HAL
open science

Les transports : un terrain fertile pour la plasticité des Interfaces Homme-Machine

Gaëlle Calvary, Audrey Serna, Christophe Kolski, Joëlle Coutaz

To cite this version:

Gaëlle Calvary, Audrey Serna, Christophe Kolski, Joëlle Coutaz. Les transports : un terrain fertile pour la plasticité des Interfaces Homme-Machine. C. Kolski. Interaction homme-machine dans les transports - information voyageur, personnalisation et assistance, Hermes Lavoisier Publications, Paris, pp.287-312, 2010. hal-00953331

HAL Id: hal-00953331

https://inria.hal.science/hal-00953331v1

Submitted on 28 Feb 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Les transports : un terrain fertile pour la Plasticité des Interfaces Homme-Machine

Gaëlle Calvay[1], Audrey Serna[1], Christophe Kolski[2], Joëlle Coutaz[1]
1. Laboratoire d'Informatique de Grenoble (LIG), Université de Grenoble, CNRS, prénom.nom@imag.fr
2. LAMIH, Univ. Lille Nord de France, Univ. de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, prénom.nom@univ-valenciennes.fr

Une version avancée de ce document a été publiée dans « Interaction Homme-Machine dans les transports, Personnalisation, assistance et informations du voyageur », C. Kolski Ed., Hermes Lavoisier Publ., 2010, pages 287-312, ISBN 978-2-7462-3010-1

1. Introduction

Jusqu'aux années 2000, les Interfaces Homme-Machine (IHM) étaient conçues pour un *contexte d'usage* prédéterminé, c'est-à-dire pour une classe d'*utilisateurs* bien identifiée, utilisant une *plate-forme* donnée (en général, une station de travail), dans un *environnement* physique et social fixe (par exemple, au bureau). L'IHM était alors *rigide*, conçue pour ce seul contexte d'usage (<utilisateur, plate-forme, environnement>). Ce contexte était supposé fixe, connu à la conception et intervenait en point d'entrée des méthodes de conception [ISO 99] (Figure 1).

L'intelligence ambiante change la donne : désormais, l'utilisateur est imaginé comme mobile, évoluant dans un environnement varié, recourant à des ressources d'interaction hétérogènes et pouvant changer opportunément d'objectif. Dès lors, l'hypothèse du contexte d'usage fixe ne tient plus et la rigidité des IHM ne suffit plus. Cet article traite de la *plasticité* des IHM en intelligence ambiante. La plasticité dénote la capacité d'adaptation des IHM à leur contexte d'usage dans le respect de propriétés centrées utilisateur. Deux perspectives sont développées : le point de vue de l'utilisateur, d'une part, et une considération système, d'autre part, pour l'ingénierie d'IHM plastiques. Les deux perspectives sont illustrées sur le domaine des transports.

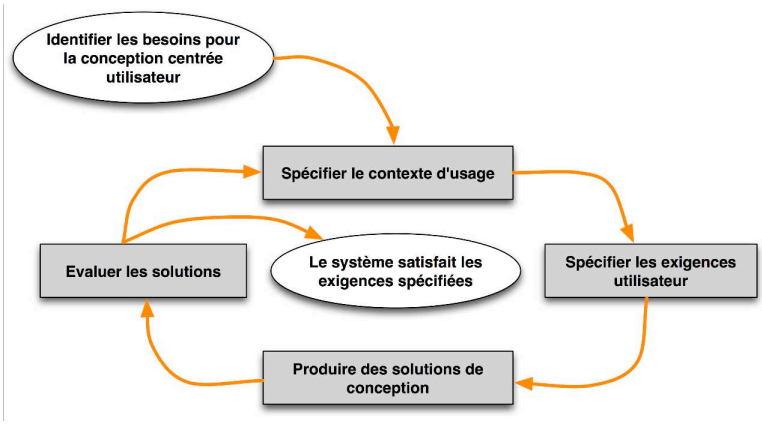


Figure 1. *Conception centrée utilisateur pour un contexte d'usage spécifié en amont du processus de conception : norme ISO 13407 (Figure traduite de [ISO 99]).*

Dans la section suivante (§2), l'article structure les lignes de force de l'évolution des IHM en intelligence ambiante [CAL 06] [CAL 07a] [CAL 07b]. Il montre ensuite comment la Plasticité des IHM se pose en intégrateur de ces évolutions selon la perspective de l'utilisateur (§3). La plasticité est alors illustrée sur

le domaine des transports qui se révèle un cadre applicatif extrêmement fertile. La section suivante (§4) adopte la perspective système. Un espace problème est alors discuté (§5) selon la double perspective, utilisateur et système. De nombreuses questions restent ouvertes, donnant lieu à de nombreuses perspectives.

2. Evolution de l'Interaction Homme-Machine

Calvary *et al*. [CAL 06] identifiait les lignes de force de la métamorphose de l'interaction homme-machine en intelligence ambiante. Cette section en propose une révision et organise ces dimensions selon trois facteurs : la diversité des ressources d'interaction, leur dynamicité et leur contrôle par l'humain.

2.1. Diversité des ressources d'interaction

Lyytinen et Yoo [LYY 02] (Figure 2a) structurent l'évolution de l'informatique selon deux axes : *mobilité* et *intégration* dans le monde physique. La *mobilité* fait référence au succès des ordinateurs de poche (assistants personnels, téléphones, consoles de jeu, etc.). L'*intégration* dans l'environnement désigne l'évanescence progressive de l'ordinateur dans le monde physique : nos objets usuels sont augmentés et prennent part à l'interaction [THE 07]. Par exemple, le véhicule, selon le cas, est informé ou signale un accident (Figure 2b) et propage ensuite cette information à d'autres véhicules [DEL 09] [DEL 10] ; ou encore le journal (Figure 2c) complète l'information textuelle par une vidéo à la demande [MAE 09].

Mobilité et intégration dans l'environnement se combinent. Ainsi, le projet Européen GLOSS (GLObal Smart Spaces, 2001-2004) imaginait le couplage entre un assistant personnel (PDA) et un mur augmenté pour afficher au citoyen des informations relatives à son voyage (Figure 3b) : le PDA contenait les informations de route ; le mur public, connecté au PDA, affichait des informations complémentaires sur la météorologie et la grève des transports du lieu de destination. Plus récemment, Maes et Mistry [MAE 09] imaginent la possibilité pour le voyageur en retard, se rendant à l'aéroport en taxi, de projeter sur sa carte d'embarquement des informations temps réel relatives à son vol (Figure 3a).

De tels prototypes font l'hypothèse d'une infrastructure logicielle et matérielle de perception, d'information et/ou d'action. Cette infrastructure peut être collective et/ou personnelle, offerte par le lieu et/ou portée par l'utilisateur. Par exemple, Borkowski [BOR 04] exploite l'asservissement entre, d'une part un vidéo-projecteur, et d'autre part une caméra fixés au plafond, pour faire de toute feuille de papier une surface d'affichage interactive. A l'inverse, l'interface gestuelle portable SixthSense [MAE 09] est fondée sur un pico-vidéo projecteur et une caméra portés en collier. Ce principe d'informatique portée était déjà imaginé par [ANT 02] qui proposait l'affichage d'informations tabulaires sur les doigts d'une main, ici des informations relatives à des hôtels (Figure 3c). Cette idée est aujourd'hui mise en œuvre dans le système Skinput [HAR 10].

La variété des surfaces d'affichage (en taille, épaisseur, transparence, etc.), l'existence d'autres modalités de sortie (l'audio par exemple) et symétriquement la diversité des dispositifs d'entrée (le stylet, le doigt, le microphone, etc.) font de la *morphologie de l'interaction* un sujet de tout premier plan. Les IHM ne sont plus réduites aux interacteurs classiques, ne sont plus forcément centralisées sur un unique PC. Elles passent :

- *du graphique au multimodal*, impliquant d'autres sens humains que la vue et le toucher par exemple ;
- *du WIMP (Windows, Icons, Menus, Pointing device) au post-WIMP*, allant au-delà des fenêtres, icônes et pointeurs : les fenêtres peuvent être rondes, directement manipulées au doigt ;
- *du centralisé au distribué*, avec des IHM réparties sur plusieurs surfaces : une télécommande sur PDA par exemple et un affichage de contenu sur le mur [MYE 01].

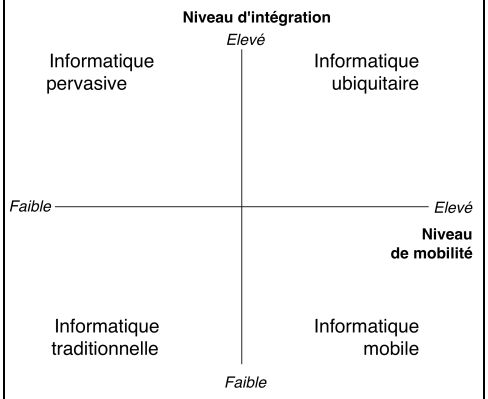
Envisager cette diversité dans le temps donne une complexité supplémentaire à l'étude : celle de la variabilité des ressources d'interaction.

