

Interaction homme-machine

Michel Beaudouin-Lafon

L'interaction homme-machine est un domaine pluridisciplinaire consacré à l'étude, la conception, le développement, l'évaluation de systèmes informatiques interactifs mais aussi, plus largement, à l'impact organisationnel, sociétal et même éthique des technologies de l'information. Cette section s'intéresse plus particulièrement aux aspects les plus informatiques de ce domaine.

L'interaction homme-machine joue un rôle important dans les systèmes d'information. En effet, ces systèmes sont souvent utilisés par des publics non informaticiens, et la qualité de l'interface utilisateur est bien souvent la mesure principale, pour l'utilisateur final, de la qualité globale du système. Ce court chapitre d'introduction présente quelques concepts de base de l'interaction homme-machine, situe l'état actuel du domaine grâce à un historique rapide et présente brièvement les chapitres de la section.

1 Quelques concepts de base

Un *système interactif* est une application informatique qui prend en compte, au cours de son exécution, des informations communiquées par le ou les utilisateurs du système, et qui produit, au cours de son exécution, une représentation perceptible de son état interne. Typiquement, les entrées fournies par l'utilisateur dépendent des sorties produites par le système et inversement.

Les systèmes interactifs se distinguent donc des applications de type "batch" qui lisent, au début de leur exécution, des données prédéfinies, et produisent à la fin de leur exécution des résultats. Du point de vue informatique, un système interactif est donc un système ouvert : les entrées fournies au système dépendent de ses sorties, d'une façon qui n'est pas accessible au système.

De nos jours, les systèmes interactifs constituent une part croissante des applications informatiques. Au-delà des critères habituels d'évaluation d'une application informatique, l'évaluation d'un système interactif requiert des critères tels que l'*utilisabilité*, qui mesure

l'adéquation du système à ses utilisateurs et ses usages anticipés. Aussi, la conception, le développement et l'évaluation des systèmes interactifs nécessitent des méthodes et des techniques particulières afin de prendre en compte l'utilisateur.

Classiquement, on décompose un système interactif en deux parties : l'*interface utilisateur* et le *noyau fonctionnel*. L'interface utilisateur contient les éléments logiciels et matériels dédiés à la capture des entrées de l'utilisateur, à la restitution des sorties du système et à la logique de l'interaction. Le noyau fonctionnel contient le reste du système, c'est-à-dire ses composants de calcul et de stockage de l'information.

Cette décomposition ne doit pas laisser croire que ces deux parties sont forcément des modules logiciels indépendants, ni surtout qu'elles peuvent être conçues indépendamment. S'il est vrai que l'on est souvent conduit à développer des interfaces pour des noyaux fonctionnels existants (*legacy systems*), la seule façon de développer des systèmes interactifs de qualité est de concevoir l'*ensemble* du système, en prenant en compte les caractéristiques de l'utilisateur au même titre que les contraintes techniques du noyau fonctionnel.

1.1 Modèle conceptuel

Du point de vue de l'utilisateur, le découpage fonctionnel évoqué ci-dessus est peu pertinent : l'utilisateur doit pouvoir fournir des entrées au système (appelées *commandes*) et le système doit pouvoir présenter le résultat des commandes à l'utilisateur. Cela conduit au modèle conceptuel "générique" (c'est-à-dire indépendant de toute application) de la Figure 1.

Dans ce modèle, les *objets* sont les objets du domaine de l'application : les mots, paragraphes et sections d'un éditeur de texte, les enregistrements et les relations d'une base de données, etc. Ces objets sont accédés et modifiés par des *opérations* internes, activées par l'utilisateur par l'intermédiaire de *commandes*. Par exemple, la commande de fermeture d'une fenêtre peut déclencher plusieurs opérations : sauvegarde du contenu de la fenêtre, déverrouillage d'enregistrements dans une base de données, etc.

Figure 1. Modèle conceptuel

Certaines commandes correspondent à une action instantanée de l'utilisateur : sélectionner un objet par pointage ou utiliser une touche de fonction par exemple. D'autres commandes nécessitent plusieurs actions élémentaires : déplacer un icône, activer une commande dans un menu qui ouvre une boîte de dialogue, taper une commande textuelle suivie de la touche Entrée, etc. Dans ce cas le système peut (doit) produire des sorties informant l'utilisateur qu'il fait bien ce qu'il pense faire : pendant le déplacement, l'icône du fichier suit le curseur de la souris, au fur et à mesure que l'on tape une commande, les caractères s'affichent, etc. Ce retour d'information est appelé *feed-back*. Le système peut également produire des informations indiquant à l'utilisateur ce qu'il peut faire. Par exemple, lorsque l'on déplace l'icône d'un fichier, les icônes de la corbeille ou des répertoires changent de couleur lorsque l'on passe dessus, indiquant qu'on peut lâcher l'icône déplacé à cet endroit. Ce retour d'information s'appelle *feed-forward*.

