Apport de l'Intelligence Artificielle à la Communication Homme-Machine

J. Coutaz (LGI-IMAG), J. Crowley (LIFIA-IMAG), C. Laugier (LIFIA-IMAG)
BP 53 X
38041 Grenoble Cedex
joelle@imag.fr, jlc@imag.fr, laugier@lifia.imag.fr

Résumé
Cet article étudie les liens entre les techniques de l'Intelligence Artificielle (IA) et le domaine des Interfaces Homme-Machine (IHM). Notre analyse se présente selon deux perspectives : l'Intelligence Artificielle comme outil d'aide à la conception, à la réalisation et à l'évaluation des interfaces ; et les principes de la communication homme-machine au service des systèmes fondés sur l'IA. Sans prétendre à l'exhaustivité, nous illustrons la discussion au moyen de théories, de modèles et d'outils qui empruntent à la fois à ces deux domaines de recherche.

Summary
This article focusses on the relationships between Artificial Intelligence (AI) techniques and Human Computer Interaction (HCI). The analysis is two-fold: first AI is viewed as a tool for designing, constructing and evaluating user interfaces; then HCI principles are considered to improve the usability of AI systems. Without pretending to be exhaustive, the discussion is illustrated with theories, models, and tools that draw upon both AI and HCI.

Mots-Clés : Communication Homme-Machine, Intelligence Artificielle, modèles, théories, outils.

Keywords : Human Computer Interaction, Artificial Intelligence, models, theories, tools.

1. Introduction
La communication homme-machine recouvre l'étude des phénomènes cognitifs, logiciels et matériels intervenant dans l'accomplissement de tâches au moyen d'un instrument. Le dispositif que nous privilégions dans cette discussion est l'ordinateur et ses systèmes informatiques.

En raison de son potentiel fonctionnel, l'ordinateur peut s'entrevoir, non pas comme un simple outil mais comme un collaborateur. Un outil est un instrument sans pouvoir décisionnel. Il est conçu pour être manipulé. A l'inverse, un collaborateur participe activement à la réalisation de l'œuvre commune. Il est conçu pour aider à la résolution de problème. Il est l'extension

électronique des facultés intellectuelles de l'individu tout comme la machine-outil peut servir d'extension mécanique aux facultés musculaires et motrices.

Cette vision de l'ordinateur comme outil-partenaire conduit naturellement au développement d'axes de recherche pluridisciplinaires. En particulier, l'efficacité de l'assistance informatique dépend étroitement de la modélisation des facultés et des mécanismes de résolution du partenaire humain. L'étude de ces aptitudes relève de la psychologie cognitive. A son tour, la psychologie cognitive utilise les techniques de l'Intelligence Artificielle (IA) pour la mise en œuvre de ses modèles. Les relations entre l'IA, la psychologie et la conception d'interface homme-machine (IHM) sont présentées dans la première partie de l'article.

Si la psychologie cognitive sert de fondement à la conception des interfaces, ses théories et modèles sont cependant trop réducteurs pour aboutir à une conception sans défaut dès la première tentative. Dans l'état actuel de nos connaissances, le schéma "conception-réalisation-évaluation" constitue la seule approche réaliste au développement des interfaces. Dans une seconde partie, nous étudions les techniques de réalisation des IHM puis, en troisième partie, les mécanismes d'évaluation de ces interfaces en montrant, pour ces deux classes d'activités, l'apport de l'Intelligence Artificielle.

Nos systèmes informatiques, tel le courrier électronique et les tableurs sont pour la plupart de simples outils électroniques. Cela est acceptable si les services et l'interface correspondent à l'attente des utilisateurs. Mais la complexité des systèmes professionnels et domestiques s'est développée avec l'accroissement de l'automatisation d'un grand nombre de processus, en sorte que l'utilisation d'un système informatisé est devenue de plus en plus cognitive. Dans ces conditions, l'assistance à l'opérateur doit aller au-delà de l'automatisation des tâches de bas niveau. Nous présentons au paragraphe 5 les implications de cette contrainte.

Les applications des techniques de l'IA prennent à leur tour la forme de systèmes informatiques pour lesquels une interface doit être conçue, mise en œuvre et évaluée. Nous analysons dans la dernière partie de cet article le cas des interfaces des systèmes experts. Nous relevons les pièges rencontrés et montrons comment nous les avons contournés pour la conception de l'IHM d'un robot mobile de surveillance.

2. IA, psychologie cognitive et conception d'IHM

La psychologie cognitive appliquée à la communication homme-machine étudie les phénomènes mentaux mis en jeu dans l'accomplissement de tâches au moyen de systèmes informatiques.

L'objectif est de définir des modèles et des théories qui permettent d'expliquer ou de prédire le comportement d'un individu mis en situation d'interaction déterminée.

Il n'existe pas de théorie explicative ou prédictive unique recouvrant tous les aspects du sujet humain. Nous observons une multitude de théories spécifiques dédiées chacune à l'étude d'une classe de phénomènes précis : théories de la résolution de problèmes, théories de la représentation mentale, théorie de l'apprentissage, théorie des langages, et bien d'autres. Toutes présentent un rapprochement avec les fondements de l'IA. Voyons deux exemples : le modèle du "processeur humain" à portée prédictive et analytique, et le modèle de Rasmussen, explicatif et centré sur l'organisation de la connaissance.