2.2. Dynamicité des ressources d'interaction

En informatique conventionnelle, allumer ou éteindre un ordinateur se solde par l'arrêt ou le démarrage d'applications. En informatique ambiante, le traitement est plus fin : l'espace interactif de l'utilisateur change dès lors qu'une ressource de calcul, d'interaction ou de communication apparaît ou disparaît. Un

tel changement peut être une opportunité pour redistribuer les applications sur l'ensemble des ressources disponibles. Les IHM passent ainsi *du sédentaire au nomade* [CAL 06], la migration partielle ou totale d'applications pouvant être placée sous le contrôle *explicite ou implicite* de l'utilisateur et ceci à différents degrés.

Ubiloop [SER 09] (Figure 4) permet, par exemple, la signalisation d'incidents par le citoyen (un abri de bus cassé, un vélib détérioré, etc.) et leur traitement par les communautés (par exemple, la mairie). Selon le dispositif d'interaction utilisé par le citoyen, une photo du dommage peut être prise et attachée à la déclaration de l'incident. La mairie reçoit l'ensemble des déclarations. Pour une prise de décision collective plus aisée, les photos peuvent être migrées vers une table interactive qui facilitera le groupement des incidents selon le niveau de priorité de leur prise en charge (Figure 4a). Dans le démonstrateur, la migration du PC vers la table est explicitement demandée par l'utilisateur (l'agent de mairie), déclenchant en conséquence la *redistribution* de l'IHM.



(a) Figure traduite de [LYY 02]

(c) Adaptée de [MAE 09]

(b) Adaptée puis traduite de [THE 07]

Figure 2. *De l'évolution de l'informatique à celle des supports d'interaction.*

Du côté citoyen, les adaptations au dispositif d'interaction sont, en revanche, automatiques : la prise de photos n'est proposée au citoyen que si son PDA est équipé d'un appareil photo (Figure 4b) ; la localisation de l'incident est automatique lorsque le PDA est muni d'un GPS (Figure 4c). Elle est sinon manuelle, effectuée par pointage sur un plan si le PDA contient une carte des lieux (Figure 4 d) ou, à défaut, par spécification de l'adresse (Figure 4 e).

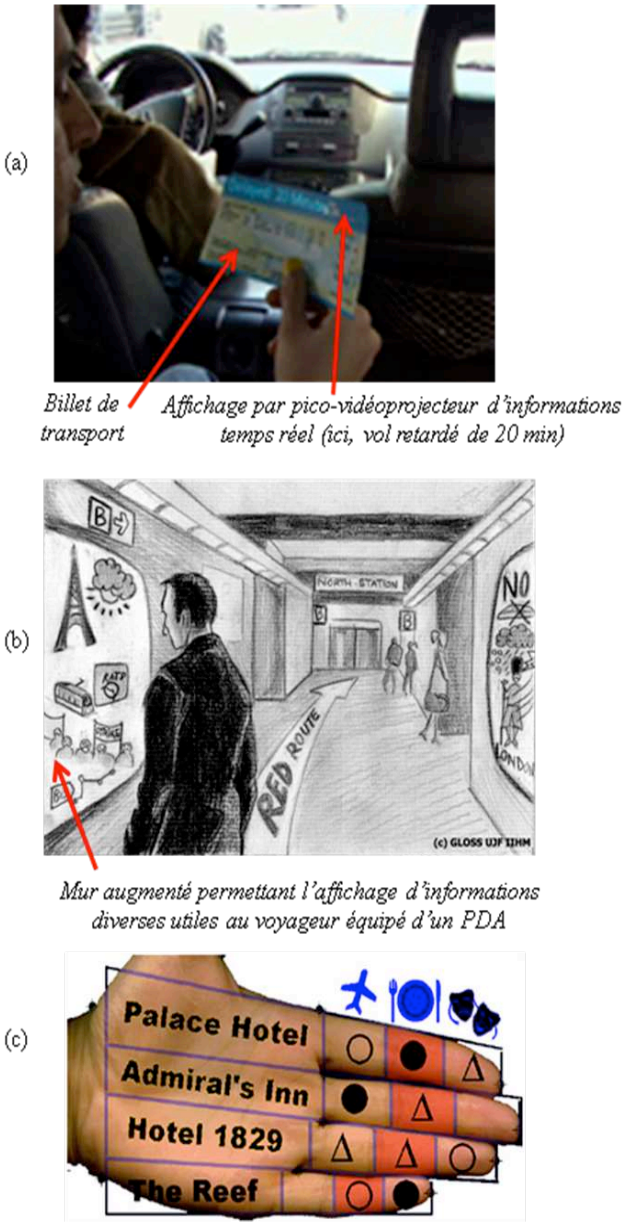


Figure 3. *Evolution de l'informatique : combinaison des deux axes Mobilité & Intégration (a) provenant de [SIX] et adapté, (b) Projet GLOSS, (c) selon [ANT 02].*

Dans l'application Sedan-Bouillon, le degré de contrôle utilisateur est plus fin que dans Ubiloop : l'utilisateur compose son IHM à façon. Sedan-Bouillon est un site Web pour la promotion des pays de Sedan et Bouillon. La version plastique est une version élaborée à partir d'une version simplifiée du site public (http://www.bouillon-sedan.com/). Dans la version considérée, elle est structurée en trois zones respectivement dédiées au titre, à la navigation et au contenu (Figure 5a). Bien entendu ce principe pourrait être étendu à un nombre quelconque de zones (appelées aussi espaces de travail). Dans sa version plastique, Sedan-Bouillon requiert l'identification de l'utilisateur, par exemple, Lionel, un voyageur ou futur voyageur, souhaitant découvrir les Pays de Sedan et Bouillon.