Enfin, lorsque les opérations résultant de l'activation d'une commande sont exécutées, le système produit des *réponses* perceptibles par l'utilisateur : le déplacement de l'icône sur la poubelle fait changer la forme de celle-ci par exemple.

1.2 Conception centrée sur l'utilisateur

Lors de la conception d'un système interactif, des connaissances, réelles ou supposées, des utilisateurs et de l'utilisation du système sont fondamentales pour concevoir l'interface qui sera proposée à l'utilisateur. Une fois le système réalisé, il faudra confronter les hypothèses réalisées lors de la conception avec l'utilisation effective du système. La prise en compte de l'utilisateur est donc nécessaire aussi bien dans les phases de conception que d'évaluation. On se rend souvent compte, lors de l'évaluation, que les hypothèses faites étaient erronées, ou que le style d'interaction choisi ne tient pas ses promesses, ou que les utilisateurs inventent des usages non anticipés du système.

Ceci conduit à intégrer la prise en compte des facteurs humains dans les modèles de développement des systèmes interactifs. On regroupe l'ensemble de ces modèles et des techniques associées sous le terme de *conception centrée sur l'utilisateur* ("user-centered design"). La Figure 2 illustre le cycle de vie d'un logiciel interactif en mettant l'accent sur la prise en compte des utilisateurs.

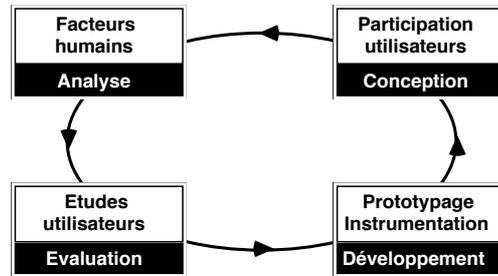
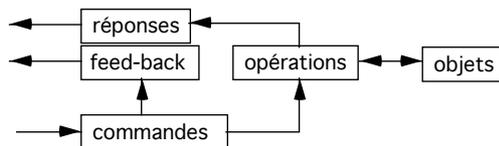


Figure 2. Cycle de conception

Lors de l'analyse, il s'agit notamment de prendre en compte les connaissances issues de la psychologie, d'analyser les outils existants, d'évaluer l'intérêt d'une solution informatique aussi bien au niveau des utilisateurs que de l'organisation, etc. Au niveau de la conception, il s'agit de définir un modèle conceptuel qui sera aussi facile que possible à appréhender par les utilisateurs, et si possible de faire participer les utilisateurs à la conception. Pendant le développement, il s'agit de pouvoir produire des prototypes permettant d'évaluer rapidement certains choix de conception. Enfin lors de l'évaluation il s'agit de vérifier, par des études avec des utilisateurs réels, si les hypothèses réalisées lors de la conception sont vérifiées dans le système final.

Si ce n'est pas le cas, il faut refaire un cycle d'analyse-conception-développement-évaluation pour corriger les problèmes rencontrés. Ce cycle de *conception itérative* est inhérent aux systèmes interactifs : l'utilisateur humain et les modes d'utilisation ne sont pas formalisables d'une façon telle que l'on puisse les considérer comme fixes et connus. Quand bien même cela serait possible, l'usage d'un nouveau système par les utilisateurs change leurs modes de travail et donc leurs habitudes, leurs besoins et leurs attentes. Ainsi, on a *co-adaptation* entre le système et les utilisateurs : le système est conçu en fonction des besoins des utilisateurs, et ces besoins changent en fonction des caractéristiques du système. La seule façon d'atteindre un point d'équilibre est d'itérer la conception.

Bien entendu, l'utilisateur n'est pas le seul facteur à prendre en compte lors de la conception. Comme pour tout système informatique, il faut prendre en compte les facteurs techniques et organisationnels. Cependant, l'importance de la prise en compte des facteurs humains et le fait qu'ils imposent une cycle de développement itératif sont à l'origine du terme de *conception centrée sur l'utilisateur* ("user-centered design"). Pour mettre en œuvre un tel style de conception, il faut un

minimum de connaissances sur les utilisateurs, et pour commencer sur les capacités d'interaction des êtres humains. Ces connaissances nous sont fournies par la psychologie expérimentale. D'autres sources d'information sont importantes, comme les travaux issus de l'ergonomie des logiciels.

