

Interfaces Homme-Machine : "le Futur ne Manque pas d'Avenir"

Joëlle Coutaz

CLIPS-IMAG, BP 53, 38041 Grenoble Cedex 9
joelle.coutaz@imag.fr, <http://iihm.imag.fr/coutaz>

Résumé

Les avancées du numérique annoncent de profondes mutations suscitant à la fois enthousiasme, terreur et résignation. Qu'il y ait bouleversement ou non, il convient de fixer notre vigilance sur le cap de notre mission : concevoir et mettre en œuvre des systèmes amplificateurs respectueux de la condition humaine. Rien de nouveau dans nos objectifs si ce n'est l'opportunité d'incarner de manière réaliste nos principes d'interaction, de produire par exemple, des interfaces à manipulation directe véritablement directes, d'offrir une téléprésence plus vivante tout en veillant à la protection de l'espace privé, de développer des interfaces capables de résister aux facteurs d'échelle. Ces deux points, réalisme et plasticité des interfaces utilisateur, sont analysés successivement dans cet article.

Mots-clés

Interface palpable, réalité virtuelle, réalité augmentée, interface abstraite, interface concrète, plasticité des interfaces utilisateur, interaction homme-machine.

Abstract

Information technology appears to be triggering profound changes in the way we live. Whether these changes are real or imagined, we must not lose sight of our mission: the design and development of systems that augment and respect the human condition. Technological progress should not cause us to deviate from our goals, but should be taken as an opportunity to implement our design principles in a more realistic way. For example, direct manipulation user interfaces can be more direct, telepresence can be more vivid while preserving privacy, and user interfaces can be more amenable to scalability. The issues of realism and scalability are successively discussed in this article.

Keywords

Graspable user interfaces, virtual reality, augmented reality, abstract interface, scalability of user interfaces, computer human interaction.

1. INTRODUCTION

Les formidables progrès accomplis dans la miniaturisation des microprocesseurs, la couverture planétaire des réseaux informatiques et l'irrésistible chute des prix constituent, ensemble, un terreau propice au changement. Les avancées du numérique annoncent de profondes mutations suscitant à la fois enthousiasme, terreur et résignation.

En économie, l'information est devenue la nouvelle matière première [15]. Pour les fabricants de microprocesseurs, la «boîte grise» du ordinateur personnel est «condamnée à disparaître» puisque les puces électroniques seront introduites dans les objets de la vie quotidienne [2]. Allant dans ce sens, les machines virtuelles pour «Embedded Java» et «Personal Java» sont maintenant disponibles sur les ordinateurs de poche. Dans le monde de l'éducation, une révolution se prépare forgeant les maillons de la plus grosse industrie du futur [34]. Des projets ambitieux se dessinent, des alliances stratégiques et économiques se concluent dans tous les pays industrialisés, et les collectivités locales, régionales et nationales tentent de s'organiser. Il en résulte un tapage agité au nom de «l'accès à la connaissance par tous, n'importe où, n'importe quand, pour des objectifs et des besoins personnalisés».

A ces changements que l'on annonce foudroyants, d'autres opposent le drapeau de la prudence car «l'information ne peut être assimilée à la connaissance. Dans cet état brut, l'information abondante n'est pas plus utile à nos économies qu'un gisement de pétrole pour l'économie du début du XIX^{ème} siècle. Il a fallu longtemps pour transformer le pétrole en énergie décisive pour nos systèmes industriels.» [15]. De même, il convient de ne pas sous-estimer les inerties des systèmes productifs et sociaux : «Sur bien des plans, la France de 2020 ressemblera à celle d'aujourd'hui : les enfants iront à l'école où régneront toujours la craie et le tableau noir, malgré la banalisation des ordinateurs dans les cartables.»[16]. Nous voilà rassurés mais d'autres ne le sont pas : face au «virtuel», les écrivains s'interrogent sur le bouleversement intellectuel que pourrait provoquer la disparition du support papier. Elisabeth Badinter estime, à propos de la bibliothèque du futur, que «plus qu'une tentation, il y aura presque une obligation de tout lire. Cela rendra la recherche [d'information] plus longue, voire impossible, par démanchement de l'exhaustivité» [30].

A l'évidence, l'usage individuel n'est pas seul affecté par la numérisation. Les frontières entre certaines professions s'estompent, des notions comme celles de droit d'auteur ou d'espace privé (intimité) sont remises en cause, l'organisation du travail à distance émerge. Par exemple, aux Etats-Unis des fouilles d'information sont pratiquées à l'insu de l'utilisateur en toute légalité à partir de transactions effectuées sur Internet. Ces sondages «transparents» permettent aux vendeurs de solliciter le consommateur de manière ciblée, ce qui est sensé être à son avantage. A cet usage volontaire des capacités du numérique mais contrôlable par des actes de loi, s'opposent des déviations moins explicites difficiles à justifier, tels les virus. Quant au télétravail, que je pratique volontiers, il offre la souplesse de l'emploi du temps, la migration fluide entre les activités professionnelles et familiales. A contrario, l'ancre sociale que constitue le bureau est indispensable : maintenance de la crédibilité professionnelle auprès des collègues, mais avant tout le besoin de communiquer. Ce besoin de contact se traduit aussi par un engouement collectif pour les promenades sur le Web, voire les rencontres dans les MUDs et les MOOs, jeux de rôle où l'on crée de «nouvelles fenêtres» sur sa vie personnelle.

En synthèse, la pénétration du numérique dans le tissu individuel, social, et économique déstabilise les certitudes et les habitudes les plus solides. Mirage technologique ou dictature? Progrès véritable accessible à tous ou réservé à une nomenclature? Mécanisation de notre créativité ou génération d'excellence [33]? On assistera, je crois, à un mariage des genres selon les nations et les contextes socio-professionnels. En tout état de cause, veillons à proscrire les solutions maximalistes et fixons notre vigilance sur le cap de notre mission : concevoir et mettre en œuvre des systèmes amplificateurs mais respectueux de la condition humaine. Rien de nouveau, donc, pas même la réinvention du passé! Est-il besoin de rappeler le concept de manipulation directe [32], la notion de navigation hypertexte et de communication médiatisée déjà présentes dans le système NLS démontré en 1968 par Engelbart [10]? NLS permettait l'usage de la souris, de fenêtres, de documents hypermédia avec courrier électronique intégré, téléconférence, aide contextuelle, contrôle de version des documents, et architecture distribuée client-serveur. En génie logiciel, Java est présenté comme une innovation sans précédent. Il y a 15 ans, Pascal UCSD produisait déjà un code intermédiaire interprété par une machine virtuelle.