2.1. Un canevas de référence prédictif : le modèle du "processeur humain"

Le modèle du "processeur humain" présente le sujet humain comme un système de traitement de l'information. Ce système comprend trois sous-systèmes interdépendants (sensoriel, moteur et cognitif) munis chacun d'un processeur et d'une mémoire dont les caractéristiques (cycle de base, capacité et persistence) permettent de dégager des lois universelles utiles à la conception ou à l'évaluation prédictive d'interfaces. Par exemple, le cycle de base des processeurs est lent (de l'ordre de 70 ms), la capacité de la mémoire à court terme est faible (7±2 mnèmes[1]), et les performances motrices du bras s'expriment de manière formelle au moyen de la loi de Fitts. Ces enseignements, bien qu'approximatifs et réducteurs, permettent par exemple, de définir un taux de rafraîchissement de l'écran qui soit en accord avec le cycle de base du processeur visuel, de veiller à la surcharge cognitive et trouver des artifices pouvant servir d'extension à la mémoire à court terme, ou encore de calculer le temps passé à déplacer la souris dans une interface de type manipulation directe.

A leur modélisation structurelle en trois sous-systèmes, Card, Moran et Newell associent des principes opératoires qui mettent en évidence leurs liens avec l'IA. Parmi ces principes, nous relevons le fonctionnement cyclique du processeur cognitif selon le modèle "Reconnaissance-Action". Dans la phase de reconnaissance, le processeur cognitif détermine les actions de la mémoire à long terme en relation avec des mnènes de la mémoire à court terme. Dans la seconde phase, l'exécution, ces actions sont effectuées provoquant une modification du contenu de la mémoire à court terme. Nous relevons une correspondance directe entre la notion de mémoire à court terme et celle de mémoire de travail des systèmes de production ; de même, peut-on mettre en relation la mémoire à long terme et une base de règles. Un second élément directeur du modèle du "processeur humain" est le principe de rationnalité. Selon ce principe, un individu agit de manière rationnelle c'est-à-dire met en relation les buts à atteindre, la structure de la tâche à réaliser et la

connaissance. Cette définition jette les bases théoriques pour les techniques de résolution de problème en IA.

2.2. Un canevas de référence explicatif : le modèle de Rasmussen

Rasmussen distingue trois niveaux de comportement d'un sujet humain en interaction avec un système : les habiletés (skill-based behavior), les procédés (rule-based behavior), et le savoir (knowledge-based behavior) [Rasmussen 86].

Les habiletés permettent des opérations rapides du type stimuli-réponse. Elles sont à la fois sensori-motrices et cognitives. Elles s'acquièrent par un entraînement intensif. Les procédés utilisent des plans, des règles et des procédures prêts à l'emploi. Ce niveau correspond à la mémoire anecdotique. Le savoir permet de prendre des décisions et de construire des plans de résolution.

Les connaissances du niveau procédé est celui que l'on formalise le mieux au moyen des systèmes experts à partir des explications d'un expert. Le modèle de Rasmussen permet d'étudier les mécanismes humains de traitement de l'information, et notamment d'expliquer les erreurs.

3. IA et réalisation d'IHM

La mise en œuvre des IHM relève du génie logiciel. En génie logiciel, la conception itérative se traduit par l'usage de la modularité. Si les principes de cette technique sont connus, leur application est difficile à maîtriser en l'absence de modèle de décomposition. En interface homme-machine, un consensus s'est formé autour d'un modèle de base, esquisse de l'organisation générale de tout logiciel interactif. Comme le montre la figure 1, un système interactif est structuré en trois composants :

- l'application (ou noyau fonctionnel) réalise les concepts du domaine (par exemple, la gestion experte d'un réseau d'ordinateurs) ;

- le composant de présentation est un ensemble organisé d'objets interactifs. Ces objets définissent la partie perceptible du système et restituent à l'utilisateur les concepts du domaine (par exemple des icônes représentant des stations de travail et des segments de droite concrétisant des liaisons réseau) ;

- le contrôleur de dialogue est responsable de la gestion des relations et des échanges entre l'application et le composant de présentation : enchaînement des tâches, mise en correspondance entre concepts du domaine et objets interactifs.

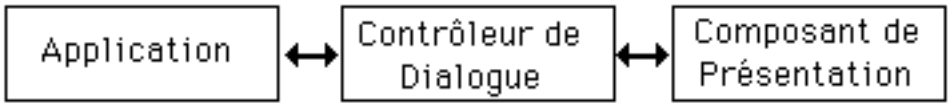

Figure 1 : Le modèle d'architecture de base. Une flèche à double sens traduit l'existence d'échanges d'informations entre deux composants.

Les premières applications de ce modèle n'ont pas abouti au succès escompté. L'expérience nous conduit aujourd'hui à une vision plus dynamique du processus de l'interaction au moyen d'architectures multiagent. Nous décrivons brièvement ci-dessous l'essence de ces architectures et les outils de construction correspondants.

3.1. Architecture multiagent

Un agent, au sens IHM, est un système de traitement de l'information : il possède des récepteurs et des émetteurs pour acquérir et produire des événements ; il dispose d'une mémoire à deux niveaux : l'une pour enregistrer les événements détectés par les récepteurs, l'autre pour mémoriser un état ; il comprend un processeur cyclique spécialisé dans le traitement d'une ou plusieurs classes d'événements. Le résultat d'un traitement se traduit généralement par un changement d'état de l'agent et par l'émission de nouveaux événements. L'état fournit à tout instant une image de l'évolution d'un agent.

Selon le modèle multiagent PAC [Coutaz 87], un agent revêt plusieurs facettes : une présentation, une abstraction et un contrôle. Un assemblage de tels agents réalise les composants "contrôleur de dialogue" et "présentation" du modèle de base. A la vision dichotomique et séquentielle du modèle de base, les architectures multiagent opposent une organisation fortement modulaire, des traitements parallèles et une communication par événements. Cette approche facilite la conception itérative de l'interface et est adaptée au comportement opportuniste de l'utilisateur [Hayes-Roth 79].

On notera que les agents considérés dans nos architectures IHM sont à rapprocher des objets de la programmation par objet. Contrairement à la définition pratiquée en IA, ces agents n'ont pas de buts explicites. Les interfaces graphiques de type manipulation directe pour lesquelles ces modèles ont été mis au point, ne justifient pas de véhiculer cette notion dans l'interface proprement dite.