2 Historique

L'histoire de l'interaction homme-machine est presque aussi vieille que l'histoire de l'informatique. En 1945, Vannevar Bush, dans son célèbre article "As We May Think" décrit un système électronique (imaginaire) permettant le stockage et la recherche d'informations, et inventait les concepts de l'hypertexte : navigation, indexation, annotation. Au début des années 60, alors que les systèmes à temps partagé font leurs débuts, Ivan Sutherland crée le système SketchPad (1963), qui utilise comme écran un oscilloscope et préfigure les interfaces graphiques modernes. SketchPad est un outil de dessin qui permet de créer des schémas par instanciation de modèles prédéfinis, à l'instar du modèle classe-instance des langages à objets – le langage Simula date d'ailleurs de la même époque. SketchPad permet la construction de structures hiérarchiques et utilise des contraintes pour définir les objets. L'interaction utilise un crayon optique. A la fin des années 60, Douglas Engelbart développe le système NLS-Augment. En 1968, il présente une démonstration à San Francisco où l'on voit un système de traitement de texte hiérarchique, multimédia (texte et graphique) et hypertexte. C'est un système permettant le travail coopératif : on peut partager des fichiers, annoter des documents, utiliser une messagerie, et même un système de visioconférence avec partage d'écrans informatiques et télépointeurs.

En 1969, Alan Kay, alors chez Xerox, présente sa vision d'un ordinateur de poche qui préfigure les assistants numériques (*Personal Digital Assistants* ou PDA) actuels. Dans les années 70 et 80, les laboratoires de Xerox PARC (Xerox Palo Alto Research Center) sont un creuset sans équivalent pour le développement de systèmes interactifs novateurs. Pendant les années 70, le projet Smalltalk, qui lancera les langages à objets, conduit à la réalisation de la première station de travail à écran graphique et souris, l'Alto, qui dispose également d'un réseau local (Ethernet a été inventé aussi à Xerox PARC). L'interface contient déjà des fenêtres, menus, barres de défilement et utilise la sélection directe à la souris. En 1981, une nouvelle machine, le Star, utilise la métaphore du bureau avec des icônes représentant le système de fichiers, accessibles de façon transparente à travers le réseau, et

un certain nombre de commandes génériques. Le Star invente aussi la présentation WYSIWYG ("What You See Is What You Get") : les documents apparaissent à l'écran sous la même forme que lorsqu'ils sont imprimés. Le Star sera un échec commercial (comme beaucoup de tentatives de Xerox de commercialiser ses inventions dans le domaine de l'informatique) mais inspirera Apple : en 1983, l'Apple Lisa est une copie du Star mais, trop cher et trop étriqué, c'est aussi un échec commercial. En 1984, le Macintosh, une évolution du Lisa vendu à un prix plus bas est un succès commercial sans précédent. Il faudra plus de dix ans pour que Microsoft intègre à son interface graphique Windows des fonctionnalités comme l'interaction iconique ou le *drag-and-drop*.

Dans la seconde moitié des années 80, au Massachusetts Institute of Technology (MIT) à Boston, un grand projet financé notamment par Digital Equipment Corp. (DEC), IBM et Tektronix a pour objectif de fournir à tous les étudiants du campus des postes de travail accessibles librement. C'est le projet Athena, qui donnera naissance notamment au X Window System, qui deviendra l'interface graphique standard des stations Unix et aujourd'hui Linux. A la fin des années 80, on voit apparaître les premiers systèmes de réalité virtuelle qui immergent l'utilisateur dans un monde synthétique. Au début des années 90, Robert Caillau et Tim Berners-Lee inventent au CERN un système hypertexte qui s'appellera plus tard le World Wide Web et envahira la planète.

Malgré cette profusion d'inventions, qu'il faudrait compléter par tous les travaux, moins spectaculaires mais indispensables, de nombreux chercheurs et praticiens, il faut reconnaître que les systèmes interactifs actuels sont souvent loin des attentes des utilisateurs. Des études ont montré que l'utilisation de l'informatique n'a pas augmenté la productivité des "cols blancs", et il n'est pas besoin d'étude pour constater que l'informatique n'a pas réduit la quantité de papier que l'on est amené à manipuler, mais au contraire l'a fait augmenter. C'est la preuve que la conception de systèmes interactifs de qualité est encore un domaine mal maîtrisé et souvent sous-estimé. On pourrait espérer que cette situation soit en train de changer et que la qualité de l'interface devienne un argument de vente de plus en plus important, grâce au développement de la concurrence sur un marché en pleine expansion. Malheureusement, lorsque le marché est dominé par des acteurs qui ont la mainmise sur les technologies-clé de l'interaction, on ne peut être trop optimiste, d'autant plus que le phénomène de co-adaptation a tendance à rendre les utilisateurs réticents aux changements trop importants.

