placé sous l'observabilité et/ou le contrôle de l'utilisateur via une méta-IHM. Cette section examine chaque fonction.

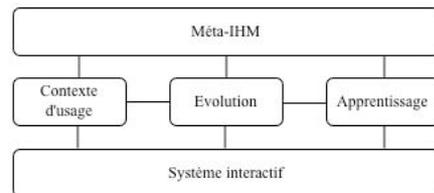


Figure 7 : Décomposition fonctionnelle d'un système interactif plastique.

## Contexte d'usage

Si dans la définition de la plasticité, le contexte d'usage est défini en termes d'utilisateur, de plate-forme et d'environnement, dans les faits, les travaux se cloisonnent selon la couverture faite du contexte d'usage. Certains se focalisent sur l'adaptation à l'utilisateur [8]; d'autres sur l'adaptation à la plate-forme [2] tandis que l'environnement reste à notre connaissance encore peu considéré. Reconnaître le contexte d'usage, c'est en premier lieu le percevoir. Dans les travaux de Crowley [6], la perception est dirigée par l'action : ne sont perçus dans le contexte que les éléments jugés pertinents pour diriger l'action, c'est-à-dire l'adaptation. Un modèle de contexte définit les indices à percevoir, par exemple « batterie faible » qui déclenchera un changement de *situation*. Le contexte est modélisé comme un graphe de situations. Les actions (par exemple, migrer vers la plate-forme la plus proche) sont attachées aux changements de situation. Les avantages de l'approche sont nombreux : (a) restreindre la perception à son strict minimum ; (b) maintenir l'état courant du contexte et son historique. En pratique, la perception du contexte requiert des capteurs. Rey [22] propose des *contexteurs* pour la mise à disposition, au bon niveau d'abstraction, des informations de contexte aux systèmes interactifs. Les fonctions d'évolution disposent de ces informations pour calculer et mettre en œuvre la bonne réaction (par exemple, migrer).

## Evolution

L'évolution est en charge du calcul et de la mise en œuvre de la réaction. Deux leviers sont identifiés : le remodelage et la redistribution. C'est par l'étude du remodelage que les recherches en plasticité commencèrent. Un premier résultat fut l'identification des niveaux d'abstraction auxquels l'adaptation peut avoir lieu [26]. Le modèle d'architecture logicielle ARCH était mis à profit pour distinguer cinq niveaux d'abstraction : le noyau fonctionnel (NF), l'adaptateur de noyau fonctionnel (ANF), le contrôleur de dialogue (CD), les présentations logique et physique. Les recherches étaient alors menées dans le seul cadre du graphique. Depuis, d'autres modalités sont considérées, en particulier le vocal [4]. Il devient alors pertinent de préciser si les modalités humaines sont préservées ou non lors du remodelage. On parlera de remodelage *intra-modal* (par exemple graphique vers graphique) lorsque la modalité est préservée, d'*inter-modal* (aussi dit transmodal, par exemple, graphique vers vocal) pour un changement de modalité et de *multimodal* dès lors que des modalités sont combinées (par exemple, graphique et vocal dans Teresa [4]). L'intégration de la perspective système de la notion de modalité telle que définie par L. Nigay [17] est un prolongement direct au travail.

La redistribution joue sur l'éparpillement de l'IHM sur les différentes plates-formes. On distinguera les redistributions qui conservent l'état centralisé d'une IHM (migration totale du PC vers le PDA ; ces redistributions sont notées C→C sur la Figure 9 pour Centralisée vers Centralisée), l'éclatent la faisant passer d'un état centralisé à distribué (c'est le cas de Sedan-Bouillon où le site se répartit entre le PC et le PDA ; elles sont notées C→D) ; la reconcentrent sur une unique plate-forme, la faisant ainsi passer d'un état distribué à centralisé (D→C) ou en changeant l'état de distribution (D→D). Dès lors que l'IHM est distribuée, il convient de réfléchir au rôle de chaque plate-forme. Sont-elles par exemple complémentaires en charge chacune d'un sous-ensemble des tâches utilisateur ? Agissent-elles en totale équivalence permettant à l'utilisateur de réaliser sa tâche soit sur le PC soit sur le PDA, à sa convenance ? On voit que les propriétés CARE [5] (Complémentarité, Assignation, Redondance, Equivalence) sont ici pertinentes pour raisonner sur la distribution de l'IHM.