Avec l'apparition des interfaces multimodales [Coutaz 92] où les actes d'interaction peuvent être ambigus, il sera sans doute nécessaire d'enrichir nos agents de cette dimension intéressante.

De même, les agents des architectures IHM pour interfaces graphiques communiquent par messages. Ils ne partagent pas de mémoire commune. Au vu des premières expériences en interaction multimodale, il semble que la communication par tableau noir usitée en IA facilite la combinaison synergique de plusieurs modalités [Riecken 91]. Ainsi, la combinaison de l'expression orale "mets ça là" et des désignations par clic souris peut-elle s'envisager par mise en commun des informations sur un tableau noir. D'autres expériences d'interfaces multimodales fondées sur le modèle PAC, indiquent que la synergie peut être réalisée sans mémoire commune avec l'avantage d'une représentation explicite des niveaux d'abstraction dans l'interface [Gourdol 92].

3.2. IA et Outils de construction d'IHM

Nous avons identifié deux catégories d'outils pour la construction d'interface faisant usage des techniques des systèmes experts : un générateur d'architecture, PAC-Expert, et un générateur d'objets interactifs, Peridot.

A partir d'une description du comportement d'une interface, PAC-Expert produit automatiquement une représentation graphique des agents PAC nécessaires à la mise en œuvre de cette interface [Nigay 92]. PAC-Expert est réalisé en Clips sur Macintosh. Sa base de règles modélise les règles heuristiques que notre équipe a su identifier expérimentalement. L'intérêt de cet outil est de mettre à disposition du non spécialiste un savoir complexe sur l'identification des agents et leurs relations dans une architecture multiagent.

Peridot [Myers 87] découvre au moyen de règles d'inférence la classe de l'objet interactif que le concepteur est en train de construire. Comme pour les systèmes usuels de spécification d'interfaces, la puissance de Peridot dépend étroitement de sa base de connaissance. Pour les systèmes classiques, la connaissance est celle des objets interactifs prédéfinis (par exemple, les menus, les boutons, les formulaires). Pour Peridot, qui ne dispose pas de mécanisme d'apprentissage, la connaissance est l'ensemble des règles qui permet de déterminer la classe de l'objet en cours d'élaboration. Bien que limité, ce prototype a eu le mérite d'ouvrir la voie à un nouvel axe de recherche : la programmation par démonstration Myers 92].

4. IA et évaluation d'IHM

L'évaluation des interfaces homme-machine se pratique selon deux stratégies complémentaires : la simulation et l'observation. La première, prédictive, a lieu avant la mise en œuvre du prototype ; la seconde permet un constat sur le prototype lui-même.

4.1. Modèles prédictifs

Les modèles prédictifs s'appuient sur les théories fondamentales de la psychologie cognitive. Nous citerons pour l'essentiel ICS, PUM et GOMS.

La théorie "Interactive Cognitive Subsystems" (ICS) peut se voir comme un raffinement du modèle du "processeur humain" [Barnard 87]. Chaque sous-système maintient un historique des informations reçues dans une mémoire locale et dispose de deux opérateurs, "Copy" et "Transform". Copy permet la recopie des informations dans la mémoire locale tandis que Transform effectue les traitements spécifiques au sous-système à partir des informations reçues et des informations gérées localement. Tous les sous-systèmes sont reliés sur un bus commun de communication et effectuent leurs traitements en parallèle.

ICS distingue huit sous-systèmes : les sous-systèmes "Acoustic" et "Visual" acquièrent respectivement les informations d'origine sonore et visuelle ; le "Morphono-lexical" est chargé de déterminer l'organisation structurelle de l'information fondée sur le langage (par exemple, la structure d'une phrase) ; le sous-système "Objet" effectue un travail identique pour l'information relevant de l'espace visuel (par exemple, les relations spatiales des éléments d'un dessin) ; le sous-système "Propositionnel" maintient une description sémantique des référents rendant explicites leurs propriétés et leurs relations ; "l'Implicationnel" contient, construit et applique les schémas de résolution ; le "Limb" gère les mouvements du corps ; et "l'Articulatory" produit des messages sonores.

ICS et les principes cognitifs sous-jacents ont fait l'objet d'une mise en œuvre sous forme d'un système expert. A partir de la description de la tâche à réaliser au moyen d'une interface homme-machine donnée, le système identifie les sous-systèmes et les échanges d'information impliqués dans l'accomplissement de cette tâche. Si ces échanges sont complexes et présentent de nombreux cycles entre les niveaux propositionnels et implicationnels, le système note la possibilité de surcharge cognitive et en informe le concepteur.

Alors qu'ICS s'appuie sur une architecture générale multiprocesseur, "Programmable User Models" (PUM) restreint l'analyse à la planification [Young 90]. L'utilisateur de PUM, c'est-à-dire

un concepteur d'interface homme-machine, spécifie au moyen d'un langage idoine ce que l'utilisateur doit connaître pour accomplir une classe de tâches représentatives. Cette description, qui inclut des connaissances sur le domaine et sur les caractéristiques de l'interface, est compilée sous forme de règles SOAR. Cet ensemble de règles représente l'aptitude supposée de l'utilisateur à exécuter la tâche avec l'interface spécifiée. L'architecture cognitive PUM fait de son mieux pour produire un plan de résolution d'une tâche donnée. Une planification infructueuse doit attirer l'attention du concepteur sur un défaut potentiel d'utilisabilité ou une difficulté d'apprentissage.

