

2010

Les IHM plastiques



Lenzotti Romain

M2IRT - L3 | rom.lenzotti@hotmail.fr

04/01/2010

Sommaire

Introduction.....	4
1. Résumé.....	4
2. Abstract.....	4
3. Plan du mémoire.....	5
4. Mot Clefs.....	5
I. L’historique et l’émergence de la plasticité des IHM.....	6
1. Définitions.....	6
2. L’homme précurseur des Interfaces Homme Machine (1960).....	8
3. Xerox : le Star (1970-1980).....	9
4. Ubicomp et Digital Desk deux concepts révolutionnaires (1990).....	10
5. La diversification des IHM et enjeux.....	11
6. La métamorphose des IHM.....	13
a. Du centralisé au distribué.....	13
b. Du classique à l’exotique.....	13
c. Du monomodal au multimodal.....	14
d. De l’explicite à l’implicite.....	14
e. Du sédentaire au nomade.....	14
f. Du rigide au plastique.....	15
II. La plasticité des IHM.....	17
Introduction.....	17
1. La notion de plasticité.....	17
2. Retour sur les méta-IHM.....	18
3. Dimension de la mise en œuvre d’une méta-IHM.....	22
4. Le modèle de GOM.....	23
a. Introduction au GOM.....	23
b. Pré-requis et heuristiques.....	25
c. Modèle de l’arbre de tâche utilisateur.....	25
d. Modèle de l’arbre des tâche système.....	26
e. Modèle des Interacteurs et de la machine.....	26
f. Les autres modèles avec l’application MMS.....	27

III.	Conclusion	30
IV.	Bibliographie	31

Introduction

1. Résumé

Avec l'avènement des ordinateurs, la question de l'interface avec l'utilisateur s'est posée. C'est depuis 1960, que nous observons les premiers travaux sur la conception d'interface homme machine, notamment avec les travaux **d'Ivan Sutherland sur SketchPad** qui marque le début de l'histoire de l'interaction homme-machine. Jusque dans les années 90, nous verrons naitre les concepts et innovations majeures des IHM, quelles soient statique, plastique, distribué ou/et centralisé. L'évolution des technologies étant l'élément moteur de l'art des IHM, cette dernière à dut s'adapter aux différents contextes d'utilisation. En effet, l'arrivé massif de l'internet et des moyens de télécommunication dans nos foyers ont fortement dynamisé les recherches dans ce domaine et ont aboutis plus ou moins à des modèles de conceptions, non standardisé dans la plupart des cas. Parce que ces concepts sont encore très récent et ils méritent d'être expérimenté avant de déboucher sur des standards tant l'environnement numérique est hétérogène.

2. Abstract

With the computer's appearance, the question of the interface with the user is it put. Since 1960, we observe the first works on the human machine interface's conception, in particular with work of **Ivan Sutherland on SketchPad**, who marks the beginning of the history in the interaction human-machine. Until in the 90's, we will see being born major's concepts and innovations, in IHM, static, plastic, distributed or/and centralized. Evolution of technologies being the motive fluid of the art of the IHM, the latter with had to adapt to the various contexts of use. In fact, they arrived massive of the Internet and the means of telecommunication in our homes it strongly instigated research in this field and they led more or less to models of designs, not standardized in most case. Because these concepts are still very recent and they deserve to be tested before leading to standards so much the numerical environment is heterogeneous.

3. Plan du mémoire

Nous verrons donc au cours de ce mémoire technique l'histoire de l'IHM qui nous permettra de mieux comprendre l'évolution de ces dernières et d'entrevoir progressivement les problèmes auxquelles les IHM doivent faire face et nous y verrons en fin de première partie les enjeux de la plasticité et la métamorphose des IHM. En seconde partie, nous verrons donc les différents concepts de l'IHM plastique selon deux axes, les méta-IHM et la plasticité des IHM. Enfin nous mettrons en avant chacun des axes par des exemples concrets. Avant de conclure sur le thème de la plasticité des IHM.

4. Mot Clefs

HOMME, INTERFACE, MACHINE, ADAPTATION, ADAPTATIVITE, APPRENTISSAGE, ARCH, CENTRALISATION, CONTEXTE D'USAGE, DECOMPOSITION FONCTIONNELLE, DISTRIBUTION, INFRASTRUCTURE LOGICIELLE, INTERACTEUR, INTERGICIEL OU MIDDLEWARE, MODELE D'EVOLUTION, MODELE DES TACHES, META-IHM, METAMORPHOSE DES IHM, MOBILITE, MONODALE, NOMADE, MULTIMODAL, PLASTIQUE, PLASTICITE, PRISE EN COMPTE DE L'UTILISATEUR, SEDENTAIRE, SYSTEME INTERATIF, UTILISABILITE.

I. L'historique et l'émergence de la plasticité des IHM

1. Définitions

Les Interfaces Homme-Machine : En **informatique** et en **électronique**, l'IHM est un dispositif qui permet des **échanges** et **interactions** entre différents acteurs. Une interface humain-machine permet des échanges entre un humain et une machine. Pour que cette communication soit la plus simple à faire et à réaliser, on utilise différents éléments. Les **périphériques d'entrée**, comme le clavier, la souris, ou le scanner permettent à l'homme de donner des renseignements ou des ordres à la machine. Les **périphériques de sortie** comme l'écran, des diodes ou l'imprimante permettent à la machine de répondre aux ordres et d'afficher des informations. **L'écran** est un élément important et peut afficher du texte simple aussi bien qu'un **environnement graphique élaboré**. L'un des buts de la discipline est ainsi de donner des outils et des éléments pour mettre en forme au mieux cet environnement, et ainsi permettre à l'homme l'interagir plus agréablement ou plus efficacement avec la machine. (Wikipedia, 2009)

La plasticité des IHM : Représentent le concept qu'un même logiciel puisse s'exécuter sur différentes machines, elle dénote sa **capacité à s'adapter** aux variations du contexte d'usage en termes d'utilisateur, de plate-forme et/ou d'environnement. (Demeure, 2005 - 2006)

Autrement dit, une interface dite **plastique** sait et doit se remodeler en fonction par exemple de la taille de l'écran ou des différent périphérique d'entrée présent sur la machine (souris, clavier ou écran tactile), afin de présenter la même qualité d'informations pour l'utilisateur quelques soit la machine.

On peut définir une interface IHM de la façon suivante :

- Centralisé
- Monomodal
- Sédentaire
- Rigide

Une IHM plastique peut être défini de la façon suivante :

- Distribué
- Multimodal
- Nomade
- Plastique

Centralisé : L'interface se concentre sur un seul écran ou dispositif d'affiche (Périphérique de sortie).

Distribué : Contrairement à centralisé une IHM distribué, sera affiché sur plusieurs périphérique de sortie simultanément et exploite les caractéristiques propre au support afin de présenter au mieux les informations.

Interacteur : Représente d'une façon générale l'IHM, ou plus précisément l'espace de travail ou application.

Intergiciel : ou middleware (anglicisme) est une couche de logiciels qui crée un réseau d'échange d'informations entre différentes applications informatique. Le réseau est mis en œuvre par l'utilisation d'une même technique d'échange d'information dans toutes les applications impliquées à l'aide de composants logiciels.

Métamorphose des IHM : Il s'agit ni plus ni moins de l'évolution des IHM traditionnelles vers les IHM plastique grâce au progrès technologique.

Monomodal : Une interface dite monomodal, est une interface qui utilise les deux sens de l'homme, et seulement ces deux sens qui sont l'ouïe et la vue.

Multimodal : Le multimodal en IHM, utilise plus que les deux sens évoqués pour la définition du multimodale.

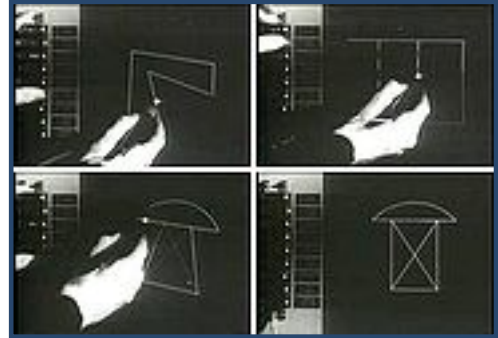
Nomade : Le concept de nomade stipule que l'IHM se redistribue sur une multitude de dispositif numérique mobile (PDA, téléphone) ou fixe (Ordinateur de bureau) et doit donner accès à l'utilisateur aux mêmes informations et fonctionnalités quelques soit le système sur lequel l'IHM s'exécute.