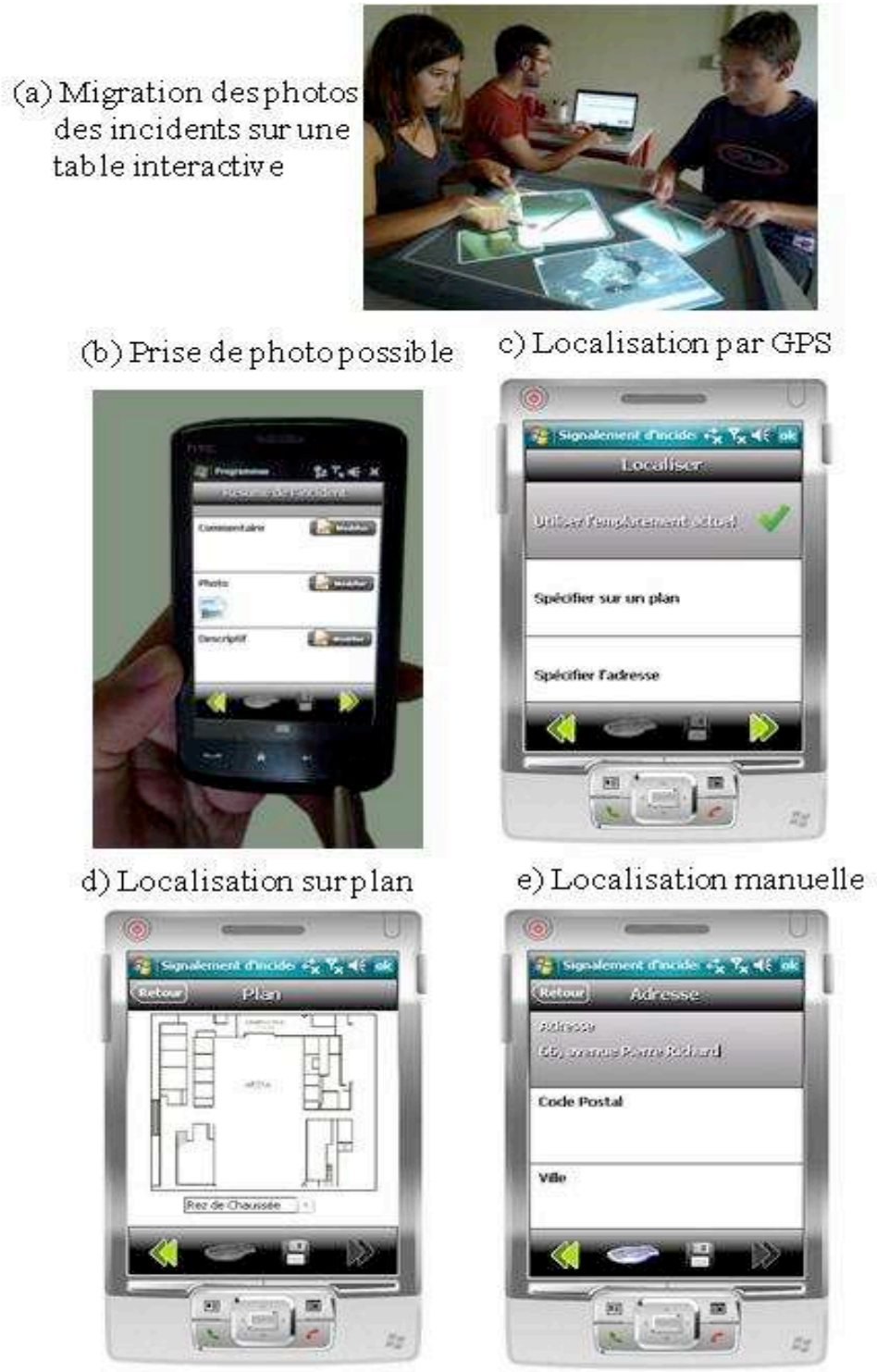


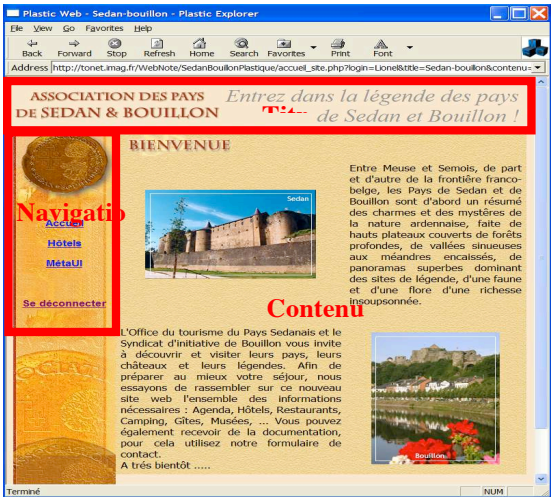
Figure 4. *Ubiloop, un exemple de redistribution et de remodelage d'IHM*.

Si après connexion sur PC à Sedan-Bouillon, Lionel se connecte à ce même site à partir d'un PDA, alors cette double connexion est détectée et une proposition de redistribution lui est faite : une IHM de *négociation* apparaît, expliquant à Lionel qu'il peut répartir le site, à son gré, entre le PC et le PDA (Figure 5b). La redistribution se fait au grain des espaces de travail (les zones). Lionel choisit, par un jeu de cases à cocher, sur quelle(s) plate(s)-forme(s) il souhaite placer ces différents espaces. Cette IHM supplémentaire permet de placer la dynamicité sous le contrôle de l'utilisateur. Ces IHM de supervision qui permettent à l'utilisateur de programmer son espace ambiant sont appelées « méta-IHM » par [COU 06]. La redistribution s'opère alors, recomposant l'IHM sous le contrôle de l'utilisateur (Figure 5c).

Au-delà de cette dynamicité de l'interaction due à des ressources d'interaction qui se découvrent dynamiquement, il existe deux autres variabilités dont il convient de tenir compte :

– la variabilité de l'*information* fournie par des services qui apparaissent et disparaissent opportunément ;
– la variabilité de l'*intention* de l'utilisateur, suite à un changement de lieu ou à l'arrivée d'une information.

(a) Sedan-Bouillon en version centralisée sur PC : l'IHM est structurée en un titre, une barre de navigation et un contenu



(b) Méta-IHM proposant la redistribution de l'IHM entre le PC et le PDA (identifiants : log_Lionel_0 ou log_Lionel_1)

(c) Après redistribution, la navigation sur PC a disparu. Elle apparaît remodelée sur PDA : elle s'affiche horizontalement (au lieu de verticalement) en-dessous du titre

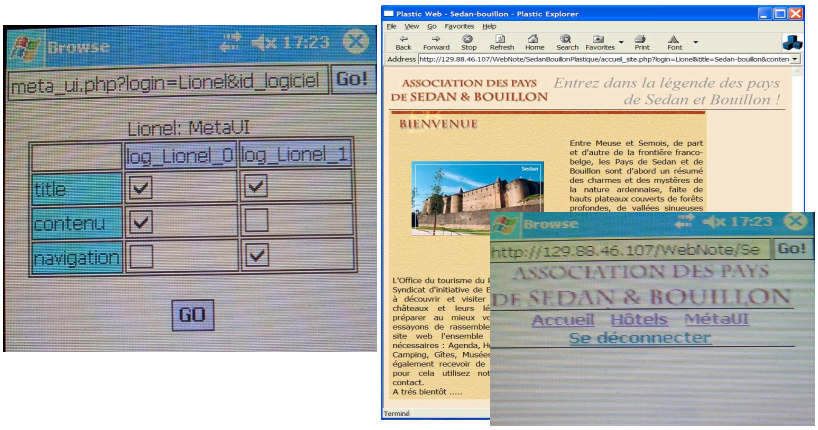


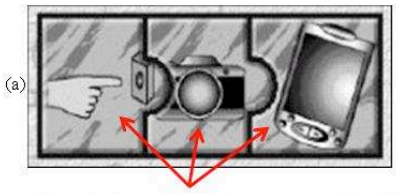
Figure 5. *Sedan-Bouillon, un site web plastique [BAL 04].*

2.3. Contrôle par l'utilisateur

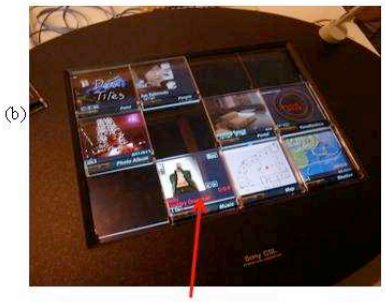
Il peut être important pour l'utilisateur d'avoir le contrôle de la plasticité. Une piste étudiée actuellement passe par des principes dits de programmation par l'utilisateur final « non informaticien » : c'est un domaine de recherche redécouvert aujourd'hui dans le cadre de l'intelligence ambiante. Il a, en réalité, été initié il y a une trentaine d'années [SMI 77].

Les travaux ont surtout cherché à définir des notations simplifiées : langages de script textuels (HyperTalk) ou graphiques (Visual AgenTalk) [REP 04], programmation par démonstration et par l'exemple [CYP 93], construction de macros (à la Emacs). Ces techniques ont été appliquées essentiellement à des domaines ciblés comme la CAO [GIR 92], les tableurs [BUR 03], la bio-informatique [LET 05] ou, tels Alice [CON 97] et HANDS [PAN 02], à l'apprentissage de la programmation. Depuis peu, la recherche s'ouvre sur le Web avec la possibilité, pour l'utilisateur, de construire des macros : avec Koala, un utilisateur enregistre ses actions sur une page web (par exemple, la saisie des champs d'un formulaire). Il peut les rejouer et les publier sur un wiki pour les partager avec les membres de sa communauté (qui peuvent réutiliser le formulaire prérempli) [LIT 07].

Les travaux sur la programmation des espaces ambiants par l'utilisateur final sont encore très prospectifs. Dans Speakeasy, l'utilisateur peut construire des requêtes de recherche de ressources d'interaction (dispositifs, services, …), avec filtrage des informations disponibles sur celles-ci, dans le but de les combiner dans des sens non particulièrement prévus au départ [NEW 02]. 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 » [ROD 04] (Figure 6 a). Ce principe semble extrapolable au monde des transports ou en tout cas de la mobilité, avec par exemple des assemblages du type suivant : « être prévenu en cas de passage près d'un site remarquable ; prendre des photos et les expédier en SMS à Papi et Mamie pour qu'ils suivent en quasi temps réel le périple de leur(s) petits(s)-enfant(s)) ». Cette extrapolation est plus large qu'une adaptation aux ressources d'interaction : elle s'adapte également à l'information.



Exemple de construction de programme interactif par assemblage de trois composants ou services numériques



Principe de construction de programme interactif par assemblage de tablettes physiques identifiables par capteur RFID

Figure 6. *Deux exemples de programmation par l'utilisateur final : (a) Jigsaw [ROD 04] et (b) DataTiles [REK 01]*

Les media cubes [BLA 01], ICAP [SOH 06] et a CAPella [DEY 04] s'attaquent à des problèmes similaires de combinaison de ressources d'interaction, avec cette difficulté d'alliance entre les mondes physique et numérique. Alors que dans Jigsaw l'utilisateur manipule le monde numérique, dans d'autres approches, telles [HIN 04] et DataTiles [REK 01] (Figure 6 b), c'est le monde physique qui est prégnant : par exemple, dans DataTiles, la composition de carreaux physiques permet à l'utilisateur d'exprimer des commandes complexes. Les carreaux sont équipés de capteurs RFID permettant de les identifier de manière unique comme dans [KUB 09]. Ils sont augmentés par l'affichage de données numériques. Dans [TAY 09], c'est le geste qui définit la fonction de l'objet : le pain de savon devient tantôt téléphone tantôt écran selon la façon selon laquelle il est tenu. Quels que soient ces prototypes, aucun n'inclut d'outils de mise au point façon Whyline [MYE 06].

