

Chapitre 1

Ingénierie de l'Interaction Homme-Machine : Rétrospective et Perspectives

Gaëlle CALVARY

CLIPS-IMAG, BP 53, 38041 Grenoble Cedex 9, France

Tel : 04 76 51 48 54

Fax : 04 76 44 66 75

EMail: Gaelle.Calvary@imag.fr

[URL:http://iihm.imag.fr/](http://iihm.imag.fr/)

1.1 Introduction

Avec les avancées des réseaux sans fil et les prouesses en miniaturisation, Internet devient accessible depuis les téléphones portables. Une même activité, telle que la lecture du courrier électronique ou la consultation de sites Web, peut ainsi, désormais, être menée en des lieux distincts sur des supports électroniques variés. Mais si cette facilité répond à un nomadisme croissant, l'ascension technologique qu'elle représente suscite, à la fois, enthousiasme, terreur et résignation [COU 98]. "Je crois fermement que l'espèce humaine va construire un objet pensant" déclarait en 1993 le Professeur Edelman [EDE 93]. Cet objet "représentera une révolution, une avancée de la sensibilité humaine. Il sera doté de senseurs qui découperont notre monde d'une façon différente de ce que fait notre cerveau et nous permettra de dépasser nos limitations. Imaginez une chose pensante avec laquelle vous pouvez communiquer ! [...] Il y a des gens que cela effraie. D'autres, comme moi, pensent que c'est captivant" [EDE 93].

Depuis, cette vision se confirme. La tendance est effectivement aux environnements perceptifs. Nos objets quotidiens s'augmentent d'électronique ; nous

2 Titre de l'ouvrage

assistent dans nos tâches ; voire nous y précèdent. Pour exemples, le réfrigérateur qui commande les produits manquants (Figure 1.1a) ; la montre caméra-appareil-photo (Figure 1.1b) ou le roboticien qui répond à la voix de son maître (Figure 1.1c). Au-delà de ces produits, il faut voir en cette innovation trois grandes tendances : l'évanescence de l'ordinateur ; le développement d'objets nomades ; leur large diffusion, en partie, due à la baisse des prix, baisse des prix permettant l'intégration de ces technologies dans le monde des jouets (Figure 1.1c).

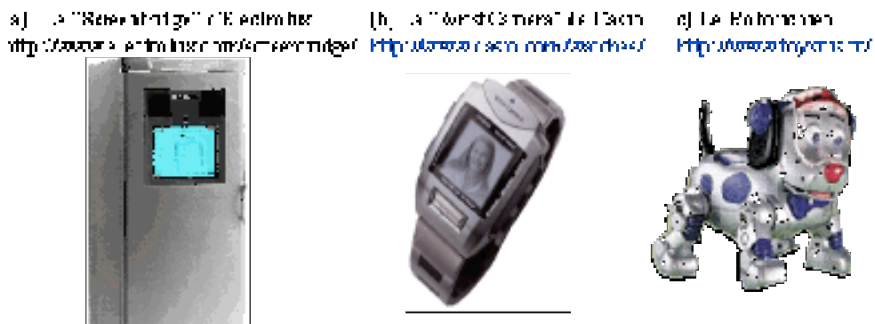


Figure 1.1 : Illustration de trois tendances : (a) l'évanescence de l'ordinateur ; (b) le développement d'objets nomades ; (c) la baisse des prix.

A Davos (Suisse), lors du forum économique international, cette course à l'électronique et surtout un récent sentiment d'impuissance des utilisateurs se sont clairement révélés. Contrairement aux années précédentes où le congrès valorisait les futurs apports de la technologie, l'accent portait cette année sur les débords de cette même technologie : un darwinisme numérique exigeant de s'adapter ou mourir, plongeant les utilisateurs dans un flot continu d'interactions requérant des attentions partielles continues [FRI 01]. "Les machines ne nous servent plus, nous les servons"; "notre identité est désormais moins importante que les données collectées à notre sujet", tels sont des exemples de témoignages recueillis par [FRI 01]. En cette période de doute, une attention particulière doit être portée aux utilisateurs : l'Interaction Homme-Machine entre en jeu.

L'Interaction Homme-Machine est reconnue en France comme domaine de recherche depuis une vingtaine d'années. Tandis que ses débuts étaient consacrés à une maîtrise méthodologique et technique de son ingénierie, les progrès technologiques ouvrent aujourd'hui de nouvelles voies : une large variété d'utilisateurs, de plateformes, d'environnements et d'applications confèrent désormais aux situations d'usage un caractère ouvert.

Ce chapitre traite de l'Ingénierie de l'Interaction Homme-Machine (IIHM). Après en avoir brossé la problématique dans la première section, il oppose dans les sections suivantes rétrospective et perspectives. La rétrospective présente les acquis ; les perspectives, les tendances et défis. Cette articulation permet de souligner, en pleine effervescence technologique, la fracture entre un passé raisonnable et un avenir bouillonnant.

1.2 Problématique

Cette section présente le sujet puis les difficultés majeures auxquelles se heurte le domaine. A défaut de solution clé en main, elle rappelle les maîtres mots régissant l'ingénierie des IHM.

1.2.1. *Le sujet*

Par définition, l'Interaction Homme-Machine ou Interaction Personne-Système se réfère à l'ensemble des phénomènes cognitifs, matériels, logiciels et sociaux mis en jeu dans l'accomplissement de tâches sur support matériel (machine, système). La confusion est fréquente entre *interface* et *interaction*. En réalité, l'interface n'est que le dispositif physique, support de l'interaction. Pour exemple, une poignée de porte est une interface offrant deux interactions : l'ouverture et la fermeture de la porte (Figure 1.2).

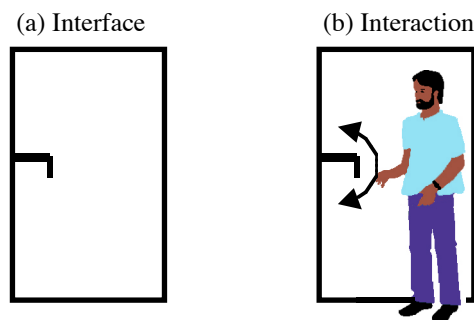


Figure 1.2 : Terminologie : l'interface désigne le dispositif physique, support de l'interaction ; l'interaction se réfère aux phénomènes d'influence mutuelle entre l'homme et la machine.

L'Ingénierie de l'Interaction Homme-Machine a pour mission de construire des interfaces suscitant des interactions compatibles des attentes et capacités de l'utilisateur. L'étude des phénomènes cognitifs, matériels, logiciels et sociaux

d'échanges mutuels entre l'homme et la machine est donc au cœur de la discipline. Nous limiterons désormais le chapitre à l'étude des systèmes interactifs. Dans ce cadre, l'interface est une encapsulation des services offerts par le système (Figure 1.3). L'utilisateur accède à ces services via des interactions.

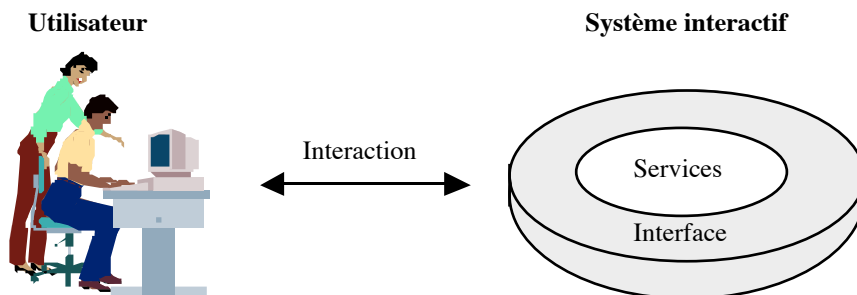


Figure 1.3 : Terminologie : dans le cadre des systèmes interactifs, l'interface est une encapsulation des services offerts par le système. L'utilisateur exploite ces services via des interactions.

L'interaction est, en pratique, induite par l'interface, mais partiellement seulement parce que l'utilisateur, de par son passé, son état, sa culture, ses croyances et notamment sa compréhension du système influence, par ailleurs, cette interaction. L'exemple typique en est les standard : pour un informaticien, la couleur rouge est synonyme de danger alors que pour un chimiste, elle dénote la chaleur. Aussi, une connaissance fine de l'utilisateur est-elle nécessaire pour la réalisation d'interfaces adaptées à l'utilisateur. Cet aspect constitue la difficulté majeure et spécifique à l'IHM.

1.2.2. Les difficultés

[COU 90] identifiait, à l'époque, trois difficultés majeures à l'IHM : "la puissance fonctionnelle des systèmes informatiques, le peu d'intérêt des informaticiens pour les sciences cognitives et l'absence de modèles psychologiques adaptés à l'interaction homme-ordinateur". Dix ans plus tard, ces difficultés sont toujours d'actualité, la deuxième étant légèrement tempérée par une prise de conscience progressive de la pluridisciplinarité de l'ouvrage.

Puissance fonctionnelle des systèmes informatiques. Avec les avancées de l'électronique, des réseaux et la maturité acquise en génie logiciel, la politique est de plus en plus à l'intégration de services. Ces services, développés par ailleurs sous forme de composants, sont intégrés au système interactif. Les logiques de

fonctionnement se complexifient en conséquence et il est alors vital d'accorder une attention particulière aux logiques d'utilisation. Par définition [BAR 95] :

–**IIIa** logique de fonctionnement d'un système décrit l'effet des actions de l'utilisateur sur le système : "si on fait P , alors le résultat est Q " ;

–**IIIa** logique d'utilisation s'intéresse aux actions possibles pour atteindre un but : "si l'objectif est Q , alors on peut faire P ".

En pratique, la tentation est forte pour les informaticiens de présenter les systèmes interactifs selon leur logique de fonctionnement [BAR 88]. Mais cette attitude technicienne à dominante fonctionnelle plus qu'opérationnelle est, de façon récurrente, à l'origine de défauts logiciels [SCA 86]. En particulier : des incohérences entre les logiques d'utilisation des différents services et une complexité fonctionnelle rendue apparente par la complexité, voire l'absence, de logique d'utilisation.

Pluridisciplinarité mais faible intérêt des informaticiens pour les Sciences Cognitives. La difficulté essentielle en IIHM provient de l'indirection utilisateur-système via le concepteur : l'utilisateur interagit avec un système construit par un tiers, le concepteur. Derrière cette indirection, pointe la notion de *modèle*. Un modèle est une "abstraction de quelque chose de réel qui permet de comprendre avant de construire [...]. L'abstraction est l'examen sélectif de certains aspects du problème, elle permet d'isoler les aspects importants et de supprimer ceux qui ne le sont pas. L'abstraction se réfère toujours à un but précis car c'est ce but qui permet de déterminer ce qui est important de ce qui ne l'est pas" [RUM 91] (cité dans [SCA 01]). Ainsi, un modèle est-il une représentation prototypique de quelque chose de réel. Par exemple, pour la plupart d'entre nous, le modèle d'une horloge est un cadran muni d'aiguilles. Minsky montre que ces modèles influencent notre perception du monde environnant : si l'on présente brièvement à quelqu'un une horloge sans aiguille et qu'on lui en demande une description, il mentionnera la présence d'aiguilles, pourtant absentes dans ce cas [REA 93].

En IIHM, [NOR 86] identifie trois modèles fondamentaux (Figure 1.4) :

–**IIIb** modèle du concepteur à propos de l'utilisateur. Ce modèle est l'image que se fait le concepteur de l'utilisateur de son système. Ce modèle peut contenir des informations d'ordre général (bio-métriques, sociales, etc.) ou, au contraire, centrées sur le produit à développer (connaissances dans le domaine, en informatique, etc.) ;

–**IIIb** modèle du concepteur à propos du système attendu. Ce modèle, aussi dit modèle de conception ou modèle conceptuel, consigne la conception du système. Il dépend directement de la compréhension qu'a le concepteur des "besoins, possibilités et limitations de l'utilisateur type" [COU 90], c'est-à-dire de son modèle de l'utilisateur ;

–**IIIb** modèle de l'utilisateur à propos du système. Ce modèle est la représentation mentale que l'utilisateur s'élabore à propos du système. Cette représentation dépend

des attentes initiales de l'utilisateur. Elle est ensuite amendée par l'usage en fonction des interactions entretenues avec le système et de leur interprétation par l'utilisateur.

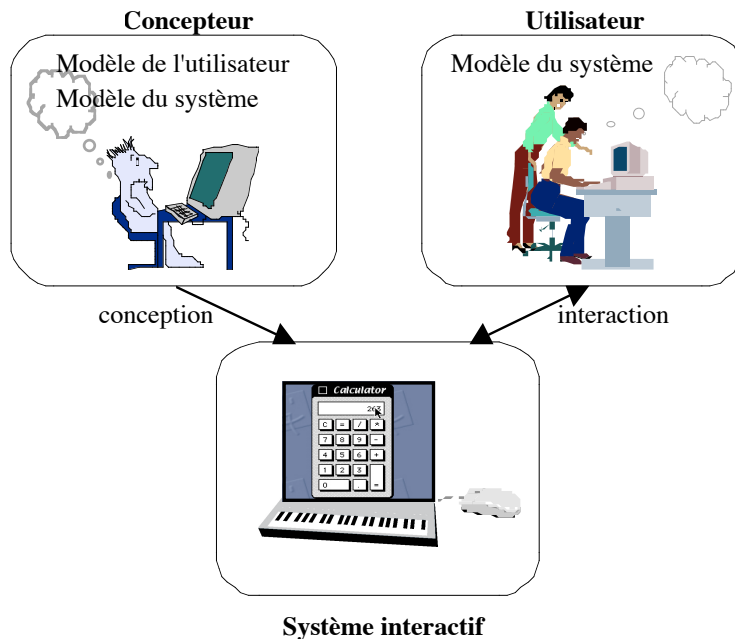


Figure 1.4 : Les trois modèles fondamentaux identifiés par [NOR 86].

"Les concepteurs n'étant pas des utilisateurs", "les utilisateurs n'étant pas des concepteurs" [NIE 93], rien ne garantit, a priori, la cohérence entre ces modèles. Le concepteur a donc pour tâche de définir une interface qui conduise l'utilisateur à construire, au cours de l'interaction, un modèle compatible du modèle de conception. Si la présentation "est explicite, cohérente et intelligible, alors on peut espérer que l'utilisateur élabore le modèle adéquat" [COU 90]. Il est donc vital de cerner, au plus vite et au mieux, le modèle de l'utilisateur.

