

Métamorphose des IHM et Plasticité

Metamorphosis of User Interfaces and Plasticity

Gaëlle CALVARY, Joëlle COUTAZ

Laboratoire LIG, Equipe IHM, 385 Rue de la Bibliothèque, BP53, 38041 Grenoble cedex 9

Gaelle.Calvary@imag.fr, Joelle.Coutaz@imag.fr

Résumé. Cet article traite de la métamorphose des Interfaces Homme-Machine (IHM). Jusqu'ici majoritairement graphiques, étriquées au triptyque écran-clavier-souris, les IHM s'ouvrent aujourd'hui sur de nouvelles formes : elles passent du graphique au multimodal, du classique à l'exotique, de l'explicite à l'implicite, du centralisé au distribué, du sédentaire au nomade, du rigide au plastique. Si cette métamorphose est aujourd'hui permise par les avancées technologiques, notamment les progrès en miniaturisation et en réseaux, l'effort s'arrête souvent à des démonstrateurs de concepts sans que leur valeur ne soit mesurée du point de vue de l'usage. La plasticité se pose en intégrateur d'avancées pour permettre aux IHM de s'adapter à leur contexte d'usage (<utilisateur, plate-forme, environnement>) dans le respect de leur valeur. Après avoir énoncé les lignes de force de la métamorphose des IHM, l'article se focalise sur la plasticité des IHM. Il en dresse un espace problème, recensant les questions à se poser lors de l'ingénierie d'IHM plastiques. Ces questions sont aujourd'hui encore ouvertes même si une percée est faite en Ingénierie Dirigée par les Modèles (IDM). Toutefois, quelle que soit l'approche, les efforts restent fonctionnels. Il faut à présent confronter le concept à de vraies applications, évaluer la plasticité à l'usage pour mieux comprendre sa valeur et donc mieux agir à la fois dans l'ingénierie d'IHM plastiques et l'ingénierie d'outils de construction et d'exécution d'IHM plastiques.

Mots-clés. Métamorphose des IHM, plasticité des IHM, adaptation, contexte d'usage, valeur, utilité, utilisabilité.

Abstract. Ubiquitous computing has provoked a metamorphosis of User Interfaces (UIs). Until now, UIs were mostly graphical and confined within a single computer. They are now increasingly multimodal, borrowing exotic input and output devices from the environment. They are able to support implicit interaction, to dynamically migrate across a set of possibly heterogeneous platforms, and to adapt to the context of use while preserving user-centered values. This ability to adapt to the context of use (<user, platform, environment>) is called Plasticity. This paper first presents the key features of UI metamorphosis, and then focuses on plasticity. It provides computer scientists with a problem space that makes explicit the key issues to be addressed when engineering plastic UIs. Although significant progress has been drawn from Model Driven Engineering (MDE), a number of questions remain open. In particular, research efforts have focused on the functional aspects of UI adaptation while neglecting the user-centered values. The community must now

investigate how human values can be integrated into the tools and techniques for plastic UIs.

Keywords. Metamorphosis of UIs, plasticity of UIs, adaptation, context of use, value, usefulness, usability.

1 Introduction

Jusqu'aux années 2000, l'interaction homme-machine était confinée à une unique plate-forme : l'utilisateur était supposé assis devant un ordinateur boîte grise, rivié devant l'écran et agissant sur l'Interface Homme-Machine (IHM) par les traditionnels clavier-souris. Les IHM étaient conçues selon des méthodes centrées utilisateur, en point d'entrée desquelles venait le contexte d'usage : l'utilisateur, sa plate-forme d'interaction et l'environnement physique et social. Tous trois étaient supposés fixes.

L'informatique ambiante change la donne : l'utilisateur est imaginé comme mobile, évoluant dans un environnement varié et recourant, de manière opportuniste, à des ressources d'interaction diverses. Pour mémoire, le projet Européen GLOSS (GLObal Smart Spaces, 2001-2004) imaginait Bob arrivant à Paris, muni de son assistant personnel (PDA), et s'approchant d'un plan de ville pour percevoir, sur grande surface, sa localisation ainsi que la route à suivre pour rejoindre la salle de réunion (Figure 1). Le contexte d'usage devenait alors variable et potentiellement imprévisible.

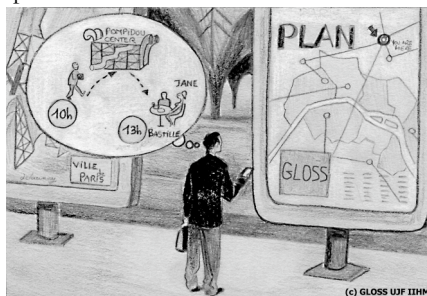


Figure 1. Couplage opportuniste du PDA et d'un plan de ville.

Si, dans cet exemple, les ressources d'interaction restent classiques (PDA et grande surface d'affichage), d'autres projets imaginent des dispositifs plus exotiques. Pour exemple, un pinceau (Ryokai et al., 2004) prélève, dans le monde réel, des motifs qu'il reproduit dans le monde numérique (Figure 2).



Figure 2. LIOBrush (Ryokai et al., 2004).

La section suivante parcourt quelques avancées en interaction homme-machine. Elle les organise en lignes de force de la métamorphose des IHM. Parmi elles, nous retenons la propriété de *plasticité* (présentée dans la troisième section) qui, lorsqu'appliquée aux IHM, dénote la capacité d'*adaptation* d'une IHM à son *contexte d'usage* dans le respect de sa *valeur* (Dâassi, 2007). Le contexte d'usage est défini

comme un triplet <utilisateur, plate-forme, environnement>. L'article présente un espace problème de la plasticité mettant en lumière un ensemble de questions clés. Si des approches telles que l'Ingénierie Dirigée par les Modèles (IDM) sont aujourd'hui pressenties comme solutions unificatrices, elles souffrent d'une application à des cas d'étude encore restreints. Il faut à présent considérer de vraies applications, évaluer la plasticité à l'usage pour ensuite revenir à l'ingénierie d'IHM plastiques et l'ingénierie d'outils de construction et d'exécution d'IHM plastiques. Ce point fait l'objet des perspectives en section 4.

2 □ Métamorphose des IHM

En 1991, alors qu'apparaissaient les premiers PDA, M. Weiser (1991) esquissait les grandes lignes de l'informatique ambiante : une informatique omniprésente, évanescence et calme. Depuis, deux facteurs ont été identifiés comme clés : la mobilité, d'une part (bien incarnée par les PDA) ; l'intégration à l'environnement, d'autre part (Lyytinen et Yoo, 2002). Aujourd'hui, les "smartphones" rivalisent de fonctions avec les stations de travail, PDA et téléphones confondus. On parle de *convergence* entre fixes et mobiles. En revanche, l'intégration à l'environnement relève bien plus de la recherche. Pourtant, la concentration fonctionnelle a ses limites que l'intégration à l'environnement pourrait résoudre. Prenons deux cas d'étude.

Scénario n°1. Vous êtes au salon, confortablement installé dans votre canapé quand tout à coup votre téléphone, perdu au 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 tels que promus dans (Bastien et Scapin, 1993) ? Dans le pire des cas, vous n'entendez pas la sonnerie et découvrez votre message quelque temps plus tard. Pourquoi votre SMS ne s'afficherait-il pas là où vous êtes en train de regarder (mur, télévision, etc.), filtrant, bien entendu, les éléments du SMS selon votre contexte d'usage ? Si typiquement vous recevez des amis, il pourrait être indiscret de dévoiler l'identité de l'émetteur. En revanche, au départ de vos convives, la pièce pourrait vous rappeler l'existence de ce message en attente. Pourquoi ne vous permettrait-elle pas d'y répondre à partir de n'importe quel dispositif (PC, crayon communicant, etc.) ? La notion d'*espace interactif* prend alors tout son sens.

Scénario n°2. Alice organise une fête dans son petit village de Vourey. Le coin est sympathique mais un peu perdu. Vous y êtes convié et organisez un covoiturage entre amis. Vous êtes copilote. Toujours prévoyant, vous emportez votre téléphone sur lequel est installé un navigateur. Le rendez-vous est fixé à 12h à la mairie de Vourey. Alice vous y attendra, la maison étant compliquée d'accès. Il est bientôt midi. A 5 minutes de Vourey, votre navigateur annonce une sortie sur la droite. Effectivement, un panneau la signale. Mais à ce moment, Alice vous appelle pour savoir où vous êtes. Vous décrochez voyant que c'est Alice, mais ceci suspend la navigation ! Vous expliquez à Alice que vous êtes à quelques mètres de la sortie Vourey. Alice rassurée vous évalue à moins de 5 minutes du village. Vous raccrochez, mais à ce moment même, vous apercevez une sortie mais sur laquelle n'est pas indiqué Vourey ! Un des passagers crie « Tourne ! ». L'autre, sceptique, dit : « Je n'aurais pas tourné ». Le conducteur ne tourne pas. Vous réactivez rapidement la navigation et comprenez avec stupeur qu'il fallait tourner ...