S'adapter à la variabilité pour le bien de l'humain et sous son éventuel contrôle, tel est le défi de la Plasticité.

3. Plasticité des IHM : perspective utilisateur

Cette section adopte la perspective de l'utilisateur. Elle définit la propriété de plasticité du point de vue de l'usage et l'illustre sur le domaine des transports.

3.1. Définition

De façon générale, la propriété de plasticité fait référence à la capacité d'adaptation d'une entité suite à un changement survenu dans cette entité ou son environnement. En IHM, la plasticité est définie comme la capacité d'*adaptation* d'une IHM à un *changement de contexte d'usage* dans le respect de la *valeur* attendue par l'utilisateur [DAA 07]. Trois mots clés structurent cette définition : les notions d'adaptation, de contexte d'usage et de valeur.

Le *contexte* est un ensemble d'informations. Cet ensemble est structuré. Il est partagé, évolue et sert l'interprétation [WIN 01]. La nature des informations, de même que l'interprétation qui en est faite, dépendent de la finalité. En plasticité, il est aujourd'hui admis que le *contexte d'usage* est un triplet <Utilisateur, Plate-forme, Environnement> où :

– L'utilisateur dénote l'utilisateur du système interactif. Il peut être décrit par ses compétences métier, informatiques, etc., ainsi que par des données générales (âge, taille, etc.) ;
– La plate-forme cerne les requis matériels et logiciels nécessaires à l'interaction. Typiquement, les dispositifs d'entrée et de sortie sont à considérer ;
– L'environnement se réfère à l'espace physique hébergeant l'interaction. Il peut être décrit par ses conditions lumineuses, sonores, sociales, etc.

La *valeur* fait référence à un ensemble de propriétés centrées sur l'utilisateur. En IHM, cette notion de valeur est avancée par G. Cockton [COC 04] [COC 05]. Ce dernier estime que l'utilisabilité n'est pas suffisante : elle doit être confrontée aux véritables attentes de l'utilisateur. L'exemple qu'il donne est celui de la gestion du chauffage [COC 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 économiser. Ce n'est pas par plaisir que l'usager programme son système de chauffage. C'est pour réduire sa facture. Un système de qualité devrait donc lui rendre observable le montant de l'économie faite. Par extrapolation au domaine des transports, l'incitation à utiliser un mode de transport collectif ou une combinaison de plusieurs modes personnels et/ou collectifs (par exemple, prendre sa voiture pour aller à la gare, puis le train, puis le tramway, puis marcher) pour aller d'un point A à un point B peut reposer sur un ensemble de critères de valeur tels que ceux liés à l'économie, au temps gagné, ou encore à la possibilité de travailler en mode connecté ou non durant le trajet, et ceci tout en prenant en compte les éventuels handicaps de l'usager, au souhait de pouvoir être informé en temps réel des éventuels retards du réseau, de la météo (s'il pleut, je ne prends pas mon vélo), etc.

Si, en économie, la valeur est définie comme une grandeur qui croît lorsque la satisfaction du besoin de l'utilisateur augmente ou que l'ensemble des dépenses diminue, aucun jugement de valeur n'est ici posé laissant, en conséquence, la possibilité :

– d'intégrer ou non la notion de coût ;
– de l'adosser ou non à des référentiels existants dans le domaine de l'Interaction Homme-Machine ou dans celui de l'ergonomie des logiciels, normalisés ou non (par exemple l'ISO/IEC 9126), généralistes accordant une large part à l'acceptabilité, l'utilité et l'utilisabilité des systèmes interactifs (pour exemples, des référentiels classiques tels que [SHA 91] [ABO 92] [BAS 93] [DIX 93] [NIE 94] [PRE 94] [IFI 96] [SCH 97] [CON 99] [VAN 99] [BRA 03] [STE 09] ou spécifiques (par exemple [MON 04] [NOG 08] pour le web ou [LOP 04] pour l'adaptation).

Dans le choix des propriétés, les fonctions métier et adaptation sont à considérer. Par exemple, l'observabilité [IFI 96] est un critère de valeur général, applicable aux deux parties métier et adaptation (et donc liées successivement à l'IHM et à sa Meta-IHM éventuelle). Par opposition, la continuité de l'interaction [TRE 03], par exemple mesurée par le grain de reprise de la tâche qui permet de mesurer, en termes d'actions sur les dispositifs d'entrée, le coût de l'adaptation pour l'utilisateur, ou encore l'inter-utilisabilité (c'est-à-dire « la facilité avec laquelle les utilisateurs transfèrent et adaptent ce qu'ils ont appris lors de leurs précédentes utilisations d'un service lorsqu'ils y accèdent avec un nouveau support ») [KAR 05], appelée aussi utilisabilité horizontale [SEF 04] sont des critères de valeur propres à la fonction d'adaptation.

Comme illustré sur Ubiloop (§2.2), l'adaptation peut consister en un remodelage et/ou une redistribution de l'IHM. Le remodelage peut être plus ou moins profond, affectant la tâche de l'utilisateur (son objectif ou la procédure) ou se limitant à des modifications de surface (restructuration ou restylage). La redistribution peut être totale ou partielle, aboutissant à une IHM centralisée ou distribuée.

La section suivante illustre la plasticité dans le domaine des transports sur un scénario suggérant un ensemble de perspectives de recherche dans ce domaine.

3.2. Illustration sur les transports

Préambule. Pierre, qui habite et travaille à Grenoble, doit partir en déplacement dans la campagne toulousaine pour un séminaire de son entreprise. Il voyage avec Christine, une collègue de bureau. Ils

doivent prendre un train puis un bus pour atteindre le lieu du séminaire. Sur son Smartphone, Pierre a un espace personnel très complet, notamment pour ses déplacements : il y stocke toutes les informations nécessaires pour son voyage (billet électronique du train, billet électronique du bus, réservation de l'hôtel, adresse du séminaire, etc.).

Moment n°1. Pierre et Christine se retrouvent dans le compartiment augmenté du train. Tandis que certains jouent aux échecs sur la table interactive placée devant leur siège, Christine préfère être raisonnable et avancer l'écriture d'un projet. Elle a déjà commencé à remplir le formulaire de description : titre, résumé, nombres d'heures, porteur du projet, etc. Elle sort son ordinateur portable. Elle commence par relire le texte et décide de le montrer à Pierre pour avis. Ils sont en train de travailler lorsque la batterie du PC de Christine faiblit. Le formulaire est alors basculé sur la table interactive située devant eux. Ils peuvent ainsi continuer à travailler.

Analyse : Un changement est survenu dans la plate-forme de l'utilisateur (sa batterie faiblit). Ce changement provoque une redistribution de l'IHM pour permettre à l'utilisateur de poursuivre sa tâche (valeur attendue).

Moment n°2. Pierre et Christine arrivent à Valence où ils ont un changement de train à faire. En arrivant sur le quai, ils apprennent que leur correspondance aura du retard. Depuis son Smartphone, Pierre consulte les horaires des trains suivants. L'attente est longue : ils n'arriveront pas à temps pour prendre leur bus à Toulouse. Ils doivent trouver une solution de repli. Ils se dirigent vers le salon augmenté de la gare et s'installent à une table interactive. Là, le système leur propose de conserver les actions liées aux données personnelles sur le Smartphone et de réaliser les actions concernant le voyage sur la table. Pierre accepte. Les informations des différents points étapes de leur trajet sont affichées sur la table. En appuyant sur « Toulouse », ils peuvent consulter les solutions possibles pour rejoindre le séminaire. Le système leur propose de louer une voiture plutôt que de prendre le bus.

Depuis son Smartphone, Pierre glisse puis dépose ses informations personnelles pour remplir le formulaire de location de voiture. La présentation s'adapte à la plate-forme.

Analyse : Les plates-formes étant hétérogènes en surface d'affichage, la migration des données requiert un remodelage de l'IHM.

Moment n°3. Pierre et Christine montent enfin dans leur correspondance. Pierre consulte son Smartphone pour voir leurs numéros de siège. Ils sont dans le compartiment augmenté ; une table interactive est à disposition des usagers. Pierre s'approche. Le système lui propose de migrer des informations sur la table. Apparaissent alors sur le smarphone de Pierre des ciseaux virtuels qui permettent à Pierre de détourer les informations qu'il souhaite migrer sur la table interactive. Il choisit d'afficher sur la table les informations relatives à leur trajet. Le compartiment 3D du train s'affiche. Pierre peut naviguer dans le compartiment en inclinant et en tournant son Smartphone. Il localise les numéros de siège.