A la différence de PUM qui construit dynamiquement un plan de résolution, GOMS [Card 83] et ses dérivés telle la "Théorie de la Complexité Cognitive" (CCT) [Kieras 85], s'appuient sur une décomposition explicite des tâches en sous-tâches. Cette décomposition hiérarchique, statique, est supposée représenter l'approche de résolution de l'utilisateur. Le GOMS original est un pur modèle prédictif des performances qui ne tient pas compte des erreurs. Plusieurs études ont cherché à étendre GOMS à la prédiction des erreurs liées notamment à la surcharge cognitive [Lerch 89]. La Théorie de la Complexité, quant à elle, permet de comparer les mérites relatifs de plusieurs conceptions en termes de transfert de connaissances et de difficulté d'apprentissage. Nous constatons que GOMS, PUM et CCT s'appuient tous sur une décomposition hiérarchique des tâches, version simplifiée des théories de la planification développées en IA.

En prolongement des modèles théoriques présentés ci-dessus, on trouve des logiciels experts capables d'effectuer la critique d'une IHM. En vérité ces systèmes d'évaluation prédictifs sont contraints d'adopter un "profil bas" : la portée des services offerts est limitée ou bien la modélisation s'appuie sur des hypothèses réductrices. Comme exemple de service ciblé, citons KRI (Knowledge-based Review of user Interface) [Löwgren 90]. Ce système effectue l'analyse d'une description formelle de l'interface. Pour cela, il utilise une base de connaissances expertes ainsi que des règles exprimant des recommandations générales d'ergonomie (de type Smith&Mosier). KRI présente ses critiques sous forme de commentaires et propose des améliorations. Toutes les indications fournies relèvent de l'aspect syntaxique de l'interaction. La modélisation de la tâche, et plus généralement toute activité cognitive d'ordre supérieur, sont ignorées.

Les modèles prédictifs ont l'avantage de détecter des anomalies de conception avant la mise en œuvre qui, malgré l'avancée des outils de prototypage, reste coûteuse. Ils ont aussi leurs inconvénients : spécifier les données nécessaires au modèle peut prendre autant de temps que programmer l'interface lui-même. En outre, ces données s'appuient sur des supposés, non pas sur des certitudes. Inversement, les évaluations expérimentales raisonnent sur des données observées.

4.2. Evaluations expérimentales

L'observation, qui constitue la seconde stratégie d'évaluation en IHM, capture des données réelles centrées sur le comportement perceptible de l'utilisateur. Les hypothèses de l'approche prédictive sont alors remplacées par des faits. De ce point de vue, l'évaluation tend à gagner en précision mais elle intervient après l'étape de conception, une fois le prototype réalisé. L'évaluation fondée sur la capture du comportement perceptible de l'utilisateur a deux finalités possibles : l'adaptativité et la critique. L'adaptativité est la capacité du système à s'adapter automatiquement aux conditions de l'interaction. Cet aspect sera abordé au paragraphe 5 sur l'assistance à l'opérateur.

Nous ne connaissons pas de critique fondé sur les observations réelles. Un tel système est en cours d'élaboration dans notre laboratoire de l'IMAG [Balbo 92, Balbo 93]. Ce critique comprend quatre facettes :

- un modèle de tâche définit la référence d'utilisation optimale de l'interface. A la différence des décompositions hiérarchiques usuelles, nous avons opté pour un graphe plat décrivant la navigation possible dans l'espace des commandes ;
- les actions physiques de l'utilisateur (touches clavier, souris) sont enregistrées et synthétisées en termes de commandes ;
- l'analyse du graphe de navigation réel permet d'identifier des "patterns" de comportement en appliquant la technique du "Maximal Repeating Pattern Analysis" [Sochi 91] ;
- la comparaison entre le graphe de référence et la navigation effective met en évidence des anomalies de conception dans l'interface. Cette comparaison s'appuie sur des règles heuristiques identifiées de manière expérimentale. Par exemple, une fenêtre qui serait ouverte à l'initiative du système puis immédiatement fermée ou déplacée par l'utilisateur serait déclarée encombrante ou non informative dans le contexte actuel. Nous voyons surgir le problème bien connu en IA, d'extraction de la connaissance experte.

5. IA et assistance à l'opérateur

L'expression "interface intelligente" nous paraît surfaite et dangereuse. Nous préférons le terme "interaction intelligente" [Boy 92] qui traduit une collaboration réussie entre l'utilisateur et son système. L'objectif n'est pas de donner au système l'apparence d'un comportement qui satisferait le test de Turing [Turing 50], mais de doter ce système de capacités d'assistance adaptées aux besoins de l'utilisateur. Ces capacités sont multiples. Nous en citerons deux : la migration de tâche et la négociation. L'une et l'autre s'appuient sur un modèle embarqué de l'utilisateur, de la tâche et du domaine. Ces trois points font l'objet des paragraphes suivants.

5.1. Migration de tâche

La migration concerne le glissement automatique des responsabilités entre le système et l'utilisateur pour la réalisation de certaines tâches. Ce problème se trouve souvent abordé dans les systèmes de contrôle de processus où les plans de conduite sont généralement bien cernés. Un exemple illustratif est Opale, un système de copilotage capable de détecter les incohérences entre le plan prévu et le plan effectif [Hardman 89] et de prendre les initiatives appropriées.

Concernant les tâches de conception telle l'édition de document, quelques expérimentations simples ont été effectuées. Eager en est un exemple [Cypher 91]. Ce système, réalisé au-dessus d'HyperCard, détecte les tâches répétitives et, par suite, construit automatiquement les macrocommandes correspondant à ces tâches. A l'inverse d'Opale, la mise en œuvre relève des techniques algorithmiques usuelles.

De manière générale, la migration de tâche doit s'appuyer sur la construction incrémentale de connaissances contextualisées. G. Boy montre comment il est possible de représenter cette connaissance et de prendre en compte la dimension incrémentale au moyen des "blocs de connaissance". Il applique cette technique de manière intéressante à un domaine en plein essor : celui des hypertextes pour indexer des documents en contexte [Boy 92].

5.2. Négociation et robustesse du dialogue

La négociation est un métadialogue le plus souvent engagé par le système en vue de lever les ambiguïtés. Elle tend, comme dans Sphinx [Lee 90], à rendre le dialogue plus robuste. Elle est souvent utilisée dans les systèmes de reconnaissance de la langue naturelle pour pallier les insuffisances technologiques.