Alors d'où viendra la nouveauté dans la décennie à venir? En deux points :

1. Le réalisme de principes d'interaction déjà identifiés,
2. La plasticité des interfaces.

Cet article propose une réflexion sur chacun de ces points. Le premier est lié aux paradigmes d'interaction, le second concerne les aspects logiciels de l'interaction.

2. REALISME EN INTERACTION HOMME-MACHINE

L'exploitation judicieuse de la miniaturisation des composants électroniques, la robustesse croissante de la technologie réticulaire, la mise en commun de techniques logicielles développées dans des circuits de recherche étanches, rendent possibles la mise en œuvre réaliste de principes interactionnels bien établis. En particulier, la manipulation directe devrait être plus directe, la téléprésence plus vivante tout en protégeant l'espace privé [9], la capacité d'adaptation plus transparente, les métaphores plus convaincantes. J'en veux pour preuve, la tendance qui se dessine avec l'émergence de nouveaux dispositifs d'entrée/sortie, les octets tangibles [19], l'informatique d'ambiance, les interfaces palpables et vestimentaires [28]. Tous ces systèmes visent à conserver ou créer des objets familiers amplifiés de capacités de traitement de l'information, tous visent davantage de réalisme mais selon des pistes différentes. Nous les abordons successivement : réalité virtuelle [24], interfaces palpables et réalité augmentée.

2.1. Réalité Virtuelle

Historiquement, le réalisme voit ses premières illustrations avec les simulateurs comme les simulateurs de vol en avionique et les salles de loisir à-la-Walt Disney. L'objectif est une reproduction fidèle de mises en situation. Il s'agit de systèmes dédiés réservés à des domaines particuliers justifiant des coûts de mise en œuvre colossaux.

Les systèmes de réalité virtuelle immersive relèvent de motivations similaires sans viser toutefois une soumission stricte au réel. Cette prise de liberté au dépend du réel, se traduit par un utilisateur harnaché de dispositifs encombrants, lunettes, capteurs de position et gants numériques, nuisant à la dimension naturelle de l'interaction. La réalité virtuelle de

bureau, la plus commune, exploite les techniques de rendu réaliste de la recherche en infographie mais l'utilisateur est vissé à la boîte grise.

Dans les années à venir, les systèmes de réalité virtuelle devraient profiter de l'amélioration et de l'intégration des dispositifs d'interaction : lunettes translucides moins lourdes, suppression des fils à la patte, développement de dispositifs mieux adaptés tel le PIP, sorte de planche en bois augmentée de capteurs sur laquelle le système projette un modèle graphique 3D des concepts de la tâche (M. Gervantz, Université technologique de Vienne). L'utilisateur du PIP peut changer son point de vue en orientant la planche et manipuler les objets au moyen d'un stylet. De gros progrès sont attendus dans le réalisme du couplage entre les dispositifs d'entrée et le retour d'information. En particulier, les temps de réponse entre un changement d'orientation de la tête et le rendu visuel sont aujourd'hui insuffisants provoquant des ruptures dans l'entreprise interactionnelle.

En somme, la Réalité Virtuelle est un bon substitut dans les situations où l'objet de la tâche est inaccessible dans l'espace et/ou dans le temps. Elle a aussi sa place là où le réel, bien qu'accessible, est limitatif. L'objet physique est remplacé par un modèle informatique. Dès lors, l'utilisateur n'agit plus sur le réel mais sur son représentant virtuel impalpable. Cette indirection implique de facto une « manipulation directe relâchée ». Dans la métaphore du bureau, par exemple, un document est représenté de manière métaphorique par une icône électronique. Ce montage technique impose une double indirection : l'utilisateur ne manipule pas le document mais son représentant ; il ne tient pas l'icône dans sa main mais la touche du bout du curseur d'une souris. Les interfaces palpables visent à réduire ces indirections.

2.2. Interfaces palpables

Les interfaces palpables conservent le virtuel, c'est-à-dire la modélisation informatique, mais comme leur nom l'indique, elles privilégient la perception tactile en couplage étroit avec la vision. Les dispositifs génériques d'entrée tels la souris et le clavier, sont remplacés par des moyens d'interaction dédiés qui tiennent dans la main. On relève deux tendances [3] : les interfaces palpables réalistes et les interfaces palpables réelles. Les premières se manipulent comme les objets physiques qu'elles modélisent, les secondes désignent des objets réels dont la manipulation agit directement sur leur correspondant virtuel.

2.2.1. Interfaces palpables réalistes

Les interfaces palpables réalistes remplissent deux conditions : elles véhiculent un modèle informatique d'un objet familier, sujet de la tâche, et l'interaction avec ce modèle imite le réel. Par imitation, il faut comprendre l'incorporation de la réalité, de la « physicalité » dans le dispositif informatique. Chameleon [13], l'un des premiers du genre, et les dispositifs présentés dans [17] et [12] sous les vocables « interfaces manipulatrices » (manipulative user interfaces) et « interfaces incorporées » (embodied user interfaces), illustrent cette approche.

Chameleon se présente sous la forme d'un écran qui tient dans la main. Augmenté de capteurs, le dispositif sait se situer dans l'espace. Placé au-dessus d'une carte physique, il fournit à l'utilisateur des renseignements sur la météorologie de la région survolée par le dispositif. Utilisé dans une bibliothèque, il renseigne sur le contenu des étagères. Chameleon fonctionne comme une loupe : comme elle, il tient dans la main ; comme elle, il

dévoile des informations non visibles à l'œil nu. Il s'emploie de la même façon. On retrouve des idées semblables avec le périscope informationnel « I-Steer » [25].