Pierre en profite pour visualiser une carte du parcours. Christine et Pierre peuvent interagir en même temps : Pierre consulte les informations sur la gare de Toulouse alors que Christine regarde le lieu du séminaire et localise l'hôtel qu'ils ont réservé.

Analyse : C'est la proximité entre l'utilisateur et la table qui déclenche l'adaptation.

Moment n°4. Arrivés à Toulouse, Pierre et Christine récupèrent la voiture de location. Pierre connecte son Smartphone au système du véhicule. Le système lui demande s'il veut que ses « préférences voiture » soient transmises au véhicule de location. Pierre choisit deux options lorsqu'il conduit : d'une part, l'affichage des SMS sur le tableau de bord ; d'autre part, la transmission orale des informations routières.

Pierre et Christine s'engagent sur la voie rapide. Le système de la voiture leur transmet oralement la vitesse autorisée. Ils roulent depuis environ une demi-heure lorsque Pierre reçoit un SMS. Le message est affiché sur le tableau de bord : ce sont leurs collègues grenoblois qui les préviennent qu'ils se sont arrêtés un peu plus loin pour visiter une ferme de produits du terroir. Pierre et Christine décident de les rejoindre.

Analyse : L'affichage des SMS s'adapte aux plates-formes disponibles.

4. Plasticité des IHM : perspective système

Cette section adopte le point de vue de l'ingénierie des IHM plastiques. Elle en rappelle les temps forts qu'elle illustre dans le domaine des transports.

4.1. Rétrospective

Depuis sa définition en 1999 [THE 99], la plasticité est explorée de façon incrémentale, en trois temps.

Première étape. Au départ, dans les années 2000, l'adaptation était étudiée en terme de multiciblage : il s'agissait, à la conception, de générer différentes versions d'IHM pour les différents contextes d'usage ciblés (typiquement, grand écran versus petit écran). Ces travaux étaient motivés par :

– les coûts de développement et de maintenance induits par la production d'autant de versions d'IHM que de contextes d'usage pressentis à la conception ;
– la difficulté d'assurer une cohérence ergonomique entre versions lorsque les développements sont menés de façon cloisonnée.

Cet argumentaire répondait au caractère *varié* du contexte d'usage selon une perspective système : celle du concepteur confronté à l'ingénierie d'IHM multicibles [THE 01]. Nous étiquetons ces travaux comme le passage *du monociblage au multiciblage.*

Dans un deuxième temps, le caractère *variable* du contexte d'usage est intégré à la réflexion, faisant alors le saut *du multiciblage à la plasticité* : concevoir pour plusieurs contextes d'usage clé identifiés en phase amont de conception n'est pas suffisant, encore faut-il assurer les changements de contexte d'usage. Le projet européen CAMELEON (2001-2004) [http://giove.isti.cnr.it/cameleon.html] couvre ces deux incréments (du monociblage à la plasticité) avec un barycentre toutefois porté sur le multiciblage. En particulier, les propriétés centrées utilisateur, mentionnées dans la définition, ne sont pas traitées. Les contextes d'usage et changements de contexte d'usage sont identifiés à la conception et les IHM préfabriquées. Pour exemple, le démonstrateur Sedan-Bouillon (§ 2.2).

Dans un troisième temps, le caractère *imprévisible* du contexte d'usage est intégré à la réflexion. Dès lors, il ne s'agit plus seulement de percevoir le contexte d'usage et de commuter vers l'IHM préfabriquée la plus appropriée, mais de générer, si nécessaire, une IHM idoine. La fonction d'adaptation prend alors de l'ampleur. Elle peut se baser sur des méthodes d'intelligence artificielle, incluant des techniques d'apprentissage symbolique automatique pour la modélisation des décisions à ce sujet, comme dans [HAR 08] [HAR 09].

La section suivante illustre cette perspective sur un scénario lié au domaine des transports.

4.2. Illustration sur les transports

Préambule. Nathan, habitant à Grenoble, est en déplacement pour des raisons professionnelles à Montpellier. Malgré sa fatigue relative, il a décidé de prendre sa voiture au lieu d'utiliser un transport collectif. Sur son Smartphone, Nathan a un espace personnel très complet, notamment pour ses déplacements (selon le même principe que Pierre dans l'illustration du §3.2).

Moment n°1. Nathan n'est plus très loin de Montpellier. Il est au volant et ressent un léger malaise. Il doit voir un médecin. Il utilise son smartphone (Figure 7a) pour exprimer son besoin.

Analyse : le système plastique prend en compte des informations contextuelles pour apporter progressivement une solution à la requête de Nathan (Figures 7b et 7c).

Moment n°2. Nathan est arrivé à Montpellier. Son malaise a augmenté en intensité. Il préfère se garer et aller à pied ou par d'autres moyens (bus, tramway, etc., selon les possibilités en raison de l'heure tardive) chez le médecin de garde. Il exploite de nouveau son smartphone pour exprimer sa requête.

Analyse : le système plastique prend en compte des informations contextuelles pour proposer le chemin le plus adapté à Nathan (Figure 8).

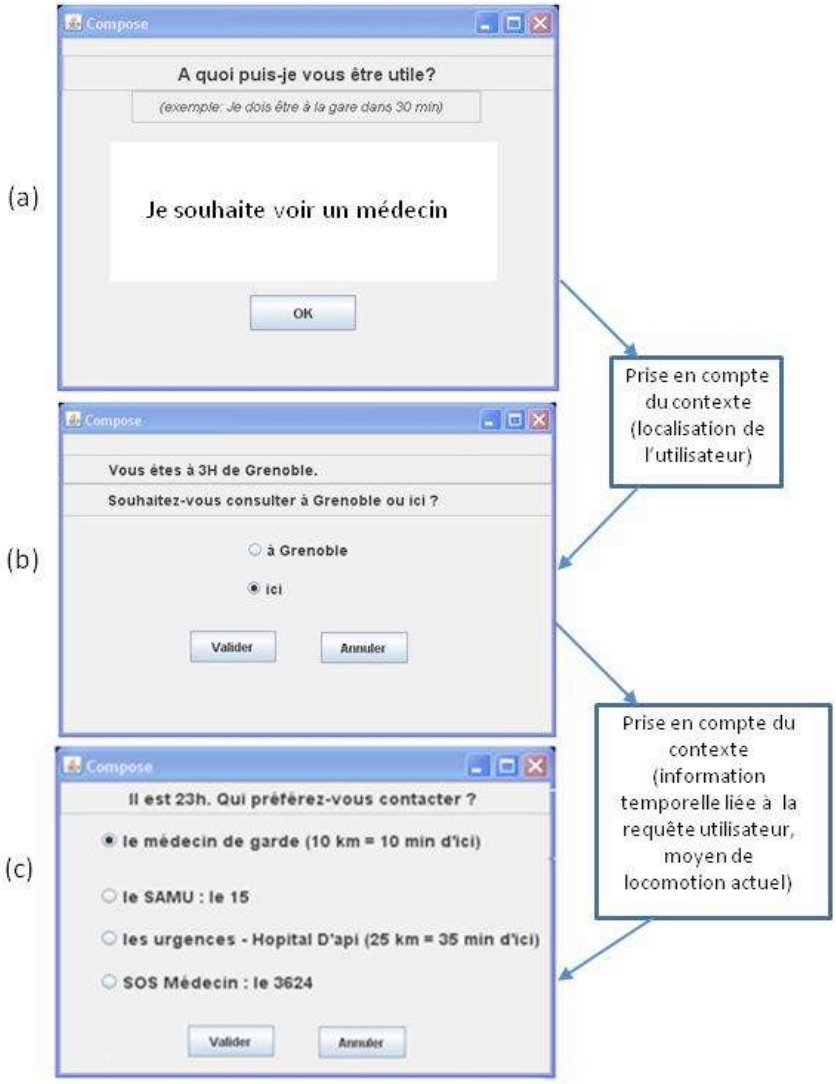


Figure 7. *Génération dynamique d'IHM par prise en compte d'informations liées au contexte de l'interaction (adapté de [GAB 09]).*

Figure 8. *Autre exemple de génération dynamique d'IHM par prise en compte d'informations liées au contexte de l'interaction (adapté de [GAB 09]).*

5. Vers un espace problème pour la mise en œuvre de la plasticité des IHM

Plusieurs espaces problème ont été proposés en plasticité des IHM [CAL 07a]. Ces espaces identifient les dimensions clé pour l'analyse, la conception, la mise en œuvre et/ou l'évaluation d'IHM plastiques. La Figure 9 propose une version simplifiée de [CAL 07a]. Cette version se destine à des concepteurs d'IHM.

L'objectif est double : les aider à imaginer des solutions innovantes et à raisonner sur leur ingénierie. Si cet espace ne prétend pas à l'exhaustivité, il compile néanmoins un ensemble de questions en cours d'exploration dans la littérature ou à investiguer. Son originalité est d'accorder une sémantique au point 0 et à la forme du diagramme obtenu par caractérisation d'une IHM plastique sur cet espace : plus la distance au centre est élevée, plus la plasticité est subtile, potentiellement complexe à mettre en oeuvre.