En pratique, par ignorance, réticence, ou en raison de contraintes conjoncturelles, l'informaticien travaille plus volontiers les aspects fonctionnels qu'opérationnels des interfaces. Considérer les besoins et limites cognitives de l'utilisateur n'est pas encore naturel. A sa décharge, aucun modèle unique et complet n'émerge des Sciences Humaines pour une appréhension scientifique et globale des caractéristiques cognitives, physiologiques, physiques, sociologiques de l'utilisateur.

Absence de modèles psychologiques applicables à l'IIHM. Si les Sciences Humaines nous apportent une masse d'enseignements, ces enseignements restent théoriques, parcellaires, difficilement applicables en IIHM. Ils permettent d'expliquer et de prédire un aspect particulier du comportement humain. Mais à la différence du cognitif qui s'intéresse à des aspects précis, l'informaticien doit envisager l'homme dans sa globalité [COU 91]. Il attend un modèle global du comportement humain, directement applicable à l'IIHM, idéalement assorti de méthodes et d'outils. En l'absence de ce modèle, deux maîtres mots recentrent les informaticiens sur les utilisateurs : *l'utilité* et *l'utilisabilité*.

1.2.3 Les maîtres mots

L'utilité et *l'utilisabilité* traitent de l'adéquation homme-machine selon une perspective anthropocentrée :

- *Utilité*, à connotation fonctionnelle, rappelle aux informaticiens une règle de bon sens, à savoir : n'offrir à l'utilisateur que des services utiles au regard des tâches qu'il aura à accomplir. L'utilité cible une adéquation du système par rapport aux besoins de l'utilisateur ;

- *Utilisabilité* relève de l'usage : elle traite de l'adéquation du système par rapport aux capacités cognitives, motrices et sensorielles de l'utilisateur. Elle porte sur le rendu (ou présentation) des services à l'utilisateur.

Utilité et utilisabilité sont des perspectives restreintes de considérations plus générales relatives à l'acceptation d'un système [NIE 93]. L'acceptation d'un système se réfère à son adéquation vis-à-vis des besoins et exigences des utilisateurs et autres interlocuteurs (Figure 1.5). Deux dimensions entrent en jeu : l'aspect social ; l'aspect pratique. C'est dans ce deuxième volet qu'interviennent l'utilité et l'utilisabilité, fédérées en la notion de serviabilité. La serviabilité ou « usefulness » du système se réfère à la faculté du système à permettre à l'utilisateur d'atteindre ses buts [NIE 93]. L'utilisabilité en qualifie les facilités d'apprentissage et d'appropriation, l'efficacité à l'usage, la robustesse aux erreurs et enfin, de façon plus subjective, le plaisir éprouvé à l'usage. L'utilisabilité ne se limite donc pas à des critères de performance dans l'accomplissement de tâches. Elle se réfère, de façon plus générale, à la satisfaction de buts personnels et collectifs [GIL 95].

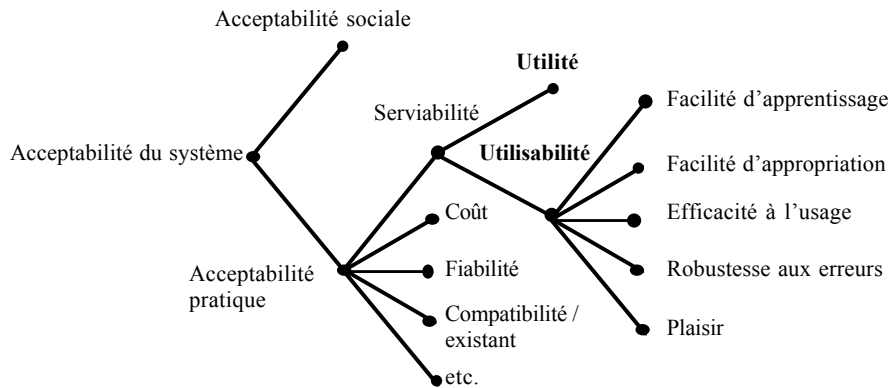


Figure 1.5 : Un modèle des attributs de l'acceptabilité d'un système. Traduit de [NIE 93].

Si depuis 1977, l'utilisabilité est reconnue, à part entière, comme facteur qualité logicielle [MCC 77], elle est progressivement devenue facteur de vente. Jusqu'au début des années 80, schématiquement, c'était l'âge d'or de la grande consommation. Le client achetait autant par nécessité que pour signaler son appartenance à une catégorie socio-économique. On assistait alors à des dérives comme l'achat de robots multifonctions si complexes qu'inutilisables et donc inutilisés [BRO 97]. Aujourd'hui, la crise économique a changé la donne. Plus regardant à la dépense, le consommateur se tient mieux informé, devient plus exigeant et aussi plus infidèle. Les performances d'un produit, souvent équivalentes entre marques, ne revêtent plus un caractère déterminant. "En revanche, le confort d'usage, la simplicité d'utilisation, la fonction et la valeur que l'on attribue à un produit", c'est-à-dire son utilisabilité, "font désormais la différence" [BRO 97].

Au quotidien, quelques signes attestent de cette évolution. Citons, par exemple, les feux tricolores nouvelle génération dont le feu rouge est désormais plus important que les deux autres ou encore les balances de supermarché qui présentent désormais une photographie des produits.

Nous présentons dans la section suivante les acquis théoriques, méthodologiques et pratiques aidant à satisfaire ces maîtres mots d'utilité et utilisabilité.

1.3. Rétrospective

A la croisée des chemins entre l'informatique et les Sciences Humaines, l'IIHM se distingue par son caractère multidisciplinaire. Si, dans les esprits, cette spécificité est aujourd'hui reconnue, dans les faits, les documents qualité logicielle restent à

dominante fonctionnelle. Evidentes pour certains, inconnues pour d'autres, les habitudes, exigences et limites des utilisateurs sont très rarement spécifiées dans les documents transmis aux équipes logicielles. Seule une double compétence, domaine opérationnel d'une part, logiciel d'autre part, permet de compenser ces lacunes. Mais le renouvellement du personnel s'interpose bien souvent à cette capitalisation de connaissances. Aussi, la qualité insuffisante des spécifications constitue-t-elle aujourd'hui un obstacle majeur au déroulement linéaire et serein du processus de développement. Pour contrer cette difficulté, des théories, des recommandations ergonomiques, des méthodes et outils peuvent être appliqués. Nous les présentons dans cet ordre puis concluons par les lacunes de la situation.

1.3.1. *Des théories*

Par définition, une théorie permet d'expliquer un phénomène ou d'en prédire l'occurrence. La psychologie cognitive nous en offre une multitude traitant chacune d'un phénomène précis : résolution de problèmes, représentation mentale, apprentissage, langages, etc. [COU 91]. Dans les faits, les informaticiens s'investissent peu volontiers dans des théories de spectres aussi ciblés. Ils attendent des théories globales applicables leur permettant d'expliquer et de prédire le comportement de l'utilisateur dans son intégralité. Le succès du Modèle du Processeur Humain [CAR 83] en atteste. Ce modèle appréhende le sujet humain dans sa globalité et adopte, dans ses descriptions, la terminologie de l'informaticien. Il assimile le sujet humain à un système de traitement de l'information constitué de trois sous-systèmes (sensoriel, moteur et cognitif). Chaque sous-système est dimensionné en termes de mémoire (capacité, persistance, type d'information) et de processeur (temps de cycle). Les retombées de ce modèle sont simplistes, mais applicables. Par exemple :

- Le sous-système sensoriel enseigne qu'augmenter l'intensité d'un stimulus permet d'en accélérer la perception ;

- Le sous-système moteur préconise, pour la manipulation directe, d'augmenter la taille de la cible ou de réduire la distance main-cible pour un déplacement plus efficace (loi de Fitts) ;

- Le sous-système cognitif déconseille l'utilisation de menus de longueur supérieure à la capacité de la mémoire à court terme, à savoir 7+-2 mnèmes (ou unités cognitives).

Si ces modèles globaux tels que celui du Processeur Humain ou ICS [BAR 85] (qui décompose aussi le sujet humain en un ensemble de sous-systèmes interconnectés) ont des retombées immédiates, ils ne véhiculent pour autant aucune méthode de conception. Ils ignorent notamment la tâche de l'utilisateur.

10 Titre de l'ouvrage

Par définition [NOR 92][BAL 94], une tâche est un couple (but, procédure) où :

–**Le** but est le but que l'utilisateur souhaite atteindre. C'est l'état souhaité du système ;

–**La** procédure est la partie exécutive de la tâche. Elle décrit le moyen d'atteindre ce but. C'est un ensemble d'opérations (actions physiques ou sous-tâches) organisé par des relations temporelles (séquentialité, parallélisme, interruptibilité) et/ou structurelles (composition logique, possibilité de choix).

Dans la famille des modèles centrés tâche, on distingue deux catégories de modèles [JAM 01] :

–**Les** qui décrivent les processus cognitifs qui régissent le comportement de l'utilisateur. La Théorie de l'Action de Norman [NOR 86] en fait partie ;

–**Les** qui décrivent le comportement lui-même. Les modèles de performance tels que GOMS [CAR 83] et Keystroke [CAR 83] entrent dans cette catégorie.

Nous développons ici la Théorie de l'Action qui, comme le Modèle du Processeur Humain, offre aux informaticiens un "outil immédiat pour la pensée" [NEW 86].

La Théorie de l'Action précise les étapes cognitives mises en œuvre dans la réalisation d'une tâche. En point de départ, la Théorie de l'Action suppose l'établissement d'un but pour l'utilisateur. Ce but est une représentation mentale de l'état que souhaite l'utilisateur pour le système. Il se formule en termes de variables psychologiques faisant sens pour l'utilisateur : par exemple, dans le domaine de l'édition de documents, les notions de mots ou de paragraphes. Le but peut, par exemple, consister à disposer d'un paragraphe contenant un seul mot : le terme "Illustration". La Théorie de l'Action identifie les étapes mises en œuvre entre l'établissement de ce but et l'évaluation de son atteinte par l'utilisateur. Ces étapes s'articulent en deux phases, l'exécution et l'évaluation (Figure 1.6), ici illustrées sur l'édition de document.

L'exécution comporte trois étapes :

–**La** *formation d'une intention*. L'intention vise à abolir la distance entre le but et la représentation mentale que l'utilisateur se fait de l'état courant du système. La formation de l'intention requiert une traduction entre les variables physiques du système et psychologiques du but. Supposons ici que le paragraphe contienne la phrase "Illustration de la Théorie de Norman". Etant donné le but, l'intention consiste à détruire les mots " de la Théorie de Norman" ;

–**La** *spécification d'un plan d'actions* pour atteindre le but. Cette spécification requiert une traduction de l'intention psychologique en variables physiques. Elle prescrit ici de sélectionner puis couper la séquence " de la Théorie de Norman" ;

- **Exécution** du plan d'actions pour modifier l'état du système. L'exécution consiste ici, de façon effective, à sélectionner puis couper la séquence " de la Théorie de Norman". Le retour d'information donné par le système est ensuite évalué par l'utilisateur pour savoir si son but est atteint. C'est la partie évaluation.

L'évaluation se décompose symétriquement en trois étapes :

- **la perception** du retour d'information donné par le système suite à l'exécution du plan d'actions. L'utilisateur constate ici que la séquence " de la Théorie de Norman" a disparu ;

- **l'interprétation** de cette perception en variables psychologiques. Cette interprétation requiert une traduction entre les mondes physique et psychologique. Elle conclut ici à la destruction de la séquence " de la Théorie de Norman" ;

- **l'évaluation** du nouvel état du système au regard du but fixé. L'utilisateur constate ici l'obtention d'un paragraphe contenant un seul mot : "Illustration". Son but est donc atteint. Dans le cas contraire, la théorie stipulerait le déploiement d'un nouveau cycle "Exécution-Evaluation".

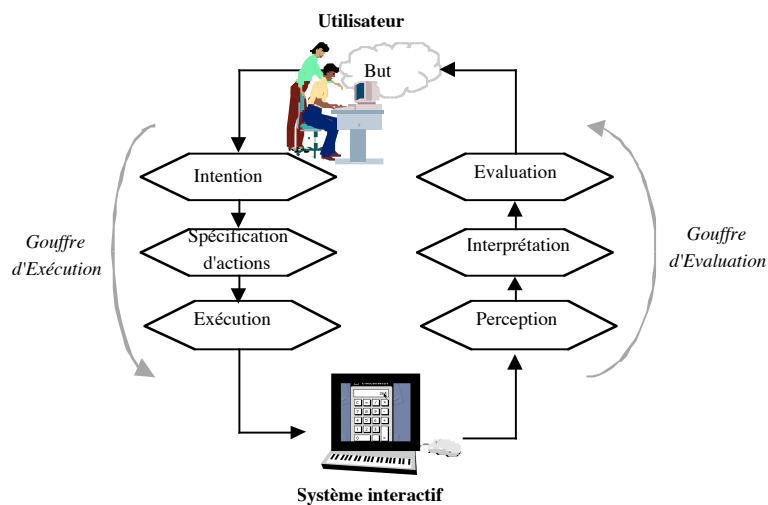


Figure 1.6 : La Théorie de l'Action de Norman [NOR 86].

De cette théorie, sont extraites des recommandations. Par exemple :

- **Relier** les variables physiques sur les variables psychologiques pour des correspondances plus aisées lors des étapes de traduction. Ceci requiert une connaissance de l'utilisateur ;

12 Titre de l'ouvrage

–Offrir des retours d'information immédiats et informatifs pour réduire le gouffre d'évaluation.

Les ergonomes s'appuient sur ces enseignements pour énoncer, à l'égard des informaticiens, des recommandations pragmatiques.

1.3.2. Des recommandations et critères ergonomiques

L'ergonomie a été définie en 1988 par la Société d'Ergonomie de Langue Française comme "la mise en œuvre de connaissances scientifiques relatives à l'homme, et nécessaires pour concevoir des outils, des machines et des dispositifs qui puissent être utilisés avec le maximum de confort, de sécurité et d'efficacité pour le plus grand nombre". L'ergonomie puise ses fondements dans la diversité et la variabilité des êtres humains et des situations d'usage. Dans ces diversité et variabilité, des déviations peuvent apparaître entre, d'une part, les tâches prescrites et, d'autre part, les tâches réelles (ou effectives). L'ergonomie vise à réduire ces écarts par la proposition de systèmes ajustés à l'homme. Elle s'appuie, pour ce faire, sur les apports des Sciences Humaines, les rassemble et les contextualise pour une applicabilité directe en ingénierie de l'interaction homme-machine. En ce sens, l'ergonomie peut être considérée comme un relais des Sciences Humaines auprès des informaticiens (Figure 1.7).