Sédentaire : Et le contraire de Nomade, l'interface est figée au contexte d'utilisation. En d'autre terme, l'IHM ne s'exécute que sur un type de poste ou plateforme pour lequel il a été développé. Nous verrons plus loin quels sont les inconvénients d'un tel procédé.

2. L'homme précurseur des Interfaces Homme Machine (1960)

SketchPad, développé par **Ivan Sutherland** au début des années **1960** et publié dans sa thèse de doctorat en **1963**, est considéré comme la première interface graphique. Développé au **MIT Lincoln Laboratory**, c'est le premier système à utiliser un écran cathodique et un crayon optique pour permettre l'édition graphique de dessins techniques

De nombreux concepts fondamentaux des interfaces graphiques ont pour origine **SketchPad**: désignation directe des objets à l'écran, retour d'information immédiat sous forme de lignes élastiques, placement des segments d'une figure par contraintes (parallèle, angle droit...), zoom avant et arrière sur le dessin avec un facteur de 2000, etc. Même au niveau de la mise en œuvre, les concepts sont étonnamment modernes : représentation des objets graphiques en mémoire, résolution de contraintes, système de rendu graphique.



Sutherland développe **SketchPad** sur le **TX-2**, l'un des rares ordinateurs de l'époque utilisable en ligne : jusqu'à la fin des années **1970**, la grande majorité des ordinateurs sont utilisés de façon non interactive, en traitement par lots (« **batch** »). Le TX-2 a 320 Ko de mémoire, deux fois plus que les plus gros ordinateurs commerciaux de l'époque, une unité de bande magnétique, la première imprimante de Xerox, et l'entrée des programmes se fait par ruban perforé. Surtout, le TX-2 a un écran cathodique (en fait un oscilloscope) de **9 pouces** (21 cm), un crayon optique, et un panneau de boutons que **Sutherland** utilise pour construire son interface.



Peu après, **Ivan Sutherland** devient l'un des pionniers de l'**infographie**, avec notamment un algorithme d'élimination des parties cachées qui porte son nom, et de la **réalité virtuelle**. En **1967**, alors qu'il est professeur à Harvard, il crée avec son étudiant **Bob Sproull** le premier **casque de réalité virtuelle** affichant des images de synthèse. Plus tard encore, il s'intéresse à la robotique, et crée l'entreprise, célèbre dans les années **1980** pour ses systèmes graphiques haut de gamme.

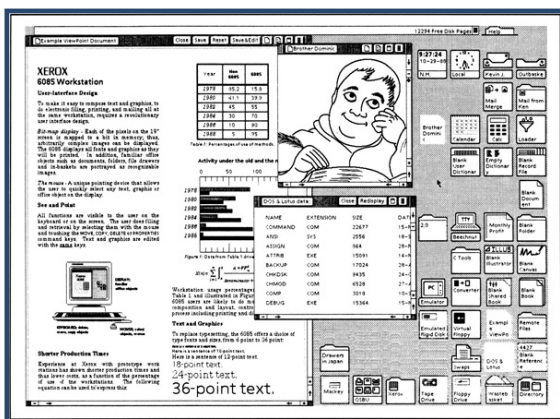


Le premier casque de réalité virtuel par Ivan Sutherland et Bob Sproull en 1967
Source : A Critical History of Computer Graphics and Animation Section 17: Virtual Reality

3. Xerox : le Star (1970-1980)

En 1970, Xerox crée son laboratoire de recherche à Palo Alto, le PARC. Xerox veut non seulement développer sa technologie de la photocopie, mais aussi se lancer sur le marché des systèmes bureautiques.

Trois ans après la création du laboratoire, Xerox crée un prototype le Alto, qui sera renommé en 1981 par Xerox Star. Historiquement il est le premier à apporter les concepts de fenêtre qui se superposent et des icônes manipulables par la souris. Il révolutionne aussi l'informatique en préfigurant l'avènement de l'ordinateur personnel et de l'interface graphique. Le Star est centré sur la notion de document :



« Un nouveau document est créé à partir d'un modèle existant, et tout document peut contenir du texte, des dessins, des formules mathématiques, des tableaux, tous éditables sur place. Pour l'utilisateur, la notion d'application est inexistante » (Beaudouin-Lafon, 2007)

L'interface graphique du Star

Précurseur des interfaces actuelles pour les systèmes d'exploitation

Source : *The Xerox Star: A retrospective*

Tous les concepts **des interfaces modernes** sont présents dans le **Star**. À vrai dire, le Star est encore en avance par rapport aux interfaces actuelles : la transparence du réseau, l'environnement **centré sur les documents**, l'utilisation d'un petit nombre de commandes qui s'appliquent à un grand nombre de contextes, l'interaction non modale, autant de caractéristiques du **Star** qui ne sont toujours pas présentes dans les environnements actuels. Pourtant le **Star** est un **échec commercial** : système trop cher, cible marketing mal évaluée, et surtout incapacité de Xerox à sortir de son marché historique des photocopieurs.

Apple avec le **Macintosh**, trois ans plus tard, qui sera le **réel point de départ** du **marché informatique personnel**. Ce dernier c'est largement inspiré des concepts du **Star** même si le projet de départ en est différent car inspiré de **Lisa**. **Apple** introduit en plus la **barre de menus** et les **boîtes modales**, laisse de côté l'aspect réseau, et conserve le **concept d'application**.

4. Ubicomp et Digital Desk deux concepts révolutionnaires (1990)

Dans son laboratoire à **Xerox PARC**, **Mark Weiser** développe dans **les années 1990** des prototypes de systèmes **Ubicomp** avec des ordinateurs de trois tailles (**badge**, **bloc-note** et **tableau**) capables de communiquer entre eux pour fournir **un réel environnement interactif**. Cette vision préfigure clairement l'avènement des **PDA**, **Tablet PC** et **téléphones mobiles**, mais elle reste loin d'être réalisée et fait l'objet de nombreux travaux de recherche sous des noms divers : ubiquité numérique, informatique pervasive, intelligence ambiante, informatique diffuse.

Le concept d'**Ubicomp** rejoint aussi celui de **réalité augmentée**, inventé en **1993** en réaction à la **réalité virtuelle** alors très en vogue, qui a pour objet d'intégrer l'information directement au sein des **objets physiques** plutôt que de la confiner dans **le monde informatique de l'ordinateur**.

Le **Digital Desk** de Pierre Wellner est le premier système de **réalité augmentée** et probablement le plus emblématique : grâce à un projecteur et une caméra montés au-dessus d'un bureau traditionnel, l'ordinateur peut suivre les manipulations d'objets physiques posés sur le bureau, comme des feuilles de papier, et projeter des informations ou des applications, comme une calculatrice, que l'on peut manipuler à même le bureau. La **réalité augmentée**, appelée aussi **réalité mixte**, fait également l'objet de nombreux travaux de recherche, car il est clair que **les interfaces graphiques** classiques ont atteint leurs limites et qu'une nouvelle **génération d'environnements interactifs doit voir le jour**.