Les systèmes réalisés à Xerox PARC par Harrison et Fishkin s'appuient comme Chameleon sur un ordinateur de poche augmenté de capteurs. Le boîtier, qui tient dans la main, est palpable (il s'agit d'un Palm Pilot). Le calculateur modélise, tout comme la boîte grise de nos stations de travail, un objet du monde réel, par exemple, un livre, un « rolodex » (répertoire de fiches montées sur un petit cylindre). Contrairement à la station de travail, les manipulations applicables au boîtier imitent celles que l'on pratique sur les objets physiques modélisés.

Par exemple, pour parcourir une liste séquentielle, comme les fiches d'un rolodex, il suffit d'incliner le boîtier. La vitesse de défilement est fonction de l'inclinaison c'est-à-dire de l'amplitude du mouvement du poignet. Ce geste est à l'image du mouvement du poignée sur le rolodex physique. On arrête le défilement en relevant le boîtier vers sa position neutre, l'horizontale, ou en exerçant une pression des doigts sur le côté. Cette pression est directe, puisque l'on tient le boîtier. Elle correspond dans le monde réel à la saisie d'une fiche. Pour feuilleter un livre vers l'avant, on place le doigt sur la feuille de droite et l'on glisse le doigt vers la gauche. Un autre boîtier imaginé à Xerox reproduit cette forme d'interaction.

XLibris se situe dans la même mouvance pour satisfaire aux pratiques de la lecture active [31]. Comme l'indique E. Badinter dans [30] « Cela n'a l'air de rien, mais corner, mettre des autocollants, écrire dans les marges avec son Bic, cela fait partie des habitudes de la réflexion. » Il s'agit pour XLibris de respecter la dimension tangible du papier sans chercher à le remplacer mais à l'incorporer dans un support accommodant (une tablette graphique A4 de haute définition). Il s'agit de conserver les annotations libres mais avec amplification fonctionnelle : l'encre électronique ouvre la possibilité de déléguer à la machine la recherche d'information (ou de partager l'activité de lecture avec une personne distante).

En synthèse, on retrouve dans ces interfaces palpables, les principes de la métaphore du monde réel. Mais la métaphore est moins électronique, plus convaincante car plus réaliste. Si Chameleon et les boîtiers de Xerox utilisent l'informatique de poche, s'ils permettent, comme XLibris d'être mobile et de s'affranchir de la station de travail classique, s'ils combinent le réel au virtuel, ils diffèrent néanmoins sur deux plans :

1. Sur le plan informationnel : Chameleon interagit avec l'environnement pour renseigner l'utilisateur sur son environnement tandis que XLibris et les boîtiers de Xerox sont détenteurs d'informations ;
2. Sur le plan interactionnel : tous tiennent dans la main mais Chameleon est physiquement distinct de la carte ou des étagères de la bibliothèque (il y a rupture dans le rendu) alors que les boîtiers et XLibris sont l'information (il n'y a pas rupture). Les boîtiers visent la reproduction aussi réaliste que possible des actions sur les objets physiques équivalents alors que pour Chameleon cet aspect n'a pas été explicitement recherché.

Bien que Chameleon, XLibris et les boîtiers de Xerox allient le réel au virtuel, ils diffèrent, dans l'esprit, des interfaces palpables réelles.

2.2.2. Interfaces palpables réelles

Les briques de Fitzgerald illustrent le cas des interfaces palpables réelles. Une brique, de la taille d'une pièce de Lego, constitue une poignée d'accès à un objet virtuel. L'objet virtuel et sa poignée physique constituent un «objet palpable» («graspable object») [14]. Si la brique est déplacée, l'objet virtuel l'est aussi. Ils sont indissociables. L'idée de brique comme poignée d'accès à des objets virtuels s'est trouvée étendue à tout l'attirail interactionnel des interfaces graphiques traditionnelles. Par exemple, l'icône graphique se voit incarnée en un objet physique représentatif appelé phicon (pour physical Icon), la fenêtre en une lentille réelle que l'on déplace sur la table de travail, le menu en un plateau à cases, etc. MetaDESK, développé au MIT Media Lab, illustre l'intégration de ces techniques [37].

MetaDESK comprend un bureau, qui sert de surface de projection, une lentille active montée sur un bras articulé, des phicons et d'autres instruments dédiés mais issus du monde réel. En plaçant sur le bureau la phicon « dôme », reproduction miniature du dôme du MIT, une carte du MIT est projetée avec le représentant virtuel du dôme juste en-dessous de la phicon. La lentille active montre sur son écran une représentation 3-D du site. Si l'on déplace la phicon, la vue 3-D est mise à jour en conséquence. En ajoutant une autre phicon (par exemple, le bâtiment du media lab), MetaDESK sait opérer les modifications d'échelle et d'orientation de la carte. BUILD-IT [29] et Illuminating Light [38] exploitent le même principe.

BUILD-IT est un système d'aide à la création architecturale. Des phicons, qui représentent différentes classes de pièces, sont manipulés sur un plan projeté sur la table. L'utilisateur apprécie l'effet de ses actions sur les phicons grâce à une restitution 3D projetée sur le mur. Les rotations et la gestion des menus informatiques sont elles aussi réalisées par phicon. Illuminating Light utilise une technique simpliste de vision par ordinateur pour identifier et repérer des briques représentant des composants optiques. L'utilisateur construit sur le plan un montage de briques ; le système projette sur le plan les faisceaux lumineux émergeant des briques donnant l'illusion que les faisceaux sont produits par des composants optiques. L'utilisateur peut aisément ajuster son montage par manipulation des briques tout en observant les effets sur le tracé des faisceaux.

En synthèse, les interfaces palpables améliorent le sentiment d'engagement direct dans l'action. Les interfaces réalistes se déguisent en objet du monde réel et les interfaces réelles, répliques physiques du monde réel, servent d'ancre au monde virtuel. Ces dernières constituent un cas particulier de Réalité Augmentée.