D'un point de vue de la mise en œuvre de la réaction qu'elle soit de type remodelage et/ou redistribution, six dimensions sont à considérer :

- La granularité de l'adaptation. L'adaptation se fait-elle au grain de l'interacteur, compactant par exemple un jeu de boutons radio en un menu déroulant ? Se fait-elle au grain de l'espace de travail, c'est-à-dire d'un ensemble de tâches logiquement connectées (modification d'un canevas ou d'une fenêtre en graphique) ? Ou modifie-t-elle au contraire toute l'IHM ?
- La localisation interne (aussi dite close, notée I) et/ou externe (aussi dite open, notée E) de l'adaptation [18]. Il s'agit ici de décider qui de l'IHM (interacteur, espace de travail ou application) ou d'un tiers (un intergiciel de l'adaptation) embarque les mécanismes d'adaptation. Aucune recommandation n'existe sur le dosage d'interne/externe. Des critères de performance ou d'ouverture peuvent être typiquement considérés. Les approches à service poussent très fort à l'ouverture. L'opportunisme qu'elles laissent percevoir (j'arrive à la gare, je dispose d'un service imprévu) va dans le sens de l'informatique ambiante ;
- Les espaces technologiques au sens de l'Ingénierie Dirigée par les Modèles (IDM ou Model Driven Engineering en anglais), par exemple, JAVA, HTML, etc. ...). L'adaptation est-elle intra-espace technologique (par exemple, JAVA vers JAVA), inter-espaces (par exemple, HTML vers JAVA) ou multi-espaces combinant par exemple JAVA et HTML avant et après transformation ?
- La production statique (S) et/ou dynamique (D) des IHM. Les IHM sont-elles préfabriquées (statique)

et/ou générées à la volée (dynamique) ? Dans Artistic Resizing [9], c'est un mixte de statique et de dynamique qui est opéré. Les IHM sont préfabriquées à des instants clé de l'interaction (échantillonnage et création par des designers) ; les transitions sont calculées à la volée ;

- Le déploiement statique (S) ou dynamique (D) de l'adaptation. L'utilisateur doit-il quitter sa session (statique) le temps que l'adaptation se fasse ou l'adaptation se fait-elle à la volée (dynamique) permettant, en parallèle, à l'utilisateur de poursuivre sa tâche ?
- Le grain de reprise, qui permet de mesurer en termes d'actions physiques le coût de l'adaptation pour l'utilisateur. Trois grains sont identifiés : l'action physique (l'utilisateur ne perd aucune action lors de l'adaptation – dans Sedan-Bouillon, si l'utilisateur avait sélectionné « Hotels » sur son site Web, cette sélection est conservée lors de la migration de la barre de navigation sur PDA : l'option « Hotels » y est sélectionnée) ; la tâche (seules les tâches utilisateur achevées sont alors restaurées – les actions physiques contribuant à la réalisation d'une nouvelle tâche sont perdues) ; la session (l'utilisateur redémarre de zéro : il a perdu le bénéfice de toutes ses actions).

### Apprentissage

L'apprentissage est une dimension nouvelle en plasticité. L'idée serait ici d'ajuster les règles d'évolution (par exemple, préférer les remodelages aux redistributions) selon les préférences et habitudes utilisateur. Les travaux en User Modeling entrent dans ce cadre.

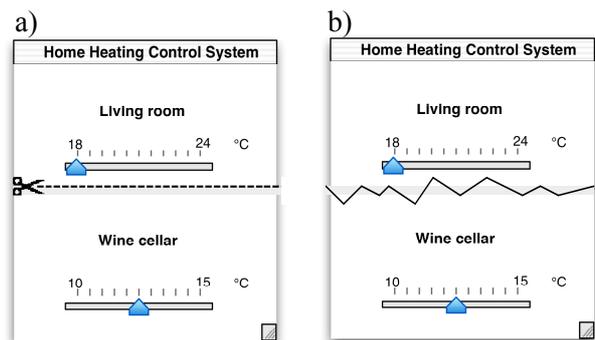
### Méta-IHM

La méta-IHM concerne le degré de contrôle accordé à l'utilisateur dans le processus d'adaptation. Au regard du critère de Guidage/sous-critère Retour d'information [3], l'observabilité est le degré minimum. Au delà de cette seule observabilité, une négociation peut être opérée entre l'utilisateur et le système. La dominance de l'utilisateur ou du système est à étudier. Cette réflexion est liée aux critères de contrôle explicite et d'adaptabilité [3] qui méritent d'être ré-examinés sous cet angle.