Mais l'ergonomie ne s'arrête pas à cette incorporation de connaissances : elle fournit des méthodes et outils d'analyse de l'activité humaine au travail (Figure 1.7). [DRO 01] présente un panorama de la discipline structuré en quatre volets : les observations et restitutions ; l'établissement de groupes et de dynamiques de travail ; l'évaluation de maquettes ; les questionnaires et entretiens. Cet article relate un précieux savoir-faire consolidé par la pratique.

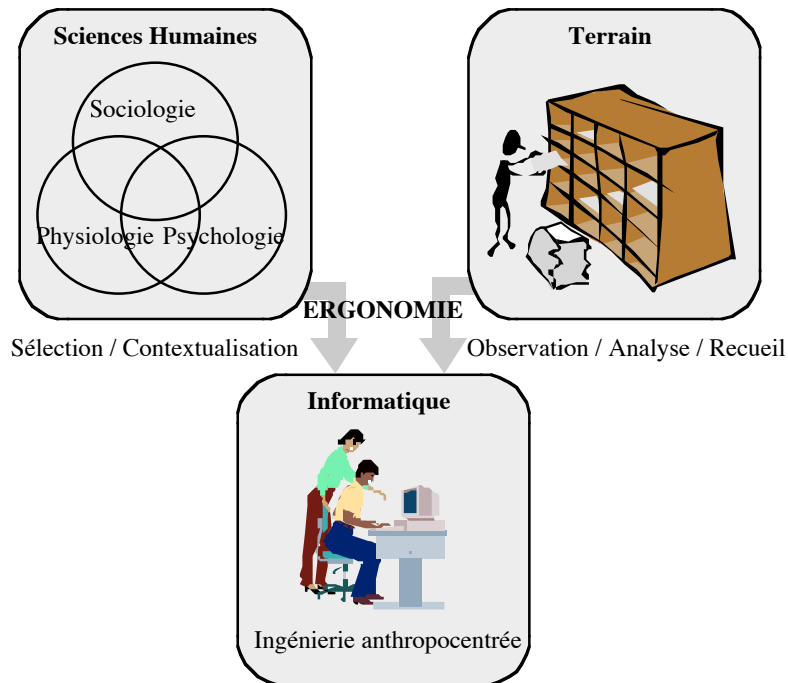


Figure 1.7 : *L'ergonomie relie les Sciences Humaines dans un rapprochement des informaticiens.*

Dans sa quête de compatibilité homme-machine, l'ergonomie travaille à trois niveaux :

- Au niveau physique, pour une adéquation entre l'homme d'un point de vue morphologique et son poste de travail ;
- Au niveau social, pour un environnement de travail compatible avec les attentes des utilisateurs ;
- Au niveau cognitif, pour un traitement et une représentation des informations conformes aux attentes et capacités des utilisateurs.

L'ergonomie des logiciels porte sur ce dernier aspect. La compatibilité y est recherchée à trois niveaux : perceptivo-moteur, linguistique et au niveau global de l'activité [BRA 90].

- Le niveau perceptivo-moteur concerne les dispositifs d'interaction. Il s'agit d'en garantir la compatibilité avec, d'une part, les caractéristiques physiques de l'utilisateur, d'autre part, la nature de sa tâche. Typiquement, une tablette graphique

est plus appropriée à une tâche de dessin que le traditionnel triplet écran / clavier / souris.

-**Le** niveau linguistique porte sur le codage des informations. Il s'agit d'éviter les codages arbitraires qui compliquent la mise en correspondance entre les mondes physique et psychologique.

-**Au** niveau global de l'activité, il s'agit d'assurer une structure logicielle adaptée et adaptable aux modes de raisonnement de l'utilisateur dans la réalisation de sa tâche.

Pour chaque niveau, des recommandations ergonomiques ont été formulées. Par exemple, pour l'aspect perceptif, [CAI 93] propose une revue bibliographique traitant de la présentation des informations sur écran de visualisation. Il évalue différents codages de mise en page (densité de l'information, format d'affichage, vitesse de présentation de l'information, cadre, fenêtrage, paragraphe, justification), différents codages lumineux (surbrillance/sous-brillance, inversion vidéo, clignotement, couleur), différents codages typographiques (tableaux, soulignement, majuscules, abréviations) et différents codages graphiques (icônes, schémas). Des statistiques accompagnent chaque recommandation. Mais, comme le souligne [CAI 93], ces recommandations restent générales et doivent être contextualisées pour tenir compte de la tâche, de l'environnement et de l'utilisateur ciblés.

Des guides ergonomiques répertorient ces recommandations [SMI 82] [VAN 94] [LEU 98]. Mais la généralité et le volume de ces ouvrages rendent difficile leur application. Aussi, des critères ergonomiques organisant ces recommandations ont-ils été proposés. [BAS 93] en retient huit, assortis chacun d'une définition, de justifications et d'exemples de recommandations. Ces critères concernent :

-**Le** guidage de l'utilisateur. "Le guidage est l'ensemble des moyens mis en œuvre pour conseiller, orienter, informer et conduire l'utilisateur lors de ses interactions avec l'ordinateur (messages, alarmes, labels, etc.) y compris dans ses aspects lexicaux". Quatre sous-critères y participent : l'incitation, le groupement/distinction entre items, le retour d'information immédiat et la lisibilité ;

-**La** charge de travail. "La charge de travail concerne l'ensemble des éléments de l'interface qui ont un rôle dans la réduction de la charge perceptive ou mnésique des utilisateurs et dans l'augmentation de l'efficacité du dialogue". Deux sous-critères y contribuent : la brièveté et la densité informationnelle ;

-**Le** contrôle explicite. "Le contrôle explicite concerne à la fois la prise en compte par le système des actions explicites des utilisateurs et le contrôle qu'ont les utilisateurs sur le traitement de leurs actions". Deux sous-critères y participent : les actions explicites et le contrôle utilisateur ;

-**L'**adaptabilité. "L'adaptabilité d'un système concerne sa capacité à réagir selon le contexte et selon les besoins et préférences des utilisateurs". Deux sous-critères y participent : flexibilité et prise en compte de l'expérience de l'utilisateur ;

-**La** gestion des erreurs. "La gestion des erreurs concerne tous les moyens permettant d'une part d'éviter ou de réduire les erreurs, et d'autre part de les corriger lorsqu'elles surviennent". Trois sous-critères y participent : la protection contre les erreurs, la qualité des messages d'erreur et la correction des erreurs ;

-**l'**homogénéité/cohérence. "L'homogénéité/cohérence se réfère à la façon avec laquelle les choix de conception de l'interface (codes, dénominations, formats, procédures, etc.) sont conservés pour des contextes identiques et sont différents pour des contextes différents" ;

-**La** signifiante des codes et dénominations. "La signifiante des codes et dénominations concerne l'adéquation entre l'objet ou l'information affichée ou entrée, et son référent. Des codes et dénominations 'signifiants' disposent d'une relation sémantique forte avec leur référent" ;

-**La** compatibilité. "La compatibilité se réfère à l'accord pouvant exister entre les caractéristiques des utilisateurs (mémoire, perceptions, habitudes, compétences, âge, attentes, etc.) et des tâches, d'une part, et l'organisation des sorties, des entrées et du dialogue d'une application donnée, d'autre part. De plus, la compatibilité concerne également le degré de similitude entre divers environnements ou applications".

Ces recommandations et critères guident les informaticiens dans leurs différentes activités :

-**En** conception - on parle alors d'ergonomie de conception : cette forme d'ergonomie proactive est récente, l'ergonomie ayant longtemps été considérée comme une "opération cosmétique de dernière heure" [BAR 95] ;

-**l'**ors d'une évolution - on parle alors d'ergonomie d'aménagement ;

-**P**our la correction d'une anomalie détectée en exploitation - on parle alors d'ergonomie de correction.

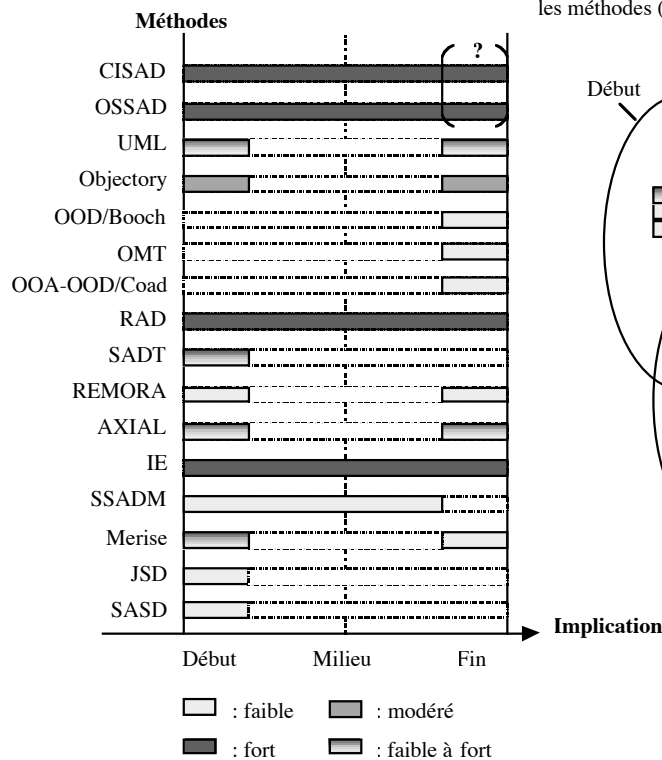
Au regard de ces recommandations et critères, la conception ergonomique d'une interface ne peut être envisagée comme un art. Néanmoins, des méthodes restent nécessaires pour guider de façon plus précise les informaticiens dans leur tâche. Les recommandations et critères viennent en support de ces méthodes.

1.3.3 Des méthodes

Si le génie logiciel apporte aujourd'hui des méthodes éprouvées, ces apports restent insuffisants en IIHM pour des informaticiens non avertis : l'implication de l'utilisateur y reste trop marginale. La revue comparative menée par [KOL 01] en atteste. De cette revue, nous retenons deux critères : le degré d'implication de l'utilisateur et le moment de cette implication (Figure 1.8 a). Deux constats s'imposent : une implication discontinue et modérée des utilisateurs. Ils sont

majoritairement consultés en début et fin de développement, et ceci de façon tempérée (Figure 1.18 b).

(a) Caractérisation des méthodes selon l'implication des utilisateurs (degré et moment)



(b) Représentation ensembliste de (a) privilégiant l'occurrence des utilisateurs dans les méthodes (début et/ou milieu et/ou fin)

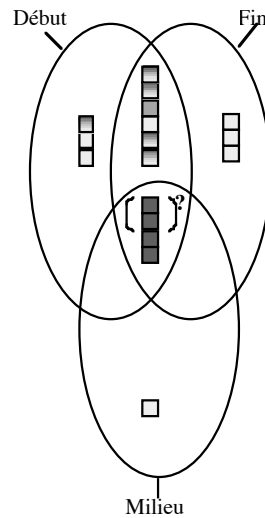


Figure 1.8 : (a) Degré et moment d'implication des utilisateurs dans différentes méthodes issues du Génie Logiciel. Extrait et adapté de [KOL 01]. (b) Représentation ensembliste de (a) privilégiant le critère d'occurrence pour souligner la marginalité des méthodes impliquant les utilisateurs de façon continue.

Pourtant même si, plus qu'un élément nouveau à intégrer dans le processus de conception, l'Ingénierie Anthropocentrée est avant tout un état d'esprit, son intégration et son efficacité dépendent des méthodes et outils disponibles pour promouvoir sa mise en œuvre [BRO 97]. Aussi, des méthodes enrichies sous l'angle des IHM sont-elles nécessaires pour inciter, de façon explicite, les informaticiens à

intégrer les facteurs humains. Ces méthodes *centrées utilisateur* présentent des points communs :

- Une analyse de l'activité menée, si possible, sur le terrain ;
- Une modélisation de l'utilisateur : cette modélisation s'appuie généralement sur des données informelles recueillies au moyen de questionnaires, de discussions, d'enregistrements vidéo. Sont classiquement considérés : le niveau novice, expert ou occasionnel de l'utilisateur ; sa catégorie socio-professionnelle, ses connaissances du domaine applicatif et informatique ;
- Une modélisation de la tâche et des concepts du domaine : cette modélisation se fait hors considération informatique. Les concepts sont les notions propres au domaine : ils correspondent aux variables psychologiques introduites par la Théorie de l'Action de Norman. Des opérateurs, qui constituent les tâches élémentaires du domaine, leur sont ensuite associés. Pour identifier les tâches et déterminer leurs relations, des scénarios peuvent être définis et soumis à différents utilisateurs. L'analyse de leurs plans de résolution aide à identifier et structurer les tâches. La technique usuelle consiste à décomposer une tâche en sous-tâches jusqu'à la rencontre des tâches élémentaires. La participation de l'utilisateur est ici précieuse [COU 91] ;
- Une modélisation des concepts informatiques : cette modélisation projette le domaine applicatif en termes informatiques. Elle associe des opérations (ou commandes) aux tâches et des objets informatiques aux concepts du domaine ;
- Une modélisation de l'interaction : ce modèle concerne les tâches élémentaires. Il décrit, à ce niveau, l'interface au moyen d'objets et d'actions disponibles dans l'environnement d'accueil. Par exemple, pour éditer un document dans le Finder du Macintosh, il est possible d'appliquer un double clic sur l'icône représentative du document ou lancer d'abord l'éditeur puis utiliser la commande d'ouverture [BAL 94]. Le modèle de l'interaction tranche entre ces alternatives. Il fixe ainsi les principes du dialogue, l'idée étant de converger vers des patrons (ou pattern) : par exemple, toujours sélectionner l'objet avant de spécifier la commande ;
- Un processus de développement itératif : les *approches itératives* à base de maquettage et de prototypage trouvent toute leur quintessence dans l'industrie des systèmes interactifs. Elles permettent, par tâtonnements successifs, de réajuster au plus vite le produit et converger ainsi, de façon plus efficace, vers une solution compatible des exigences utilisateur. Ces approches reposent sur des évaluations "formatives" (c'est-à-dire régulières), par opposition aux évaluations "sommatives" (c'est-à-dire terminales) à allure de sanction [HIX 93]. Les évaluations formatives sont particulièrement adaptées à l'ingénierie des systèmes interactifs dont les spécifications incomplètes en termes de facteurs humains compromettent un développement logiciel déterministe et linéaire.

Pour une meilleure approximation des utilisateurs, des *conceptions participatives* ou "Participatory Design" [HIX 93] [POL 95] peuvent être envisagées. Ces

approches impliquent les utilisateurs tout au long du processus de développement. L'intérêt est double : d'une part, détecter au plus tôt d'éventuelles anomalies, d'autre part, forcer l'adhésion des utilisateurs de par cette participation active. Ce deuxième argument est valide pour des produits dont les utilisateurs finaux sont connus et accessibles. Il tombe typiquement pour des produits de type segments de marché dont seuls des utilisateurs représentatifs peuvent être sollicités.