L'espace est organisé en deux secteurs selon les propriétés externes ou internes étudiées.

5.1 Perspective utilisateur : propriétés externes

Les propriétés internes sont organisées en quatre secteurs selon : la nature de l'IHM métier avec laquelle interagit l'utilisateur ; le changement de contexte à l'origine de l'adaptation ; les changements opérés dans l'IHM et le contrôle accordé à l'utilisateur sur le processus d'adaptation (figure 9).

IHM Métier. Les IHM en général considérées en plasticité sont des IHM simples, telles que des formulaires. L'espace problème propose de distinguer, en terme de complexité, l'adaptation d'IHM de type ligne de commandes, versus manipulation directe ou encore post-WIMP. Cet axe est relatif au remodelage de l'IHM. Le deuxième axe a trait à l'état de distribution de l'IHM. Il distingue l'adaptation d'IHM centralisées versus distribuées, la distribution pouvant être à gros (inter-tâches) versus fin grain (intra-tâche). Gros grain signifie qu'une tâche est entièrement réalisée sur une plate-forme donnée. Par opposition, un petit grain suppose qu'une même tâche requière l'utilisation de plusieurs dispositifs d'interaction (par exemple, une partie de l'IHM est sur le PC ; l'autre partie sur une table interactive comme dans Ubiloop).

Contexte. Conformément à la définition du contexte d'usage, trois axes composent ce secteur. La dimension Utilisateur précise si l'adaptation est faite par rapport à un modèle archétype de l'utilisateur ciblé versus à l'interaction effective de l'utilisateur voire, de façon plus générale, à son activité. La plate-forme distingue des configurations simples faites d'une seule entité (par exemple, un PC) versus des assemblages de plates-formes homogènes (par exemple, deux PC) voire hétérogènes (par exemple, un PC et une table interactive comme dans Ubiloop). L'environnement voit en la mobilité de l'utilisateur une complexité potentielle qui va au-delà d'environnements ouverts (par exemple, une rue) et bien sûr confinés (par exemple, un bureau).

Effets de l'adaptation. L'occurrence analyse le moment auquel l'adaptation survient. A gros grain, elle peut intervenir entre deux sessions. Mais elle peut aussi être opérée entre deux tâches utilisateur voire, à plus petit grain, entre deux actions physiques sur les dispositifs d'interaction. La dimension Tâche cerne la portée de l'adaptation en terme de tâche utilisateur : est-elle limitée à la tâche de l'utilisateur ? Consiste-t-elle à permettre une tâche non planifiée comme en §4.2 ou s'étend-elle carrément jusqu'à l'espace personnel d'informations ? En terme de remodelage, l'adaptation préserve-t-elle le style d'interaction de l'IHM (ligne de commandes, manipulation directe versus post-WIMP) ? Si oui, l'adaptation est dite intra-style. Inter-style fait référence à un changement de style (par exemple, du post-WIMP à la manipulation directe). De façon plus complexe, les styles peuvent être combinés (une partie post-WIMP sur la table ; une partie ligne de commande sur le PC). En terme de distribution, l'état de l'IHM (centralisée, distribuée inter-tâche versus intra-tâche) peut être conservé (intra) ou modifié. La modification peut être le passage d'un état à un autre (inter) ou la combinaison d'états (mixte). Le grain de reprise fait référence à la perte éventuelle d'actions physiques lors de l'adaptation. En grain Session, l'utilisateur doit renouveler toutes ses actions passées. Le grain Tâches permet la restauration de toutes les tâches terminées. Le grain Action sauvegarde et restaure toute action physique que la tâche soit achevée ou non.

Contrôle de l'adaptation. Au minimum, d'après l'ergonomie des logiciels, l'adaptation doit être observable à l'utilisateur. Par exemple, dans Ubiloop, l'agent de mairie voit les photos migrer progressivement du PC à la table interactive. Un degré de contrôle plus fin prévoit que le système propose l'adaptation (ici la migration des photos) à l'utilisateur. Ce dernier approuve ou non la proposition. De façon plus contrôlée, comme dans Sedan-Bouillon, l'utilisateur peut spécifier l'adaptation et contrôler les IHM en conséquence fabriquées ou réutilisées. Quel que soit le degré de contrôle, une IHM (IHM de l'adaptation aussi dite Méta-IHM) rend donc le processus d'adaptation observable voire contrôlable à l'utilisateur. Cette IHM peut être externe à l'IHM métier, sans contrainte de style d'interaction, comme c'est le cas dans Sedan-Bouillon : c'est une fenêtre à part, hétérogène en style. Elle peut être externe et cohérente en style d'interaction à l'IHM métier mais elle peut être aussi tissée à l'IHM métier, i.e. l'IHM de l'adaptation est intégrée à la fenêtre (dans le cas du graphique) de l'IHM métier, requérant peut-être en conséquence la plasticité de l'IHM métier !

Si toutes les dimensions soulevées dans cette section sont perceptibles à l'utilisateur, elles posent des exigences en terme d'ingénierie. La section suivante traite de l'implémentation. Elle identifie des dimensions techniques non forcément perceptibles à l'utilisateur.

5.2 Perspective système : propriétés internes

Quatre dimensions sont identifiées (figure 9).

Premièrement, l'IHM, sujette à l'adaptation, est-elle reconfigurée ou une autre IHM est-elle générée ? Une configuration hybride est imaginée : l'IHM est alors la composition de fragments de l'IHM d'origine et de parties générées. Deuxièmement, les mécanismes d'adaptation sont-ils embarqués dans le code source de l'IHM ? Sont-ils sinon externes à l'IHM, pris en charge par un intergiciel ? Ou est-ce une configuration hybride faisant interopérer des parties internes et externes ?

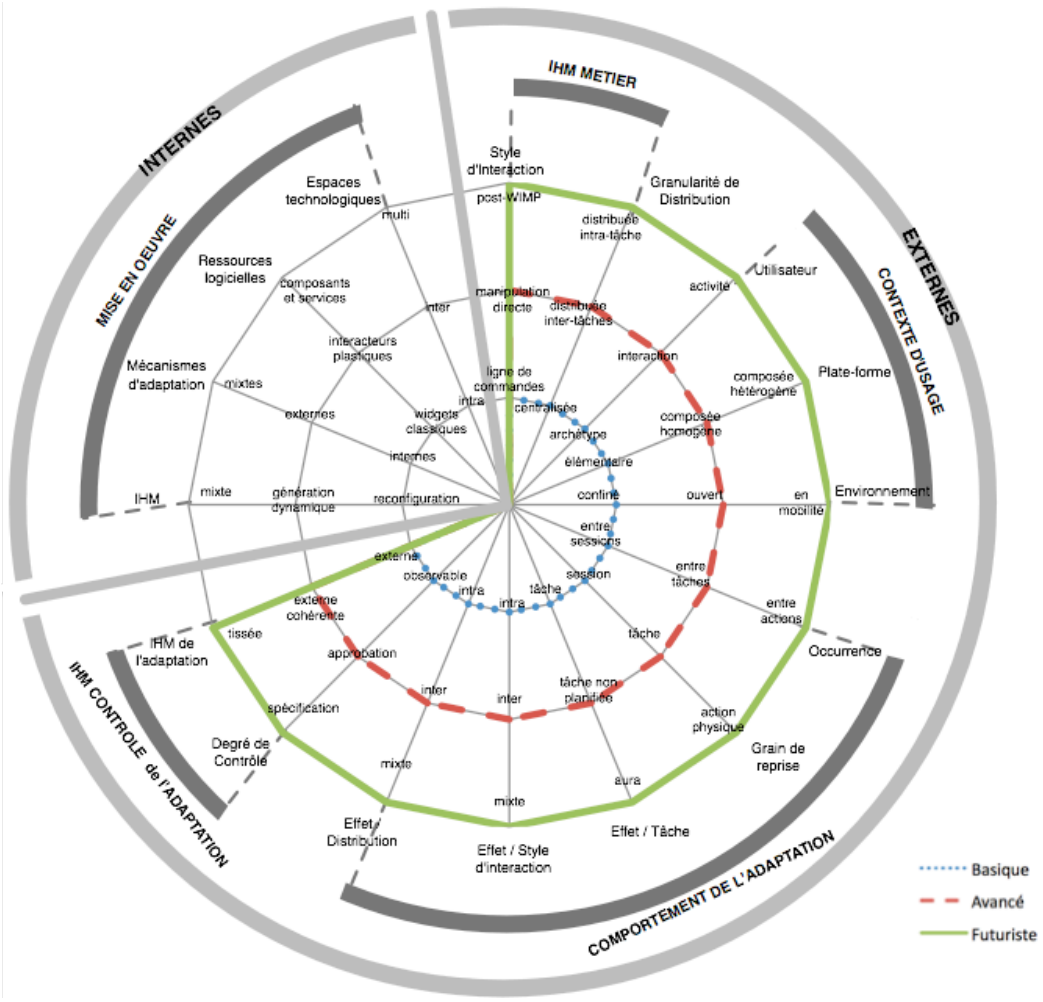


Figure 9. *Espace problème de la plasticité.*

Troisièmement, les IHM générées instancient-elles des widgets classiques fournis par les boites à outils usuelles (par exemple, Swing) ou recourent-elles à des widgets spécialisés pour la plasticité (par exemple, les COMETs [DEM 07]) ? A noter que des composants logiciels de plus gros grain peuvent aussi être recrutés dynamiquement pour servir de base à la composition d'IHM [BAL 08]. Enfin, dernièrement, d'un point de vue technologique, les espaces sont-ils conservés ? Intra signifie que les IHM pré et post adaptation relèvent des mêmes espaces technologiques (par exemple, HTML). Inter fait référence à un changement d'espace (par exemple, d'HTML à OpenGL). Mixte dénoterait la combinaison d'espaces.