L'analyse de ces cas d'étude est intéressante. Elle montre que la concentration fonctionnelle est certes pratique (un seul dispositif à porter) mais que son utilisabilité en contexte n'est pas assurée de facto. Dans le scénario n°1, la sonnerie n'était pas émise dans la sphère audible de l'utilisateur et la surface d'affichage

n'était pas à vue de l'utilisateur : tout autre objet offrant les bonnes caractéristiques (surface d'affichage visible ou sortie audible) aurait dû être exploité pour notifier l'utilisateur de l'arrivée du SMS. Ceci milite pour la découverte dynamique d'objets et l'affectation dynamique de *rôles* selon les besoins. En termes de propriétés CARE (Coutaz et al., 1995), il s'agit d'assouplir l'assignation (A) au profit d'une mise en correspondance dynamique entre les besoins (notifier l'utilisateur) d'une part et les capacités des objets environnants d'autre part (objets capables d'émettre un son, d'afficher un message, etc.).

Dans le scénario n°2, la surface d'affichage devient une ressource critique. L'utilisation en est exclusive : seule l'application avec laquelle interagit l'utilisateur à un instant *t* bénéficie de l'affichage, privant, en conséquence, les autres applications, mêmes actives, de leur rendu graphique. La voix n'était ici pas une alternative dans la mesure où l'utilisateur devait justement consacrer son canal auditif à la communication téléphonique avec Alice. On pourrait, en revanche, imaginer une migration du navigateur vers une autre surface d'affichage (un autre téléphone, le tableau de bord, etc.). Le navigateur emprunterait alors des ressources d'interaction à son environnement. Cette solution exige du système la capacité à percevoir et gérer le contexte d'usage : percevoir les entités environnantes et leurs propriétés ; assigner dynamiquement des rôles d'interaction à ces entités. Si ces capacités de perception et d'action sont mobilisées à finalité humaine pour assurer la valeur attendue par l'utilisateur cible, alors l'IHM est dite *plastique*.

La plasticité se pose en intégrateur d'avancées dans plusieurs domaines allant de la découverte de services à la transformation d'IHM. Nous nous limitons ici à l'IHM. Nous examinons les (r)évolutions pouvant être mises à profit dans ce cadre.

2.1 Du graphique au multimodal

Les IHM sont majoritairement graphiques. Elles privilégient la vue, le toucher et plus marginalement l'ouïe. Les autres sens humains sont négligés. Citons toutefois le projet Exhalia de France Telecom (http://www.francetelecom.com/sirius/rd/fr/galerie/senteurs_multimedia/) qui 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, exprimer un danger ou en renforcer le signal par une odeur diffuse. L'utilisateur ne serait alors plus rivé devant l'écran à vérifier un voyant. L'odeur serait diffusée là où l'utilisateur se trouve, satisfaisant ainsi l'exigence de retour d'information telle qu'exprimée dans le référentiel de (Bastien et Scapin, 1993).

Ce grain d'analyse, à savoir les sens humains, est celui qu'adoptent les psychologues dans l'étude de la multimodalité. L. Nigay préfère une perspective système. Elle définit la modalité comme un couple <Langage d'interaction, Dispositif d'interaction> (Nigay, 1994). La multimodalité est alors une combinaison de modalités, les opérateurs de composition étant par exemple les propriétés CARE. Un environnement de prototypage rapide ICARE a été proposé selon une approche à base de composants (Bouchet, 2006). Le concepteur assemble des composants en spécifiant la nature des opérateurs (Complémentarité, Assignation, Redondance ou Equivalence) : l'interaction homme-machine dépend du schéma d'assemblage. Si, par exemple, le concepteur a spécifié une complémentarité entre le langage naturel écrit et parlé, alors il faudra que les deux événements (graphique et vocal) soient fusionnés pour que la tâche utilisateur correspondante soit considérée comme réalisée. Si le concepteur remplace cette complémentarité par une équivalence, il suffira d'un acte (graphique ou vocal) pour considérer la tâche atteinte. Cet outil est aujourd'hui limité aux modalités en entrée. Mais le pas est franchi pour outiller la

multimodalité et mesurer sur le terrain la valeur des modalités et combinaisons de modalités. Dans cette lignée, (Bellik, 2006) étudie la présentation multimodale contextuelle et opportuniste de l'information.

Les modalités au sens système sont aujourd'hui variées. La variété provient des langages d'interaction (cf. par exemple, en graphique, les nouvelles techniques de visualisation), des dispositifs d'interaction (cf. par exemple, l'IO Brush) mais aussi de nouvelles associations entre langages d'interaction et dispositifs d'interaction existants. Par exemple, en graphique, la notion d'ascenseur est classique ; le stylet est d'usage commun. En revanche, scroller en tournant le stylet était une modalité inédite (Miura et Kunifugi, 2006) (Figure 3).

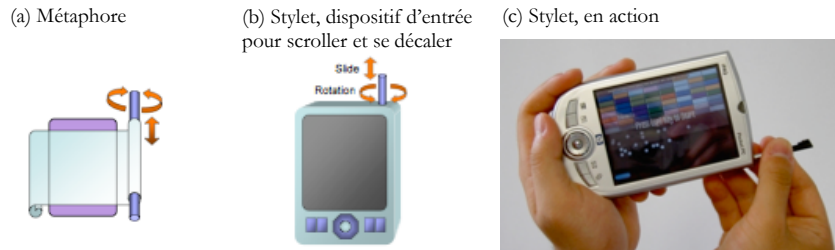


Figure 3. Une nouvelle modalité par l'assemblage d'un langage d'interaction et d'un dispositif d'interaction existants. Images extraites de (Miura et Kunifugi, 2006).

L'exotisme des modalités est examiné dans la section suivante sous l'angle des dispositifs d'interaction. Les langages d'interaction et combinaisons de modalités ne sont pas traités. Le lecteur pourra se référer à (Fekete, 2005) et (Bellik, 2006).

2.2 Du classique à l'exotique

Alors que nos ordinateurs de bureaux se limitent systématiquement au traditionnel triptyque écran-clavier-souris, des prototypes de recherche rivalisent d'imagination tant en entrée qu'en sortie. Pour exemples, l'IO Brush (Figure 2) mais aussi plus anciennement AmbientRoom (Ishii et al., 1998) (Figure 4) qui imaginait des flacons comme dispositifs d'entrée et de sortie : en débouchant le flacon, l'utilisateur entendait le trafic, en évaluait l'intensité puis rebouchait le flacon une fois l'estimation faite. Le bruit s'arrêtait alors.



Figure 4. Du triptyque "écran-clavier-souris" aux flacons comme dispositifs d'entrée-sortie. Image extraite de (Ishii et al., 1998).

Dans ce premier prototype, l'information 'trafic' était assignée au flacon mais la façon selon laquelle l'assignation était faite était passée sous silence. Le "end-user programming" (Coutaz, 2006) (Myers, 2006) voudrait que cette assignation soit faite

par l'utilisateur final. Mais encore faudrait-il que l'utilisateur comprenne qu'il en a la possibilité.

En produits commercialisés, mentionnons le lapin de la société Violet (le « Nabaztag ») qui allie entrée et sortie (<http://www.nabaztag.com>). Si ces dispositifs restent marginaux, ils forcent néanmoins à 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 (Lachenal, 2004). Un mur est une entité physique appropriée pour jouer le rôle de surface d'affichage. Le doigt ou un stylo par sa forme allongée peut jouer le rôle de dispositif d'entrée. Quant à la main, certains y voient, dans l'alignement des doigts, l'opportunité d'un affichage par lignes (Antoniatic et al., 2002) (Figure 5).



Figure 5. La main comme dispositif de sortie. Image extraite de (Antoniatic et al., 2002).

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* alliant les mondes physique et numérique (Dubois et al., 2004) entrent dans ce cadre.

L'utilisateur, en tant qu'entité physique, ne déroge pas à la règle. Dès lors qu'il est perçu par le système, son comportement peut être exploité pour servir l'interaction. On distingue alors les interactions explicites et implicites.

2.3 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 nous 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 (Schmidt, 2000). En pratique, la frontière entre explicite et implicite est mince. Dès lors que l'utilisateur comprendra le potentiel de la pièce, il saura s'en servir ou tentera de le déjouer.

L'interaction implicite est une forme de distribution du système interactif sur la plate-forme logicielle : des entités numériques prennent en charge tout ou partie de la tâche utilisateur et mettent à profit la plate-forme matérielle (ses dispositifs interaction) pour une restitution et un éventuel contrôle par l'utilisateur.

2.4 Du centralisé au distribué

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. Pour exemples, la métaphore du peintre explorée dans Pick and Drop (Rekimoto, 1997) ou la télécommande universelle développée

dans Pebbles (Myers, 2001). Dans Pick and Drop par exemple (Figure 6), le PDA, par son caractère mobile (intrinsèque), est perçu comme une palette d'outils dans laquelle l'enseignant vient piocher couleurs, dessins ou films.