Aujourd'hui, les pratiques itératives sont reconnues en génie logiciel [CHA 97]. Plusieurs modèles de développement étayent ces approches [KOL 01]. Parmi eux : les modèles en étoile et en spirale (Figure 1.9).

- Le modèle en étoile assure à l'évaluation une position centrale. Il identifie des étapes clé et impose une validation du fruit de chacune d'elles avant passage à la suivante. Aucun séquençement n'y est imposé contrairement au modèle en spirale ;

- Le modèle en spirale accorde lui aussi à l'évaluation une place prépondérante. Mais l'enchaînement des étapes y est imposé.

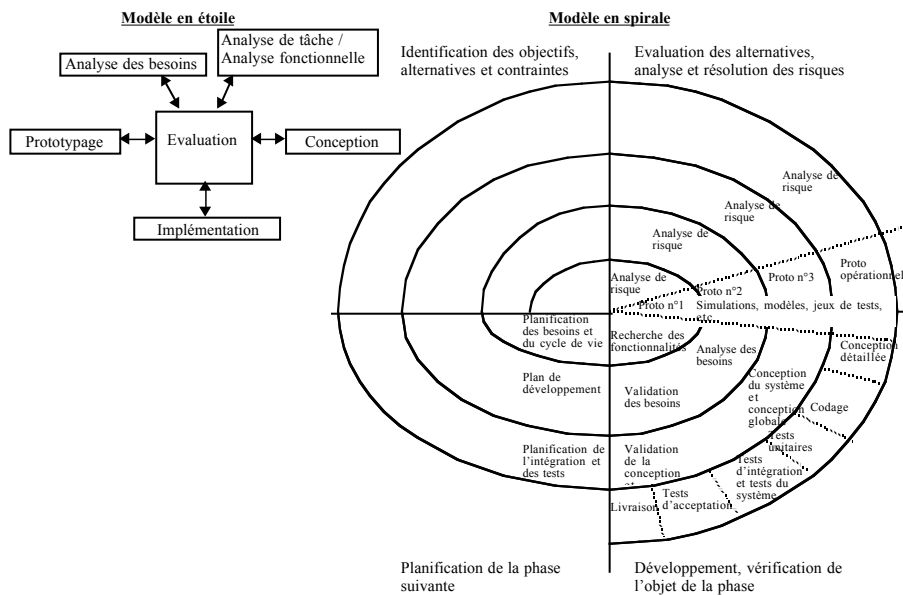


Figure 1.9 : Modèles en étoile et spirale, respectivement extraits de [PRE 94] et [BAL 94].

En pratique, ces modèles s'apparentent à des méta modèles, instanciés pour définir des cadres méthodologiques plus adaptés [RET 93]. En termes de méthodes, les propositions sont nombreuses, tant d'origine académique qu'industrielle. Elles visent

à compléter des méthodes génériques à large diffusion telles que OMT [RUM 95], OOA [COA 93] ou UML [RUM 97] à dominante trop fonctionnelle : l'analyse des tâches y est notamment ventilée et les spécifications externes¹ absentes (Figure 1.11). Des propositions académiques telles que Muse*/JSD [LIM 94] (Figure 1.10) ou DIANE+ [BAR 88] pallient ces lacunes.

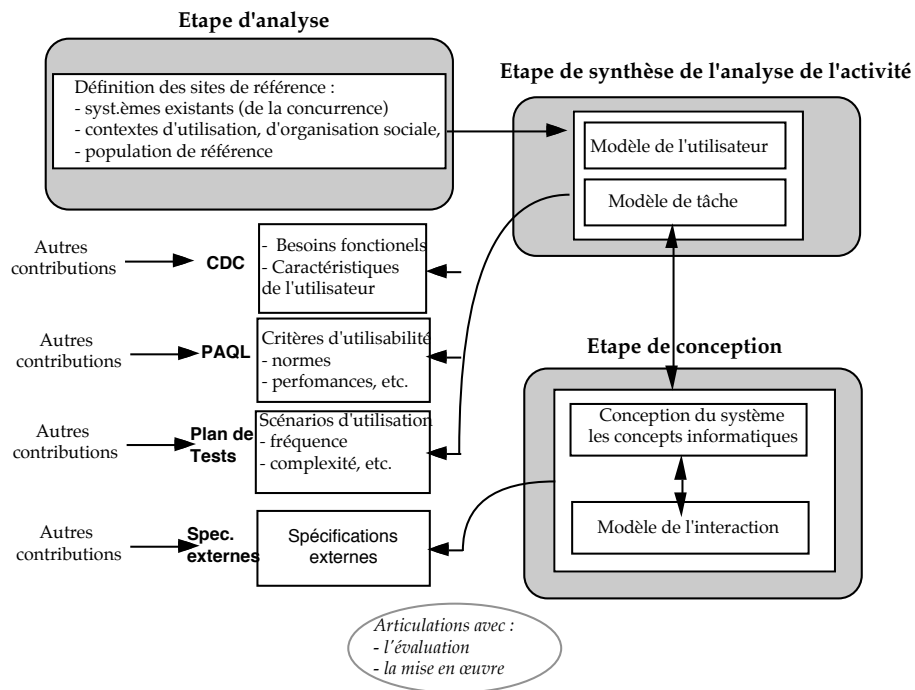


Figure 1.10 : La méthode MUSE. Extrait de [BAL 94]. Les flèches y ont pour sémantique "alimente".

D'autres, de spectre plus ciblé, traitent un aspect précis du processus (Figure 1.11). Citons, par exemple, MAD [SEB 94] (devenue MAD* [GAM 98][SCA 01]) une méthode analytique de description des tâches et UAN [HAR 90] une notation décrivant l'effet des actions de l'utilisateur sur l'interface.

¹ Les spécifications externes d'un logiciel interactif définissent la vue que l'utilisateur aura du système final. Cette vue doit donner accès aux services définis dans l'analyse des besoins.

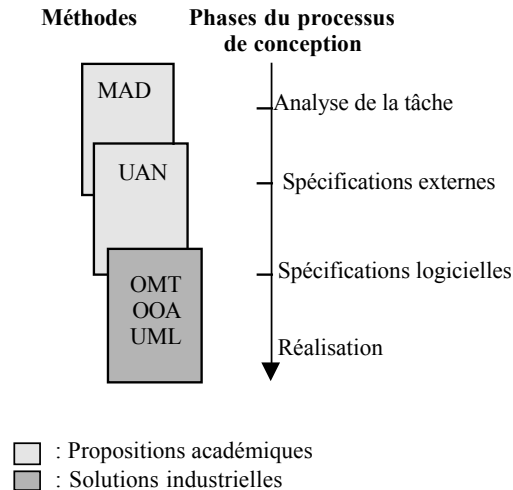


Figure 1.11 : Couverture de méthodes et notations d'origine académique et industrielle. Adapté de [JAM 96].

Des méthodes d'origine industrielle ont également émergé pour tenir compte de contraintes propres aux entreprises ou aux systèmes développés. Par exemple, DIADEM à THOMSON [DIA 94] ou ProSPEC à EDF [BRI 95] :

- **DIADEM** (Dialog Architecture and Design Method) introduit notamment la notion de Livres des Normes. Ce livre consigne l'ensemble des règles ergonomiques et des choix adoptés dans le projet. Il s'inscrit dans une recherche de cohérence et d'homogénéité intra-système ;

- **ProSPEC** (Procédé pour SPECifier un système interactif Centré sur la Tâche) est une méthode proposée à EDF pour structurer le recours à la sous-traitance. Elle identifie des étapes, des fournitures et des plans type.

Quels que soient la méthode de conception adoptée et les moyens déployés, une étape reste du domaine du savoir-faire : l'établissement de l'interface à partir des différents modèles établis (utilisateur, tâches et concepts du domaine, concepts informatiques, interaction). Un consensus émerge aujourd'hui pour distinguer, dans cette genèse, trois niveaux d'abstraction : l'interface abstraite, l'interface concrète et l'interface finale (Figure 1.12).

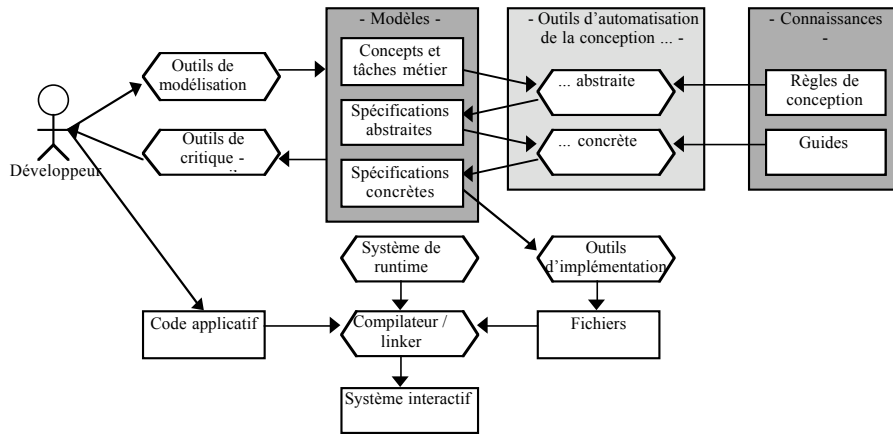


Figure 1.12 : Architecture générale des MB-IDE (Model-Based Interface Development Environments). Traduit et adapté de [SZE 96].

L'interface abstraite structure l'IHM en espaces de travail et spécifie l'enchaînement entre espaces. Un espace de travail est un « lieu d'activité virtuel offrant les éléments nécessaires à la réalisation d'une ou plusieurs tâches » [NOR 92]. Un espace sera typiquement incarné, dans l'interface concrète, en fenêtre ou canevas. L'identification des espaces se fait au regard du modèle des tâches. Considérons par exemple un gestionnaire d'énergie permettant aux usagers d'EDF de programmer le confort de leur domicile. La tâche "Programmer confort" consiste à éditer son rythme de vie et programmer le confort des zones de l'habitat. Supposons l'existence de trois zones : le salon, les chambres, la salle de bain. La figure 1.13 (a) représente, dans le formalisme ConcurrTaskTree [BRE 97], le modèle des tâches sous forme hiérarchique :

- La tâche "Programmer confort" est une tâche dite abstraite (représentée par un nuage) par opposition aux tâches dites d'interaction (représentées par des individus) qui impliquent une interaction homme-machine. Les tâches abstraites se décomposent en sous-tâches reliées par des opérateurs logiques et/ou temporels. Ici, la tâche "Programmer confort" s'affine en deux sous-tâches "Editer rythme de vie" (RdV) et "Programmer confort par zone". Ces tâches sont reliées par l'opérateur logique ET ;

- La tâche "Editer rythme de vie" est une tâche d'interaction. Elle n'est donc pas décomposée en sous-tâches. Des objets d'interaction sont disponibles pour l'incarner, à cette granularité, dans l'interface concrète ;

— La tâche "Programmer confort par zone" est une tâche abstraite s'affinant en trois sous-tâches d'interaction : Programmer le confort du salon, des chambres et de la salle de bain. Ces trois sous-tâches sont reliées par l'opérateur logique ET.

Chaque tâche est ensuite décorée d'informations : concepts manipulés dans la tâche (par exemple, la tâche "Editer rythme de vie" manipule le concept de rythme de vie) ; pré et post conditions ; fréquence ; complexité ; etc. Ces informations sont utiles à la construction de l'interface abstraite. Par exemple, au regard des propriétés de l'IFIP [IFI 96] (rappelées en annexe), tout concept manipulé dans une tâche doit être observable, c'est-à-dire perceptible par l'utilisateur. Le rythme de vie devra donc être observable dans l'espace de travail accordé à la tâche "Editer rythme de vie".

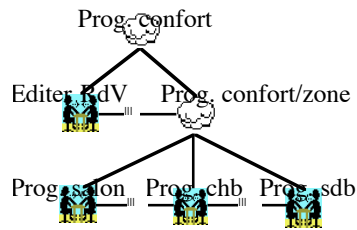
Pour l'arbre présenté en Figure 1.13 (a), plusieurs interfaces abstraites sont envisageables. La figure 1.13 (b) en propose trois. Les espaces de travail y sont représentés par des carrés ; les liens de navigation entre espaces par des traits. Considérons l'interface (b2) et examinons les interfaces concrètes envisageables.

L'interface concrète instancie les espaces de travail en fenêtres ou canevas et le contenu des espaces en objets d'interactions (aussi dits interacteurs ou widgets). La figure 1.13 (c) propose quatre solutions pour l'interface abstraite (b2). Ces solutions diffèrent dans l'incarnation des espaces, la navigation entre espaces et le choix des objets d'interaction. Par exemple :

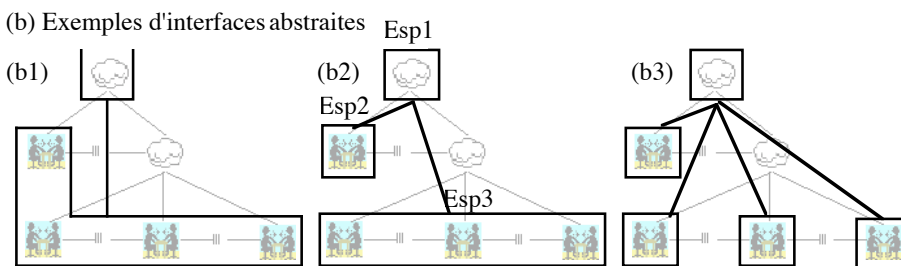
— Dans (c1) et (c2), chaque espace de travail (Esp1, Esp2 et Esp3) est incarné par une fenêtre. Dans (c3) et (c4), Esp2 et Esp3 deviennent, au contraire, des canevas hébergés dans la fenêtre correspondant à Esp1 ;

— Dans (c1) et (c3), les trois zones (salon, chambres et salle de bain) sont directement accessibles. Dans (c2) et (c4), un onglet est, au contraire, introduit pour permettre la navigation entre pièces. Ce choix peut, par exemple, s'expliquer pour des écrans de taille réduite.