6. Conclusion et Perspectives

Dans le domaine très riche, et tout aussi complexe, de l'adaptation des systèmes interactifs, la plasticité des IHM est un sujet particulièrement prometteur. Cet article en a donné un aperçu représentatif, tout en montrant que les transports en constituaient un terrain d'application fertile. Pour cela, l'article s'est tout d'abord penché sur le cadre général de l'évolution de l'interaction homme-machine, en s'intéressant à différentes facettes liées plus particulièrement à la diversité des ressources d'interaction, à leur dynamicité et à leur contrôle par l'humain. Dans la mesure du possible, ces différentes facettes ont été illustrées sous l'angle des transports ou, de façon plus générale, sous celui de l'utilisateur en mobilité.

La plasticité des IHM a ensuite été définie, en se replaçant selon deux perspectives : utilisateur et système. Deux scénarios volontairement restreints, mais représentatifs, liés aux transports ont illustré certaines des potentialités offertes par la plasticité des IHM. La notion de contexte, très étudiée au niveau international, y joue un rôle central.
Un espace problème a ensuite été dressé dans cet article. Cet espace donne un aperçu aux concepteurs et évaluateurs de futurs systèmes interactifs d'aspects qu'il est possible d'envisager, de considérer, de combiner.

De nombreuses perspectives de recherche sont aujourd'hui identifiées. La composition d'IHM par l'utilisateur final est un défi de tout premier plan. Si garder l'utilisateur dans la boucle semble raisonnable du point de vue de l'ergonomie des logiciels, l'approche semble également plus raisonnable du point de vue de l'ingénierie. L'automatisation de l'évaluation de la qualité d'une IHM requiert une formalisation des critères d'ergonomie, la définition de métriques et l'implémentation de fonctions d'évaluation. Ces défis sont de premier plan en plasticité mais, de façon plus générale, ils le sont aussi pour l'enseignement et la pratique de l'IHM en entreprise. [SER 10] montre d'ailleurs que penser plasticité peut améliorer la qualité d'IHM même rigides. La plasticité est décidément un sujet à fort potentiel qui, semble-t-il, n'a pas fini de révéler sa puissance.

7. Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet ANR MyCitizSpace (2007-2010). Nous remercions tout particulièrement Olivier Nicolas (société Génigraph - coordinateur) et Florence Pontico (Région Midi-Pyrénée) pour leur aide précieuse ainsi que nos (ex)doctorants ayant contribué aux avancées de la plasticité des IHM (par ordre alphabétique) : L. Balme, O. Daassi, A. Demeure, Y. Gabillon, V. Ganneau, J.-S. Sottet, D. Thevenin.

8. Bibliographie

[ABO 92] ABOWD G.D., COUTAZ J., NIGAY L., Structuring the Space of Interactive System Properties, In *Engineering for Human-Computer Interaction*, Larson J. & Unger C. (eds), Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland), IFIP, pp 113-126, 1992.

[ANT 02] 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, 161-174, 2002.

[BAL 04] 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, *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.

[BAL 08] BALME L. *Interfaces Homme-Machine Plastiques : Une approche par composants dynamiques*, Thèse de l'Université Joseph Fourier, Grenoble I, 2008.

[BAS 93] BASTIEN J.M.C., SCAPIN D., *Ergonomic Criteria for the Evaluation of Human-Computer Interfaces*, Rapport technique INRIA, N°156, Juin 1993.

[BLA 01] BLACKWELL A.F., HAGUE R., AutoHAN: An architecture for programming the home, In *Proc. Of the IEEE Symposium on Human-Centric Computing Languages and Environments*, Stresa, Italy, pp. 150-157, 2001.

[BOR 04] BORKOWSKI S., LETESSIER J., CROWLEY J., Spatial Control of Interactive Surfaces in an Augmented Environment, *European Conference on Human Computer Interaction, EHCI 04*, Hamburg, Germany, July 2004.

[BRA 03] BRANGIER E., BARCENILLA J., *Concevoir un produit facile à utiliser*, Paris, Éditions d'Organisation, 2003.

[BUR 03] BURNETT M., COOK C., PENDSE O., ROTHERMEL G., SUMMET J., WALLACE C., End-user software engineering with assertions in the spreadsheet paradigm, In *Proc. ICSE 2003*, Portland, USA, pp. 93-103, 2003.

[CAL 06] CALVARY G., COUTAZ J., DAASSI O., GANNEAU V., BALME L., DEMEURE A., SOTTET, J-S., 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, pp. 79-86, 2006.

[CAL 07a] CALVARY G., *Plasticité des Interfaces Homme-Machine, Habilitation à Diriger des Recherches*, Université Joseph Fourier, Grenoble 1, novembre 2007.

[CAL 07b] CALVARY G., COUTAZ J., Métamorphose des IHM et Plasticité, Revue d'Interaction Homme-Machine (RIHM), 8 (1), pp. 35-59, 2007.

[COC 04] COCKTON G., From Quality in Use to Value in the World, In *ACM Proc. CHI 2004, Late Breaking Results*, pp. 1287-1290, 2004.

[COC 05] COCKTON G., A development Framework for Value-Centred Design. In ACM Proc. CHI 2005, Late Breaking Results, pp 1292-1295, 2005.

[CON 97] CONWAY M., PAUSCH R., Alice: easy to learn interactive 3D graphics, *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, 31(3), 58-59, 1997.

[CON 99] CONSTANTINE L.L., LOCKWOOD L.A.D., *Software for Use: A Practical Guide to the Models and Methods of Usage-Centred Design*, New-York, Addison-Wesley, 1999.

[COU 06] COUTAZ J., Meta-User Interfaces for Ambient Spaces. Invited speaker, In *Proc. of TAMODIA 2006*, Hasselt, Belgium, Oct. 2006, Springer LNCS 4385, 1-15, 2006.

[CYP 93] CYPHER A., *Whatch What I Do*, The MIT Press, 1993.

[DAA 07] DAASSI O., *Les comets : une nouvelle génération d'interacteurs pour la plasticité des Interfaces Homme-Machine*, Thèse de l'Université Joseph Fourier, Grenoble I, Janvier 2007, 2007.

[DEL 09] DELOT T., CENERARIO N., ILARRI S., LECOMTE S., A Cooperative Reservation Protocol for Parking Spaces in Vehicular Ad Hoc Networks, *6th International Conference on Mobile Technology, Applications and Systems (Mobility Conference 2009)*, ACM Digital Library, Best Paper Award, Nice (France), September, 2009.

[DEL 10] DELOT T., CENERARIO N., ILARRI S., Vehicular Event Sharing with a mobile Peer-to-peer Architecture, *Transportation Research Part-C*, 18(4), pp. 584–598, 2010.

[DEM 07] DEMEURE A. *Modèles et outils pour la conception et l'exécution d'Interfaces Homme-Machine Plastiques*, Thèse de l'Université Joseph Fourier, Grenoble I, Octobre 2007.

[DEY 04] DEY A., HAMID R., BECKMANN C., LI I., HSU D., a CAPpella: Programming by demonstration of context-aware applications, In *Proc. ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI)*, ACM Press, 2004.

[DIX 93] DIX A., FINLAY J., ABOWD G., BEALE R., *Human-Computer Interaction*, Prentice-Hall, New-Jersey, 1993.

[GAB 09] GABILLON Y., CALVARY G., MANDRAN N., FIORINO H., Composition dynamique d'Interfaces Homme-Machine : Besoin utilisateur ou Défi de chercheur ? *Proceedings of IHM 2009, 21ème Conférence de l'Association Francophone sur l'Interaction Homme-Machine (Grenoble, France, 13-16 octobre 2009), International Conference Proceedings Series*, ACM Press, Grenoble, pp. 61-64.