Figure 6. *La métaphore du peintre dans Pick and Drop (Rekimoto, 1997). 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 (intrinsèque) et *a priori* leur proximité de l'utilisateur (extrinsèque), l'information devrait en effet y être peu lisible pour des coups d'œil indiscrets.

Si dans Pick and Drop, les IHM sont sédentaires, c'est-à-dire définitivement assignées à une plate-forme donnée, elles gagnent aujourd'hui en mobilité et deviennent nomades.

2.5 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 et Saitoh (1999), la présentation des objets (tables et chaises) est adaptée à l'inclinaison horizontale (vue de dessus 2D) ou verticale (perspective 3D) de la surface d'affichage (Figure 7).

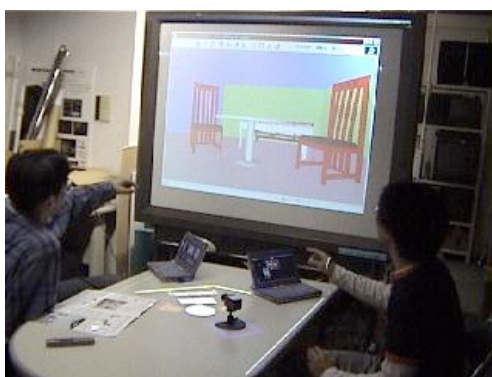


Figure 7. *Les objets s'affichent en 2D versus 3D selon l'inclinaison de la surface d'affichage (table horizontale / écran vertical) (Rekimoto et Saitoh, 1999).*

Dans Sedan-Bouillon (Balme et al., 2004), le site web de promotion des pays de Sedan et Bouillon est redistribuable, au gré de l'utilisateur, entre un PC et un PDA. Lorsque l'utilisateur (Lionel) se ballade sur le site à partir d'un PC (log_Lionel_0 sur la figure 8a) et s'y connecte subitement via un PDA (log_Lionel_1), une proposition de redistribution lui est faite (Figure 8a) : 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 8b) et souhaite disposer sur PDA du titre et de la navigation (Figure 8c). 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 8a), initialement appelée *Méta-IHM* (Coutaz, 2006), aujourd'hui rebaptisée en *Extra-IHM* (Sottet et al., 2007a). Le préfixe « Extra » reflète le caractère additionnel de cette IHM par rapport à l'IHM métier : l'Extra-IHM est l'IHM de la fonction d'adaptation : elle la rend observable et/ou contrôlable à l'utilisateur.

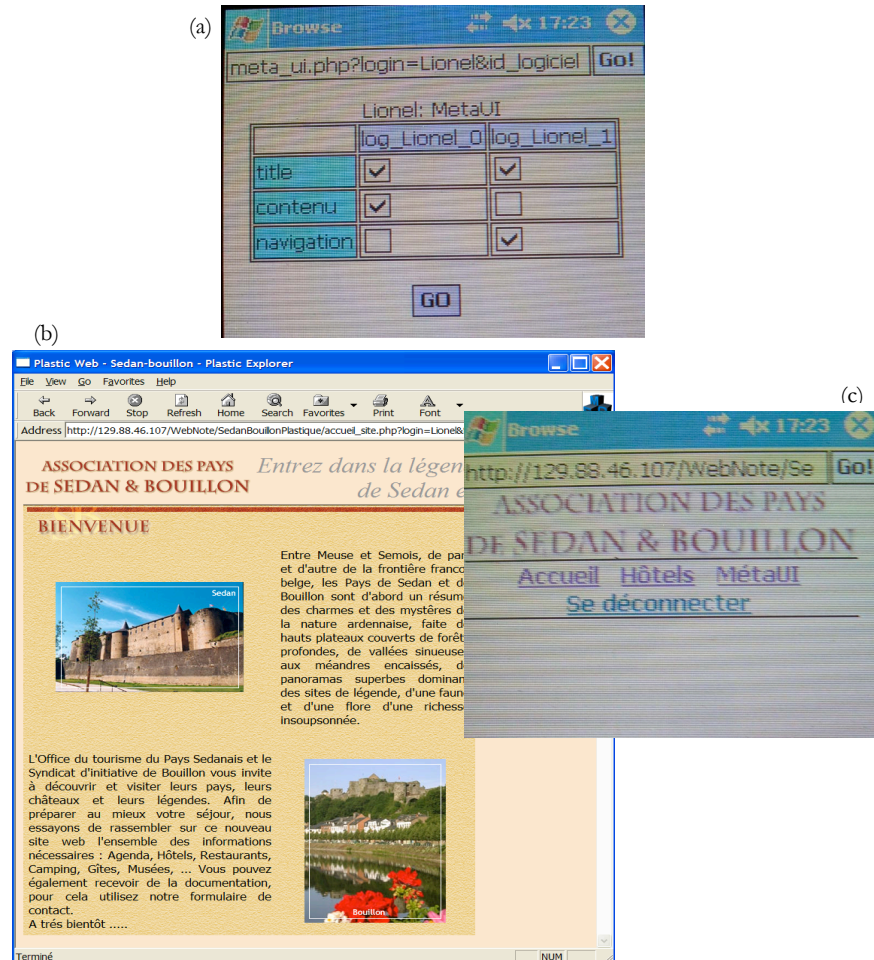


Figure 8. (a) Extra-IHM rendant observable le contexte d'usage (ici les plates-formes) et proposant à l'utilisateur une redistribution. Lionel demande à disposer sur PC (log_Lionel_0) du titre et du contenu (a et b) et à placer sur PDA (log_Lionel_1) la navigation et le titre (a et c).

2.6 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. Un exemple classique est celui de FlexClock (Grolaux et al., 2002) qui, selon la taille de la fenêtre, affiche l'heure courante de différentes façons et rajoute la date lorsque ceci est possible (Figure 9). 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*. Le remodelage combine les caractères multimodal (section 2.1) et exotique (section 2.2).

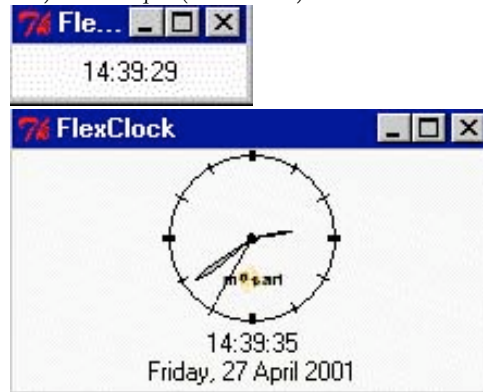


Figure 9. Dans FlexClock (Grolaux et al., 2002), la présentation de l'heure et optionnellement de la date s'adapte à la taille de la fenêtre. C'est un exemple de remodelage.

Ce n'est que plus tardivement que la réflexion s'est élargie, comprenant que la *redistribution* est un deuxième levier de plasticité. La redistribution combine les caractères distribué (section 2.4), nomade (section 2.5) mais aussi implicite (section 2.3) dans la mesure où finalement un changement d'acteur (système versus utilisateur) est une forme de migration : une migration de tâches.

La plasticité se pose ainsi en intégrateur des mutations de l'interaction homme-machine. La section suivante y est consacrée.

3 □ Plasticité des IHM

La propriété de *plasticité* a été introduite en réponse à la diversité des plateformes (Thevenin et Coutaz, 1999). Le terme était inspiré des matériaux qui, sans rompre, s'étirent et se contractent au gré de la chaleur. Comme à l'évidence l'IHM ne pouvait 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 entre versions petit et grand écran résultant de développements cloisonnés. Très vite, l'environnement fut considéré, puis l'utilisateur, pour ensuite revenir à la plate-forme comprenant que les IHM n'étaient plus seulement centralisées et sédentaires mais pouvaient se redistribuer dynamiquement dans l'espace interactif de l'utilisateur. Le terme de contexte d'usage en terme de triplet <utilisateur, plate-forme, environnement> était alors posé et la définition de la plasticité ajustée pour enfin dénoter la capacité d'adaptation d'une IHM à son contexte d'usage dans le respect de la valeur attendue par l'utilisateur cible (Dâassi, 2007).

Le sujet connaît très vite un vif engouement. Différents angles d'attaque se dessinent, en particulier le multiciblage par l'étude de 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 ArtStudio (Thevenin, 2001), Teresa (Berti et Paternò, 2005), WebRevenge (Paganelli et Paternò, 2002) ou la chaîne d'outils UsiXML (<http://www.usixml.org/>) (Limbourg, 2004) (Bouillon, 2006). Si ces approches sont basées modèles, d'autres préfèrent la voie de la programmation et travaillent à des boîtes à outils pour la plasticité. C'est le cas de Wahid (Jabarin et Graham, 2003) par exemple. Plus récemment, une troisième approche est proposée pour les IHM graphiques : Facade agit sur le gestionnaire de fenêtres (Stuerzlinger et al., 2006). Il permet la personnalisation des IHM par l'utilisateur final, à l'exécution.