(a) Modèle des tâches



(b) Exemples d'interfaces abstraites



(c) Exemples d'interfaces concrètes pour l'interface abstraite (b2)

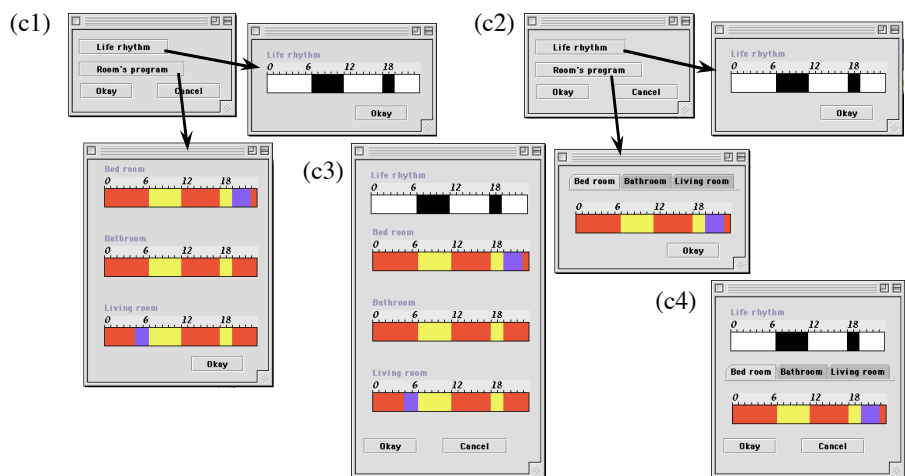


Figure 1.13 : Illustration des approches basées modèles pour l'établissement de l'IHM.

Seul le savoir-faire humain permet aujourd'hui de choisir entre l'une ou l'autre des alternatives. Les approches par génération automatique ont en effet très vite montré leurs limites [CAL 98]. Depuis, [LUO 93] y voit d'ailleurs non plus une finalité

mais une commodité d'exploration de l'espace de conception. Le savoir-faire humain primant, les évaluations sont fondamentales pour vérifier l'opportunité des choix.

En matière d'évaluation, une taxonomie s'impose, opposant les méthodes prédictives et expérimentales :

-Une évaluation prédictive est menée en l'absence d'utilisateurs. Elle vérifie, a priori, l'utilité et l'utilisabilité de l'interface. Elle s'appuie, pour ce faire, sur des modèles théoriques ou connaissances heuristiques ;

-Par opposition, l'évaluation expérimentale consiste à mettre en situation un utilisateur et l'observer dans ses interactions avec une maquette ou un prototype. Des laboratoires d'utilisabilité peuvent être exploités à ces fins. Ils permettent d'observer, sans influencer, l'utilisateur dans sa tâche. Ces laboratoires s'apparentent à une pièce munie de vitres sans teint, derrière lesquelles se cache un studio d'enregistrement : tous les faits et gestes de l'utilisateur sont enregistrés puis analysés. L'utilisateur est, en principe, un utilisateur représentatif du public ciblé. Il reçoit, à son entrée dans le laboratoire, une fiche décrivant la tâche à accomplir. Par exemple : changer le toner de l'imprimante. Une équipe pluridisciplinaire l'observe dans ses interactions et vérifie ainsi la faisabilité de la tâche. Des bandes audio et vidéo permettent de rejouer les séances. Le dépouillement des enregistrements pouvant être long, de tels moyens ne se justifient pas pour tous les produits. Ils sont appropriés pour des systèmes diffusés à grande échelle ou des systèmes critiques. En cas d'anomalie, différentes mesures peuvent être envisagées allant de la révision de la documentation à une re-conception du produit.

De manière générale, les méthodes prédictives et expérimentales se complètent. Elles se combinent au fil du processus de développement pour détecter au plus tôt toute éventuelle anomalie. Pour une étape donnée, le choix d'une méthode se fait, au cas par cas, selon un ensemble de critères. [BAL 94] en identifie cinq :

-Les moyens humains : ils désignent l'ensemble des acteurs impliqués directement ou indirectement dans l'activité d'évaluation. Pour chaque catégorie d'acteurs (utilisateurs, évaluateurs spécialistes, autres), [BAL 94] préconise de considérer le nombre de personnes requis, leurs origines (interne ou externe par rapport à l'entreprise), leur niveau d'expertise ;

-Les ressources matérielles : elles correspondent aux moyens physiques impliqués dans l'activité d'évaluation. Elles couvrent les ressources faisant l'objet de l'évaluation (modèles, maquette, prototype, produit) ainsi que les ressources nécessaires à la capture des informations traquées (papier/crayon, ordinateur, laboratoire d'utilisabilité) ;

-Les connaissances requises : elles se réfèrent aux connaissances nécessaires à l'application de la méthode. Elles couvrent le coût cognitif d'accès à la méthode ainsi que les descriptions requises en entrée de la méthode (modèles, spécifications externes, scénarios, etc.) ;

–**Les facteurs situationnels** : ils définissent le contexte de l'évaluation. Ils comprennent la localisation (en laboratoire, dans l'entreprise), les contraintes financières et temporelles, le type d'application, les techniques d'interaction ainsi que l'étape ciblée dans le processus de développement ;

–**Les résultats** : ils caractérisent les résultats attendus de la méthode. Certaines dimensions sont relatives au contenu (niveau d'abstraction et type d'information), d'autres à la qualité (sensibilité de l'information aux hypothèses, concision, inspectabilité), d'autres au support de restitution (papier/crayon, audio/visuel, ordinateur).

Quelle que soit la méthode déployée, l'évaluation fournit des enseignements dont l'intégration conduit à une nouvelle version du produit. Les outils, sources potentielles d'automatisation et donc d'efficacité, jouent alors un rôle déterminant. Après ce tour d'horizon des méthodes de conception et d'évaluation, la section suivante présente un panorama des outils de construction et d'évaluation.

1.3.4. Des outils

Une revue critique des outils commercialisés révèle une disjonction entre les outils de construction d'une part et d'évaluation d'autre part [CAL 98] : aucun outil n'est polyvalent assurant, à la fois, construction et évaluation. Parmi les outils de construction (aussi dits studios de développement), on distingue classiquement les IDE (Integrated Development Environment) des RAD (Rapid Application Development). Les IDE offrent un environnement de développement complet (éditeur de texte, gestionnaire de projets, compilateur, assistants à la programmation, etc.) : ils sont tournés vers la productivité. Les RAD, quant à eux, facilitent la création d'IHM en offrant une base d'objets d'interaction et les mécanismes nécessaires à la génération d'interfaces créées visuellement par manipulation directe. Aujourd'hui, la frontière entre IDE et RAD est de plus en plus ténue. On s'oriente vers ce que l'on appelle les VDE (Visual Development Environment) qui allient les fonctionnalités des IDE et RAD. Les exemples de VDE sont nombreux. Citons, par exemple, pour le langage Java : Forte de Sun Microsystems, JBuilder de Inprise ou Visual Café de Symantec.

Par rapport à la taxonomie de [COU 90], les IDE couvrent potentiellement les boîtes à outils et squelettes d'application ; les RAD les générateurs d'interface de type présentation (Figure 1.14).

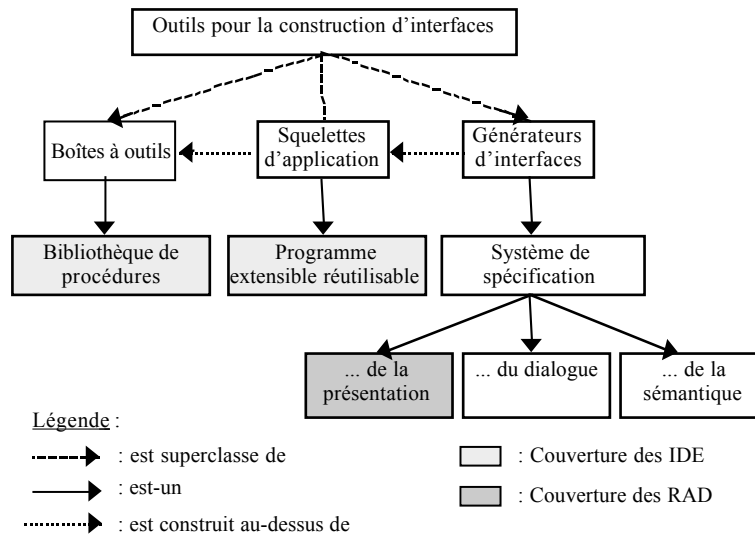


Figure 1.14 : Taxonomie des outils d'aide à la construction d'interfaces [COU 90].
Positionnement des IDE et RAD dans cette classification.

Si ces outils font gagner un temps précieux en phase de maquettage, attention !, ils ne sont pour autant pas la panacée. Ils ne sont garants d'aucune architecture logicielle et ne déchargent donc pas les concepteurs de cette tâche délicate, ô combien cruciale en IIHM. Le caractère itératif des développements ne peut en effet s'affranchir d'une architecture logicielle explicite. Nous ne développerons pas cet aspect ici. Le lecteur pourra se référer à [COU 01] qui propose une revue des modèles existants.

En matière d'évaluation, si les outils de tests fonctionnels affluent, rares sont les propositions pour l'évaluation de l'utilisabilité. Et les quelques suggestions raisonnent à un niveau d'abstraction trop faible : niveau point ou widget. A notre connaissance, seul ErgoLight intégrerait le modèle des tâches pour une analyse des interactions à ce niveau d'abstraction. Mais cet outil est encore peu répandu.

Du côté académique, les constats sont les mêmes : une quasi assignation des outils à la construction ou l'évaluation et l'absence d'outil mature évaluant l'interaction à fort niveau d'abstraction. [CAL 98] propose une revue critique des outils selon leur caractère proactif, réactif prédictif ou réactif expérimental :

— Un outil de construction est dit proactif s'il guide le concepteur dans sa tâche et le protège d'anomalies ;

— Par opposition, la réactivité relève de l'évaluation. Elle peut être prédictive et/ou expérimentale.

Selon ces critères, la revue des outils révèle l'absence d'outils polyvalents (Figure 1.15) ; une prise de conscience dans les années 95 de l'intérêt de tels outils mais une difficulté manifeste à les réaliser (Figure 1.16).

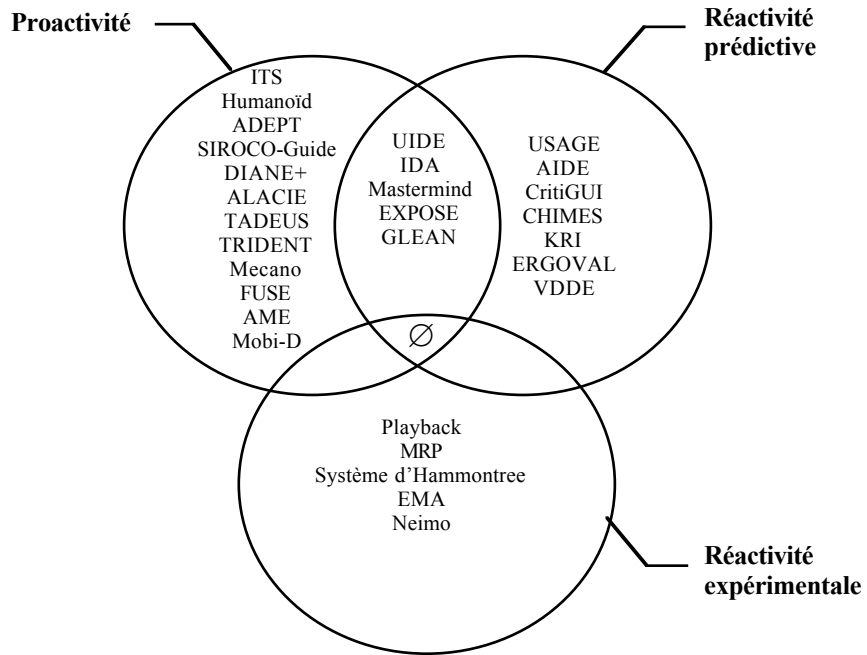


Figure 1.15 : Distribution des outils selon leur prestation proactive, réactive prédictive ou réactive expérimentale. Extrait de [CAL 98].

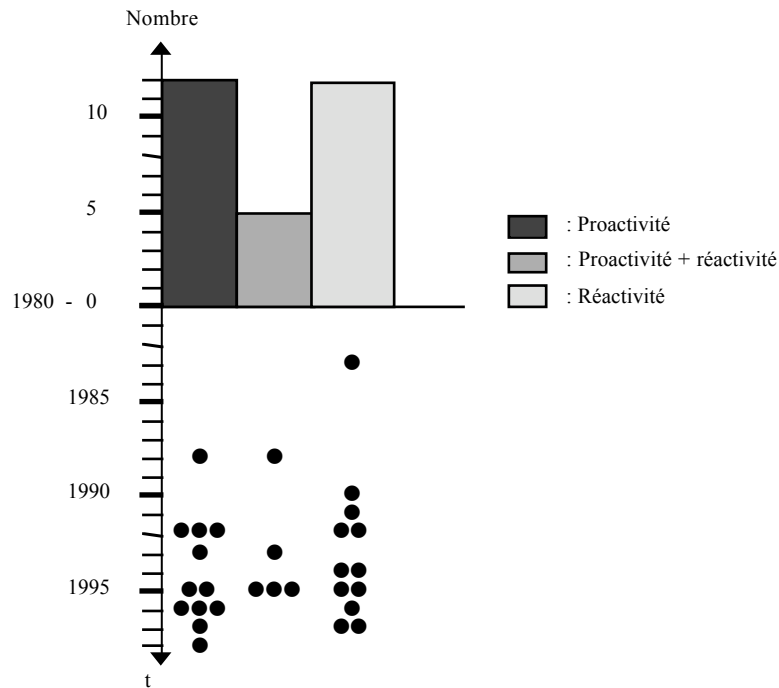


Figure 1.16 : Profil des recherches dans le temps. Extrait de [CAL 98].

Ainsi, les outils constituent-ils encore aujourd'hui une des lacunes essentielles en IIHM.

1.3.5 Les lacunes

Malgré la maturité acquise aujourd'hui en IIHM, des difficultés persistent. Parmi elles, la discontinuité du processus de développement en partie due à la pluridisciplinarité de l'ouvrage : les ergonomes analysent l'activité, établissent les modèles de tâches, mais bien souvent leurs prestations s'arrêtent là pour des raisons conjoncturelles. Les informaticiens prennent alors le relais sans qu'une réelle capitalisation des connaissances n'ait été mise en œuvre. Malheureusement aucun outil ne contre aujourd'hui cette difficulté. De prestations très ciblées, ils couvrent le processus de développement de façon parcellaire. Aussi, les tâtonnements successifs restent-ils d'actualité pour converger vers une IHM de qualité.

Les perspectives pressenties en IIHM aiguissent la nécessité de méthodes et d'outils. La section suivante développe quelques uns des thèmes émergents.