1991 , Pierre Wellner et le Digital Desk,
Sources : Pierre Wellner

(Beaudouin-Lafon, 2007)

5. La diversification des IHM et enjeux.

Nous avons pu voir l'évolution et les différents **concepts des IHM** et il est apparu que les interfaces dites **classiques** avaient leurs limites d'ors et déjà en **1990** avec le prototype de **Marc Weiser** ou **Pierre Wellner** et le **Digital Desk**. D'autres limitations vont surgir avec la **démocratisation de l'internet** dans les foyers, le développement des **réseaux sans fil** et la diversification des terminaux grâce aux expérimentations que l'on a pu entrevoir auparavant mais aussi celle actuelle comme le « **musée augmenté, ou le mètre augmenté.** » (Gaëlle Calvary, Joëlle Coutaz)



HandSCAPE

Le mètre augmenté permet de mesurer les cartons et d'afficher leurs tailles à l'écran

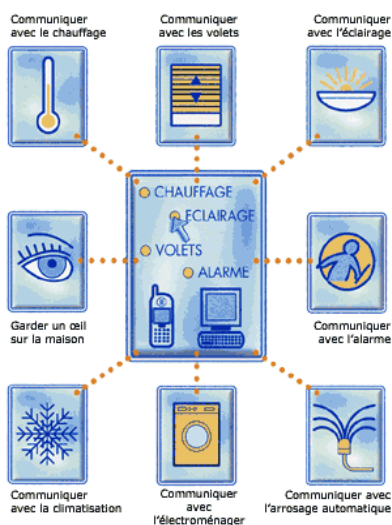
Source: Lee J., Su V., Ren S., 2000, *Vectorizing Tape Measure for On-Site Measuring Applications*

On peut prendre comme exemple des cas où plusieurs appareils vont **interagir ensemble** pour constituer une interface à **une application donnée**, tel que « **le réfrigérateur qui commande les produits manquants, la montre-caméra-appareil photo ou le « roboticien » qui répond à la voix de son maître. L'assistant personnel devient télécommande universelle [16], permettant à l'utilisateur de piloter n'importe quel dispositif ambiant : cafetière, télévision, éclairage.** » (Gaëlle Calvary, Joëlle Coutaz)

Un **téléphone** de nos jours est capable d'aller sur internet, de prendre des photos et de les partager sur des réseaux sociaux. La fonction téléphone au final semble bien loin derrière...



Le téléphone intervenant dans la sécurité d'une maison



Iphone et BlackBerry, deux téléphones de société concurrente avec leur propres OS pour mobile.

Dans un tel **environnement** et au regard de ce que l'on a pu voir, une **interface classique** risque fortement de poser problème.

Pourquoi ? Réponse à la définition d'une IHM sédentaire

On définit une interface classique par son manque de **flexibilité** et le fait qu'elle soit totalement **centralisé** c'est-à-dire qu'elle n'est utilisable que dans un **contexte particulier**, tel une application sur un ordinateur et n'est prévue que pour cette **plateforme** et aucune autre.

La **domotique** est un exemple d'environnement **hétérogène**, où bon nombre de machines doivent pouvoir communiquer et être à même de donner des informations sur l'un ou l'autre des dispositifs de la maison à **l'utilisateur**.

Développer une **application** pour chaque dispositif afin de correspondre au **contexte** dans lequel il se situe reviendrait trop cher en **coût développement**. Or chaque dispositif ont au moins un point commun, servir l'utilisateur dans la gestion de sa maison. Faire en sorte que ces systèmes puissent disposer des mêmes informations et fonctionnalités quel que soit leurs caractéristiques techniques est donc le problème posé dans la recherche de la plasticité des IHM.

Il convient de définir le concept de la métamorphose de l'interface, avant de parler de plasticité. Le but d'une telle métamorphose est sans doute de définir des modèles et concepts pour parvenir à une Méta-IHM qui n'est plus centralisé mais diffusé sur l'ensemble des systèmes. Tous ces concepts nous les expliquerons dans la partie suivante.

6. La métamorphose des IHM.

a. 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. Dans **Pick and Drop** par exemple (Figure 1), l'assistant personnel (PDA), par son caractère mobile (intrinsèque) est perçu comme une palette d'outils dans laquelle l'enseignant vient piocher couleurs, dessins, films...



Figure 1 : La métaphore du peintre dans Pick and Drop

b. Du classique à l'exotique

Alors que nos ordinateurs de bureaux arborent inlassablement le **triolet écran, clavier-souris**, alors que des prototypes de recherche rivalisent d'imagination tant en entrée qu'en sortie. Pour exemple, **AmbientRoom** (Figure 2) qui imaginait les fioles comme dispositifs de sortie ou plus récemment **l'IO Brush**, un pinceau magique permettant de prélever un motif (couleur, texture, mouvement) dans le monde physique puis de le reproduire et le manipuler dans le monde numérique.



Figure 2 : Les fioles servent de dispositifs de sortie (écran)



En produits commercialisés, mentionnons le lapin de Violet (le « **Nabaztag** » Figure 3) qui allie entrée et sortie (<http://www.nabaztag.com>).

Si **ces dispositifs restent marginaux**, ils forcent néanmoins une **ouverture d'esprit** : les sorties ne sont plus limitées aux seuls écrans et les entrées peuvent être remplacé 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. Un **mur** est une **entité physique** appropriée pour jouer le rôle de l'écran. Le doigt ou un stylo par leurs formes allongées peuvent jouer le rôle de dispositifs d'entrée. Quant à la main, certains y voient dans l'alignement des doigts l'opportunité d'un affichage par lignes.



Figure 3 : La main comme dispositif de sortie.

c. Du monomodal au multimodal

L'interface n'utilise généralement que deux sens de l'homme, le **vue** et l'**ouïe**, c'est le **monomodal**. A contrario, le **multimodal** en IHM, utilise **plus que deux sens**. On peut imaginer qu'afin d'exprimer un danger ou d'en renforcer le signal, l'**interface** diffuse une **odeur** pour détourner le **regard** de l'utilisateur de l'**écran** et de focaliser son attention sur l'**information olfactive**.

d. De l'explicite à l'implicite

Alors que les actions physiques explicites de l'utilisateur sur les dispositifs d'entrée dirigeaient jusqu'ici l'interaction Homme-Machine, elles perdent aujourd'hui leur monopole. Désormais, la pièce peut vous écouter, comprendre le propos du discours et en compléter la teneur par des informations affichées, par exemple, au mur. C'est de l'**interaction implicite**.

e. 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 **totalemment**, 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** (Rekimoto, 1999), la présentation des objets (tables et chaises) s'adapte à l'inclinaison horizontale (vue de dessus 2D) ou verticale (perspective 3D) de la surface d'affichage (Figure 5).

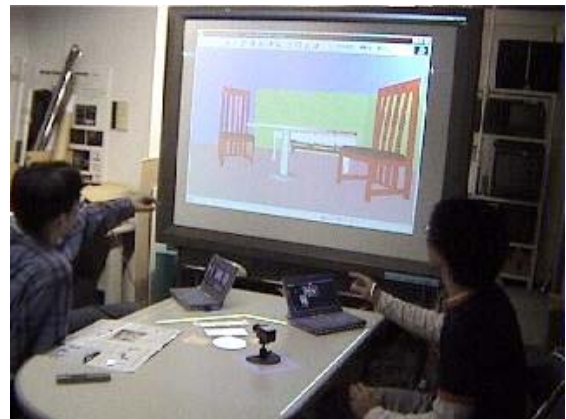


Figure 5 : Les objets s'affichent en 2D versus 3D selon l'inclinaison de la surface d'affichage

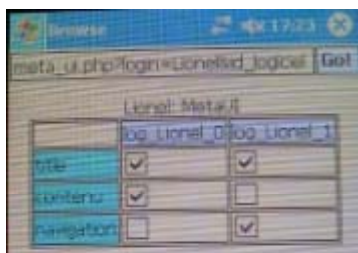
f. Du rigide au plastique

Alors que jusqu'ici les IHM étaient "de marbre" répondant aux seules actions de l'utilisateur, elles s'adaptent désormais à un contexte d'usage changeant. On parle de plasticité lorsque l'adaptation se fait dans le respect de **l'utilisabilité**. Un exemple classique est celui de **FlexClock** qui, selon la taille de la fenêtre, affiche l'heure courante de différentes façons et rajoute la date lorsque ceci est possible. Cette forme de **plasticité** est appelée **remodelage** : elle joue sur la présentation **des concepts du domaine** et **des tâches utilisateur** sans changer l'état de **distribution de l'IHM** : l'IHM était centralisée sur une certaine machine M. Elle reste centralisée sur cette même machine M.



Figure ci-dessus : FlexClock est un exemple d'interface flexible non distribué.

C'est plus tardivement que la réflexion est élargie comprenant que la **métamorphose** des **IHM** diversifie les leviers de **plasticité**. Par exemple, dans Sedan-Bouillon (un site web pour la promotion des pays de Sedan et Bouillon, site web **plastique** développé dans le cadre du projet européen **CAMELEON**), l'arrivée d'un **PDA** est vue comme l'opportunité **d'étaler** l'IHM



Choix de redistribution de l'interface Sedan-Bouillon sur PDA



Site internet de Sedan-Bouillon accessible pour tous les utilisateurs de PC

entre l'actuel **PC** et ce nouveau **PDA**. Dans ce prototype, lorsque l'utilisateur Lionel se ballade sur le site web à partir d'un PC (log_Lionel_0) et s'y connecte subitement via un PDA (log_Lionel_1), une proposition de **redistribution** lui est faite : 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** et souhaite disposer sur **PDA** du titre et de la navigation. 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. Nous appelons **méta-IHM** cette **IHM de la plasticité**. La méta-IHM est en charge de rendre **observable** et **contrôlable** à l'utilisateur le **processus d'adaptation**.