[GIR 92] GIRARD P., *Environnement de programmation pour non programmeurs et paramétrage en conception assistée par ordinateur : Le système Like*, Mémoire d'HDR, Nov. 1992. Univ. Poitiers.

[HAR 08] HARIRI M-A., *Contribution à une méthode de conception et génération d'interface homme-machine plastique*, Mémoire de Doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, Valenciennes, juin.

[HAR 09] HARIRI M-A., LEPREUX S., TABARY., KOLSKI C., Principes et étude de cas d'adaptation d'IHM dans les SI en fonction du contexte d'interaction de l'utilisateur, *Ingénierie des Systèmes d'Information (ISI), Networking and Information Systems*, 14, pp. 141-162, 2009.

[HAR 10] HARRISON, C., TAN, D. MORRIS, D. Skinput: Appropriating the Body as an Input Surface, *Proceedings of the 28th Annual SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (Atlanta, Georgia, April 10 - 15, 2010), CHI '10, 2010. ACM, New York, NY, pp 453-462.

[HIN 00] HINCKLEY K., RAMOS G., GUIMBRETIERE F., BAUDISH P., SMITH M., Stitching: Pen Gesture that Span multiple Displays, *Proc. UIST 2000*, ACM Press, pp. 91-100, 2000.

[IFI 96] IFIP, *Design Principles for Interactive Software*, livre produit par l'IFIP WG 2.7 (13.4), C. Gram & G. Cockton Eds., Chapman&Hall Publ, 1996.

[ISO 99] ISO, *Human centred design processes for interactive systems*, ISO 13407, 1999.

[KAR 05] KARSENTY L., BOTHEREL V., Analyse empirique de l'inter-utilisabilité d'un service multisupport Web et téléphone, *Actes des Deuxièmes Journées Francophones sur l'Ubiquité et la Mobilité (UbiMob'05)*, Grenoble, 31 Mai-3 Juin 2005, ACM Press.

[KUB 09] KUBICKI S., LEBRUN Y., LEPREUX S., ADAM E., KOLSKI C., MANDIAU R., Exploitation de la technologie RFID associée à une table interactive avec objets tangibles et traçables, Application à la gestion de trafic routier, *Génie Logiciel*, 31, pp. 41-45.

[LET 05] LETONDAL C., Participatory Programming: Developing programmable bioinformatics tools for end-users, In H. Lieberman, F. Paterno & V. Wulf (Eds.), *End-User Development*, Springer/Kluwer Academic Publishers, 2005.

[LIT 07] LITTLE G., LAU T., LIN J., KANDOGAN E., HABER E., Cypher, A., Koala: Capture, Share, Automate, Personalize Business Processes n the Web, In *Proc. CHI 2007*, ACM Press, pp. 943- 946, 2007.

[LOP 04] LOPEZ-JAQUERO V., MONTERO F., MOLINA J.P., GONZALEZ P., A Seamless Development Process of Adaptive User Interfaces Explicitly Based on Usability Properties, in *Proc. EHCI04*, Hamburg, Germany, July 2004.

[LYY 02] LYYTINEN K., YOO Y., Issues and challenges in ubiquitous computing. *Communications of the ACM*, Volume 45, Issue 12, 62-65, 2002.

[MAE 09] MAES P., MISTRY P., Unveiling the "Sixth Sense," game-changing wearable tech, *TED 2009*. Long Beach, CA, USA, 2009.

[MON 04] MONTERO F., VANDERDONCKT J., LOZANO M., Quality Models for Automated Evaluation of Web Sites Usability and Accessibility, In *Proc. International Conference on Web Engineering, ICWE'2004*, July 28-30, Munich, 2004.

[MYE 01] MYERS B., Using Hand-Held Devices and PCs Together, *Communications of the ACM*, Volume 44, Issue 11, November 2001, pp. 34- 41.

[MYE 06] MYERS B., WEITZMAN D.A., KO A.J., CHAU D.H., 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, ACM Press, pp. 397-406, 2005.

[NEW 02] NEWMAN M.W., SEDIVY J.Z., NEUWIRTH C.M., EDWARDS W.K., HONG J.I., IZADI S., MARCELO K., SMITH T.F., Designing for Serendipity: Supporting End-User Configuration of Ubiquitous Computing Environments, In *Proc. Of Designing Interactive Systems (DIS)*, London, pp. 147-156, 2002.

[NIE 94] NIELSEN J., Heuristic evaluation, In Nielsen J., and Mack R.L. (Eds.), *Usability Inspection Methods*, John Wiley & Sons, New York, NY, 1994.

[NOG 08] NOGIER J.F., *Ergonomie du logiciel et design web - Le manuel des interfaces utilisateur*, 4e édition, Dunod, Paris, 2008.

[PAN 02] PANE J.F., *A programming system for children that is designed for usability,* PhD Thesis, Carnegie Mellon University, 2002.

[PRE 94] PREECE J., ROGERS Y., SHARP H., BENYON D., HOLLAND S., CAREY T., *Human-Computer Interaction*, Wokingham, UK, Addison Wesley Publ., 1994.

[REK 01] REKIMOTO J., ULLMER B., OBA H., DataTiles: A Modular Platform for Mixed Physical and Graphical Interactions, in *Proceedings of CHI'01*, Seattle, Washington, ACM Press, pp. 269-276, 2001.

[REP 04] REPENNING A., IOANNIDOU A., Agent-Based End-user Development, *Communications of the ACM*, 47(9), September 2004, pp. 43-46.

[ROD 04] RODDEN T., CRABTREE A., HEMMINGS T., KOLEVA B., HUMBLE J., AKESSON K.P., HANSSON P., Configuring the Ubiquitous Home, In *Proc. ACM Symposium on Designing Interactive Systems*, August 1st-4th, Cambridge, Massachusetts: ACM Press, 2004.

[SCH 97] SCHNEIDERMAN B., *Designing User Interface Strategies for effective Human-Computer Interaction* (3rd ed), Addison-Wesley Publ, 1997.

[SEF 04] SEFFAH A., JAVAHERY H., *Multiple user interfaces, cross-platform applications and context-aware interfaces*, Wiley & Sons, 2004.

[SER 09] SERNA, A., PINEL, S., CALVARY, G. La plasticité des IHM en action : un exemple de téléprocédure plastique, *Conférence IHM'2009*, pp 359-362.

[SER 10] SERNA, A., CALVARY, G., SCAPIN, D. How assessing Plasticity design choices can improve UI quality: a case study, *Proc. EICS'10*, Berlin 2010.

[SHA 91] SHACKEL B., Usability-Context, Framework, Design and Evaluation, In *Human Factors for Informatics Usability*, Cambridge University Press, pp. 21-38, 1991.

[SOH 06] SOHN T.Y., DEY A.K., iCAP: An Informal Tool for Interactive Prototyping of Context-Aware Applications, *Proc. International Conference on Pervasive Computing 2006*, Dublin, Ireland, May 2006, pp. 974–975, 2006.

[SMI 77] SMITH D.C., *Pygmalion: A Computer Program to Model and Stimulate Creative Thought*, Basel, Stuttgart, Birkhauser Verlag, 1977.

[STE 09] STEPHANIDIS C., *The Universal Access Handbook*, CRC Press, 2009.

[TAY 09] TAYLOR B.T., BOVE V.M., Graspables: grasp-recognition as a user interface, *Proc. of the 27th international conference on Human factors in computing systems* (CHI'09), ACM Press, pp. 917-926, 2009.

[THE 99] THEVENIN D., COUTAZ J., Plasticity of User Interfaces: Framework and Research Agenda, *Proc. Interact99*, Edinburgh, A. Sasse & C. Johnson (Eds), IFIP IOS Press Publ., 1999, pp. 110-117.

[THE 07] THE ECONOMIST, When everything connects: the coming wireless revolution, The Economist, April 2007 issue.

[THE 01] THEVENIN D., *Adaptation en Interaction Homme-Machine : le cas de la Plasticité*, Thèse de l'Université Joseph Fourier, Grenoble I, 2001.

[TRE 03] TREVISAN D., VANDERDONCKT J., MACQ B., Continuity as a usability property, *HCI 2003 – 10th International Conference on Human-Computer Interaction*, Heraklion, Greece, June 22-27, 2003, Vol. I, pp. 1268-1272.

[VAN 99] VAN WELIE M., VAN DER VEER G.C., ELIËNS A., Usability Properties in Dialog Models, *6th International Eurographics Workshop on Design Specification and Verification of Interactive Systems DSV-IS99*, Braga, Portugal, 2-4 June 1999, pp. 238-253.

[WIN 01] WINOGRAD T., Architecture for Context, *Human Computer Interaction*, Vol. 16, pp. 401-419, 2001.