Dans le processus d'adaptation, nous distinguons cinq étapes sujettes à observabilité et/ou contrôle : la reconnaissance du contexte d'usage (rendre observable à l'utilisateur l'arrivée d'un PDA par exemple) ; l'initiative de l'adaptation, le calcul et la mise en œuvre de la réaction (migrer vers le PDA) et enfin l'évaluation de la réaction et son apprentissage. Ces étapes sont un affinement de Dieterich [8].

Contrairement aux autres fonctions de l'adaptation (contexte, évolution, apprentissage) qui ont déjà fait l'objet de travaux à finalité de plasticité ou autre, le ter-

rain est quasiment vierge en matière de méta-IHM : aucune théorie, aucun modèle, juste quelques idées de métaphores. Par exemple, nous envisageons les ciseaux (Figure 8a) ou les déchirures (Figure 8b) pour exprimer le caractère détachable ou déchirable d'une IHM : détachable, l'utilisateur peut la découper pour éventuellement la redistribuer ; déchirable, c'est à ses risques et périls, une perte d'utilisabilité pouvant s'encourir. Nous envisageons les aimants pour exprimer la compatibilité/incompatibilité d'IHM, les puzzles pour exprimer la complémentarité (CARE). Le domaine du "End-User Programming" est ici à examiner.



**Figure 8** : Vers de nouvelles métaphores. Ici, les ciseaux et les déchirures pour exprimer le caractère détachable versus déchirable d'espaces de travail.

La Figure 9 résume l'espace problème ainsi obtenu. Cet espace problème est à destination des concepteurs pour les aider à (a) imaginer des solutions innovantes et (b) se poser les bonnes questions quant à leur ingénierie. Il ne prétend pas à l'exhaustivité mais compile un ensemble de questions en cours d'exploration dans la littérature ou à investiguer.

### CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cet article caractérise, dans un premier temps, la métamorphose des IHM puis se focalise sur la plasticité montrant comment les autres dimensions y sont mises à profit pour passer d'IHM rigides à des IHM capables de s'adapter à leur contexte d'usage. Un espace problème est dressé, compilant des questions essentielles pour l'ingénierie d'IHM plastiques. Au delà des modèles, méthodes et outils permettant la construction, l'exécution et l'évaluation de telles IHM, nous voyons comme perspective au travail l'utilisabilité. Alors que la plasticité revendique dans sa définition la préservation de l'utilisabilité, très peu de travaux sont paradoxalement menés sur cet axe. Des premières règles de dégradation élégante d'IHM apparaissent [10] sans qu'une conciliation et intégration ne soit faite, à notre connaissance, avec les référentiels existants. Le sujet est loin d'être clos s'ouvrant sur de nombreuses communautés.