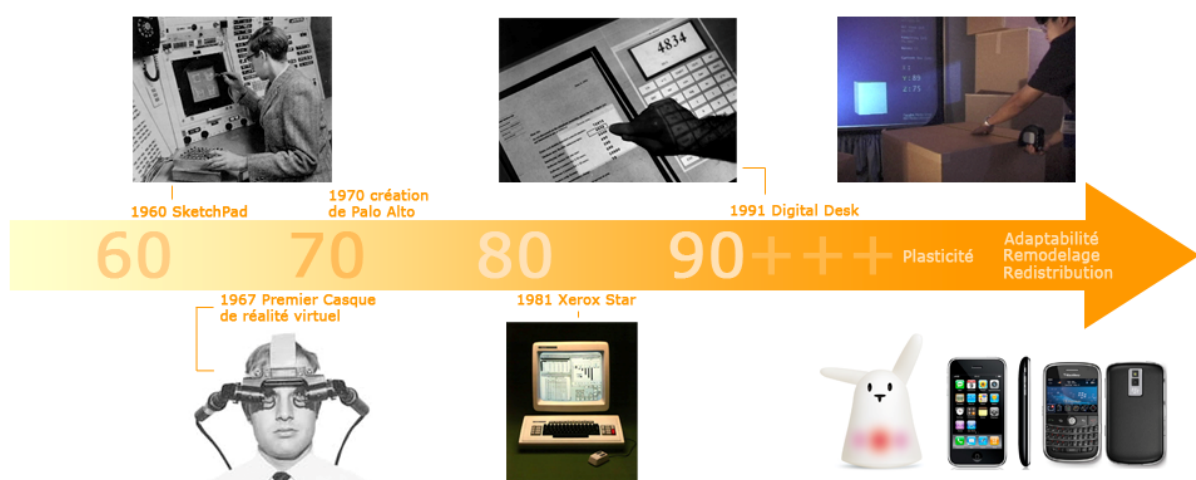
Si, dans la **métamorphose des IHM**, la **multi modalité** (du monomodal au multimodal) est un moyen de **remodelage en plasticité**, les autres axes relèvent de la redistribution :

- « *du centralisé au distribué* » redistribution de l'IHM sur la plate-forme
- « *du classique à l'exotique* », redistribution entre les mondes physique et numérique
- « *de l'explicite à l'implicite* », redistribution des tâches entre l'utilisateur et le système
- « *du sédentaire au nomade* », une redistribution dynamique.

La **redistribution** est donc un levier **fondamental** à considérer en cette période de **métamorphose** des IHM. Elle peut, en pratique, être assortie d'un **remodelage** pour s'accommoder de **capacités** différentes entre les **plates-formes source** et **cible**. Par exemple, alors que sur **PC** la barre de navigation figurait en bandeau gauche, elle apparaîtra horizontalement en partie haute sur le **PDA**.

Jusqu'ici nous avons étudié 40 ans d'évolutions des IHM au travers des différents point majeur tel que le **SketchPad** développé par **Ivan Sutherland**, le **Xerox Star** de Xerox, **Ubicomp** et **Digital Desk**, qui ont amené des concepts d'interfaces plus où moins réutiliser de nos jours. Nous avons par ailleurs pu observer la métamorphose des IHM pour en arriver à la plasticité des interfaces. Il est apparu des concepts comme le **remodelage**, la **distribution** et l'**adaptabilité** qui définissent une **interface plastique**. La partie suivante va donc être dédiée aux IHM plastique qui sont le cœur de ce mémoire technique.

Evolution des IHM sur plus de 40 ans d'histoires



II. La plasticité des IHM

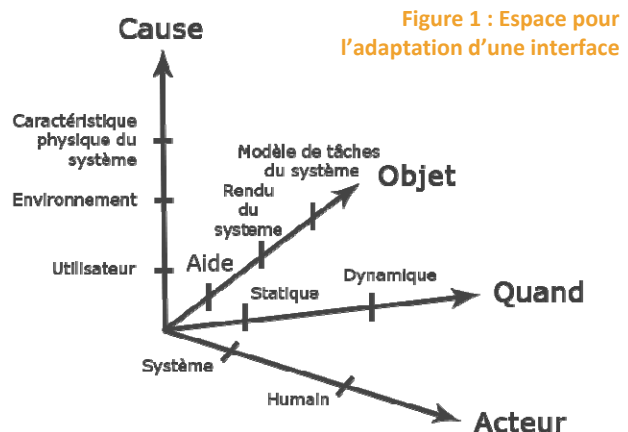
Introduction

Aujourd'hui, le besoin d'un accès à l'information (au bureau, chez soi, dans le train, etc.), le succès des ordinateurs de poche ou des téléphones portables, les avancées dans les réseaux sans fil, offrent de nouvelles voies de **recherche pour la communauté en IHM**. Ces nouvelles formes d'interaction se heurtent à de nombreuses **difficultés** parmi lesquelles le **développement** et le **maintien** des **interfaces homme-machine sur chaque système**. Or la portabilité en exécution, telle que la propose Java, n'est pas une condition suffisante : pour être utilisable, l'interface utilisateur doit être **adaptée aux dispositifs d'interaction**, par exemple à la **taille de l'écran** ou à la présence ou non d'un clavier. La **plasticité des IHM** est une propriété des systèmes interactifs qui fut introduite en **1998** en réponse à cette diversité des plates-formes. En première sous partie, nous aborderons le sujet de la plasticité et ses propriétés, puis en secondes sous partie nous présentons le processus et les requis à la conception d'une interface respectant la plasticité. Et enfin nous présenterons une première mise en œuvre des processus présentés.

1. La notion de plasticité

En IHM, l'adaptation d'une interface est caractérisée par deux propriétés : **l'adaptabilité** et **l'adaptativité**. L'adaptabilité est la capacité d'une interface à être modifiée par l'utilisateur, et l'adaptativité est la capacité d'une interface à se modifier automatiquement, sans action explicite de l'utilisateur. **David Thevenin** définit l'espace d'adaptation, par les axes suivants (c.f. figure 1) :

- la **cause** de l'adaptation,
- l'**objet** qui s'adapte,
- **quand** l'adaptation se produit,
- l'**acteur** qui déclenche l'adaptation



La plasticité d'une matière est sa capacité à se déformer suivant des contraintes, sans se casser. De la même manière, la plasticité d'une interface tel quelle est défini par **Thevenin**, est sa capacité à s'adapter (se déformer) aux contraintes du matériel ou de l'environnement, en restant utilisable (sans se casser). De ce fait, une interface spécifiée pour s'adapter aux variations du matériel, permet de **minimiser le coût de développement** et de **maintenance**.

Explication de la figure 1

- Selon l'axe des causes :** C'est une adaptation aux caractéristiques physiques de la plate-forme visée, ou une adaptation aux contraintes environnementales.
- Selon l'axe du quand :** L'adaptation est statique, c'est-à-dire que les contraintes peuvent être fixées à la conception, et l'interface est générée en fonction, ou l'adaptation est dynamique c'est-à-dire qu'au cours de l'exécution, l'interface est adaptée en fonction des variations de contraintes.
- Selon l'axe des objets :** La plasticité est une adaptation de l'**arbre de tâche** et/ou des techniques de rendu.
- Selon l'axe de l'acteur :** Le système ou un humain (le concepteur ou l'utilisateur final) provoque l'adaptation.

2. Retour sur les méta-IHM

Selon l'équipe de l'université de Joseph-Fourier dans la *Métamorphose des IHM et Plasticité*, (Gaëlle Calvary, Joëlle Coutaz, Olfa Dâassi, Vincent Ganneau, Lionel Balme, Alexandre Demeure, Jean-Sébastien Sottet, 2005 - 2006), la plasticité peut se définir ainsi :

- Elle s'appuie sur des fonctions de reconnaissance du contexte d'usage
- Elle est capable de calculer l'évolution du système interactif dès qu'il y a un changement de contexte.
- L'évolution du contexte peut être apprise.
- L'ensemble du processus peut être placé sous l'observabilité et/ou le contrôle de l'utilisateur via une méta-IHM.