2.3. Réalité Augmentée

La Réalité Augmentée (RA) repose sur un principe simple : au lieu de remplacer les objets du monde réel par des abstractions informatiques enfermées dans une boîte à calcul (l'ordinateur), la RA se propose de conserver les objets qui nous sont familiers et de les amplifier de capacités de traitement de l'information. En la matière, le Bureau Digital développé au centre de recherche de Xerox, fait figure de pionnier [41]. Ce système conserve le document papier mais permet aussi de travailler sur son contenu numérique. Les parties physiques et numériques du document sont liées en synergie par projection du contenu numérique sur le contenu papier. Les manipulations, observées par un système de vision par ordinateur, se pratiquent avec les doigts, d'où le nom de bureau « digital ». Ainsi,

le papier est augmenté de services de traitement de l'information et se manipule directement avec les mains ou d'autres instruments de bureau (gomme, crayons, etc.).

Cette définition de la RA, fondée sur la conservation et l'amplification du réel, vient en réaction à l'immersion virtuelle [21]. Elle dévie fondamentalement d'un autre courant de réflexion mené en parallèle à la même époque au début des années 90, mais issu de la recherche en Réalité Virtuelle [4]. Pour cette communauté, la RA dérive de la Réalité Virtuelle alors que pour la communauté de l'Interaction Homme-Machine, la RA se fonde sur le réel! Ces différences d'appréciation sont symptomatiques d'un concept mal cerné et justifient une réflexion approfondie. On trouvera dans Mackay une taxonomie des systèmes de RA selon que l'on amplifie un objet physique, l'utilisateur ou l'environnement [22].

Je livre ici le résumé de nos réflexions sur le sujet [3]. Un système de RA doit satisfaire les quatre critères suivants :

1. Présence de vecteurs réels, sujets de la tâche. Autrement dit : conservation des objets physiques qui justifient la tâche. Dans le bureau digital, le papier, la gomme et les crayons sont conservés. Dans Caméléon [23], les strips qu'utilisent les contrôleurs aériens, sont également maintenus ;
2. Présence d'un vecteur virtuel. Autrement dit : modélisation informatique visant à amplifier le vecteur réel. Dans le bureau digital, la notion de document est véhiculée par un modèle informatique ;
3. Superposition des vecteurs virtuels et réels. Autrement dit : absence de discontinuité perceptuelle et actionnelle entre les vecteurs réels et virtuels. Dans le bureau digital, les vecteurs virtuels et physiques sont confondus sur un même support et les dispositifs d'entrée et de sortie sont intimement liés ;
4. Disparition de l'ordinateur en tant que tel : le vecteur réel est le support de première classe.

Ainsi, MetaDESK, PingPongPlus [42] répondent aux conditions d'une réalité augmentée. Il en va de même pour KARMA [11] : l'objet à réparer est conservé ; sa structure interne est modélisée ; un rendu de ce modèle se superpose à l'objet réel en relation étroite avec la position de la tête de l'opérateur ; l'ordinateur en tant que tel n'est pas pertinent. Les badges actifs du MIT Media lab, qui visent à informer des personnes réunies dans une manifestation informelle sur leurs points d'intérêt communs, sont aussi des exemples de RA [6]: le badge physique est conservé et amplifié d'un modèle sur son propriétaire. Quand le porteur du badge rencontre une autre personne, les badges montrent les points communs : il y a bien superposition du réel et du virtuel sans que l'ordinateur soit perceptible.

Inversement, Chameleon ne satisfait pas la condition 3 : on constate une discontinuité visuelle entre l'objet physique (par exemple la carte) et le dispositif de visualisation. Les interfaces palpables réalistes ne remplissent pas la condition 1 (le vecteur réel est inexistant) ni la condition 4 (l'ordinateur est un objet de première classe puisqu'il est tenu dans la main). Les applicatifs développés avec le PIP ne relèvent pas non plus de la RA. Bien que les utilisateurs voient par transparence la pièce qui les entoure, l'objet de la tâche est purement virtuel. Son correspondant physique a disparu. La condition 1 n'est donc pas respectée. Les systèmes graphiques qui superposent dans une même vue des pixels de synthèse et des pixels d'origine vidéo perdent également tout contact interactionnel avec le réel. De même que nous assistons avec nos ordinateurs classiques à une «manipulation directe relâchée», faut-il parler de «réalité augmentée relâchée»?

Nous avons jusqu'ici étudié une tendance en conception d'IHM qui nous conduit vers davantage de réalisme interactionnel. Ce réalisme s'appuie sur des calculateurs dont les ressources physiques couvrent un large spectre. Ce constat m'amène à aborder le problème de la plasticité logicielle des interfaces utilisateur.

3. PLASTICITE DES INTERFACES UTILISATEUR

J'appelle plasticité d'une interface utilisateur sa capacité d'adaptation, pour une application donnée, à des configurations logicielles et matérielles variables. La variété grandissante du matériel depuis la station de travail au calculateur de poche, de même que les avancées des moyens de communication, permettent d'envisager l'utilisation ubiquitaire des systèmes informatiques (au bureau, chez soi, dans le train, en promenade, etc.). Si l'on n'y prend garde, le Génie Logiciel réduira notre problème de plasticité à un simple cas de portabilité. Java ne suffit pas! Pour s'en convaincre, analysons l'exemple d'un agenda électronique. Au vu des outils disponibles et de l'enjeu, je propose l'objectif suivant pour les années à venir : «spécifier une fois, générer utilisable n fois».

3.1. L'agenda électronique

L'agenda électronique en question est disponible à la fois sur un calculateur de poche, le PalmPilot, et sur ordinateurs de bureau, Macintosh et compatibles PC. Considérons l'IHM de cette application ouverte en mode journalier. Dans les deux interfaces, nous relevons les éléments communs suivants (cf. Figure 1): la visualisation des rendez-vous (1) et de la date du jour (2), une fonction de navigation journalière (3), l'accès direct à une date précise (3'), le choix du mode de visualisation hebdomadaire ou mensuel (4), et l'ajout de nouveaux rendez-vous (5).

L'analyse comparative des deux IHM graphiques conduit à trois constats : la priorité entre concepts, la représentation multiple de concept et les tâches articulatoire d'accès à l'information, conditionnent la plasticité d'une interface.