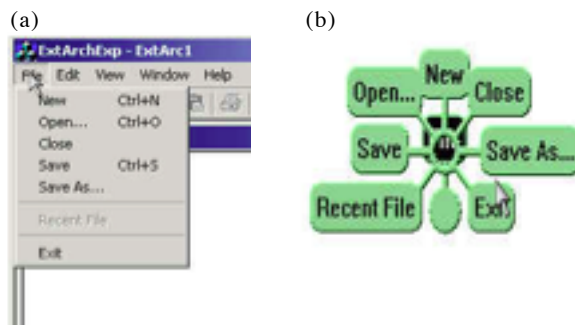


Figure 10. Deux formes de menu dans WAHID (Jabarin et Graham, 2003).

L'information située (Suchman, 1987) et la technologie support dite « context aware computing » (Dey, 2000) constituent un deuxième angle d'attaque. Ils donnent lieu à des intergiciels que l'on qualifie tantôt de sensibles aux ressources (Mahéo et al., 2004) ou sensibles au contexte (Capra et al., 2003). Les premiers s'intéressent, de façon centrale, aux ressources physiques (dispositifs de communication, d'interaction, etc.) et numériques (bibliothèques, services, etc.) tandis que les seconds se focalisent sur l'utilisateur et son environnement physique (la localisation en particulier).

Ces différents angles d'accroche montrent 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 essentielles relatives à l'ingénierie d'IHM plastiques. L'organisation de l'article s'appuie sur la décomposition fonctionnelle présentée en Figure 11. Cette décomposition 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 contexte ; que cette évolution peut être apprise ; et enfin que l'ensemble du processus d'adaptation peut être placé sous l'observabilité et/ou le contrôle de l'utilisateur final via une Extra-IHM. Cette section examine chaque fonction.

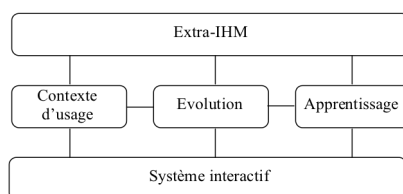


Figure 11. Décomposition fonctionnelle d'un système interactif plastique.

3.1 Contexte d'usage

La notion de *contexte* est introduite dès les années soixante en systèmes d'exploitation, théorie des langages et intelligence artificielle. En informatique ambiante, le terme est redécouvert (Schilit et al., 1994), (Brown et al., 1997), (Ryan et al., 1997), (Ward et al., 1997), (Pascoe, 1998), (Dey et al., 1999), (Dourish, 2001) et placé au cœur des débats, sans pour autant faire l'objet d'une définition consensuelle et claire. Toutefois, l'analyse de l'état de l'art nous conduit à ce double constat :

- Il n'y a pas de contexte sans contexte (Brézillon, 2002). Autrement dit, le contexte n'est pas une fin en soi (Fisher, 2001). Il n'est pas universel mais propre à une situation donnée. Il se définit pour une finalité (ou utilité) précise. Ainsi, dans le scénario n°2, le fait que la sortie Vourey soit imminente est une information contextuelle de première classe alors qu'elle serait insignifiante pour d'autres applications ;
- Le contexte est un ensemble d'informations. Cet ensemble est structuré. Il est partagé, évolue et sert l'interprétation (Winograd, 2001). La nature des informations, de même que l'interprétation qui en est faite, dépendent de la finalité.

Si le consensus sur la définition du contexte est encore incertain, les infrastructures logicielles pour la gestion du contexte répondent assez bien au modèle conceptuel en couches à quatre niveaux d'abstraction (Coutaz et al., 2005) : capture d'observables, transformation en observables symboliques, identification de la situation et exploitation.

Les infrastructures de contexte se répartissent en deux courants selon que le contexte est vu d'abord comme un espace d'informations ou d'abord comme un processus. Ces deux visions se traduisent par des classes d'architectures allant du fortement centralisé au fortement décentralisé. La première répond mal au requis de robustesse, mais est plus facile à déployer que les solutions fortement décentralisées. Aussi assiste-t-on à des solutions hybrides comme pour SCI (Glassey et al., 2003) qui observe une architecture localement centralisée avec la notion de *range* couplée à une couverture réseau globale par la technique de recouvrement de réseaux. De manière générale, il est raisonnable de penser qu'à chaque niveau d'abstraction peut correspondre un style spécifique. Au vu de l'état de l'art, il semblerait que les couches basses de capture soient mieux servies avec une vision processus et composants, alors que les couches hautes du raisonnement sur le contexte soient plus faciles à appréhender par une approche centrée donnée de type *t-uple spaces* (Hong et Landay, 2001).

La découverte de services contextuels s'appuie le plus souvent sur l'existence d'un service d'enregistrement. C'est le cas du *discoverer* de CTK (Dey et al., 2001) ou les serveurs *infospace* de Confab (Context Fabric) (Hong et Landay, 2001). Ce procédé est simple, mais l'existence d'un serveur fragilise la disponibilité de l'infrastructure ou encore limite le passage à l'échelle. SCI, qui dispose de *context*

servers interconnectés sur la planète, propose une solution intéressante à ce problème : un service non disponible dans le *range* peut être fourni par un *range* distant. L'approche pair à pair des contexteurs (Rey, 2005) (Coutaz et Rey, 2002) élimine le serveur local, mais son passage à l'échelle n'a pas été démontré.

En synthèse, retenons que, dans leur gestion du contexte, les infrastructures existantes n'offrent pas de flexibilité quant à la représentation et la prise en compte des informations contextuelles. La reconnaissance d'une situation contextuelle et son impact sur l'application doivent être prévus à l'avance et traduits à un niveau d'abstraction donné et figé. Dans les travaux de (Crowley et al., 2002), 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 nécessaire ; (b) maintenir l'état courant du contexte et son historique. La section suivante traite de l'évolution à mettre en œuvre en cas de changement de contexte d'usage.

3.2 Evolution

L'évolution est en charge du calcul et de la mise en œuvre de la réaction au changement de contexte d'usage. Deux leviers sont identifiés : le remodelage et la redistribution. C'est par l'étude du remodelage que les recherches en plasticité ont commencé. Un premier résultat fut l'identification des niveaux d'abstraction auxquels l'adaptation pouvait avoir lieu. Ces niveaux s'appuient sur l'architecture générale des Model-Based Interface Design Environment (MB-IDE) (Szekely, 1996). Ils distinguent :

- Les tâches utilisateur et concepts du domaine qui décrivent l'interaction homme-machine selon une perspective domaine, sans préjuger, si possible, de leur représentation. Des outils tels que CTT (Paternò et al., 1997) pour les tâches et les diagrammes de classe UML pour les concepts sont ici classiques ;
- L'interface abstraite qui structure l'IHM en espaces de travail aussi dits espaces de dialogue ou unités de présentation. Un espace de travail est un « lieu d'activité virtuel offrant les éléments nécessaires à la réalisation d'une ou plusieurs tâches » (Normand, 1992) ;
- L'interface concrète qui fait le choix d'interacteurs pour :
 - o Les espaces de travail alors réifiés en fenêtres ou canevas dans le cas d'IHM graphiques ;
 - o Les enchaînements entre espaces alors incarnés en séparateurs (espace ou trait) ou objets de navigation (boutons, liens hypertexte) ;
 - o Les tâches élémentaires et concepts du domaine matérialisés en boutons radio, cases à cocher, images, etc.
- L'interface finale qui fait le choix d'un environnement de programmation et d'exécution.

Ces niveaux d'abstraction sont généraux. Aussi, ont-ils été repris en plasticité pour raisonner sur l'ingénierie et la rétro-ingénierie d'IHM plastiques. Le projet européen CAMELEON (<http://giove.isti.cnr.it/cameleon.html>) en fait sa colonne vertébrale qu'il enrichit de préoccupations propres à la plasticité, à savoir (Calvary et al., 2003) :

- L'identification des contextes d'usage et changements de contexte d'usage que le système interactif a pour ambition de couvrir ;
- La valeur que l'adaptation doit préserver ;
- L'adaptation à appliquer ;
- L'infrastructure d'exécution pour la mise en œuvre de l'adaptation.