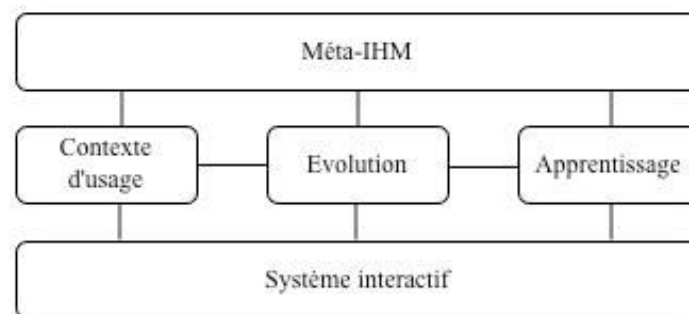


Figure 2 : Décomposition fonctionnelle d'un système interactif plastique selon l'équipe de Joseph-Fourier

Contexte d'usage : Si dans la définition de la **plasticité**, le contexte d'usage est défini en termes **d'utilisateur**, de **plate-forme** et **d'environnement**, dans les faits, les travaux se cloisonnent selon la couverture faite du contexte d'usage. Reconnaître le contexte d'usage, c'est en premier lieu le percevoir. Dans les travaux de Crowley (Crowley, 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 plateforme la plus proche) sont attachées aux changements de situation. Les avantages de l'approche sont nombreux :

- Restreindre la perception à son strict minimum
- Maintenir l'état courant du contexte et son historique.

En pratique, la perception du contexte requiert des capteurs. Rey (Rey, 2005) propose des **contexteurs** pour la mise à disposition des **informations de contexte** aux systèmes interactifs. Les fonctions d'évolution disposent de ces informations pour calculer et mettre en œuvre la bonne réaction (par exemple, migrer).

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

Evolution : L'évolution est en charge du calcul et de la mise en œuvre de la réaction. Deux leviers sont identifiés : le remodelage et la redistribution. C'est par l'étude du remodelage que les recherches en plasticité commencèrent. Le premier résultat permettra l'identification des niveaux d'abstraction auxquels l'adaptation peut avoir lieu.

Le modèle d'architecture logicielle ARCH était mis à profit pour distinguer cinq niveaux d'abstraction :

- Le noyau fonctionnel (NF),
- l'adaptateur de noyau fonctionnel (ANF),
- le contrôleur de dialogue (CD),
- les présentations logique et physique

Note :

Le modèle de l'ARCH est un patron d'architecture logicielle introduit en 1992 pour structurer les logiciels interactifs il vise essentiellement à fixer un vocabulaire pour analyser les architectures des applications et réfléchir à leurs évolutions.

Les recherches étaient alors menées dans le seul **cadre du graphique**. Depuis, d'autres modalités sont considérées, en particulier le **vocal** (Bastien, Juin 1993). Il devient alors pertinent de préciser si les modalités humaines sont préservées ou non lors du remodelage. On parlera de remodelage **intra-modal** (par exemple graphique vers graphique) lorsque la modalité est préservée, **d'inter-modal** (aussi dit transmodal, par exemple, graphique vers vocal) pour un changement de modalité et de multimodal dès lors que des modalités sont combinées par exemple, (Berti, 2005).



Figure 1 : Première version de l'iPod Shuffle commercialisée par Apple



Figure 2 : seconde version de l'iPod Shuffle sans commande mécanique

Les figures 1 et 2, exprime en quelque sorte l'inter-modal dans le sens où entre les deux versions de l'iPod (IHM), l'interface mécanique (graphique) disparaît au profit des commandes vocales (vocal) pour la seconde version lors de la miniaturisation du système.

La redistribution joue sur l'éparpillement de l'IHM sur les différentes plates-formes. Par exemple, la figure ci-dessous montre les différents processus d'adaptation (évolution) d'une Méta-IHM :

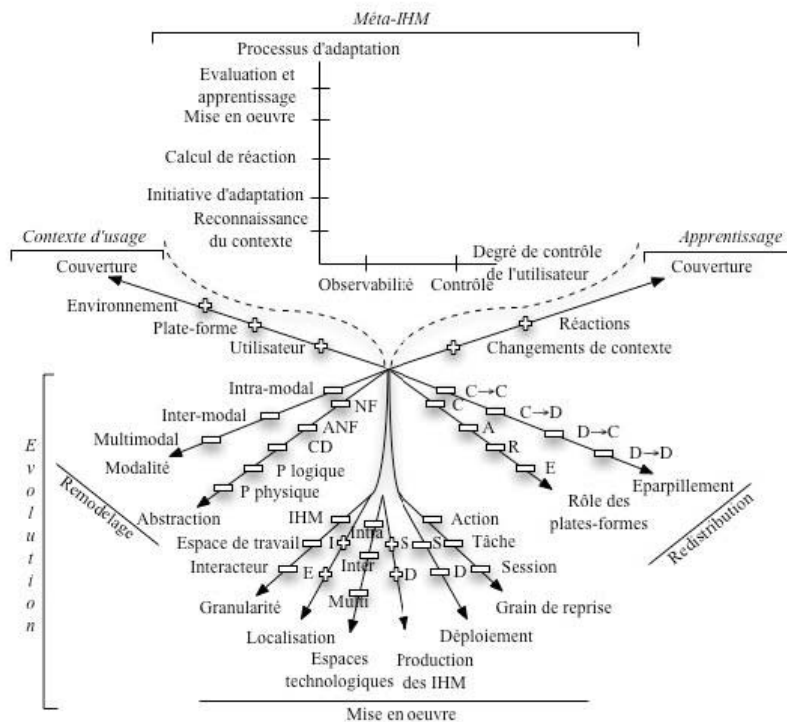


Figure 3 : Espace problème de la plasticité. Dans cet espace, les croix (+) dénotent des valeurs non exclusives contrairement aux tirets (-).

Quelques explications :

On observe sur le schéma la transition **C**-> **C** sur l'axe de Redistribution. Cette transition symbolise une migration totale de l'IHM d'un dispositif vers un autre (PC vers PDA). En partie 1, nous avons pu voir l'exemple d'une métamorphose d'une IHM, le site de Sedan-Bouillon. Cette dernière représente la transition **C** -> **D**, c'est-à-dire que l'interface est répartie entre les deux dispositifs, le PDA et le PC de l'utilisateur.

Donc durant son évolution, l'IHM va passer par plusieurs étapes de transition :

1. **C** -> **C** : la migration, ex : PC vers PDA
2. **C** -> **D** : dit éclatement, autrement l'IHM passe de l'état centralisé à distribué (Fig.4),
3. **D** -> **C** : l'IHM est reconcentrée sur une plateforme unique, ou **D** -> **D** qui signifie que l'IHM change d'état de distribution.