2.1.1 Etat actuel de la recherche

D'autres styles d'interaction existent ou émergent dans les laboratoires de recherche. On peut notamment citer la parole, la réalité virtuelle, la réalité mixte ou augmentée, l'interaction multimodale, le collecticiel.

L'usage du langage naturel pour converser avec un ordinateur est un vieux rêve qui a donné lieu à d'innombrables travaux, et continue de faire l'objet de nombreux développements. Les systèmes actuels sont utilisés dans certains domaines, comme les pilotes d'avion de chasse, mais peinent à atteindre des performances suffisantes pour atteindre le grand public.

La réalité virtuelle immerge l'utilisateur dans un monde synthétique : tout ce que l'utilisateur perçoit (vue, ouïe et, idéalement, toucher) est produit par le système et inversement toutes ses actions (actions physiques comme parole) sont interprétées par le système. Issue des travaux des militaires dans le domaine des simulateurs de vol, la réalité virtuelle trouve aujourd'hui dans des domaines très spécialisés : médecine, téléopération en milieu hostile, etc.

La réalité mixte ou augmentée procède d'une approche opposée à la réalité virtuelle : au lieu d'immerger l'utilisateur dans un monde synthétique, on intègre l'interface du système informatique dans les objets et l'environnement quotidiens. Par exemple, une feuille de papier peut servir d'interface : une caméra ou une tablette graphique permet de capturer ce que l'on écrit dessus, et un projecteur permet d'afficher des informations sur la feuille. La frontière entre les mondes physiques et informatiques s'efface, rendant l'interface invisible.

L'interaction multimodale cherche à exploiter au mieux les capacités d'action et de perception de l'être humain, en s'intéressant notamment aux combinaisons entre modes d'interaction. Par exemple, en entrée la combinaison du geste et de la parole est plus puissante que chacune des modalités prise indépendamment : je peux dire "mets ça ici" en désignant du doigt le "ça" et le "ici" alors qu'il est difficile d'exprimer la même

commande seulement par la voix ou par le geste. En sortie, la combinaison de l'image et du son permet par exemple d'attirer l'attention (grâce au son) et de communiquer une information sous forme graphique.

Le collecticiel est une extension de la notion de système interactif dans laquelle plusieurs utilisateurs interagissent avec le système afin de communiquer entre eux via le système. Un exemple d'application collecticielle est un éditeur partagé qui permet à plusieurs personnes de modifier, simultanément, le même document, et de voir, en temps réel, les modifications effectuées par les autres personnes. L'intérêt croissant pour le collecticiel vient de la constatation que la plupart de nos activités sont des activités de groupe, alors que l'usage de l'ordinateur est essentiellement individuel.

3 Le contenu de la section

Cette section est constituée de cinq chapitres. Le premier chapitre aborde, à travers l'approche ergonomique, les aspects de conception et d'évaluation des interfaces. Le deuxième chapitre traite des aspects de conception logicielle et plus particulièrement les questions d'architecture logicielle des systèmes interactifs. Le troisième chapitre approfondit les interfaces graphiques, omniprésentes aujourd'hui, à travers notamment une taxonomie des techniques d'interaction graphique. Le quatrième chapitre donne un aperçu du domaine relativement récent mais très actif de la visualisation interactive d'information. Le cinquième chapitre enfin traite du vaste domaine du travail coopératif assisté par ordinateur.

Ces cinq chapitres sont loin d'épuiser le domaine de l'interaction homme-machine. Ils représentent néanmoins un ensemble d'éclairages pertinents dans le contexte des systèmes d'information.

Bibliographie

Shneiderman B., et Plaisant, C. (2005), *Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction* (fourth edition), Addison-Wesley

Preece J., Rogers Y., Sharp H., Benyon D., Holland S. et Carey T. (1994), *Human-Computer Interaction*, Addison-Wesley.

Norman D.A. (1990), *The Design of Everyday Things*, Doubleday.

Jacko J.A. et Sears A. (2003), *The Human-Computer Interaction Handbook*, Lawrence Erlbaum.

4 Index

assistant numérique (PDA), 3
barre de défilement, 3
collecticiel, 4
conception centrée sur l'utilisateur, 2
conception itérative, 2
cycle de vie, 2
drag-and-drop, 3
fenêtre, 3
hypertexte, 3
icône, 3
interaction homme-machine (IHM), 1
interaction iconique, 3
interaction multimodale, 4
interface graphique, 3
interface utilisateur, 1
menu, 3
métaphore du bureau, 3
modèle conceptuel, 1
noyau fonctionnel, 1
réalité augmentée, 4
réalité mixte, 4
réalité virtuelle, 4
système interactif, 1
travail coopératif, 3
utilisabilité, 1
visioconférence, 3
What You See Is What You Get (WYSIWYG), 3