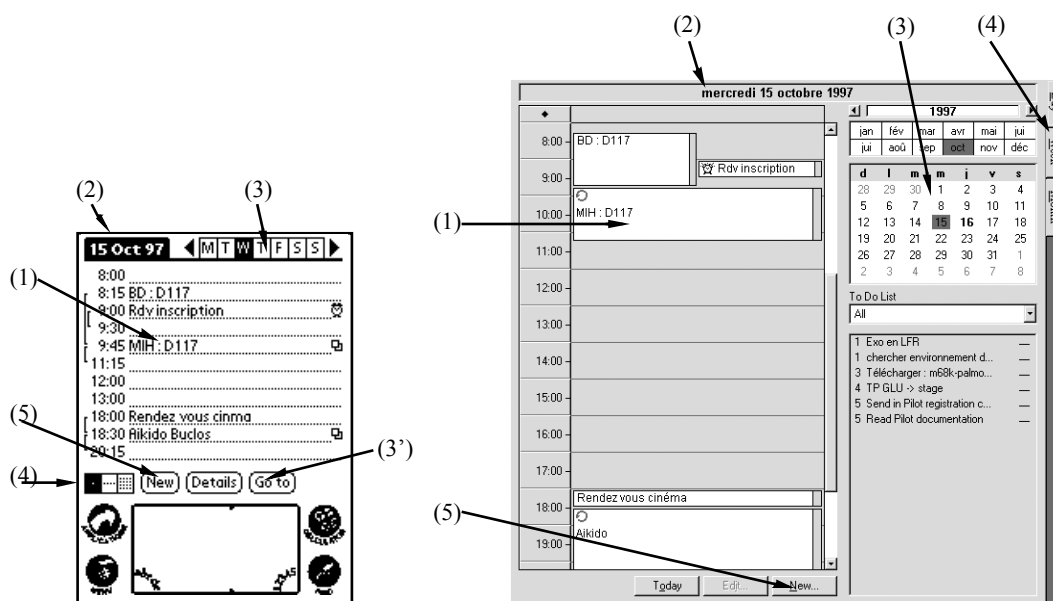


Figure 1 : Agenda en mode journalier sur deux plates-formes cibles. A gauche, l'agenda sur PalmPilot ; à droite, l'agenda sur Macintosh.

3.1.1. Priorité entre concepts

La priorité entre concepts traduit l'importance relative des concepts manipulés pour l'accomplissement d'une tâche donnée. Certains sont indispensables et doivent être directement observables, d'autres sont utiles mais il suffit qu'ils soient accessibles en cas de besoin [8, 18]. Ce classement par ordre d'importance se déduit de l'analyse de l'activité et doit en principe être consigné dans le modèle de tâche. Considérant la variabilité de la taille des écrans, un concept de faible priorité est un bon candidat à l'élimination. Cette heuristique est illustrée avec le rendu du concept "date du jour".

Sur l'ordinateur de bureau, la date du jour est exprimée de manière complète. Au sommet de l'écran, on lit le nom du jour de la semaine ("mercredi"), le numéro du jour du mois ("15"), le nom du mois ("octobre") et l'année ("1997"). Dans la version PalmPilot pour lequel la ressource écran doit être économisée, le nom du jour est éliminé et le nom du mois est condensé ("Oct"). Pour la tâche "trouver la date du jour", les concepts de jour, mois et année sont de première classe. Pour économiser des pixels, le nom du jour, qui est de seconde classe, n'est pas associé à la date. Il reste cependant accessible via l'outil de navigation journalier ("W") mais par indirection : on constate une discontinuité visuelle entre la représentation de la date (jour-mois-année) et celle du nom du jour. La théorie ICS [5], avec les concepts de chemin, permettrait de prédire l'effort supplémentaire d'accès à cette information

3.1.2. Représentation multiple de concept

La représentation multiple d'un concept désigne la capacité du système à rendre observable un concept sous plusieurs formes (on parle également de multimodalité [27]). Il y a redondance lorsque ces représentations sont simultanément observables [7]. L'exemple de l'agenda illustre les deux cas.

Le changement de mode de visualisation (journalier, hebdomadaire, mensuel) s'effectue de la même façon sur les deux cibles par simple clic sur des widgets dédiés mais l'empreinte graphique de ces widgets diffère (4). Sur le calculateur de bureau, des onglets rappellent les objets de la métaphore de bureau. Sur le calculateur de poche, il s'agit d'icônes symboliques (donc moins compréhensibles au premier usage) mais moins encombrantes. Cet exemple indique qu'un concept donné peut donner lieu à de multiples représentations, que ces représentations ont des propriétés cognitives et physiques distinctes. Dans le contexte de cette étude, le choix de la représentation est lié aux caractéristiques physiques de la cible.

Le calculateur de bureau présente de manière redondante la date du jour : au sommet de l'écran (2) et via l'outil de navigation (3). La redondance est éliminée dans le PalmPilot afin de préserver les ressources pixels de l'écran.

3.1.3. Tâche articulatoire

Une tâche articulatoire est une tâche induite par la solution informatique. Elle ne dépend pas du domaine. Techniquement, l'accomplissement d'une tâche articulatoire ne modifie

pas l'état des concepts du domaine [8]. Les tâches de gestion des fenêtres sont de nature articulatoire. Elles constituent un bruit dans l'utilisation de la machine. Allongeant la trajectoire d'interaction, leur existence doit être motivée. L'agenda offre un exemple de cas justifié.

Considérons l'accomplissement de la tâche "ouvrir l'agenda à une date donnée". Avec le calculateur de bureau, il suffit de construire la date par simple clic sur les composants d'une date (année, mois, jour). Ces concepts sont directement observables et directement manipulables (3). Dans le cas du PalmPilot ouvert en mode journalier, le concept de première classe est le contenu des activités du jour. Les tâches de manipulation de ces rendez-vous sont donc prioritaires au dépend de la tâche "ouvrir l'agenda à une date donnée". En raison de son statut, celle-ci s'effectue par indirection via le bouton "goto" (3'). Un clic sur ce bouton ouvre une boîte de dialogue qui offre un panneau identique à la présentation (3) du calculateur de bureau et des boutons de retour. Cette indirection due au manque de place sur l'écran, introduit des tâches articulatoires de manipulation de boutons de navigation.