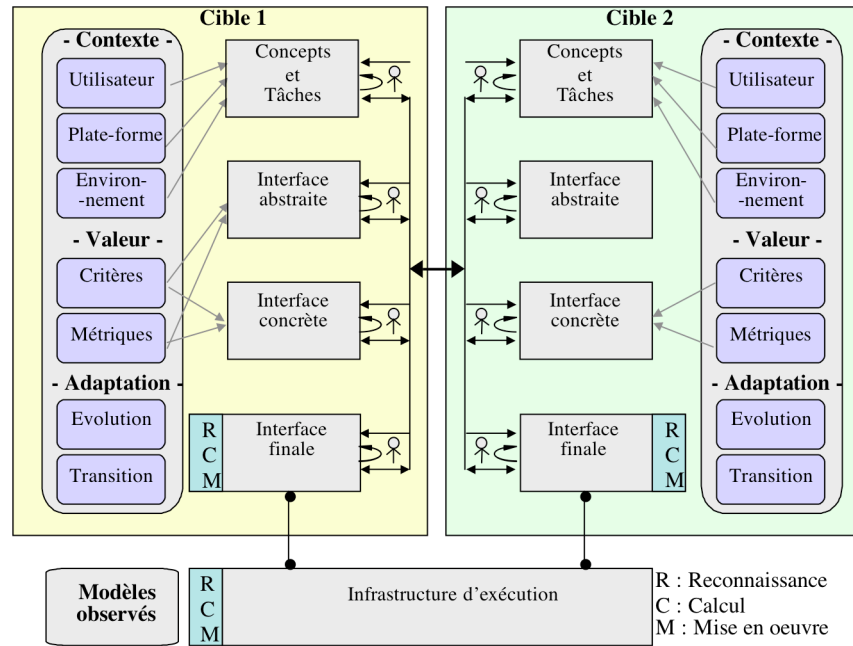


Figure 12. Cadre de référence pour la plasticité. Extrait de (Dåssi, 2007).

De façon plus précise (Figure 12) :

- Le contexte d'usage s'exprime en termes d'utilisateur, de plate-forme et d'environnement. Chaque contexte peut justifier une conception/réto-conception spécifiques. Sur la figure 12, deux fils d'ingénierie sont prévus (cibles 1 et 2) correspondant aux deux contextes d'usage jugés clés à la conception (par exemple, PC versus PDA en terme de plate-forme). Il peut y en avoir plus, donnant alors lieu à de nouvelles cibles ;
- La valeur est une notion centrée utilisateur. Elle subsume les plus classiques utilité et utilisabilité. G. Cockton estime en effet que l'utilisabilité n'est pas suffisante : elle doit être confrontée aux véritables attentes de l'utilisateur [Cockton 04] [Cockton 05]. L'exemple donné est celui de la gestion du chauffage [Cockton 04]. Les systèmes sont peut-être utilisables au sens où ils sont faciles à utiliser et à apprendre mais aucun ne répond à la véritable motivation de l'utilisateur, à savoir souvent économiser. Ce n'est en effet pas toujours par plaisir que l'utilisateur s'équipe de système de chauffage : c'est souvent pour réduire sa facture. Un système de qualité devrait donc rendre observable le montant de l'économie. C'est pour intégrer cette réflexion sur la valeur que la définition de la plasticité, originellement axée sur le maintien de

l'utilisabilité, a été revue. La valeur requiert, bien entendu, la définition de critères, métriques et fonctions d'évaluation ;

- L'adaptation est spécifiée en termes d'évolution et de transition. L'évolution spécifie l'objectif à atteindre (par exemple, migrer lorsque la batterie faiblit), tandis que la transition indique un éventuel accompagnement de l'utilisateur dans le changement. Les lignes jaunes dans les surfaces augmentées (Rekimoto et Saitoh, 1999) en sont un exemple : elles assurent une certaine continuité de l'interaction ;
- L'infrastructure d'exécution soutient la mise en œuvre de l'adaptation. La mise en œuvre s'appuie sur une connaissance du système interactif dans son état et son histoire (modèles dits observés) ainsi que des mécanismes pour la détection du changement de contexte d'usage, le calcul et la mise en œuvre de l'adaptation (respectivement notés R, C et M sur la figure 12 pour Reconnaissance, Calcul et Mise en œuvre). Ces mécanismes peuvent être généraux, assurés par l'infrastructure d'exécution et/ou spécifiques au système interactif, alors embarqués dans les interfaces finales (Figure 12).

Jusqu'ici, les recherches ont majoritairement été menées dans le cadre du graphique, même s'il existe toutefois des percées en vocal. 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 (Berti et Paternò, 2005)).

La redistribution joue sur l'éparpillement de l'IHM sur les différentes ressources d'interaction composant la plate-forme. On distingue les redistributions qui conservent l'état centralisé d'une IHM (migration totale du PC vers le PDA ; ces redistributions sont notées $C \rightarrow C$ sur la Figure 15 pour Centralisée vers Centralisée) ; celles qui 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 $C \rightarrow D$) ; celles qui la reconcentrent sur une unique plate-forme, la faisant ainsi passer d'un état distribué à centralisé ($D \rightarrow C$) et celles qui en changent l'état de distribution ($D \rightarrow D$). 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 (Coutaz et al., 1995) sont ici pertinentes pour raisonner sur la distribution de l'IHM.

Du 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 toute l'IHM ?
- La localisation interne (aussi dite close, notée I) et/ou externe (aussi dite open, notée E) de l'adaptation (Oreizy et al., 1999). 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 considérés. Les approches à service poussent à l'ouverture par la découverte des services.

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 (par exemple, XMLware avec en représentants XUL, XAML, UsiXML, etc. ; Modelware tel que pratiqué dans (Sottet et al., 2007b) ; ou encore le Grammarware dont Java relève). L'adaptation est-elle intra-espace technologique (par exemple, Java vers Java), inter-espaces (par exemple, XUL vers Java) ou multi-espaces combinant par exemple Java et XUL avant et après adaptation ?
- 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 (Dragicevic et al., 2005), c'est un mixte de statique et de dynamique qui est opéré. Les IHM sont préfabriquées à des instants clés 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 « Hôtels » sur son site Web, cette sélection est conservée lors de la migration de la barre de navigation sur PDA : l'option « Hôtels » 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).

De nombreux travaux portent sur la définition de langages de modélisation couvrant les différents niveaux d'abstraction utiles à la description d'une IHM, les correspondances entre niveaux (mappings) et fonctions de transformation. UsiXML en est un exemple. Rares sont, par contre, encore les travaux se focalisant sur la valeur des règles d'adaptation. (Sottet et al., 2007b) prépare le travail en exprimant, dans les transformations, les propriétés d'utilisabilité qu'elles satisfont. Ces propriétés sont exprimées dans un référentiel à la discrétion du concepteur. Les référentiels sont en effet nombreux, provenant aussi bien d'ergonomes que d'informaticiens. Les terminologies utilisées divergent : on parle de facteurs, critères et caractéristiques. Les décompositions diffèrent elles aussi. Dans la mesure où ces référentiels sont des outils de réflexion pour les concepteurs, il semble prudent de laisser ouvert le choix du référentiel permettant ainsi aux concepteurs d'utiliser les outils avec lesquels ils sont familiers. Encore, faut-il, par contre, qu'il existe des alignements entre référentiels pour convertir une propriété exprimée dans (Bastien et Scapin, 1993) dans le référentiel de l'ISO (2003) par exemple. On note sur ce sujet le travail d'A. Seffah dans sa proposition QUIM (Quality in Use Integrated Map) (Seffah et al., 2001). QUIM prend la forme d'une pyramide à plusieurs niveaux dont la qualité à l'usage, les facteurs, critères, métriques et données (Figure 13). L'idée est de localiser/ventiler au fil de ces niveaux les référentiels issus de l'IHM et du génie logiciel. La relation entre les niveaux est de type décomposition.

Sa cardinalité est N-M. Ainsi, par exemple, un critère peut se décliner en plusieurs métriques mais une métrique peut servir plusieurs critères.

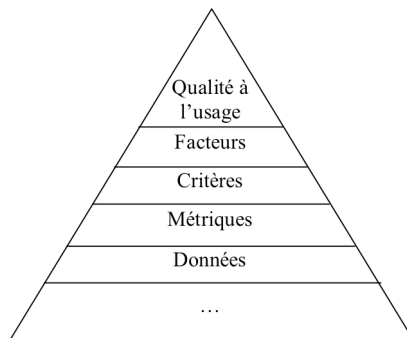


Figure 13. Un extrait de QUIM (Seffah et al., 2001).

M. Florins (2006) traite de la conception d'IHM pour plates-formes dégradées. Elle propose des règles de transformation d'IHM permettant de passer d'une plate-forme 'luxe' à une plate-forme moins riche en terme de surface d'affichage par exemple. Les règles s'ancrent à différents niveaux d'abstraction dans la colonne vertébrale du projet CAMELEON (Figure 12). Il n'existe, en revanche, pas d'évaluation permettant de recommander telle ou telle transformation dans tel ou tel changement de contexte d'usage. Typiquement, l'ancrage d'une règle à fort niveau d'abstraction n'est pas forcément de mauvais présage quant à son impact sur l'utilisateur. Si la tâche à laquelle elle correspond n'est par exemple pas fréquente, peut-être vaut-il mieux toucher cette partie de l'IHM qu'une autre partie plus fréquemment sollicitée par l'utilisateur.