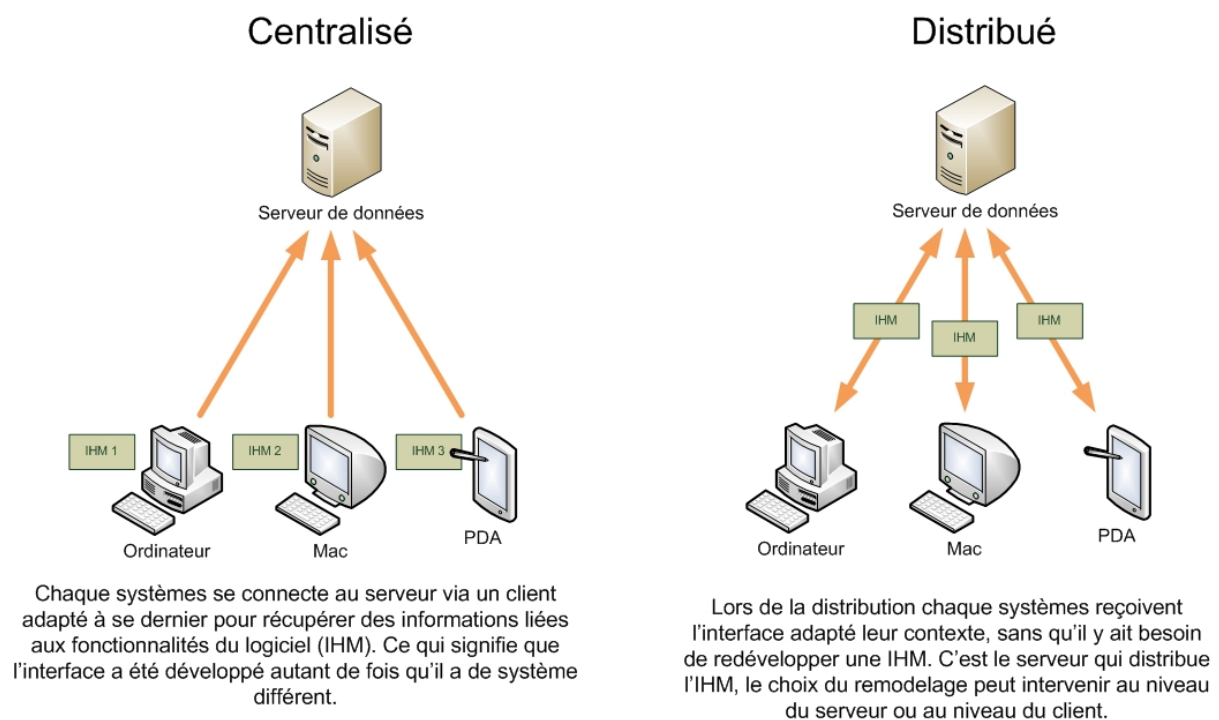


Figure 4 : Exemple du mécanisme d'IHM centralisé et distribué

Dès lors que l'IHM est **distribuée**, il convient de réfléchir au rôle de chaque **plate-forme**. En effet, si la **redistribution** ou la **métamorphose** d'une IHM se déroule correctement, la question qu'il faut se poser est de savoir si : l'utilisateur accède aux mêmes fonctionnalités que ce soit sur l'ordinateur ou l'assistant personnel ? Cela de façon aussi intuitive sur les deux interfaces ? Et qui du client ou du serveur va effectuer le remodelage de l'IHM ?

3. Dimension de la mise en œuvre d'une méta-IHM

Les propriétés CARE (Coutaz, 1995) pour Complémentarité, Assignment, Redondance et Equivalence permettent de réfléchir sur la distribution de l'IHM. D'un point de vue de la mise en œuvre de la réaction qu'elle soit de type **remodelage** et/ou **redistribution**, **six dimensions** devraient être considérées :

- **La granularité de l'adaptation :**
 - Est-ce que l'adaptation se fait en fonction de l'espace de travail ? (modification partielle de l'IHM)
 - 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 :**
 - Il s'agit ici de décider qui de l'IHM (interacteur, espace de travail ou application) d'un tiers (un intergiciel de l'adaptation) embarque les mécanismes d'adaptation.
 - Aucune recommandation n'existe sur le dosage d'interne / externe.
 - Des critères de performance ou d'ouverture peuvent être typiquement considérés.
 - Les approches à service poussent très fort à l'ouverture.
 - L'opportunisme qu'elles laissent percevoir (j'arrive à la gare, je dispose d'un service imprévu) va dans le sens de l'informatique ambiante.
- **Les espaces technologiques :** au sens de l'Ingénierie Dirigée par les Modèles IDM ou **Model Driven Engineering** en anglais, (par exemple : JAVA, HTML, etc. ...). L'adaptation est-elle avant et après transformation :
 - **Intra-espace** technologique (par exemple, JAVA vers JAVA),
 - **Inter-espaces** (par exemple, HTML vers JAVA),
 - **Multi-espaces** combinant par exemple JAVA et HTML.
- **La production statique (S) et/ou dynamique (D) des IHM :**

Les IHM sont-elles :

 - préfabriquées (statique) ?
 - et/ou générées à la volée (dynamique) ?

Note :

Intergiciel est la francisation de middleware.

Dans Artistic Resizing (Dragicevic, 2005), il s'agit d'un mixte de statique et de dynamique qui est opéré. Les IHM sont préfabriquées à des instants clé de l'interaction (échantillonnage et création par des designers). Les transitions sont calculées à la volée.

- **Le grain de reprise** : il 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
 - **La tâche** : seules les tâches utilisateur achevées sont alors restaurées, les actions physiques contribuant à la réalisation d'une nouvelle tâche sont perdues
 - **Les sessions** : l'utilisateur redémarre de zéro. Il a perdu le bénéfice de toutes ses actions.

4. Le modèle de GOM

a. Introduction au GOM

Le processus présenté est inspiré des systèmes du type "Model-Based Interface Development Environments" (MB-IDE) (Générateurs Orientés Modèles ou GOMs). Le concept de **GOM** s'appuie sur l'expression déclarative de la sémantique de l'application et des connaissances nécessaires à la spécification de l'apparence et du comportement d'un système interactif (UIST'94, 1994).

Le but d'un GOM est d'encapsuler le plus d'informations possible dans des modèles pour faciliter le développement d'une interface, voire **l'automatiser**. Cette approche est assez sophistiquée puisqu'elle a la prétention de couvrir non seulement tous les composants du modèle **ARCH** (cf. part. II.2) mais aussi d'injecter d'autres connaissances spécifiées dans des modèles tels que :

- le modèle de l'utilisateur,
- de l'environnement,
- du comportement,
- des tâches,
- d'ergonomie,
- de la plate-forme.

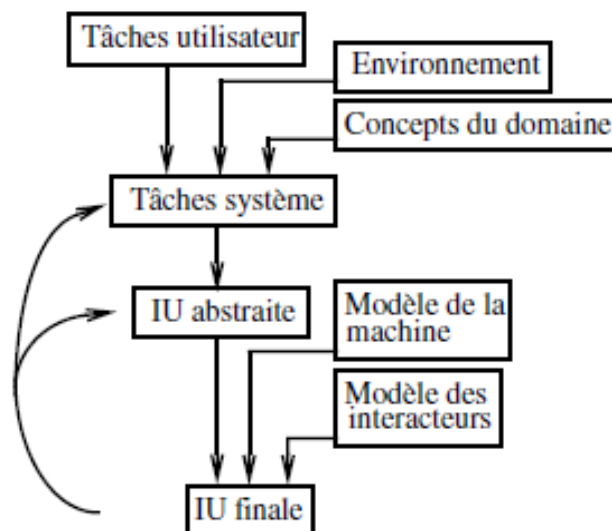


Figure 1 : Espace de conception et de génération

Parce que les GOMs ne respectent pas tous les modèles nécessaires à l'implémentation de la plasticité, entre autre le modèle de la plate-forme, **David Thevenin** décrit son propre processus. Son architecture est présentée par la figure 1.

Explication de la figure 1 :

Le modèle de l'arbre de tâche utilisateur : c'est une transcription formelle ou semi-formelle de l'activité de l'utilisateur dans le monde réel.

Le modèle de l'environnement : il décrit le contexte d'utilisation. Ce modèle n'est pas clairement défini dans la littérature. Il faut y spécifier les objets qui peuvent avoir un impact ou sont en relation avec la réalisation d'une tâche. Ces objets peuvent être une personne, un lieu, des événements. Par exemple l'usage dans un lieu public va forcer l'utilisation du mode vibreur d'un téléphone mobile plutôt que d'une sonnerie.

Le modèle des concepts du domaine : il décrit les données en relation avec la réalisation des tâches de l'utilisateur. Ce modèle est une description d'un sous-ensemble du noyau fonctionnel.

Le modèle de tâches système : il décrit comment les tâches utilisateurs sont implémentées dans le système. Il correspond au contrôleur de dialogue du modèle **ARCH** mais augmenté d'information.

Le modèle de l'interface utilisateur abstraite : c'est la première étape vers la génération de l'interface finale. A partir de l'arbre de tâches système, sont déterminées les informations à représenter et comment elles sont regroupées.

Le modèle de la machine : il décrit les possibilités de la plate-forme visée :

- performances de calcul,
- performances de communication,
- dispositifs physiques d'interaction (exemple la surface d'affichage pour un écran).