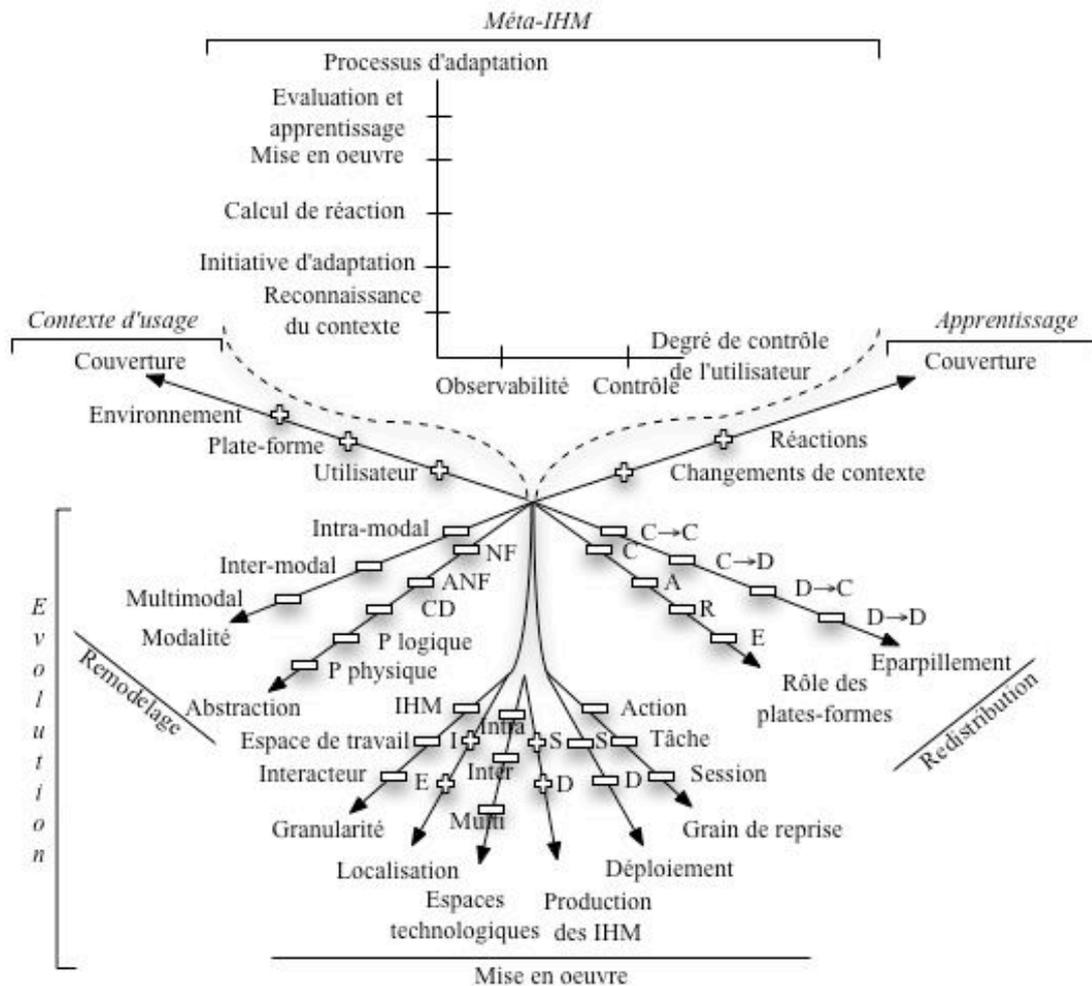


Figure 9 : Espace problème de la plasticité. Dans cet espace, les croix (+) dénotent des valeurs non exclusives contrairement aux tirets (-).

## BIBLIOGRAPHIE

1. Antoniac, P., Pulli, P., Kuroda, T., Bendas, D., Hickey, S., Sasaki, H. Wireless User Perspectives in Europe: HandSmart Mediaphone Interface, *Wireless Personal Communications*, Vol. 22, pp. 161-174, 2002.
2. Balme, L., Demeure, A., Barralon, N., Coutaz, J., Calvary, G. CAMELEON-RT: A Software Architecture Reference Model for Distributed, Migratable, and Plastic User Interfaces, *Lecture Notes in Computer Science*, Volume 3295 / 2004, *Ambient Intelligence: Second European Symposium, EUSAI 2004*, Markopoulos P., Eggen B., Aarts E. et al. (Eds), Springer-Verlag Heidelberg (Publisher), ISBN: 3-540-23721-6, Eindhoven, The Netherlands, November 8-11, 2004, pp. 291-302.
3. Bastien, J.M.C., Scapin D. *Ergonomic Criteria for the Evaluation of Human-Computer Interfaces*, Rapport technique INRIA, N°156, Juin 1993.
4. Berti, S., Paternò, F. Migratory multimodal interfaces in multidevice environments. *In Proc. International Conference on Multimodal Interfaces*, ACM Publ., 2005, pp. 92-99.
5. Coutaz, J., Nigay, L., Salber, D., Blandford, A., May, J., Young, R. Four Easy Pieces for Assessing the Usability of Multimodal Interaction: The CARE properties, *Proceedings of the INTERACT'95 conference*, S. A. Arnesen & D. Gilmore Eds., Chapman&Hall Publ., Lillehammer, Norway, June 1995, pp. 115-120.