5.3. Modèle embarqué de l'utilisateur

Un modèle embarqué de l'utilisateur est une représentation explicite et dynamique de tous les aspects de l'utilisateur pouvant être utiles au comportement adaptatif du système (telles que la migration de tâche et la négociation).

Les caractéristiques de l'utilisateur sont de deux sortes : statiques et dynamiques. Les premières varient peu au cours du temps et sont généralement mesurables (par exemple, la vitesse de frappe, la langue natale). Les secondes tiennent compte de l'état mental et des buts actuels. Dans les deux cas, la nature des caractéristiques à considérer dépend de la question : "un modèle, pour faire quoi?"

Nous avons vu deux applications de modèles utilisateur : la migration de tâche et la négociation. Ces deux exemples suffisent à montrer la diversité des objectifs. L'un concerne la résolution de tâche (c'est-à-dire, le niveau d'abstraction le plus haut) alors que le second concerne la communication (c'est-à-dire, le niveau d'abstraction le plus bas). On se reportera aux travaux effectués dans les projets MMI2 [Wilson 91] et Cubricon [Neal 91] où la combinaison d'un modèle de l'utilisateur, d'un modèle de tâche et d'un modèle du domaine assure une interaction multimodale adaptative.

La définition du contenu d'un modèle de l'utilisateur fait actuellement l'objet de recherches actives. D'autres difficultés se présentent : comment ce modèle s'intègre-t-il dans nos architectures usuelles? L'utilisateur a-t-il connaissance de l'existence du modèle? Dans l'affirmative, quel contrôle peut-il opérer? Comment assurer le caractère confidentiel du modèle vis-à-vis de tierces personnes?

Une chose semble cependant acquise : la conception et la mise en œuvre de modèles embarqués de l'utilisateur reposent sur des compétences en psychologie cognitive, en ergonomie et en IA.

6. Applications IA et IHM

Jusqu'ici, nous avons étudié l'apport de l'IA au domaine des interfaces. Ici, nous prenons le parti inverse avec l'analyse critique des systèmes IA en regard des principes de l'IHM. Nos exemples sont tirés du domaine des systèmes experts et de la robotique mobile.

6.1. Principes de l'IHM

Dans un système interactif, le noyau fonctionnel et son IHM forment un tout cohérent. L'interface ne vient pas après coup comme élément décoratif. Or, jusqu'à ces dernières années, les développeurs de systèmes experts mettaient l'accent sur l'acquisition de la connaissance experte et sur sa modélisation informatique. L'attention était portée sur le noyau fonctionnel et ses performances expertes laissant au second plan les principes élémentaires de l'interaction homme-machine.

On trouvera dans [Abowd 92] une description détaillée des propriétés souhaitables d'un système. Dans ce qui suit, nous allons restreindre l'analyse aux principes d'"honnêteté", de "non préemption", de "représentation multiple d'un concept", et d'"égale opportunité". Nous allons les illustrer avec la conception de l'IHM du robot mobile de surveillance Mithra [Crowley 86, Crowley

87]. On trouvera dans Bass [91] la description détaillée de toutes les étapes de conception et de mise en œuvre de l'IHM du robot Mithra.

6.2. Le robot mobile de surveillance

La tâche de l'utilisateur opérant avec le robot Mithra est triple. Elle comprend :

- la description de l'environnement d'évolution du robot,
- la spécification d'une mission de surveillance,
- le contrôle de l'exécution d'une mission.

La description de l'environnement consiste à fournir les données cartographiques du domaine (par exemple, les murs du local à surveiller), à identifier des routes, et des lieux particuliers (par exemple, la cuisine), à préciser un type de comportement à observer en certains emplacements (par exemple, suivre l'intrus qui vient d'être détecté). Cette description, fournie par l'opérateur, est interprétée par le système de surveillance qui construit un modèle global de l'environnement.

La spécification d'une mission de surveillance est une liste de tâches que le robot devra accomplir. Par exemple, "quitter la niche à 23 h, patrouiller le local jusqu'au matin en restant le plus silencieux possible, et vérifier la cuisine plusieurs fois en économisant l'énergie". Cette spécification, fournie par l'opérateur, est interprétée par le système de surveillance qui construit un plan d'actions en tenant compte des contraintes temporelles et environnementales.

Le contrôle de l'exécution de la mission inclut l'observation des actions du robot (pour s'assurer que le robot accomplit sa tâche correctement), la fourniture de conseils ou de directives (pour guider le robot lorsqu'il rencontre une situation non prévue dans son plan d'actions), ou encore la modification d'une partie de la mission.

Ces trois activités (définition d'environnement, spécification et contrôle d'exécution de mission) doivent être menées de manière interactive par des non informaticiens.

6.3. Principe d'"honnêteté"

L'"honnêteté" est la capacité de l'interface à montrer à l'utilisateur tout changement d'état interne pertinent. On entend par état pertinent, l'ensemble des informations utiles (ni plus, ni moins) à la situation présente.

Dans l'exemple de la figure 2, l'opérateur édite les caractéristiques d'un mur par manipulation directe. Au moyen de la souris, extension électronique de la main, l'opérateur corrige le tracé sans

intermédiaire. Il agit directement sur la représentation graphique du concept de mur. Un tracé élastique suit les mouvements facilitant ainsi le contrôle du geste.

Si la manipulation directe est reconnue pour faciliter l'apprentissage, elle a le désavantage, dans notre cas, de manquer de précision. Nous avons contourné cette difficulté en montrant à l'opérateur les caractéristiques actualisées du mur manipulé. Le formulaire en bas et à gauche de la figure 2, indique de manière honnête et précise l'état interne de ce mur.