Le modèle des interacteurs : il contient une spécification des interacteurs (Widget) disponibles. (Abordé dans la partie II. 3)

L'interface utilisateur finale : il est la spécification de l'interface finale. Elle est générée automatiquement au semi-automatiquement à partir des modèles précédents.

b. Pré-requis et heuristiques

Pour mieux expliquer les modèles vues précédemment, nous allons étudier le logiciel « *agenda électronique* » qui existe sur le **PDA** et sur **MacOs/Windows**. C'est dernier ont permis à **David Thevenin** d'extraire les requis et heuristique don la liste est non-exhaustive et concernent les modèles précités.

c. Modèle de l'arbre de tâche utilisateur

Les concepts du domaine rentrant dans la réalisation d'une tâche doivent être ordonnés en fonction de leur importance dans la réalisation de celle-ci.

Par exemple : dans l'application « *agenda électronique* » le système affiche une date. Cette date est composée :

- du jour dans la semaine (mardi, jeudi, ...),
- du jour dans le mois (5^{ième}),
- du mois (juin ou 6)
- et de l'année.

Le jour dans le mois, le mois et l'année sont considérés comme des informations de première importance dans la tâche de « *prise de connaissance de la date* ». Alors que le jour dans la semaine est considéré comme une information de seconde importance.

Le niveau de première ou de seconde importance, permet de justifier des choix lors du rendu d'une présentation (cf. Part. II.2 exemple de l'ipod).

Une autre heuristique serait qu'un concept de second classe, parce que redondant avec un concept de première classe, sera supprimé.

Dans l'exemple de « *agenda électronique* », sur une station, une date est de la forme « **Mercredi 15 octobre 1999** » alors que sur le Pilot, elle est de la forme « **15 Oct. 99** ». Le jour dans la semaine est considéré comme un concept de seconde classe.

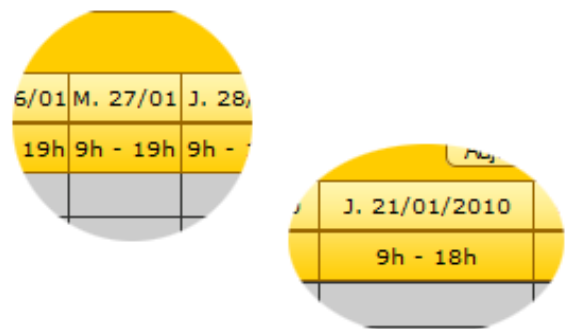


Figure 2 : Exemple de remodelage de la date en fonction de la taille disponible

d. Modèle de l'arbre des tâche système

Dans le contexte de la plasticité, l'accès à un élément de deuxième classe peut nécessiter l'ajout d'une tâche articulatoire. Une tâche articulatoire est une tâche système induite par la méthode de rendu et par les caractéristiques de la plate-forme.

Par exemple : dans l'agenda, se positionner à une date précise nécessite la sélection de celle-ci dans un calendrier. Dans la version Station le calendrier est directement accessible à l'écran (Fig. 3 ci-contre), alors que dans la version PDA, le calendrier est rendu accessible par une commande. Cette commande « *Aller à* » est une tâche articulatoire introduite dans l'arbre de tâche du Pilot par manque de surface d'affichage.

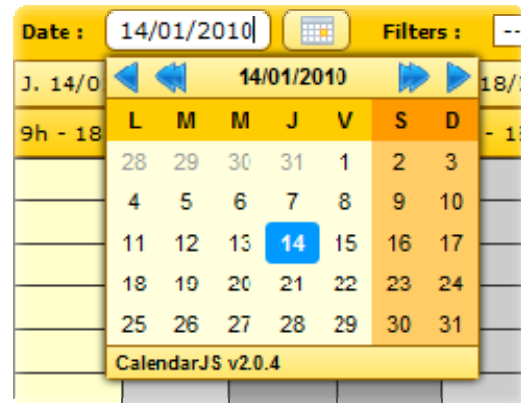


Figure 3 : Calendrier accessible via l'interface d'un PC ou Mac

e. Modèle des Interacteurs et de la machine

La plasticité dénote entre autre, la capacité de changer de rendu, en particulier d'interacteurs, pour représenter le même concept. La figure 4 montre, pour l'exemple de l'agenda, deux interacteurs distincts utilisés pour changer de mode de visualisation des rendez-vous.



figure 3.a



figure 3.b

Figure 4 : Deux interacteurs différents pour représenter le même concept. (a) version PC, (b) version PDA

Le modèle des interacteurs permet de faire un choix approprié en fonction des contraintes physiques. Le modèle doit spécifier que pour tout interacteur, une description des données représentables, doit permettre d'évaluer le **coût de rendu** et **son adéquation**. Le choix est fait par une résolution de la fonction :

f(données, coûts, adéquation)

Il s'agit d'un **système de résolution de contraintes**. La description des données représentables fournit l'information nécessaire à la mise en correspondance d'un concept à représenter et d'un ensemble d'interacteurs disponibles sur la plate-forme visée.

Le modèle d'un interacteur spécifie le coût d'utilisation de celui-ci. Un interacteur peut être vu comme une modalité et donc être spécifié par le couple :

$$m = \langle r, d \rangle \text{ (Coutaz, 1995).}$$

Dans le contexte de la plasticité, nous augmentons **m** par les coût **Cr** et **Cd** respectivement liés à **r** et **d**.

Enfin la modélisation doit spécifier **l'adéquation** d'un **interacteur** pour une tâche donnée. Elle a pour but d'aider au choix de l'interacteur approprié, lors de la génération, et de quantifier une éventuelle dégradation de **l'utilisabilité du système**. Autrement dit, la perte d'informations affichée entre l'interface du PDA et le PC. Problème qui a été parcouru en **part II. 2**, plus particulièrement sur les systèmes multimodal (remplacement des fonctions de second plan par des informations vocales par exemple).

f. Les autres modèles avec l'application MMS

MMS est un **mediaspace** qui montre le niveau d'activité des membres de l'équipe de David Thevenin. En effet, ce niveau d'activité est déterminé par des statistiques sur l'utilisation du clavier et de la souris (principaux périphériques d'entrées de l'ordinateur). L'application telle que présentée dans le document ne fonctionne que sur les stations de bureau. Le but étant de simuler les différentes surfaces de l'écran en faisant varier la taille de la fenêtre de l'application.

Dans cet exemple, il suppose de faire la génération d'une interface capable de s'adapter à la surface de l'écran. Les contraintes physiques sont donc limitées à un couple **<x, y>** représentant la largeur et la hauteur de l'écran en pixels.



L'interface est constituée de trois PUs représentant :

- un texte indiquant le but du système,
- une commande pour quitter
- et une liste de taux d'activités.

Les trois PUs sont de première classe. La liste des taux d'activité est composée :

- pour **n** personnes connectées,
- de **n** noms de personne,
- de **n** noms machine
- et de **n** taux d'activité.

L'équipe définit que le **nom de personne** et le **taux d'activité** sont de première classe, alors que le **nom de machine** est de deuxième classe. Le tableau 1 montre le flux de données spécifiant les trois premières PUs. Le tableau 2 montre le flux de données spécifiant un élément de la liste des taux d'activité.

Concept	Direction	Type de données	Cardinalité	Domaine
But du système	Sortie	ASCII	1	{Activités...MMS}
Liste des activités	Sortie	Élément d'activité	n	Indéfini
Cmd « quitter »	Entrée	ASCII	1	{Quitter}

Tableau 1 : Concept de MMS

Concept	Direction	Type de données	Cardinalité	Domaine
Nom personne	Sortie	ASCII	1	Indéfini
Nom station	Sortie	ASCII	1	Indéfini
Taux d'activité	Sortie	Entier	1	[0,100], pas = 1

Tableau 2 : PU pour un élément de la liste des activités

Un **interacteur** est spécifié par son **empreinte graphique**, son **coût en surface d'affichage**, et le **flux d'informations** qu'il peut représenter. Le tableau 3 montre un exemple pour un interacteur de type « *cases à cocher* ». Les interacteurs respectant les éléments de base des PUs sont :

- le champ de texte non éditable pour le but du système, le nom d'une personne connectée et pour le nom de la machine d'une personne connectée,
- le bouton pour la commande quitter,
- un entier, une barre de type histogramme ou un graphe avec historique pour le taux d'activité d'une personne.