Ganneau et al. (2007) traitent des règles d'adaptation à l'exécution. Ils en proposent un métamodèle, mais là non plus n'énonce pas de recommandations ergonomiques pour la plasticité. Des expérimentations sur de vraies applications sont à présent nécessaires. Un apprentissage système peut aussi être envisagé.

3.3 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 de l'utilisateur. Les travaux en User Modeling et Intelligent User Interfaces entrent dans ce cadre. Les travaux d'A. Hariri pourraient y contribuer (Hariri et al., 2006). Il s'agira d'apprendre la valeur des différentes adaptations possibles (remodelage, redistribution) ainsi que le degré d'observabilité et/ou de contrôle à accorder à l'utilisateur via une Extra-IHM.

3.4 Extra-IHM

Le terme de Méta-IHM a été introduit par J. Coutaz (2006). L'appellation est aujourd'hui revue pour éviter toute confusion avec le préfixe « Méta » de l'IDM (Favre et Nguyen, 2004). En IDM, « Méta » fait référence à la relation « Est conforme à » ce qui n'est pas le sens ici. « Extra » (Sottet et al., 2007a) lui est désormais préféré, faisant ainsi référence à une IHM additionnelle : celle de la fonction d'adaptation. Le concept de Méta-IHM existe aussi mais est réservé à l'IHM « Méta », c'est-à-dire l'IHM qui rend les langages de description (on appelle « métamodèles » leurs modèles) observables et/ou contrôlables à/par l'utilisateur final.

Au regard du critère de Guidage/sous-critère Retour d'information (Bastien et Scapin, 1993), l'observabilité est le degré minimum attendu. 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 (Bastien et Scapin, 1993) 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 (migrier vers le PDA) et enfin l'évaluation de la réaction et son apprentissage. Ces étapes sont un affinement de (Dieterich, 1994).

Contrairement aux autres fonctions de l'adaptation (contexte, évolution, apprentissage) qui ont déjà fait l'objet de travaux à finalité de plasticité, le terrain est quasiment vierge en matière d'Extra-IHM. Bien entendu, la programmation par l'utilisateur final non-informaticien n'est pas un sujet de recherche nouveau. Il a été initié il y a une trentaine d'années (Smith, 1977). Toutefois, son application à la programmation des espaces ambiants est encore très prospective. Dans *Speakeasy*, l'utilisateur peut construire des requêtes de recherche de ressources d'interaction avec filtrage (Newman et al., 2002). Avec *Jigsaw*, l'utilisateur, au moyen d'un éditeur graphique dédié, construit des programmes simples par assemblage de pièces de puzzle du genre « si quelqu'un sonne à la porte, prendre une photo et la transférer sur le PDA » (Rodden et al., 2004). Les *media cubes* (Blackwell et Hague, 2001), *ICAP* (Sohn et Dey, 2006) et *CAPella* (Dey et al., 2004) s'attaquent à des problèmes similaires, mais, comme les autres, n'incluent pas d'outils de mise au point façon *Whyline* (Myers et al., 2006).

Sur le sujet, nous en sommes aux balbutiements, encore bien loin de théories ou de modèles. Quelques idées de métaphores prennent le pas tels que les puzzles ou encore les ciseaux (Figure 14a) ou déchirures (Figure 14c) pour exprimer le caractère détachable versus déchirable d'une IHM : détachable, l'utilisateur peut la découper pour éventuellement la redistribuer ; déchirable, c'est à ses risques et périls, une perte de valeur pouvant s'encourir. Les aimants pourraient être pertinents pour exprimer la compatibilité/incompatibilité d'IHM pour un éventuel recollage (Figure 14b). Ces idées nécessitent une évaluation par l'usage.

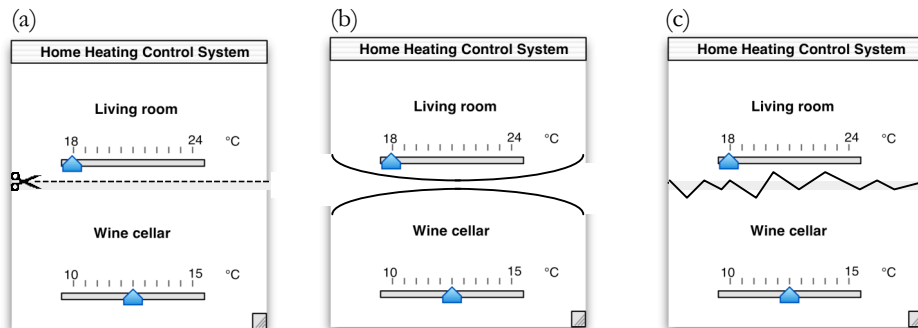


Figure 14. *Vers de nouvelles métaphores. Ici, les ciseaux (a), les aimants (b) ou les déchirures (c) pour exprimer le caractère détachable, rattachable ou déchirable d'espaces de travail.*

La Figure 15 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. (Calvary, 2007) propose une version plus approfondie (appelée Hémisphères) de cet espace problème.

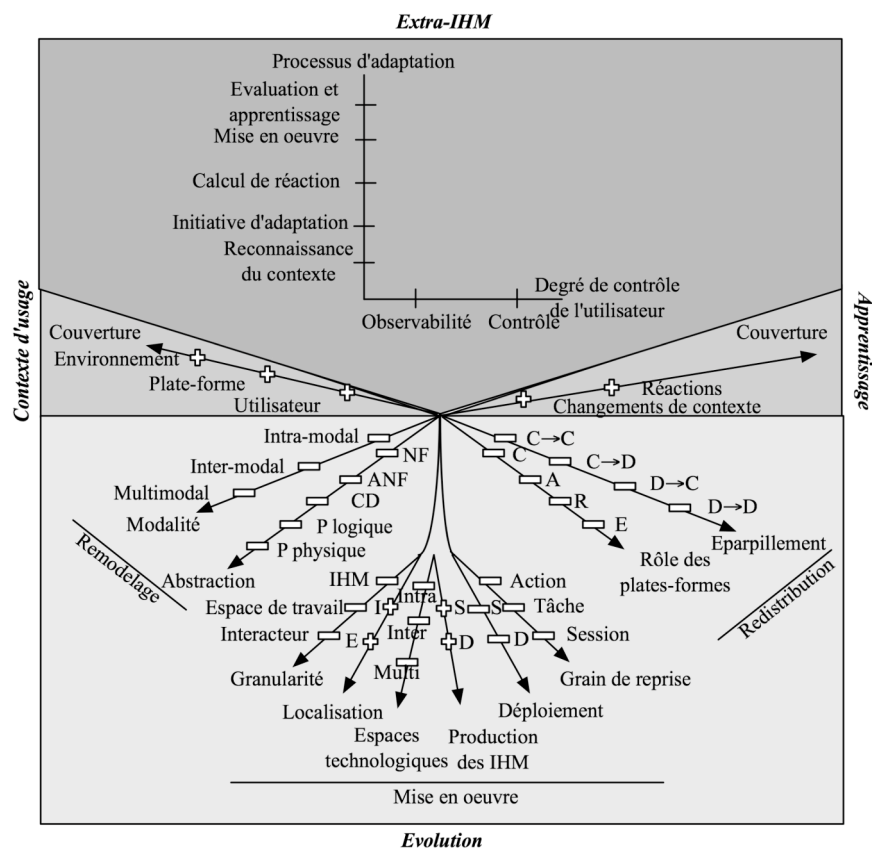


Figure 15 : Espace problème de la plasticité. Dans cet espace, les croix (+) dénotent des valeurs non exclusives contrairement aux tirets (-). Extrait de (Calvary et al., 2006).

4 Conclusion et perspectives

Alors que M. Weiser rêvait d'une informatique ambiante *calme*, nous sommes en plein tumulte. Les recherches bouillonnent quelle que soit la spécialité informatique. Dans cet article, nous avons pris le point de vue de l'IHM et avons montré les évolutions rapides qui ont métamorphosé l'interaction : les IHM sortent de leur boîte grise et conquièrent nos objets usuels. L'article a analysé les lignes de force de cette métamorphose, puis s'est focalisé sur la plasticité. Un espace problème a été 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 d'une valeur centrée utilisateur, très peu de travaux sont paradoxalement menés sur

cet axe. Des premières règles de dégradation élégante d'IHM sont apparues pour la conception (Florins, 2006). Mais rien n'émerge encore pour l'exécution. Il nous faut travailler sur de vraies applications, observer et amender, si nécessaire, les référentiels d'ergonomie existants. Il conviendra, en particulier, de vérifier la pertinence et la suffisance des critères d'ergonomie actuels (quid par exemple de la continuité de l'interaction?), de leur adjoindre des métriques et fonctions d'évaluation. Le sujet est loin d'être clos s'ouvrant sur de nombreuses communautés.