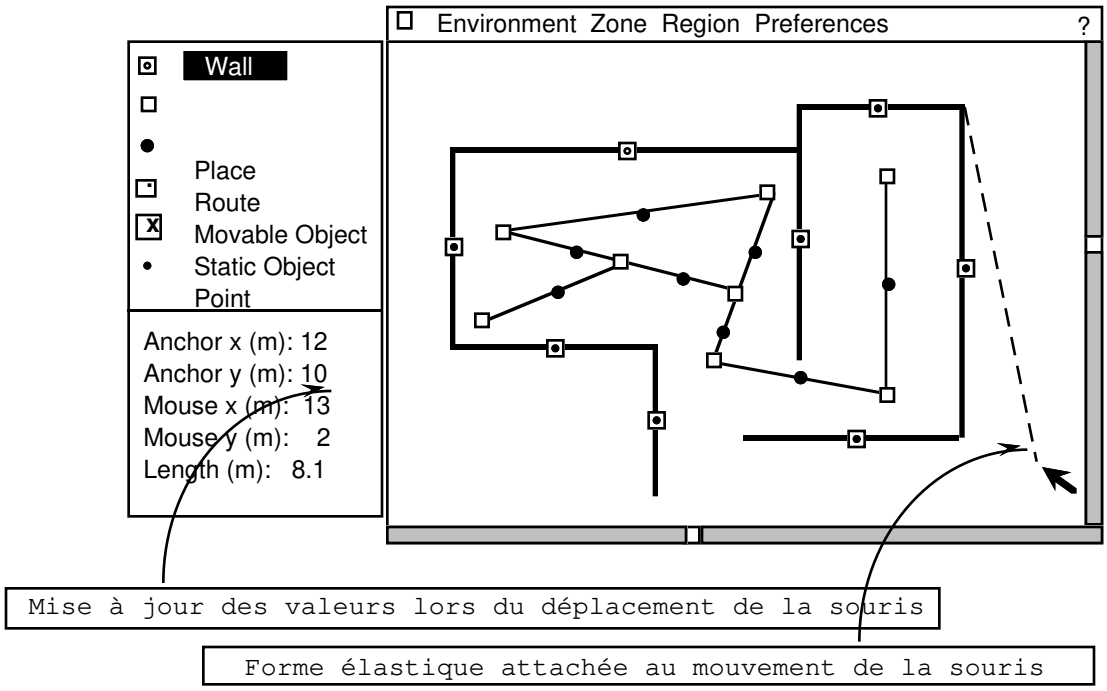

Figure 2 : Robot mobile et illustration des principes d'observabilité et d'égale opportunité.

Le principe d'honnêteté tend cependant à s'opposer à la mission des systèmes experts utilisés en contrôle de processus lorsque l'objectif est de masquer et de résoudre les cas de dysfonctionnement. Dans ces systèmes, conçus selon le principe que Rasmussen dénomme "defense in depth design", les erreurs sont accumulées par le système et non montrées à l'opérateur. A la différence des systèmes honnêtes, les erreurs sont latentes jusqu'à ce que les limites de compétence du système soient atteintes. Bien souvent, l'opérateur est averti trop tardivement et de manière sous-informée. En particulier, le cheminement du raisonnement électronique est perdu et sans explications claires, l'opérateur se retrouve en surcharge cognitive le conduisant éventuellement à des prises de décisions inadaptées.

Dans notre robot mobile Mithra, le planificateur et l'exécuteur de mission, c'est-à-dire une partie du noyau fonctionnel, sont capables d'expliquer les cas de mission impossible. Par exemple, le planificateur, qui détecte l'impossibilité de respecter une contrainte temporelle, en informe l'opérateur de manière synthétique au moyen d'un témoin. Les détails précis du problème sont explicités dans une fenêtre de dialogue ouverte à la demande de l'opérateur en ouvrant le témoin.

6.4. Principe de "non préemption"

Un système est non préemptif lorsque l'utilisateur a l'initiative du dialogue et que les possibilités offertes à cet utilisateur sont multiples. Par exemple, une boîte de dialogue, qui impose une action précise, est préemptive. De même, les interfaces de type question-réponse sont préemptives. Si la gestion du dialogue s'en trouve simplifiée, la liberté de résolution de l'utilisateur s'en trouve diminuée.

De nombreux systèmes experts ont appliqué le modèle question-réponse. Dans notre robot mobile de surveillance, l'interaction est toujours à l'initiative de l'opérateur. Les tâches de description de l'environnement et de spécification des missions exigent une part de création de la part de l'opérateur. Elles doivent donc être sous le contrôle de l'utilisateur. A l'inverse, en mode exécution, le robot dirige les opérations. Toutefois, l'opérateur peut à tout instant interrompre l'activité du robot. Il a droit de préemption.

6.5. Principe de "Représentation multiple d'un concept"

La représentation multiple consiste à offrir plusieurs formes de présentation d'un même concept. Chaque restitution est adaptée à un type de tâche de précis.

La figure 2 montre un premier exemple de représentation multiple pour le concept de mur. Celui-ci est perceptible sous la forme d'un segment de droite ou d'un formulaire. Chaque représentation correspond à un besoin distinct : besoin d'une d'ensemble exprimant des relations spatiales et besoin en précision.

La figure 3 illustre une seconde application du principe de représentation multiple en vue d'offrir plusieurs niveaux de détails. Dans cet exemple, l'opérateur a ouvert deux fois le même environnement de nagigation. Dans la fenêtre de droite, tous les détails de l'environnement sont perceptibles et manipulables. Dans la fenêtre de gauche, les routes et les emplacements ont été supprimés avec l'objectif, sans doute, de concentrer l'attention sur les murs. Toute manipulation de mur dans une fenêtre est reflétée de manière cohérente dans la seconde : le système est honnête.