Cette analyse indique que la transition d'une application entre plates-formes aux caractéristiques logicielles et matérielles distinctes requiert des adaptations sensibles. Quelles sont les offres logicielles en la matière?

3.2. Offres logicielles

Selon McCall [26], la portabilité se décline en quatre critères dont l'indépendance logicielle et matérielle. L'indépendance, d'après la norme AFCICQ, "s'obtient par l'absence de référence à d'autres logiciels, au système, aux caractéristiques de la portabilité du langage de programmation, la représentation des données indépendantes de l'architecture matérielle, des modules indépendants des entrées/sorties physiques" [1].

Les efforts de normalisation vont dans le sens des requis pour l'indépendance :

Un programme exprimé en langage normalisé tel que C ANSI ou Ada83 est indépendant du processeur d'exécution. Cette solution convient au cas de logiciels simples fermés dont l'interface personne-système se contente d'un langage de commande textuel. En respectant la norme POSIX, un logiciel augmente ses capacités d'ouverture et son indépendance vis-à-vis du système d'exploitation. Avec CORBA, la localisation physique des composants logiciels devient transparente. Si l'indépendance vis-à-vis de l'architecture matérielle s'en trouve améliorée, ces normes ne visent pas le cas spécifique des composants de l'IHM.

Les boîtes à outils des stations de travail individuelles masquent la diversité des dispositifs d'entrée/sortie usuels de l'interaction : écran, clavier, souris. Mais une interface développée sur MacOS n'est pas exécutable sous Win32. Les bibliothèques graphiques virtuelles comme XVT [39], qui offrent des classes de widgets virtuels (par exemple, un widget virtuel pour l'expression de choix multiples, un widget virtuel pour la saisie, etc.), masquent la diversité des boîtes à outils cibles (la boîte à outil virtuelle de XVT fonctionne sur X Window, Win32 et Mac Toolbox). Cette approche de l'indépendance des IHM vis-à-vis des boîtes à outils graphiques a été reprise récemment par Tcl/Tk et généralisée avec Java. On notera que Java, sans être novateur dans ses principes, vise tous les aspects de l'indépendance matérielle et logicielle depuis le langage, la plate-forme d'accueil locale, la répartition, etc.

Au vu de notre analyse de l'existant, les techniques relevant du génie logiciel semblent suffisantes pour assurer la portabilité des IHM. Si elles sont nécessaires à la bonne indépendance logicielle et matérielle du code source, elles ne répondent pas toujours aux exigences de la qualité interactionnelle :

1. L'introduction de couches logicielles pour augmenter l'indépendance, conduit à des pertes de performance. Du point de vue de l'interface homme-machine, on observe parfois une baisse, voire une variabilité, de la réactivité du système. Au-delà d'un seuil de tolérance, le système est jugé inutilisable. L'action corrective brutale est le choix d'un processeur plus rapide avec une mémoire centrale de taille adaptée.
2. Les concepteurs et développeurs d'interface n'ont pas toujours conscience des conséquences de la portabilité de leur IHM. Les développeurs, par négligence, par ignorance ou soumis à des contraintes de temps, s'appuient sur les valeurs par défaut de l'environnement d'exécution. Ainsi, une IHM réalisée en Java, bien que validée par un ergonomiste sur une station donnée (mais pour des valeurs par défaut implicites donc non maîtrisées), peut être inesthétique, voire illisible, sur une autre station. La page Web conçue pour de grands écrans est un cas fréquent de perte en qualité interactionnelle : sur un portable, les boutons deviennent inaccessibles en l'absence de barre de défilement, ou bien, en raison d'une mauvaise structuration de l'information, un excès de navigation dans une même page vient surcharger l'activité de l'utilisateur. Les logiciels de bureau, tel MS Word, deviennent de gros consommateurs de pixels avec le déploiement inflationniste des barres d'outils. Cette tendance fait contre-pied à la miniaturisation des écrans de l'informatique mobile.
3. Les guides ergonomiques ne sont pas très avertis des nouvelles exigences de la portabilité. Par exemple, on conseille de fonder la conception de pages web pour des écrans 640x480 pixels. Mais c'est restreindre ceux qui disposent de largesse et la recommandation est inapplicable aux calculateurs de poche.
4. Les générateurs d'interface, qu'il s'agisse des constructeurs d'IHM (tel Interface Builder) ou des générateurs orientés modèle (tels Trident [40], FUSE [20], Mastermind [35]), font tous l'hypothèse que la cible est un ordinateur de bureau. Aucun n'aborde le problème de la variabilité des configurations logicielles et matérielles.

Nous constatons que la plupart des outils et techniques logiciels pour le développement d'IHM assure l'exécution de code multicible mais sans garantir la conservation de l'utilisabilité. Les programmeurs non avertis produisent, malgré eux, des IHM inadaptées, et les programmeurs avertis se voient développer une IHM dédiée pour chacun des calculateurs cibles. Dans ce cas, la qualité de l'utilisabilité implique un surcoût de développement amplifié par la maintenance avec le risque à terme d'incohérences comportementales, de désynchronisation, entre les produits sur les différentes cibles. Ces constats appellent naturellement l'objectif suivant : «Spécifier une fois, générer utilisable N fois»

3.3. Spécifier une fois, générer utilisable N fois

L'objectif de reproduction automatisée (ou semi-automatisée, plus réaliste au regard de la qualité interactionnelle), conduit à définir un modèle qui décrit de manière abstraite l'IHM d'une application. Une IHM abstraite est une description de l'interface indépendante des dispositifs d'interaction. Renseignée par une description des ressources interactionnelles du calculateur cible, l'IHM abstraite fournit une interface concrète utilisable pour ce

calculateur. Ainsi, le transfert de l'IHM vers un nouveau calculateur cible ne requiert, en principe, que la spécification des ressources interactionnelles de la cible.