1.4 Les perspectives

Avec le déploiement des réseaux sans fil et les progrès en miniaturisation, l'ordinateur devient évanescent. Nos objets quotidiens sont augmentés [CRO 00] devenant supports possibles à l'interaction. Citons, par exemple, le tableau magique [BER 00] ou le mètre augmenté [LEE 00]. En même temps, nos ordinateurs de poche s'adaptent au contexte pour nous offrir une information située et mieux nous assister dans nos tâches. Pour exemple, le Cyberguide [ABO 96], l'assistant de bureau [21] ou encore l'assistant conversationnel Welbo [YAN 00].

D'un point de vue de l'usage, ce qui semble séduisant c'est de permettre à l'utilisateur de profiter de ces avancées technologiques pour mieux se concentrer sur sa tâche et en oublier le dispositif : faire de l'assistant personnel une télécommande universelle [SCH 94] ; permettre à l'utilisateur, par simple tirer-lâcher, de migrer des données d'un dispositif à l'autre [REK 00]. Les applications sont nombreuses : passer du portable à l'assistant personnel, sans perte de contexte d'interaction, lorsque la batterie du portable faiblit ; ou passer du portable au tableau pour une explication de groupe avec conservation des données.

Ces applications sensibles au contexte, communicantes, diversifiant les dispositifs et les lieux d'interaction, ouvrent de nouveaux pans de recherche en Ingénierie de l'Interaction Homme-Machine : les environnements perceptifs, la Réalité Mixte, l'adaptation au contexte, etc. Cette section ne prétend pas à l'exhaustivité. Elle vise à mettre en exergue les thèmes de recherche émergeant des grandes tendances à venir. Si d'un point de vue utilisateur, ces grandes tendances se fédèrent sous le maître mot d'*universalité* [SCH 99], elles peuvent, selon une perspective technique, se rassembler sous le thème fédérateur de plasticité des interfaces. Nous détaillons ces deux volets dans les sections suivantes.

1.4.1 L'Universalité, le nouveau maître mot

Après l'utilité et l'utilisabilité, l'universalité s'impose comme troisième maître mot au regard d'une nouvelle diversité et variabilité des utilisateurs, des tâches et des contextes d'interaction. Au-delà d'une prise en compte des éventuels handicaps physiques, c'est d'une accessibilité universelle aux services et à l'information dont il s'agit : un accès situé, c'est-à-dire pertinent pour l'utilisateur au regard de sa tâche et de son contexte d'interaction.

Par contexte d'interaction, on entend un couple "plate-forme/environnement" où [CAL 01] :

— La plate-forme est la plate-forme matérielle et logicielle sous-tendant l'interaction. Par exemple, un PalmPilot ou un téléphone portable. La taille de

l'écran, les dispositifs d'interaction, les capacités de calcul et de communication y sont des informations pertinentes, susceptibles d'influencer l'interaction. Typiquement, sur téléphones portables, des tâches telles que "Rédiger un article" ou "Visionner un film" ne font pas sens ;

-□ Environnement se réfère à l'environnement physique accueillant l'interaction. Il est décrit par un ensemble d'informations, périphériques à la tâche en cours, mais susceptibles de l'influencer. Par exemple, la luminosité, le bruit, la localisation géographique, la colocalisation sociale, etc. Typiquement, au cinéma, il est maladroit de conserver le mode sonnerie d'un téléphone. Mieux vaut opter pour le mode vibreur plus respectueux de l'environnement social.

L'universalité est un thème de recherche nouveau dont les dimensions sont encore mal cernées. On pressent :

-□ accessibilité humaine : offrir l'accès à tout individu quels que soient ses capacités ou handicaps physiques et intellectuels, ses origines culturelles, sociales, etc. ;

-□ accessibilité fonctionnelle : conférer à l'interface un caractère multi-usage et donner ainsi aux utilisateurs l'accès aux différents services et informations souhaités. Cette dimension rejoint la notion de portail ou tunnel ;

-□ accessibilité topologique : permettre l'interaction quelle que soit la localisation physique de l'utilisateur ;

-□ accessibilité temporelle : permettre l'interaction à tout instant ;

-□ accessibilité matérielle : permettre l'interaction sur toute plate-forme.

Cinq dimensions émergent ainsi dans l'Universalité : l'équité (pour tous), la libéralité (pour tout), l'ubiquité (partout), l'atemporalité (toujours) et la portabilité (sur tout). Bien entendu, il ne s'agit pas de cibler l'extrême et donner accès à tout le monde, partout, sur tout, etc. Il s'agit de se poser les bonnes questions pour une accessibilité réfléchie. L'utilité et l'utilisabilité joueront ici le rôle de modérateurs (Figure 1.17).

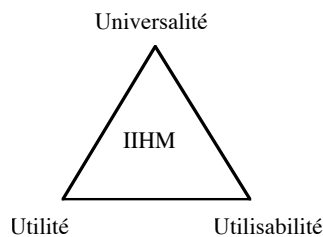


Figure 1.17 : *Les trois maîtres mots régissant l'IHM : l'utilité et l'utilisabilité modèrent l'universalité qui aspire à la généricité.*

D'un point de vue technique, l'universalité soulève le problème de l'adaptation des interfaces. La modélisation de l'utilisateur et la capture de ses caractéristiques étant un problème complexe, nous nous limitons ici aux travaux menés sur l'adaptation au contexte d'interaction. Baptisée "Plasticité des interfaces", cette problématique considère un utilisateur, une tâche et un instant donnés : elle couvre l'ubiquité et l'atemporalité, dans le respect de l'utilisabilité.

1.4.2 La plasticité des interfaces

Par analogie avec la plasticité des matériaux qui, sans rompre s'étirent et se contractent au gré de la chaleur, la plasticité d'une interface dénote sa capacité à s'adapter au contexte d'interaction dans le respect de son utilisabilité [THE 99]. La plasticité apparaît ainsi comme une forme d'adaptation en réponse au changement du contexte d'interaction. L'adaptation ne se limite pas à un réajustement de la présentation (comme par exemple, commuter de la Figure 1.13 c3 à 1.13 c2 en cas de surcharge de l'écran) : elle peut aller jusqu'à modifier la nature des procédures et des informations, voire des objectifs, de l'utilisateur en fonction du contexte d'interaction.

Les actions XML-XSLT engagées par le consortium WC3, les outils de spécification comme UIML ou les boîtes à outils comme Gtk, abordent le problème sous l'angle de l'adaptation technique à la plate-forme cible. Toutes ces solutions s'appuient sur le principe, bien connu en Génie Logiciel et en IHM, de séparation entre les niveaux de présentation abstraite et concrète. Mais comme le changement de plate-forme peut remettre en cause la nature de la tâche, l'adaptation au contexte va bien au-delà de ces contractions ou expansions du rendu graphique : les solutions actuelles sont donc insuffisantes. Des méthodes et outils sont nécessaires pour appréhender cette nouvelle ouverture des contextes d'usage.

L'espace problème est vaste. Il couvre à la fois les aspects méthodologiques et techniques. D'un point de vue méthodologique, un processus de référence émerge [CAL 01] : il est basé modèles et structure l'adaptation autour de deux transformations, la réification et la traduction (Figure 1.18).

Le processus de référence préconise un ensemble de modèles initiaux (concepts du domaine, tâches, plate-forme cible, environnement, interacteurs, évolution). Certains sont courants en IHM (tâches et concepts) mais sont ici enrichis pour agir sur la plasticité (par exemple, le niveau d'importance d'un concept pour une tâche donnée

ou la fréquence d'une tâche permettent d'ordonner les priorités dans l'adaptation). D'autres sont rendus explicites : plate-forme, environnement, interacteurs, évolution.

–Le modèle de la plate-forme décrit le matériel ciblé en termes de dispositifs d'interaction, de performances de calcul et de communication ;

–Le modèle de l'environnement décrit le contexte d'utilisation sous ses aspects géographique, physique, social, etc. ;

–Le modèle des interacteurs spécifie les objets d'interaction ou widgets disponibles dans l'environnement de développement adopté ;

–Le modèle d'évolution spécifie l'évolution inter-contextes du système interactif pour des variations de plate-forme et/ou d'environnement (changement d'éclairage, batterie à plat, bande passante nulle, etc.).

Ces modèles alimentent le processus de réification et traduction. La réification consiste à transformer par étapes un modèle abstrait de l'IHM en une IHM concrète pour un contexte d'interaction donné. Chaque étape constitue un niveau de réification. La traduction applique, à un niveau de réification donné, une transformation de modèles sources en des modèles valides dans un autre contexte d'interaction. Autrement dit, la réification choisit une IHM, mais conserve le contexte d'interaction tandis que la traduction conserve le niveau de réification, mais opère sur le changement de contexte.

Chaque réification et traduction se consignent en un modèle transitoire. Le processus préconise un ensemble de modèles transitoires (spécification orientée tâches, IHM abstraite, IHM concrète, application exécutable) établis par le concepteur ou produits par un éventuel générateur. Les modèles initiaux peuvent être référencés à tout niveau de réification. Plus ils sont référencés tard dans le processus, plus les modèles transitoires sont génériques. Le point d'injection reste à l'appréciation du concepteur.

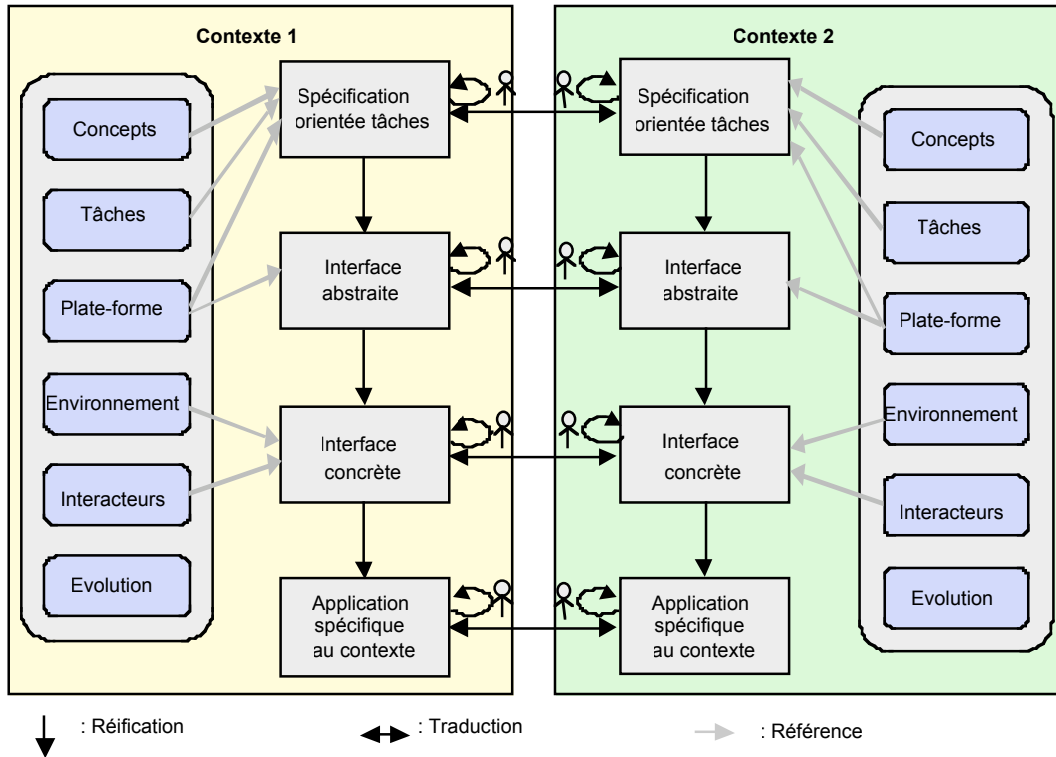


Figure 1.18 : Le processus de référence proposé par [CAL 01].

Dans ce processus, les réifications et traductions coopèrent selon des schémas non imposés. Plusieurs stratégies sont envisageables (Figure 1.19) :

- Le cas (a) correspond à la pratique actuelle. Les réifications y sont menées de façon parallèle et indépendante imposant au développeur une vérification manuelle de la cohérence inter versions. C'est cette pratique qui est à l'origine des travaux en plasticité des interfaces ;

- En (b), une réification totale est poussée pour un contexte donné. Des traductions terminales suffisent alors à cibler les autres contextes. Cette stratégie est optimale : la cohérence inter versions y est automatiquement garantie. Les interfaces présentées en Figure 1.13 ont été générées, selon ce schéma, par ArtStudio, notre générateur d'interfaces plastiques ;

- En (c), la spécification orientée tâches établie pour un contexte est immédiatement traduite pour cibler d'autres contextes. Les réifications sont alors

menées de façon parallèle, présentant les mêmes inconvénients que la stratégie (a). Cette alternative a été appliquée dans le gestionnaire d'énergie pour produire la version téléphone (Figure 1.20), ArtStudio n'implémentant pas la technologie Web ;

— En (d), un entrelacement opportuniste de réifications et traductions permet de choisir, pour chaque modèle transitoire, le contexte dans lequel il sera produit. Cette stratégie, à visée économique, affranchit le développeur de la production délicate de modèles pour certains contextes.

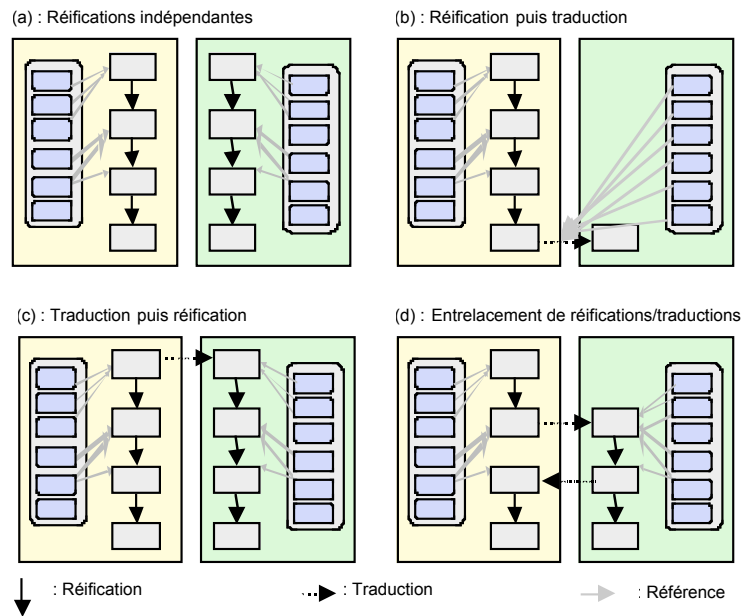


Figure 1.19 : Schémas de coopération entre réifications et traductions [CAL 01].



Figure 1.20 : Version téléphone du questionnaire d'énergie présenté en Figure 1.13. Cette version a été produite selon la stratégie (c) de la Figure 1.19.