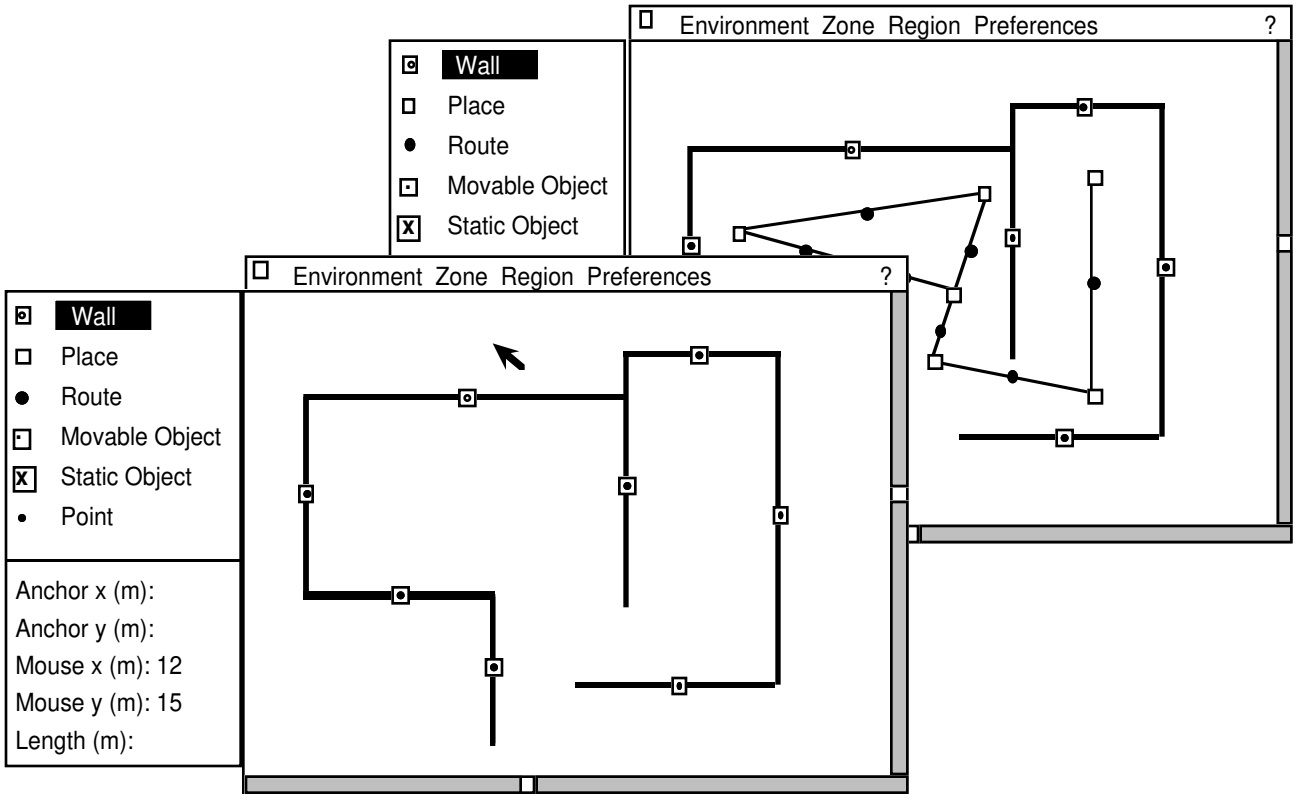

Figure 3 : Robot mobile et illustration du principe de représentation multiple d'un concept.

6.6. Principe d'"Egale opportunité"

L'"égale opportunité" est la faculté pour l'utilisateur de choisir la nature des entrées. Le système effectue le complément en sortie en conséquence.

Par exemple, dans le cas de l'édition du mur de la figure 2, l'opérateur peut choisir de dessiner et le système calcule les caractéristiques du mur ; ou bien l'utilisateur saisit les valeurs dans le formulaire, et le système dessine. Les tableurs appliquent également ce principe : l'utilisateur choisit les cases à remplir. Le système complète.

7. Conclusion

Nous venons de présenter les liens entre les techniques de l'IA et le domaine des IHM selon deux perspectives : l'Intelligence Artificielle comme outil d'aide à la conception, à la réalisation et à l'évaluation des interfaces ; et les principes de la communication homme-machine au service des systèmes fondés sur l'IA.

Nous constatons pour l'essentiel que les noyaux de systèmes experts et les techniques de planification constituent les outils privilégiés des développeurs de théories, de modèles et d'outils pour l'interface homme-machine. Les réseaux de neurones ont leur utilisation mais seulement en reconnaissance de modalité, par exemple le geste [Fels 90].

Les concepts avancés de l'IA et notamment ceux liés à l'apprentissage automatique, à la représentation de l'incertitude, et à la logique temporelle, ne sont pas vraiment considérés en IHM. Et pourtant, la conception et la mise en œuvre de modèle dynamique embarqué de l'utilisateur devraient utilement exploiter de telles techniques.

Nous constatons une fois encore que la mise en commun de savoir techniques et conceptuels pluridisciplinaires est une condition nécessaire aux avancées scientifiques. L'IA et l'IHM sont de bons candidats pour une association fructueuse.

6. Références

[Abowd 92]
G. Abowd, J. Coutaz, L. Nigay, "Structuring the Space of Interactive System Properties", IFIP TC2/WG2.7 Working Conference on Engineering for Human Computer Interaction, Elsevier Publ., Ellivuori, Finland, August, 1992.

[Balbo 92]
S. Balbo, J. Coutaz, "Un pas vers l'évaluation automatique des interfaces homme-machine", ERGO-IA'92, Biarritz, 1992.

[Balbo 93]
S. Balbo, J. Coutaz and D. Salber, "Towards Automatic Evaluation of Multimodal User Interfaces", Workshop on Intelligent User Interfaces '93.