5 □ Remerciements

Le travail ici présenté est le fruit de plusieurs années. Il a bénéficié des projets européens CAMELEON (<http://giove.isti.cnr.it/cameleon.html>), SIMILAR (<http://www.similar.cc>) et EMODE (<http://int.emode-projekt.de/>). Nous remercions très sincèrement les relecteurs de cet article qui, par leurs lectures successives, ont permis d'en améliorer très nettement la qualité. Nous remercions aussi les membres de l'Action Spécifique Plasticité du CNRS, les membres de l'atelier CESAME du GDR I3-Thème 5, et tout particulièrement Christophe Kolski, pour sa double implication en plasticité et dans la revue RIHM. Enfin, nous remercions nos étudiants qui, par leurs explorations et démonstrateurs, ont permis cette synthèse. Qu'ils en soient tous ici vivement remerciés.

6 □ Références

- Antoniac, P., Pulli, P., Kuroda, T., Bendas, D., Hickey, S., Sasaki, H. (2002). Wireless User Perspectives in Europe: HandSmart Mediaphone Interface, *Wireless Personal Communications*, Vol. 22, 161-174.
- Balme, L., Demeure, A., Barralon, N., Coutaz, J., Calvary, G. (2004). 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, 291-302.
- Bastien, J.M.C., Scapin, D. (1993). *Ergonomic Criteria for the Evaluation of Human-Computer Interfaces*, Rapport technique INRIA, N°156, Juin.
- Bellik, Y. (2006). *Présentation Multimodale de l'Information*. Habilitation à Diriger des Recherches, LIMSI, Décembre 2006.
- Berti, S., Paternò, F. (2005). Migratory multimodal interfaces in multidevice environments. In *Proceedings of the International Conference on Multimodal Interfaces, ICMIP05*, ACM Publ., 92-99.
- Blackwell, A.F., Hague, R. (2001). AutoHAN: An architecture for programming the home. In *Proc. of the IEEE Symposium on Human-Centric Computing Languages and Environments*, 150-157.
- Bouchet, J. (2006). *Ingénierie de l'Interaction Multimodale en Entrée, Approche à composants ICARE*. Thèse de doctorat Informatique préparée au Laboratoire de Communication Langagière et Interaction Personne-Système (CLIPS), Université Joseph Fourier, 7 décembre 2006, 297 pages.

- Bouillon, L. (2006). Reverse Engineering of Declarative User Interfaces, Ph.D. thesis, Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgium, 21 June 2006.
- Brézillon, P. (2002). Expliciter le contexte dans les objets communicants. *Les Objets Communicants*. Hermes Sciences Editions, Lavoisier, Chapitre 21, 295-303.
- Brown, P.J., Bovey, J.D., Chen, X. (1997). Context-Aware applications : From the Laboratory to the Marketplace. *IEEE Personal Communications*, 4(5), 58-64.
- Calvary, G. Plasticité des Interfaces Homme-Machine, Habilitation à Diriger des Recherches, Université Joseph Fourier, Grenoble I, 2007.
- Calvary, G., Coutaz J., Thevenin, D., Limbourg, Q., Bouillon, L., Vanderdonckt, J. (2003). A unifying reference framework for multi-target user interfaces, *Interacting With Computers*, Vol. 15/3, 289-308.
- Calvary, G., Coutaz, J., Dâassi, O., Ganneau, V., Balme, L., Demeure, A., Sottet, J-S. (2006). Métamorphose des IHM et Plasticité : Article de synthèse, *10ème conférence ERGO-IA, L'humain comme facteur de performance des systèmes complexes*, 11-13 Octobre 2006, E. Brangier, C. Kolski et J.R. Ruault (Eds), ESTIA & ESTIA.INNOVATION, Biarritz, France, 79-86.
- Capra, L., Emmerich, W., Mascolo C. (2003). CARISMA: Context-Aware Reflective Middleware System for Mobile Applications, *IEEE Transactions on Software Engineering*, vol. 29, no. 10, 929-945.
- Cockton, G. (2004). From Quality in Use to Value in the World. In *ACM Proc. CHI 2004, Late Breaking Results*, 1287-1290.
- Cockton, G. (2005). A development Framework for Value-Centred Design. In *ACM Proc. CHI 2005, Late Breaking Results*, 1292-1295.
- Coutaz, J., Nigay, L., Salber, D., Blandford, A., May, J., Young, R. (1995). Four Easy Pieces for Assessing the Usability of Multimodal Interaction: The CARE properties. In *Proceedings of the INTERACT'95 conference*, S. A. Arnesen & D. Gilmore (Eds.), Chapman&Hall Publ., Lillehammer, Norway, 115-120.
- Coutaz, J., Rey, G. (2002). Foundations for a theory of Contextors. *Proc. Of Computer-Aided Design of User Interfaces III*, J. Vanderdonckt, C. Kolski (Eds.), Kluwer Academic Publ., 13-32.
- Coutaz, J., Crowley, J. , Dobson, S., Garlan, D. (2005). Context is Key, *Communications of the ACM*, ACM Publ., 48(3), March 2005, 49-53.
- Coutaz, J. (2006). Meta-User Interfaces for Ambient Spaces, invited speaker, Tamodia 2006, Coninx, K., Luyten, K., Schneider, K. (Eds.), Hasselt, Belgium, Oct. 2006, Springer LNCS 4385, 1-15.
- Crowley, J.L., Coutaz, J., Rey, G., Reignier, P. (2002). 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., 117-134.
- Dâassi, O. (2007). *Les comets : une nouvelle génération d'interacteurs pour la plasticité des Interfaces Homme-Machine*. Thèse de l'Université Joseph Fourier, Grenoble I, Janvier 2007.

- Dey, A., Salber, D., Futakawa, M., Abowd, G. (1999). An Architecture To Support Context-Aware Applications. *GVU Technical Report GIT-GVU-99-23*, GVU Center, Georgia Institute of Technology, June 1999.
- Dey, A. (2000). *Providing Architectural Support for Building Context-Aware Applications*, PhD thesis, College of Computing, Georgia Institute of Technology, December 2000.
- Dey, A.K., Salber, D., Abowd, G.D. (2001). A Conceptual Framework and a Toolkit for Supporting the Rapid Prototyping of Context-Aware Applications, anchor article of a special issue on Context-Aware Computing. In *the Human-Computer Interaction (HCI) Journal*, Vol. 16 (2-4), 97-166.
- Dey, A., Hamid, R., Beckmann, C., Li, I., Hsu, D. (2004) a CAPpella: Programming by demonstration of context-aware applications. In Proc. *ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI)*.
- Dieterich, H., Malinowski, U., Kühme, T., Schneider-Hufschmidt, M. (1994). State of the Art in Adaptive User Interfaces. In *Adaptive User Interfaces: Principles and Practice*, Schneider-Hufschmidt & al. (Eds), 13-48.
- Dourish, P. (2001). *Where the Action Is: The Foundation of Embodied Interaction*. MIT Press, Cambridge.
- Dragicevic, P., Chatty, S., Thevenin D., Vinot J-L. (2005). 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, 201-210.
- Dubois, E., Mansoux, B., Bach, C., Scapin, D., Masserey, G., Viala, J. (2004). Un Modèle Préliminaire du domaine des Systèmes Mixtes, Actes de la conférence IHM'04, ACM Pub., Namur, Belgium, 43-54.
- Favre, J.M., Nguyen, T. (2004). Towards a Megamodel to Model Software Evolution Through Software Transformation, *Workshop on Software Evolution through Transformation, SETRA 2004*, Rome, Italy, Electronic Notes in Theoretical Computer Science, Volume 127, Issue 3, ENTCS ELSVIER.
- Fekete, J.D. (2005). *Nouvelle génération d'interfaces Homme-Machine pour mieux agir et mieux comprendre*. Habilitation à Diriger des Recherches, LRI, Mai 2005.
- Fischer, G. (2001). Articulating the Task at Hand Making Information Relevant to it. In *the Human-Computer Interaction (HCI) Journal*, Lawrence Erlbaum Associates (Eds), Vol. 16, 243-256.
- Florins, M. (2006). *Graceful Degradation, A Method for Designing Multiplatform Graphical User Interfaces*, PhD Université catholique de Louvain, Belgique.
- Ganneau, V., Calvary, G. Demumieux, R. (2007). Métamodèle de Règles d'Adaptation pour la Plasticité des Interfaces Homme-Machine. *Conférence IHM'07*, Paris, A paraître.
- Glassey, R., Stevenson, G., Richmond, M., Wang, F., Nixon P., Terzis, S., Ferguson, I. (2003). Towards a middleware for generalised context management. In *1st Int. Workshop for Middleware for Pervasive and Ad Hoc Computing, Middleware (MPAC'03) companion*, 45-52.