Le processus de référence ici décrit fixe un cadre de pensée dont les modèles et mécanismes restent à mûrir :

- I^{er} modèle des interacteurs rejoint les travaux en multimodalité ;
- II^e modèle de la plate-forme inclut les recherches en réalité augmentée, les objets physiques devenant supports de l'interaction ;
- III^e modèle de l'environnement s'inscrit dans la thématique des environnements perceptifs ;
- IV^e modèle de l'évolution décrit les mesures à mettre en œuvre en cas d'adaptation. Il est exploité par les mécanismes logiciels en charge de l'adaptation.

Nous situons dans les sections suivantes les problématiques adressées en multimodalité, réalité mixte et environnements perceptifs.

1.4.3 La multimodalité

Le concept de *modalité* a plusieurs acceptions selon le domaine de référence. En psychologie, une modalité désigne l'une des "grandes catégories de qualités sensorielles (vision, audition, etc.)". En Interaction Homme-Machine, une modalité est assimilée à une technique d'interaction sans pour autant définir la couverture d'une telle technique. La plupart des études sur l'interaction multimodale s'est cantonnée à l'analyse et à la mise en œuvre de systèmes multimodaux en entrée. Autrement dit, la

communauté s'est intéressée à l'étude du paradigme du "mets ça là", l'utilisateur s'adressant de manière multimodale au système.

Depuis peu, la multimodalité en sortie fait l'objet d'études. Mais dans ces travaux, deux sens humains sont toujours largement privilégiés : la vue et l'ouïe. Dans une moins large mesure, le toucher est appréhendé dans les dispositifs à retour d'effort. On pressent aujourd'hui que l'odorat et le goût seront envisagés pour une interaction multisensorielle.

1.4.4 La réalité augmentée

La notion de Réalité Augmentée (RA) couvre plusieurs définitions traduisant différents courants de recherche menés en parallèle dès les années 90. En Graphique, la RA dérive de la Réalité Virtuelle : par exemple, de "vrais" pixels d'origine vidéo sont fusionnés à des pixels de synthèse. En Interaction Homme-Machine, la RA, en réaction à l'immersion virtuelle, s'appuie résolument sur la conservation et l'amplification du réel : par exemple, la feuille de papier physique, objet familier, est "augmentée" de capacités de traitement de l'information. La RA est aujourd'hui en pleine évolution, tiraillée entre la pratique créative dirigée par le domaine d'application et l'approche conceptuelle et mesurée de la théorie.

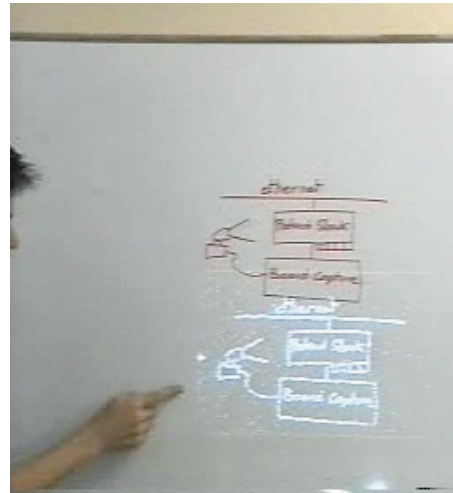
Une analyse attentive de l'état de l'art montre que tous les systèmes dits de Réalité Augmentée visent à faciliter la réalisation de tâche en brisant les frontières entre le monde numérique et le monde réel. Ce gommage des frontières se traduit toujours par un mixage de ces deux mondes, la nature du mixage différant d'un système à l'autre. Pour cette raison, nous préférons le terme de *Réalité Mixte* qui désigne toute technique d'interaction visant à rapprocher les mondes réels et numériques.

Dans le domaine, les applications sont nombreuses allant des musées à la chirurgie augmentés (Figure 1.21).

(a) Le Musée Augmenté [REK 95]



(b) Le Tableau Magique [BER 00]



(c) La Chirurgie Augmentée [DUB 01]



Figure 1.21 : Des exemples d'applications 2D (a et b) et 3D (c) en Réalité Augmentée.

La miniaturisation des équipements, leur précision, leur coût conditionneront le déploiement de ces techniques. A ces conditions, les domaines de l'éducation et des loisirs y sont candidats. Ces mêmes exigences pèsent sur les environnements perceptifs.

1.4.5 Les environnements perceptifs

Les environnements perceptifs s'inscrivent dans le paradigme de l'ordinateur évanescent : la boîte grise "écran-clavier-souris" disparaît au profit d'un espace informatisé au service des activités humaines. Il ne s'agit pas d'environnement "intelligent" mais d'espace amplifié par des capacités de perception et de calcul sous le contrôle interactif d'utilisateurs, que ceux-ci soient co-localisés ou distants. L'environnement peut être un bâtiment amplifié de capacités de perception permettant à des utilisateurs d'accomplir leurs tâches au moyen d'objets qui leur sont familiers (par exemple, un crayon, un tableau).

Contrairement aux systèmes immersifs de Réalité Virtuelle, un environnement perceptif vise la suppression de la "virtualité" au profit d'une "physicalité" amplifiée électroniquement à "la juste mesure" : il s'agit d'identifier les limites de

l'environnement physique et de l'amplifier de services électroniques qui répondent aux besoins humains sans imposer de solutions technologiques agressives.

Les travaux dans le domaine incluent la définition d'un modèle computationnel du contexte, le développement de techniques de perception artificielle conformes aux requis de l'Interaction Homme-Machine, et la création de nouvelles formes d'interaction relevant de la Réalité Augmentée.

En passant sous silence les aspects définition et modélisation du contexte déjà évoqués, mentionnons ici les travaux menés dans le domaine des capteurs : capteurs de pas (le Smart Floor) [ORR 00], localisateurs [HAR 99], capteurs audio [CLA 98], etc. Ces capteurs fournissent des informations élémentaires qui sont ensuite éventuellement agrégées ou confrontées pour fournir une évaluation fiable du contexte d'interaction. [DEY 99], [SAL 99], [SCH 99b] et [REY 01] s'intéressent alors aux architectures permettant cette abstraction.

Pour la perception artificielle, la vision par ordinateur connaît un vif succès. Elle est à la base d'applications telles que le tableau magique [BER 00]. Mais son intégration en IIHM dépend de sa capacité à tenir une interaction fortement couplée [BER 99] : l'utilisateur n'attend pas ; l'interaction doit être fluide. De la même façon, des algorithmes imposant, pour leur bon fonctionnement, des conditions d'utilisation irréalistes (par exemple, l'éclairage) s'interdiraient par cela même toute application en IIHM. Si, en revanche, leur réutilisabilité est envisageable, le doigt ou la tête peuvent devenir des modalités d'entrée.

1.5 Conclusion

De ce tour d'horizon du passé à l'avenir, soulignons la fracture entre un passé "sage" dévolu à domestiquer la discipline et un avenir fougueux séduit par l'applicatif. Si la pénétration du numérique annonce aujourd'hui des changements que l'on dit foudroyants, maintenons, plus que jamais, notre œil sur l'utilisateur. "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" [COU 98].

Ainsi, dans cette fracture entre passé et avenir, voyons plus qu'une rupture une accélération innovatrice catalysée par une effervescence technologique mais soutenue par les acquis du passé. Sans nous armer contre les dérives, ces acquis nous sensibilisent à la pluridisciplinarité de l'ouvrage. Ils stabilisent le terrain pour bâtir l'avenir de demain. Une continuité s'observe ainsi entre passé et avenir. Et des thèmes de recherche des années 90 tels que la multimodalité retrouvent ici un souffle nouveau.

D'un point de vue méthodologique, le prolongement s'impose aussi pour appréhender la difficulté croissante des applications. Si des alliances avec les ergonomes, sociologues et psychologues sont devenues indispensables, des rapprochements s'avèrent aussi nécessaires dans la communauté technique : entre l'électronique et l'informatique pour le développement d'objets nomades mais aussi entre informaticiens pour le déploiement de systèmes répartis. Aussi, la conclusion de [COU 91] est-elle toujours d'actualité : il nous faut "persévérer dans le sens de l'ouverture des frontières entre les disciplines afin que la mise en commun du savoir d'équipes de formation complémentaire conduise à des idées fécondes assorties de solutions sûres". Et gardons toujours à l'esprit que "si la technologie propose, la sociologie dispose" [AMA 89].

1.6 Annexe : Déclinaison de l'utilisabilité en facteurs et critères qualité

Si depuis 1977, l'utilisabilité est reconnue à part entière comme facteur qualité logicielle [MCC 77], elle a depuis été ré-évaluée en catégorie de facteurs [ABO 92]. Elle regroupe ainsi trois facteurs qualité : la facilité d'apprentissage (learnability), la souplesse et la robustesse de l'interaction (Interaction flexibility and robustness). La table 1 en rappelle les définitions.

Catégorie	Facteurs	Définitions
Utilisabilité	Facilité d'apprentissage	Facilité avec laquelle de nouveaux utilisateurs interagiront de façon efficace avec le système, selon une performance maximale.
	Souplesse de l'interaction	Eventail des choix laissés à l'utilisateur et le système dans les moyens d'interaction.
	Robustesse de l'interaction	Caractéristiques de l'interaction favorisant l'accomplissement et l'évaluation des buts.

Table 1 : Les trois facteurs qualité logicielle affinant l'utilisabilité. Traduit de [ABO92].

Ces trois facteurs s'affinent en critères rappelés dans les tables 2, 3 et 4.

Facteur	Critères	Définitions
Facilité d'apprentissage	Prévisibilité	Capacité de l'utilisateur à prédire l'effet d'une action en fonction des interactions passées.
	Synthétisabilité	Capacité de l'utilisateur à estimer l'effet d'opérations passées sur l'état courant du système.
	Familiarité	Capacité de l'utilisateur à transposer sur un nouveau système les connaissances et expériences acquises par ailleurs, dans le monde réel ou le domaine informatique.
	Généralisabilité	Capacité de l'utilisateur à étendre à d'autres situations, dans le même ou un autre système, la connaissance d'une interaction spécifique.

Table 2 : Déclinaison du facteur "facilité d'apprentissage" en critères qualité logicielle.
Traduit de [ABO92].

Facteur	Critères	Définitions
Souplesse de l'interaction	Atteignabilité	Capacité du système à permettre à l'utilisateur de naviguer dans l'ensemble des états observables du système. Un état q est atteignable à partir d'un état p s'il existe une suite de commandes $\{ci\}$ faisant passer de l'état p à l'état q .
	Non-préemption	Capacité du système à permettre à l'utilisateur d'atteindre directement son prochain but, i.e. sans contrainte dans la trajectoire interactionnelle.
	Interaction multifilaire	Capacité du système à permettre à l'utilisateur la réalisation "simultanée" de plusieurs tâches.
	Multiplicité du rendu	Capacité du système à fournir plusieurs représentations pour un même concept.
	Réutilisabilité des données d'entrée et de sortie	Capacité du système à (1) permettre à l'utilisateur de réutiliser en entrée une sortie du système (couper-coller) (2) réutiliser en sortie une entrée de l'utilisateur (valeurs par défaut).
	Adaptabilité	Personnalisation du système sur intervention explicite de l'utilisateur.
	Adaptativité	Capacité du système à s'adapter à l'utilisateur sans intervention explicite de ce dernier.
	Migrabilité de tâche	Capacité de délégation dynamique de tâches entre le système et l'utilisateur ou entre utilisateurs.

Table 3 : Déclinaison du facteur "souplesse de l'interaction" en critères qualité logicielle. Traduit de [IFI 96].

Remarques [COU 01] :

– Pour l'atteignabilité, une métrique peut être la longueur de la trajectoire d'interaction entre les états p et q ;

– Concernant la non-préemption, un contre-exemple typique est la boîte de dialogue modale. Une métrique possible est la longueur de la trajectoire d'interaction entre les états actuel et souhaité : elle doit valoir 1. A noter aussi qu'on distingue les préemptions globale et locale : une préemption globale interdit à l'utilisateur toute autre action que celle requise par le système ; une préemption locale ne bloque qu'un seul fil de dialogue ;

– Pour l'interaction multifilaire, une métrique peut être le nombre de tâches réalisables de manière entrelacée au regard de la charge cognitive. A noter qu'on distingue les interactions multifilaires parallèle et entrelacée : une interaction

42 Titre de l'ouvrage

multifilaire parallèle suppose un parallélisme vrai entre les tâches ; l'interaction multifilaire entrelacée restreint, à un instant donné, l'interaction à une seule tâche ;

– La plasticité des interfaces est une forme d'adaptabilité ou d'adaptativité selon l'acteur en charge de sa mise en œuvre.

Facteur	Critères	Définitions
Robustesse de l'interaction	Observabilité	Capacité du système à rendre perceptible son état pertinent. Capacité pour l'utilisateur à évaluer cet état. L'utilisateur peut percevoir.
	Insistance	Capacité du système à forcer la perception de son état. L'utilisateur doit percevoir.
	Honnêteté	Capacité du système à rendre observable son état de façon conforme à la réalité et qui engendre une interprétation correcte de la part de l'utilisateur.
	Curabilité	Capacité pour l'utilisateur à corriger une situation non désirée.
	Prévisibilité	Capacité pour l'utilisateur de prévoir, pour un état donné, l'effet d'une action.
	Tolérance du rythme	Capacité du système à permettre à l'utilisateur de maîtriser le rythme de l'interaction : l'utilisateur plutôt que le système décide quand il peut agir.

Table 4 : Déclinaison du facteur "robustesse de l'interaction" en critères qualité logicielle. Traduit de [IFI 96].

Remarques [COU 01] :

- Concernant l'observabilité, à noter que le retour d'information du système peut être : éphémère ou non (audio-vidéo / écrit statique) ; évitable ou non (retour visuel / audio) ; entretenu par le système ou l'utilisateur (clignotement / maintien d'un bouton enfoncé pour minimiser les oublis) ;

- Pour l'insistance, noter que l'intensité sonore et l'intensité des couleurs ont un effet additif ;

- En termes de curabilité, on distingue les curabilités arrière et avant : la curabilité arrière se réfère à la capacité de défaire ; la curabilité avant suppose une reconnaissance de l'état actuel et une capacité de négociation pour atteindre le but désiré. Penser au principe de l'effort commensurable [DIX 93] : ce qui est difficile à défaire doit être difficile à faire ;

- Pour la tolérance du rythme, une métrique peut être la durée de tolérance.