[Barnard 87]
P.J. Barnard, "Cognitive Resources and the Learning of Humnan-Computer Dialogs", in Interfacing Thought, Cognitive Aspects of Human-Computer Interaction, J.M. Carroll Ed., MIT Press Publ., 1987, pp.112-158.

[Bass 91]
L. Bass, J. Coutaz, "Developing Software for the User Interface", Addison Wesley, 1991.

[Boy 92]
G. Boy, "Méthodologies et Outils pour l'Interaction Cognitive Homme-Machine", Thèse d'habilitation à diriger des recherches, Université Pierre et Marie Curie, 4 Pl. Jussieu, 75252 Paris cedex 5, 1992.

[Card 83]
S.K. Card, T.P. Moran & A. Newell, "The psychology of Human Computer Interaction", Lawrence Erlbaum Associates, 1983

[Coutaz 87]
J. Coutaz, "PAC: an Implementation Model for Dialog Design", Proceedings of the Interact'87 conference, Stuttgart, H-J. Bullinger, B. Shackel ed., North Holland, september 1987, pp. 431-436.

[Coutaz 92]
J. Coutaz, 'Multimedia and Multimodal User Interfaces: A Taxonomy for Software Engineering Research Issues", East-West HCI'92, St Petersburg, August, 1992.

[Crowley 86]

J. L. Crowley et J. Coutaz, "Navigation et Modélisation pour un Robot Mobile", T.S.I., October 1986.

[Crowley 87]
J. L. Crowley, "Coordination of Action and Perception in a Surveillance Robot", IEEE Expert, Novembre 1987.

[Cypher 91]
A. Cypher, “EAGER: Programming Repetitive Task by Example”, Proceedings of CHI’91 (New Orleans, Apr. 28-May 2). ACM, New York, 1991, pp. 445-446.

[Fels 90]
S.S. Fels: Building Adaptative Interfaces with Neural Networks: the Glove-Talk Pilot Study; University of Toronto, Technical Report, CRG-TR-90-1, February, 1990.

[Gourdol 92]
A. Gourdol, L. Nigay, D. Salber, J. Coutaz, “Two cases studies of software architecture for multimodal interactive systems: VoicePaint and a Voice enabled graphical notebook”, IFIP TC2/WG2.7 Working Conference on Engineering for Human Computer Interaction, Ellivuori, Finland, August 10-14, 1992.

[Hardman 89]
B. Hardman Hoshstrasser, N. D. Geddes, “OPAL, Operator Intent Inferencing for Intelligent Operator Support Systems”, Technical Report, Search Technology, Inc., 4725 Peachtree Corners Circle, Norcross, GA 30092

[Hayes-Roth 79]
B. Hayes-Roth & F. Hayes-Roth, “A Cognitive Model of Planning”, Cognitive Science 3, pp. 275-310, 1979.

[Kieras 85]
D. Kieras, P.G. Polson “An Approach to the Formal Analysis of User Complexity”, International Journal of Man-Machine Studies, 22, 1985, pp. 365-394

[Lee 90]
K. F. Lee, R. Reddy, H. Siao-Wuen, “An overview of the SPHINX speech recognition system”, IEEE Trans. Acous. Speech, and Sig. Processing, 38(1), January, 1990, pp. 34-45

[Lerch 89]
F.J. Lerch, M.M. Mantei, J.R. Olson, “Skilled financial planning: The Cost of Translating Ideas into Acions”, in Proceedings of CHI’89, ACM Press, 1989, pp. 121-126.

[Löwgren 90]
J. Löwgren & T. Nordqvist, “A Knowledge-Based Tool for User Interface Evaluation and its Integration in a UIMS”, Human-Computer Interaction-INTERACT'90, pp. 395-400.

[Myers 87]
B.A. Myers, “Creating dynamic interaction techniques by demonstration”, Proceedings of the ACM+GI’87 Conference, Toronto, April 1987, pp. 271-278.

[Myers 92]
B.A. Myers, “Demonstrational Interfaces: A Step Beyond Direct Manipulation”, IEEE Computer, August, 1992, pp. 61-73.

[Neal 91]
J. Neal, C. Thielman, K. Bettinger, J. Byoun, "Multi-modal References in Human-Computer Dialogue", Proceedings of AAAI-88, 1988, pp. 819-823.

[Nigay 92]
L. Nigay, J. Coutaz, “PAC-Expert: Towards an automatic generation of Dialogue Controllers”, Rapport de recherche, Laboratoire de Génie Informatique, IMAG RR XX, juin, 1992.

[Rasmussen 86]
J. Rasmussen, “Information processing and Human-Machine Interaction-An approach to cognitive engineering”. North Holland Series in System Science and Engineering, A.P. Sage, Ed., 1986.

[Riecken 91]
R.D. Riecken, “Human-Machine Interaction and Perception”, in Multimedia Interface Design, M.M. Blattner and R. Dannenberg eds., ACM Press, 1991, pp. 319-338.

[Sochi 91]
A. Sochi & D. Hix, “A study of Computer-Supported User interface Evaluation Using Maximal Repeating Patern Analysis”, in Proceedings of the CHI’91 Conference, ACM Press, pp. 301-305, 1991.
[Turing 50]
A.M. Turing, “Computing Machinery and Intelligence”. Mind, Oxford University Press, Oxford, England, pp. 433-460.
[Young 90]
R.M. Young & J. Whittington, “Interim Report on the Instruction Langage”, AMODEUS Project Document: Deliverable D5, ESPRIT Basic Research Action 3066, 11th August 1990.
[Wilson 91]
M. Wilson, The first MMI2 Demonstrator, "A Multimodal Interface for Man Machine Interaction with Knowledge Based Systems", Deliverable D7, ESPRIT project 2474 MMI2, Tech. report Rutherford Appleton Laboratory, Chilton Didcot Oxon OX11 0QX, RAL-91-093, 1991.

---

[1] A mnème (en anglais “chunk”) est une unité cognitive.