- Grolaux, D., Van Roy, P., Vanderdonckt, J. (2002). FlexClock: a Plastic Clock Written in Oz with the QtK Toolkit, In *Proceedings of 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, 135-142.
- Hariri, M.A., Tabary, D., Kolski, C. (2006). Démarche en vue de la Génération d'Interfaces Mobiles et Plastiques. B. Defude, E. Lecolinet (Ed.), *Actes de la troisième conférence UBIMOB2006 Mobilité et Ubiquité, CNAM, Paris, 5-8 septembre 2006*, ACM Conference Proceedings Series, 127-130.
- Hong, J.I., Landay, J.A. (2001). An Infrastructure Approach to Context-Aware Computing. In *Human-Computer Interaction*, Vol. 16, 269-286.
- Ishii, H., Wisneski, C., Brave, S., Dahley, S., Gorbet, M., Ullmer, B., Yarin, P. (1998). Ambient Room, Video at the *ACM CHI'98 conference*, Los Angeles, California, United States, April 1998.
- ISO/IEC CD 25000.2. (2003). *Software and Systems Engineering – Software product quality requirements and evaluation (SquaRE) – Guide to SquaRE*, 2003-01-13.
- Jabarin, B., Graham, T.C.N. (2003). Architectures for Widget-Based Plasticity, in *Proceedings of Design, Specification and Verification of Interactive Systems*, DSV-IS 2003, Springer LNCS, 124-138.
- Lachenal, C. (2004). *Modèle et infrastructure logicielle pour l'interaction multi-instrument multisurface*, Thèse de l'Université Joseph-Fourier, Décembre 2004, 200 pages.
- Limbourg, Q. (2004). *Multi-path Development of User Interfaces*, Ph.D. thesis, Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgium, 4 November 2004.
- Lyytinen, K., Yoo, Y. (2002). Issues and challenges in ubiquitous computing, *Communications of the ACM*, Volume 45, Issue 12, 62-65.
- Mahéo, Y., Guidéc, F., Courtrai, L. (2004). Middleware Support for the Deployment of Resource-Aware Parallel Java Components on Heterogeneous Distributed Platforms. In *30th Euromicro Conference - Component-Based Software Engineering Track*, IEEE Computer Society, Rennes, France, 144-151.
- Miura, M., Kunifuji, S. (2006). RodDirect: two-dimensional input with stylus knob. In *Proceedings of the 8th conference on Human-computer interaction with mobile devices and services*, MobileHCI'06, Helsinki, Finland, 113-120.
- Myers, B.A. (2001). Using Hand-Held Devices and PCs Together, *Communications of the ACM*, Volume 44, Issue 11, November 2001, 34 - 41.
- Myers, B.A. (2006). Invited Research Overview at *CHI'06* on End-User Programming. Slides available at <http://www.cs.cmu.edu/~bam/>.
- Myers, B., Weitzman, D.A., Ko, A.J., Chau, D.H. (2006). Answering why and why not questions in user interfaces, *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in computing systems CHI'06*, Montréal, Québec, Canada, 397-406.
- Newman, M.W., Sedivy, J.Z., Neuwirth, C.M., Edwards, W.K., Hong, J.I., Izadi, S., Marcelo, K., Smith, T.F. (2002). Designing for Serendipity: Supporting End-User Configuration of Ubiquitous Computing Environments. In *Proc. of Designing Interactive Systems (DIS)*, London, 147-156.

- Nigay, L. (1994). *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.
- Normand, V. (1992). *Le modèle SIROCO : de la spécification conceptuelle des interfaces utilisateur à leur réalisation*. Thèse de l'Université Joseph Fourier-Grenoble I, Spécialité Informatique, Avril 1992, 258 pages.
- Oreizy, P., Taylor, R., et al. (1999). An Architecture-Based Approach to Self-Adaptive Software. In *IEEE Intelligent Systems*, May-June, 54-62.
- Paganelli, L., Paternò, F. (2002). Automatic Reconstruction of the Underlying Interaction Design of Web Applications, *Proceedings of SEKE 2002*, Ischia, Italy.
- Pascoe, J. (1998). Adding Generic Contextual Capabilities to Wearable Computers. *2nd International Symposium on Wearable Computers*, Pittsburgh, PA, October 19-20, 92-99.
- Paterno', F., Mancini, C., Meniconi, S. (1997). ConcurTaskTrees: A Diagrammatic Notation for Specifying Task Models. In *Proceedings Interact'97*, July'97, Sydney, Chapman&Hall, 362-369.
- Rekimoto, J. (1997). Pick-and-Drop: A Direct Manipulation Technique for Multiple Computer Environments, *Proceedings of UIST'97*, ACM Press, 31-39.
- Rekimoto, J., Saitoh, M. (1999). Augmented Surfaces: A Spatially Continuous Workspace for Hybrid Computing Environments, *Proceedings of CHI'99*, ACM Press, 378-385.
- Rey, G. (2005). Contexte en Interaction Homme-Machine : le Contexteur. *Thèse de l'Université Joseph Fourier*, 172 pages.
- Rodden, T., Crabtree, A., Hemmings, T., Koleva, B., Humble, J., Akesson, K.P., Hansson, P. (2004). Configuring the Ubiquitous Home. In *Proc of the 2004 ACM Symposium on Designing Interactive Systems*, August 1st-4th, Cambridge, Massachusetts: ACM Press.
- Ryan, N., Pascoe, J., Morse, D. (1997). *Enhanced Reality Fieldwork : the Context-Aware Archeological Assistant*. Gaffney, V., van Leusen, M., Exxon, V. (Eds), Computer Applications in Archaeology. Published in 1998.
- Ryokai, K., Marti, S., Ishii, H. (2004). I/O Brush: Drawing with Everyday Objects as Ink. In *Proceedings of Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '04, Vienna, Austria, April 24 - 29, pp 303-310.
- Schilit, B.N., Adams, N.I., Want, R. (1994). Context-Aware Computing Applications. In *Proceedings of the IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, WMCSA'94, IEEE Press, 85-90.
- Schmidt, A. (2000). Implicit Human Computer Interaction Through Context, *Personal Technologies Volume 4 (2&3)*, June 2000, 191-199.
- Seffah, A., Kecici, N., Donyaee, M. (2001). QUIM: A Framework for Quantifying Usability Metrics in Software Quality Models. In *Proceedings APAQS Second Asia-Pacific Conference on Quality Software*, December 2001, Hong-Kong, 10-11.
- Smith, D. C. (1977). *Pygmalion : A Computer Program to Model and Stimulate Creative Thought*. Basel, Stuttgart, Birkhauser Verlag.

- Sohn, T.Y., Dey, A.K. (2006). iCAP: An Informal Tool for Interactive Prototyping of Context-Aware Applications. In Proc. of the *International Conference on Pervasive Computing*, Dublin, Ireland, 974–975.
- Sottet, J.S., Calvary, G., Favre, J.M., Coutaz, J. (2007a). Megamodeling and Metamodel-Driven Engineering for Plastic User Interfaces: Mega-UI, *CHISE book II*, Seffah, A. & Vanderdonckt, J. (Eds), Springer HCI series, A paraître.
- Sottet, J.S., Calvary, G., Coutaz, J., Favre, J.M. (2007b). A Model-Driven Engineering Approach for the Usability of Plastic User Interfaces, In the *proceedings of Engineering Interactive Systems 2007 joining Three Working Conferences : IFIP WG2.7/13.4 10th Conference on Engineering Human Computer Interaction, IFIP WG 13.2 1st Conference on Human Centred Software Engineering, DSVIS - 14th Conference on Design Specification and Verification of Interactive Systems*, University of Salamanca, Spain, March 22-24, A paraître.
- Stuerzlinger, W., Chapuis, O., Philips, D., Roussel, N. (2006). User interface façades: towards fully adaptable user interfaces, *Proceedings of the 19th annual ACM symposium on User interface software and technology*, UIST'06, 309 – 318.
- Suchman, L. (1987). *Plans and Situated Actions*, Cambridge University Press.
- Szekely, P. (1996). Retrospective and Challenges for Model-Based Interface Development. In *Proceedings of Computer-Aided Design of User Interfaces*, CADUI'96, J. Vanderdonckt (Eds), Presses Universitaires de Namur, xxi-xliv.
- Thevenin, D., Coutaz, J. (1999). Plasticity of User Interfaces : Framework and Research Agenda. In *Proc. Interact99*, Edinburgh, A. Sasse & C. Johnson (Eds), IFIP IOS Press Publ. , 1999, 110-117.
- Thevenin, D. (2001). *Adaptation en Interaction Homme-Machine : le cas de la Plasticité*. Thèse de l'Université Joseph Fourier, Grenoble I, 2001, 234 pages.
- Ward, A., Jones, A., Hopper, A. (1997). A New Location Technique for the Active Office. *IEEE Personnel Communications* 4(5), 42-47.
- Weiser (1991). The computer of the 21st century. *Scientific American*, 265(3), 66-75.
- Winograd, T. (2001). Architectures for Context. In *Human Computer Interaction*, Vol. 16, 2001, 402-419.