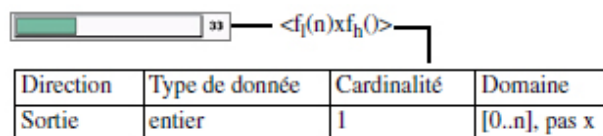


Tableau 3 : Exemple d'une spécification pour un interacteur de type bar d'historique

L'interface s'adapte automatiquement en fonction de la surface de la fenêtre imposé par l'utilisateur. L'adaptation est rendue dynamique par un codage architecturé des PUs et un système de résolution de contrainte.

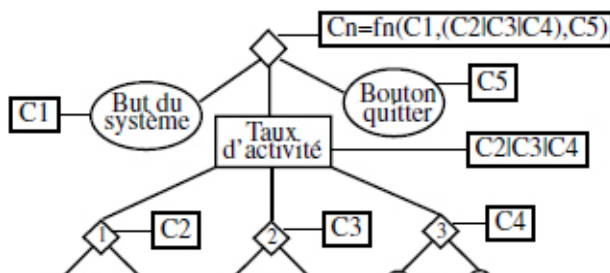


Figure 5 : architecture interne des composants graphiques de l'interface et coût associés

Un nœud en forme de losange : il représente un groupement d'interacteurs et une somme de coûts d'affichage en fonction du positionnement des interacteurs.

Un nœud en forme de rectangle : représente un module faisant le choix optimal en fonction des contraintes qui lui sont fournies et les coûts de ses fils.

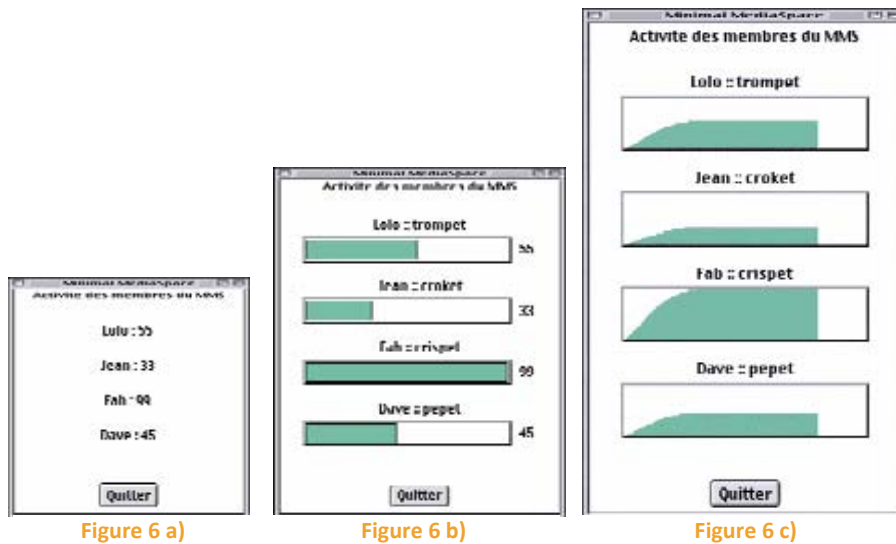


Figure 6 : Variation dynamique du rendu de l'interface.

- a) Pour une petite fenêtre, seulement les noms de personne et leur niveau d'activité sont observables. L'activité est représentée par un entier. Le nom de machine, étant de deuxième classe, n'est pas rendu observable.
- b) Pour une fenêtre de moyenne taille, le taux d'activité est représenté avec une barre de type histogramme.
- c) Pour une grande fenêtre, l'activité est représentée par un graphe avec historique.

La présentation finale est déterminée par propagation des coûts. La figure 6 montre les trois interfaces produites dynamiquement.

III. Conclusion

Nous avons donc pu voir durant ce mémoire technique l'histoire des IHM jusqu'à l'émergence de la plasticité des IHM et de Méta-IHM qui caractérise la capacité d'une interface à s'adapter notamment aux ressources du systèmes et à l'environnement. Ce fut effectivement le principal problème traité et nous avons pu observer les différents modèles énoncés tels que les Méta-IHM, les GOMs inspirés des MB-IDE's qui est un autre modèle des processus de conception d'interface.

A travers l'application MMS et le site Sedan-Bouillon, il a été montré la faisabilité des deux approches, l'une de l'équipe de David Thevenin et l'autre de l'équipe de l'université de Joseph Fourier. Ces approches démontrent qu'il est tout à fait possible de faire des interfaces à moindre coup dès lors qu'on applique le bon modèle pour les concevoir mais il en ressort et David Thevenin le concède, que ces modèles sont trop simple et nécessitent d'être d'une part complétés, et d'autre part mieux formalisés.

Cela s'explique principalement par le fait que l'environnement numérique ne cesse d'apporter des innovations très différentes les unes des autres et qu'il est très difficile de trouver « le bon modèle » qui sera s'adapter à tous les cas de figure.

On notera que la recherche dans la plasticité n'en est qu'à ses débuts même si il y a plus 40 ans d'histoire derrière ce concept. Mais l'enjeu y est très clairement défini, réduire les coûts de développement d'une application multiplateforme, tout en proposant les mêmes fonctionnalités et le même niveau de qualité d'information, si ce n'est très proche, entre chaque plateformes que soit un PDA, ordinateur sous Windows, Linux, MacOS, etc.... et téléphone mobile. L'iphone est par exemple le téléphone qui propose un nombre impressionnant d'applications et utilisant le périphérique de façon inattendu. Enfin la plasticité est à mon sens la meilleur façon d'exploiter les technologies présentes sur le marché pour proposer à l'utilisateur d'autre façon de percevoir les informations depuis une interface homme machine.

IV. Bibliographie

Balme, L., Demeure, A., Barralon, N., Coutaz, J. (2004). *A Software Architecture, Reference Model for Distributed, Migratable and Plastic User Interfaces.*

Bastien, J. S. (Juin 1993). *Ergonomic Criteria for.*

Beaudouin-Lafon, M. (2007, 04 17). *Histoire des IHM.* Récupéré sur <http://www.interstices.info>: http://interstices.info/jcms/c_23015/40-ans-dinteraction-homme-machine-points-de-repere-et-perspectives

Berti, S. P. (2005). *Migratory multimodal interfaces in multidevice environments.*

Coutaz, J. N. (1995). *Four Easy Pieces for Assessing the Usability of Multimodal Interaction: The CARE properties.*

Crowley. (2002). *Perceptual components for Context-Aware Computing.*

Demeure, A. (2005 - 2006). *Le problème de la plasticité dans la conception d'IHM.* Récupéré sur Irit: http://www.irit.fr/rjcihm04/Papers/23_RJCIHM_Demeure_Papier.pdf

Dieterich, H. M.-H. (1994). *Adaptive User Interfaces: Principles.*

Dragicevic, P. C.-L. (2005). *Artistic Resizing: A Technique For Rich Scale-Sensitive Vector Graphics.*

Gaëlle Calvary, Joëlle Coutaz. *Plasticité des interfaces : une nécessité.*

Gaëlle Calvary, Joëlle Coutaz, Olfa Dâassi, Vincent Ganneau, Lionel Balme, Alexandre Demeure, Jean-Sébastien Sottet. (2005 - 2006). *Métamorphose des IHM et Plasticité : Article de synthèse.* Récupéré sur <http://iihm.imag.fr/publs/2006/ErgoIA06-plasticite.pdf>

Lee J., Su V., Ren S. (2000). *Vectorizing Tape Measure for On-Site Measuring Applications.*

Rekimoto, J. S. (1999). *Augmented Surfaces: A Spatially Continuous Workspace for Hybrid Computing Environment.* ACM-Press.

Rey, G. (2005). *Contexte en Interaction Homme-Machine : le contexteur.*

Sproull, I. S. (1967). *Photo du premier casque de réalité virtuel, A Critical History of Computer Graphics and Animation Section 17: Virtual Reality.* Récupéré sur <http://design.osu.edu/carlson/history/lesson17.html>

Thevenin, D. *La plasticité en interaction Homme-Machine.*

UIST'94. (1994). *Model-Based User Interfaces.*

Wellner, P. (1991). *Photographie du Digital Desk*.

Wikipedia. (2009, novembre 10). *Interface*. Récupéré sur Wikipedia:
<http://fr.wikipedia.org/wiki/Interface>

Xerox. (1981). Interface graphique du Xerox Star.