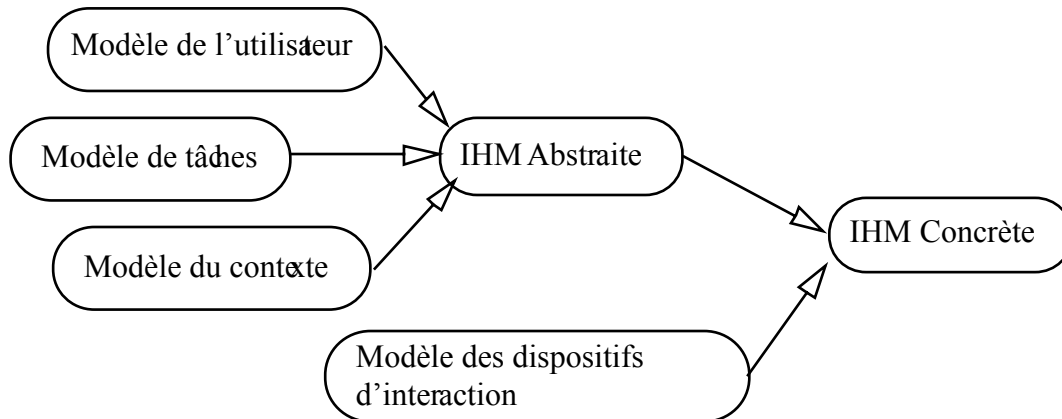


Figure 2 : Les modèles impliqués dans la production d'une IHM concrète à partir d'une IHM abstraite.

Si l'IHM abstraite est indépendante des ressources matérielles interactionnelles de la cible, elle dépend des tâches que l'utilisateur peut accomplir avec l'application. Le modèle de tâches devra décrire pour chaque tâche, la spécification de sa fréquence et l'importance relative des concepts qu'elle implique. De même, une IHM concrète dépend des capacités cognitives et motrices de l'utilisateur mais aussi du contexte d'utilisation (par exemple, un retour sonore doit être évité si l'utilisateur se trouve dans un lieu public). La figure 2 montre les relations entre les différents modèles impliqués dans la production d'une IHM concrète à partir d'une IHM abstraite. On trouvera dans [36], une première solution à ce problème complexe limitée à la prise en compte de la variabilité de dispositifs d'interaction.

4. CONCLUSION

En synthèse, dans les dix années à venir, nous pouvons espérer le déploiement de dispositifs informatisés réalistes et conformes à nos principes interactionnels. Sur le plan logiciel, il nous faudra développer des mécanismes qui améliorent la plasticité de nos interfaces, c'est-à-dire des techniques qui produisent des interfaces résistantes aux changements d'échelle sans perte en utilisabilité.

Si le déploiement technologique suscite de l'enthousiasme, gardons à l'esprit que nous devons répondre aux appels des technopathes et des résignés.

5. REFERENCES

[1] AFCIQ, *Préface au plan de développement logiciel et au plan d'assurance qualité logiciel*, Version Provisoire 3, Section professionnelle. Association Française Pour la Qualité (AFCiQ) 1989.

[2] ALBERGANTI (Michel), « La boîte grise est condamnée à disparaître », interview de Jacques Clay, directeur général de la division ordinateurs de bureau de Hewlett Packard, Le Monde, 30 avril 1998.

- [3] ASTIER (William), Manipulation d'information en Réalité Augmentée, rapport de DEA Système d'Information et Diplôme Européen de 3ème cycle en Système d'Information MATIS, juin 1998, Université Joseph Fourier.
- [4] AZUMA (Ronald), Tracking Requirements for Augmented Reality, Communication of the ACM n° 7, Juillet 1993, Pub ACM, pp. 50-51
- [5] BARNARD (Philip), Cognitive Resources and the Learning of Human Computer Dialogs, in *Interfacing Thought*, J. Carroll Eds., MIT Press, 1987, pp. 113-158.
- [6] BOROVOY (Richard), MARTIN (Fred), RESNICK (Mitchel), SILVERMAN (Brian), Groupwear: Nametags that Tell about Relationships, in CHI98 Summary Proceedings, ACM Publ., 1998, pp. 329-330.
- [7] COUTAZ (Joëlle), Nigay (L.), Salber (D.), Blandford (A.), May (J.), Young (R.), Four Easy Pieces for Assessing the Usability of Multimodal Interaction: The CARE properties, Proceedings of the INTERACT'95 conference, S. A. Arnesen & D. Gilmore Eds., Chapman&Hall Publ., Lillehammer, Norway, June 1995, pp. 115-120.
- [8] COUTAZ (Joëlle), Modélisation pour l'Interaction Homme-Machine, Cours DEA Informatique Système & Communication, Université Joseph Fourier, 1997.
- [9] COUTAZ (Joëlle), Bérard (F.), Carraux (E.), Crowley (J.), Early Experience with the Mediaspace CoMedi, Engineering Human Computer Interaction, IFIP WG 2.7 working conference, ECHI'98, Heraklion, Sept. 98, à paraître. Ou encore : COUTAZ (Joëlle), Bérard (F.), Crowley (J.), Eigen space Coding as a Means to Support Privacy in Computer Mediated Communication. Proceedings of INTERACT'97, Sydney, pp. 532-538.
- [10] ENGELBART (Douglas), Augment, Bootstrap Communities, the Web: What Next?, in CHI98 Summary Proceedings, ACM Publ., 1998, pp. 15-16.
- [11] FEINER (Steven), MACINTIRE (B.), SELIGMAN (D.), Knowledge-Based Augmented Reality, Communication of the ACM n° 7, Juillet 1993, Pub ACM, pp. 53-61
- [12] FISHKIN (K. P.), MORAN (T. P.), HARRISON (B. L.), Embodied User Interfaces: towards Invisible User Interfaces, Proc. Engineering Human Computer Interaction, IFIP WG 2.7 working conference, ECHI'98, Heraklion, Sept. 98, à paraître
- [13] FITZMAURICE (George), Situation information space and spacially aware Palmtop Computers, Communication of the ACM n° 7, Juillet 1993, Pub ACM, pp. 39-49
- [14] FITZMAURICE (George), ISHII (H.), BUXTON (W.), Bricks: Laying the foundations for Graspable User Interfaces, CHI 95 proceedings, ACM, pp. 442-449
- [15] FORAY (Dominique), de PERTHUIS (Christian), Faire de l'Information l'ingrédient de la richesse, Le Monde Economie, 13 mai 1997.
- [16] GODET (Michel), Mirages technologiques et attentes sociales, Le Monde, 1998.