6. Crowley, J.L., Coutaz, J., Rey, G., Reignier, P. Perceptual Components for Context-Aware Computing, *UbiComp 2002: Ubiquitous Computing, 4th International Conference*, Göteborg, Sweden, Sept./Oct. 2002, G. Borriello, L.E. Holmquist Eds., LNCS, Springer Publ., pp. 117-134.
7. Dey, A. *Providing Architectural Support for Building Context-Aware Applications*, PhD thesis, College of Computing, Georgia Institute of Technology, December 2000.
8. Dieterich, H., Malinowski, U., Kühme, T., Schneider-Hufschmidt, M. State of the Art in Adaptive User Interfaces, in *Adaptive User Interfaces: Principles and Practice*, Schneider-Hufschmidt & al. (ed.), 1994, pp. 13-48.
9. Dragicevic, P., Chatty, S., Thevenin D., Vinot J-L. Artistic Resizing: A Technique For Rich Scale-Sensitive Vector Graphics. In: Proc. of the *18th ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'05)*, Seattle, October 23-26, 2005, ACM Press, pp. 201-210.
10. Florins, M. Vanderdonckt, J., Graceful Degradation of User Interfaces as a Design Method for Multiplatform Systems, in Proceedings of the *2004 International Conference on Intelligent User Interfaces IUI 2004*, Funchal, Madeira Island, Port., January 13-16, 2004, pp. 140-147.
11. Grolaux, D., Van Roy, P., Vanderdonckt, J. Flex-Clock: a Plastic Clock Written in Oz with the QtK Toolkit, In: Proceedings de *TAMODIA 2002 (First International Workshop on Task Models and Diagrams for User Interface Design)*, Bucharest, 18-19 July 2002, ISBN: 973-8360-01-3, Pribeanu, C., Vanderdonckt, J. (eds), INFOREC Publishing House Bucharest, 2002, pp. 135-142.
12. Ishii, H., Wisneski, C., Brave, S., Dahley, S., Gorbet, M., Ullmer, B., Yarin, P. Ambient Room, *Video at the ACM CHI'98 conference*, 1998.
13. Lachenal, C. *Modèle et infrastructure logicielle pour l'interaction multi-instrument multisurface*, Thèse de l'Université Joseph-Fourier, Décembre 2004, 200 pages.
14. Myers, B., Hudson, S.E., Pausch, R. Past, Present, and future of user interface software tools, *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, Volume 7, Issue 1, Special issue on human-computer interaction in the new millennium, Part 1, March 2000, pp. 3-28.
15. Myers, B.A. "Using Hand-Held Devices and PCs Together," *Communications of the ACM*, Volume 44, Issue 11, November 2001, pp. 34 - 41.
16. Norman, D.A., Draper, S.W. *User Centered System Design*, Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, 1986.
17. Nigay, L. *Conception et modélisation logicielles des systèmes interactifs : application aux interfaces multimodales*, Thèse de doctorat Informatique préparée au Laboratoire de Génie Informatique (IMAG), Université Joseph Fourier, 28 janvier 1994, 315 pages.
18. Oreizy, P., Taylor, R., et al. An Architecture-Based Approach to Self-Adaptive Software. In *IEEE Intelligent Systems*, May-June, 1999, pp. 54-62.
19. Paganelli, L., Paternò, F. Automatic Reconstruction of the Underlying Interaction Design of Web Applications, *Proceedings of SEKE 2002*, Ischia, Italy, July 2002.
20. Rekimoto, J. Pick-and-Drop: A Direct Manipulation Technique for Multiple Computer Environments, *Proceedings of UIST'97*, ACM Press, 1997, pp. 31-39.
21. Rekimoto, J., Saitoh, M. Augmented Surfaces: A Spatially Continuous Workspace for Hybrid Computing Environments, *Proceedings of CHI'99*, ACM Press, 1999, pp. 378-385.
22. Rey, G. *Contexte en Interaction Homme-Machine : le contexteur*, Thèse de l'Université Joseph-Fourier, Grenoble I, 1er août 2005, 186 pages.
23. Ryokai, K., Marti, S., Ishii, H. Designing the World as Your Palette, In *CHI'05 extended abstracts on Human factors in computing systems*, Portland, OR, ACM Press, April 2-7, 2005, pp. 1037-1049.
24. Suchman, L. *Plans and Situated Actions*, Cambridge University Press, 1987.
25. Thevenin, D., Coutaz, J. Plasticity of User Interfaces: Framework and Research Agenda. In Proc. *Interact'99*, Edinburgh, Sasse, A., Johnson, C. Eds, IFIP IOS Press Publ., 1999, pp.110-117.
26. Thevenin, D. *L'adaptation en Interaction Homme-Machine : le cas de la plasticité*, Thèse de doctorat Informatique préparée au Laboratoire de Communication Langagière et Interaction Personne-Système (CLIPS), Université Joseph Fourier, Décembre 2001, 238 pages.