- [17] HARRISON (B. L.), FISKIN (K. P.), GUJAR (A.), MOCHON (C.), WANT (R.), Squeeze me, Hold me, Tilt Me ! An exploration of Manipulative User Interface, CHI 98 proceedings, Pub ACM, pp. 17-24
- [18] IFIP (2.7, 13.4), *Design Principles for Interactive Software*, C. Gram & G. Cockton Eds., Chapman&Hall Publ., 1996.
- [19] ISHII (H.), ULLMER (B.), Tangible Bits : Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms, CHI 97 proceedings, Pub ACM, pp. P 234-241
- [20] LONCZEWSKI (F.), SCHREIBER (S.), The FUSE-System: an Integrated User Interface Design Environment. Proceedings of Computer-Aided Design of User Interfaces (CADUI'96), J. Vanderdonckt ed., presses universitaire de Namur, 1996, pp.37-56.
- [21] MACKAY (Wendy), VELAY (G.), CARTER (K.), MA (C.), PAGANI (D.), Augmenting Reality : Computational Dimensions to paper, Communication of the ACM n° 7, Juillet 1993, Pub ACM, pp. 96-97
- [22] MACKAY (Wendy), Réalité augmenté : le meilleur des deux mondes, La Recherche n° 285, Mars 1996, pp/ 80-84
- [23] MACKAY (Wendy), FAYARD (A-L.), FROBERT (L.), MEDINI (L.), Reinventing the familiar : an Augmented Reality Design Space for Air Traffic Control, CHI 98 proceedings, Pub ACM, pp. 558-565
- [24] MAZURIK (T.), GEVAUTZ (M.), Virtual Reality : History, applications, Technologie and Future, page internet : <http://www.cg.tuwien.ac.at/>
- [25] MISAWA (Junko), OSADA (Junichi), The Information Periscope « I-Steer », CHI98 video program, in CHI98 Summary proceedings, 1998, pp. 179-180.
- [26] McCALL (J.), Factors in Software Quality, General Electric Eds, 1997.
- [27] NIGAY (Laurence), COUTAZ (Joëlle), Espaces conceptuels pour l'interaction multimédia et multimodale. Dans Technique et science informatiques (TSI), spécial Multimédia et Collecticiel, AFCET & Hermes ed., v.15, n°9, pp.1202-1225.
- [28] ORTH (Maggie), POST (Remi), COOPER (Emily), Fabric Computing Interfaces, CHI98 Summary Proceedings, ACM publ., 1998, pp. 331-332.
- [29] RAUTERBERG (Matthias), FJELD (M.), KRUEGER (H.), BICHSEL (M.), LEONHART (U.), MEIER (M.), BUILD-IT : A Planning Tool for Construction and Design, CHI 98 proceedings, Pub ACM, pp. 177-178
- [30] DE ROUX (Emmanuel), VAN RENTERGHEM (M.), Elisabeth Badinter, philosophe, « Il y aura presque obligation de tout lire », Journal Le Monde, 13 juin 1998, page 26.
- [31] SCHILIT (Bill), GOLOVCHINSKY (Gene), PRICE (Morgan), Beyond paper: Supporting Active Reading with Free Form Digital Ink Annotations, CHI98 Proceedings, ACM Publ., 1998, pp. 249-256.

- [32] SHNEIDERMAN (Ben), Direct manipulation: a step beyond programming languages, IEEE computer, Vol 16, n°8, pp. 57-69
- [33] SHNEIDERMAN (Ben), Codex, Memex, Genex: The Pursuit of Transformational Technologies, CHI98 Summary Proceedings, ACM Publ., 1998, pp. 98-99.
- [34] SPENCER (Dale), Keynote speaker at IFIP Congress'96, The Education Revolution, IFIP Newsletter, 14(1), march 1997.
- [35] SZEKELY (PEDRO), SUKAVIRIYA (P.), CASTELLS (P.), MUTHUKUMARASAMY (J.), SALCHER (E.), Declarative interface models for user interface construction tools: the Mastermind approach. Engineering Human Computer Interaction, IFIP WG 2.7 working conference, EHCI'95, 1995, pp.120-150.
- [36] THEVENIN (David), Interfaces Homme-Machine Autoconfigurables, rapport de DEA Informatique Système et Communication, Université Joseph Fourier, juin 1998.
- [37] ULLMER (B.), ISHII (H.), The metaDesk : Model and Prototypes for Tangible User Interface, UIST 97 Banff, Pub ACM, pp. 223-232
- [38] UNDERKOFFLER (J.), ISHII (H.), Illuminating Light : An Optical Design Tool with a Luminous-Tangible Interface, CHI 98 proceedings, Pub ACM, pp. 177-178
- [39] VALDES (R.), a Virtual Toolkit for Windows and the Mac, Byte, vol. 11, 3, 1989, pp. 209-216.
- [40] VANDERDONCKT (Jean), Knowledge-Based Systems for Automated User Interface Generation: the TRIDENT Experience. Rapport technique RP-95-010, Falcutlès Universitaires Notre-Dame de la Paix, Institut d'Informatique, Namur, Belgique, mars 1995. <http://www.info.fundc.ac.be/cgi-bin/pub-spec-paper?RP-95-010>.
- [41] WELLNER (Pierre), MACKAY (W.), GOLD (R.), Back to the Real World, Communication of the ACM n° 7, Juillet 1993, Pub ACM, pp. 24-27.
- [42] WISNESKI (Craig), ORBANES (Julian), ISHII (Hiroshi), PingPongPlus: Augmentation and Transformation of Athletic Interpersonal Interaction, in CHI98 Summary Proceedings, ACM Publ., 1998, pp. 327-328.