Bibliographie

- [ABO 92] ABOWD G.D., COUTAZ J., NIGAY L., *Structuring the Space of Interactive System Properties*, Engineering for Human-Computer Interaction, Larson J. & Unger C. (eds), Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland), IFIP, 1992, pp 113-126
- [ABO 96] ABOWD G.D., ATKESON C.G., HONG J., LONG S., KOOPER R., PINKERTON M., *Cyberguide: A Mobile Context-Aware Tour Guide*, GVU Technical Report GIT-GVU-96-27, December 1996
- [AMA 89] AMALBERTI R., *La médecine aérospatiale face aux défis des futures interfaces homme-machine*, Médecine Aéronautique et Spatiale, Tome XXVIII, N°110, 1989, pp 111-120
- [BAL 94] BALBO S., *Evaluation Ergonomique des Interfaces Utilisateur* ☐ *Un Pas Vers l'Automatisation*, Thèse de Doctorat Informatique, Université Joseph Fourier, Grenoble I, Septembre 1994, 287 pages
- [BAR 85] BARNARD P.J., *Cognitive Resources and the Learning of Computer Dialogs*, Interfacing Thought, Cognitive aspects of Human Computer Interaction, J.M. Carroll (Ed.), MIT Press, pp. 112-158, 1985
- [BAR 88] BARTHET M.F., *Logiciels interactifs et ergonomie, modèles et méthodes de conception*, Dunod Informatique, 1988, 219 pages
- [BAR 95] BARTHE M., *Ergonomie des logiciels, une nouvelle approche des méthodologies d'informatisation*, MASSON, 1995, 191 pages
- [BAS 93] BASTIEN J.M., SCAPIN D., *Ergonomic Criteria for the Evaluation of Human-Computer Interfaces*, Rapport technique INRIA, N°156, Juin 1993
- [BER 99] BERARD F., *Vision par Ordinateur pour l'Interaction Homme-Machine Fortement Couplée*, Thèse de Doctorat Informatique, Université Joseph Fourier, Grenoble I, Novembre 1999, 200 pages

- [BER 00] BERARD F., COUTAZ J., CROWLEY J.L., *Le tableau Magique*, Ergonomie et Informatique Avancée-Interaction Homme-Machine (ErgoIHM'2000), D.L Scapin & E. Vergisson (eds), CRT ILS & ESTIA, Octobre 2000, Biarritz, pp. 33-40
- [BRA 90] BRANGIER E., *Ergonomie des logiciels : approche psycho-ergonomique de l'interaction homme-ordinateur, Etude bibliographique*, Cahiers de notes documentaires n° 139, 2ème trimestre 1990, ND 1780-139-90, INRS, pp 391-404
- [BRE 97] BREEDVELT-SCHOUTEN I.M., PATERNO F.D., SEVERIJNS C.A., *Reusable structure in task models*, Proceedings of DSVIS'97, Design, Specification and Verification of Interactive System, HARRISON M.D. and TORRES J.C. (Eds), 1997, pp 225-240
- [BRI 95] BRISSON G., ANDRE J., *PROSPECT, Analyse et spécification de l'interface utilisateur d'un système interactif*, Electricité de France, Direction des Etudes et Recherches, Service Informatique et Mathématiques Appliquées, HI-52/94/034, 16 Mai 1995
- [BRO 97] BROCAS S., *L'Ingénierie Centrée sur l'Homme*, Cahier Industries, N°24, Industries, Février 1997, pp 11-20
- [CAI 93] CAIL F., *Présentation d l'information sur écran de visualisation*, Revue bibliographique, Cahiers de notes documentaires n° 151, 2ème trimestre 1993, ND 1928-151-93, INRS, pp 305-311
- [CAL 98] CALVARY G., *Proactivité et réactivité: de l'Assignment à la Complémentarité en Conception et Evaluation d'Interfaces Homme-Machine*, Thèse de Doctorat Informatique, Université Joseph-Fourier, Grenoble I, 1998, 250 pages
- [CAL 01] CALVARY G., COUTAZ J., THEVENIN D., *A Unifying Reference Framework for the Development of Plastic User Interfaces*, Proceedings of the 2001 Engineering of Human Computer Interaction Conference (EHCI'2001), R Little & L Nigay (eds), Springer Verlag Lecture Notes in Computer Science Series, A paraître
- [CAR 83] CARD S.K., MORAN T.P., NEWELL A., *The Psychology of Human-Computer Interaction*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, New Jersey, 1983
- [CHA 97] CHANG E.J., DILLON T.S., *Les méthodes de génie logiciel pour la conception des interfaces utilisateurs, Un panorama critique et une proposition d'approche*, Génie Logiciel, N°43, Mars 1997, pp 2-23
- [CLA 98] CLARKSON B., SAWHNEY N., PENTLAND A., *Auditory Context Awareness via Wearable Computing*, Proceedings of the 1998 Workshop on Perceptual User Interfaces (PUI'98), M. Turk (ed. and publ.), San Francisco, CA, 1998, pp. 37-42, Available at <http://www.cs.ucsb.edu/PUI/PUIWorkshop98/PUI98.htm>
- [COA 93] COAD P., YOURDON Y., *Analyse Orientée Objets*, Collection Méthodes Informatiques et Pratique des Systèmes, Masson, Prentice Hall Publ., 1993
- [COU 90] COUTAZ J., *Interfaces homme-ordinateur, Conception et réalisation*, Dunod informatique, 1990
- [COU 91] COUTAZ J., *Interfaces Homme-Machine : un regard critique*, TSI, Vol. 10, no 1, 1991, pp. 53-64

- [COU 98] COUTAZ J., *Interfaces Homme-Machine : "le Futur ne manque pas d'Avenir"*, ERGO-IA'98, Novembre 1998, Biarritz
- [COU 01] COUTAZ J., NIGAY L., GRAHAM N., *Architecture logicielle conceptuelle*, Analyse et conception de l'IHM, Interaction homme-machine pour les Systèmes d'Information, Volume 1, Kolski C. (coordinateur), Editions Hermès, Mai 2001, pp 207-246
- [CRO 00] CROWLEY J.L., COUTAZ J., BERARD F., *Things That See*, Communication of the ACM (CACM) Vol 43 (3), March 2000, pp. 54-64
- [DEY 99] DEY A.K., SALBER D., FUTAKAWA M., ABOWD G.D., *An Architecture To Support Context-Aware Applications*, GVU Technical Report GIT-GVU-99-23, June 1999
- [DIA 94] *DIADEM, Guide de développement, Phases système, Spécification du logiciel, Guide de rédaction d'un livre des normes, Recueil de règles générales, Conception du logiciel, Modèle de conception, Exemple*, 8 volumes, THOMSON-CSF Division Réseaux de Communication et Systèmes de Commandement, 1994
- [DIX 93] Dix A., Finlay J., Abowd G., Beale R., *Human-Computer Interaction*, Prentice Hall, New York, 1993
- [DRO 01] DROUIN A., VALENTIN A., VANDERDONCKT J., *Les apports de l'ergonomie à l'analyse et à la conception de systèmes d'information*, Analyse et conception de l'IHM, Interaction homme-machine pour les Systèmes d'Information, Volume 1, Kolski C. (coordinateur), Editions Hermès, Mai 2001, pp 51-83
- [DUB 01] DUBOIS E., *Chirurgie Augmentée : un Cas de Réalité Augmentée ; Conception et Réalisation Centrées sur l'Utilisateur*, Thèse de Doctorat Informatique, Université Joseph Fourier, Grenoble I, Juillet 2001
- [EDE 93] EDELMAN G.M., "Je crois fermement que l'espèce humaine va construire un objet pensant", *Science & Vie*, N° 907, Avril 1993, pp 54-57
- [FRI 01] FRIEDMAN T.L., *The Wired Serfs May Soon Rise Up in Cyberland*, The New York Times, Editorials/Opinion, January 31, 2001
- [GAM 98] GAMBOA-RODRIGUEZ F., *Spécification et implémentation d'ALACIE : Atelier Logiciel d'Aide à la Conception d'Interfaces Ergonomiques*, Thèse de Doctorat Informatique, Université Paris VI, Octobre 1998, 265 pages
- [GIL 95] GILMORE D.J., *Interface Design□ Have we got it wrong□*, Human Computer Interaction, Interact'95, Nordby K., Helmersen P.H., Gilmore D.J., Arnesen S.A. (Eds), Chapman and Hall Press, 1995, pp 173-178
- [HAR 90] HARTSON H.R., SIOCHI A.C., HIX D., *The UAN□ A user-oriented representation for direct manipulation interface design*, ACM Transactions on Information Systems, 1990, vol. 8, n°3, pp 181-203
- [HAR 99] HARTER A., HOPPER A., STEGGLES P., WARD A., WEBSTER P., *The anatomy of a context-aware application*, Proceedings of the fifth annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking (MobiCom'99), ACM Press, August 15-19, 1999, Seattle, WA USA, pp. 59-68

- [HIX 93] HIX D., HARTSON H.R., *Developing User Interfaces, Ensuring Usability Through Product & Process*, John Wiley & Sons, Inc., 1993, pp 381
- [IFI 96] IFIP BOOK, *Design Principles for Interactive Software*, Gram C. and Cockton G. (eds), Chapman & Hall, 1996
- [JAM 96] JAMBON F., *Erreurs et interruptions du point de vue de l'ingénierie de l'interaction homme-machine*, Thèse de Doctorat Informatique, Université Joseph Fourier, Grenoble I, Décembre 1996, 225 pages
- [JAM 01] JAMBON F., BRUN P., AÏT-AMEUR Y., *Spécification des systèmes interactifs, Analyse et conception de l'IHM*, Interaction homme-machine pour les Systèmes d'Information, Volume 1, Kolski C. (coordinateur), Editions Hermès, Mai 2001, pp 175-206
- [KOL 01] KOLSKI C., EZZEDINE H., ABED M., *Développement du logiciel : des cycles classiques aux cycles enrichis sous l'angle des IHM*, Analyse et conception de l'IHM, Interaction homme-machine pour les Systèmes d'Information, Volume 1, Kolski C. (coordinateur), Editions Hermès, Mai 2001, pp 23-49
- [LEE 00] LEE J., SU V., REN S., ISHII H., *HandSCAPE: A Vectorizing Tape Measure for On-Site Measuring Applications*, Videos of CHI'2000, April 2000
- [LEU 98] LEULIER C., BASTIEN J.M.C., SCAPIN D.L., *Compilation of ergonomic guidelines for the design and evaluation of Web sites*, Commerce & Interaction Report, Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique Rocquencourt, France, 1998
- [LIM 94] LIM K.Y., LONG J., *The MUSE method for usability engineering*, Cambridge University Press, New-York, 1994
- [LUO 93] LUO P., SZEKELY P., NECHES R., *Management of interface design in HUMANOID, INTERCHI'93*, Amsterdam, The Netherlands, 24-29 April 1993, pp 107-114
- [MCC 77] MCCALL J., *Factors in Software Quality*, General Electric Ed., 1977
- [NEW 86] NEWELL A., CARD S., *Straightening Out Softening UP: Response to Carroll and Campell*, Human Computer Interaction, 2(3), 1986, pp 251-267
- [NIE 93] NIELSEN J., *Usability Engineering*, Academic Press Professional, 1993, 362 pages
- [NOR 86] NORMAN D.A., DRAPER S.W., *User Centered System Design*, Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, 1986
- [NOR 92] NORMAND V., *Le modèle SIROCO : de la spécification conceptuelle des interfaces utilisateur à leur réalisation*, Thèse de Doctorat Informatique, Université Joseph Fourier, Grenoble I, Avril 1992, 258 pages
- [ORR 00] ORR R.J., ABOWD G.D., *The Smart Floor: A Mechanism for Natural User Identification and Tracking*, GVU Technical Report GIT-GVU-00-02, January 2000
- [POL 95] POLTROCK S., GRUDIN J., *Groupware and Workflow : A Survey of Systems and Behavioral Issues*, Conference on Human Factors in Computing Systems, may 7-11 1995, Denver Colorado USA

- [PRE 94] PREECE J., ROGERS Y., SHARP H., BENYON D., HOLLAND S., CAREY T., *Human-Computer Interaction*, Addison-Wesley, 1994
- [REA 93] REASON J., *L'erreur humaine*, Le travail humain, Collection dirigée par Jean-Michel Hoc, Presses universitaires de France, 1993
- [REK 95] REKIMOTO J., NAGAO, K., *The World through the Computer : Computer Augmented Interaction with Real World Environments*, Acte du symposium UIST'95, 1995
- [REK 00] REKIMOTO J., *Multiple Computer User Interfaces : "Beyond the desktop"*, Direct Manipulation Environments, Videos of CHI'2000, April 2000
- [RET 93] RETTIG M., SIMONS G., *A project planning and development process for small teams*, Communications of the ACM, Volume 36, Number 10, October 1993, pp 45-52
- [REY 01] REY G., *Systèmes Interactifs Sensibles au Contexte*, DEA Informatique : Système et Communications, Ecole Doctorale Mathématiques et Informatique, Université Joseph-Fourier et Institut National Polytechnique de Grenoble, Juin 2001, 79 pages
- [RUM 91] RUMBAUGH J., BLAHA M., PREMERLANI W., EDDY F., LORENSEN W., *Object-oriented modelling and design*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1991
- [RUM 95] RUMBAUGH J. et al., *Modélisation et conception orientées objet*, Masson Paris Prentice Hall - London, 1995, 516 pages
- [RUM 97] RUMBAUGH J., JACOBSON I., BOOCH G., *Unified Modeling Language Reference Manual*, Addison Wesley (Eds), 1997
- [SAL 99] SALBER D., DEY A.D., ABOWD G.D., *The Context Toolkit: Aiding the Development of Context-Enabled Applications*, Proceedings of the 1999 Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '99), Pittsburgh, PA, May 15-20, 1999, pp. 434-441
- [SCA 86] SCAPIN D., *Guide ergonomique de conception des interfaces homme-machine*, Rapport technique INRIA n° 77, 1986
- [SCA 01] SCAPIN D., BASTIEN J.M., *Analyse des tâches et aide ergonomique à la conception : l'approche MAD**, Analyse et conception de l'IHM, Interaction homme-machine pour les Systèmes d'Information, Volume 1, Kolski C. (coordinateur), Editions Hermès, Mai 2001, pp 85-116
- [SCH 94] SCHILIT B.N., ADAMS N.I., WANT R., *Context-Aware Computing Applications*, Proceedings of the IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA'94), IEEE Press, Santa Cruz CA, December 1994, pp 85-90
- [SCH 99] SCHOLTZ J., MULLER M., NOVICK D., OLSEN D.R., SCHNEIDERMAN B., WHARTON C., *A Research Agenda for Highly Effective Human-Computer Interaction* □ *Useful, Usable, and Universal*, SIGCHI bulletin, ACM/SIGCHI, October 1999, Volume 31, Number 4, pp 13-16
- [SCH 99b] SCHMIDT A., ASANTE AIDOO K., TAKALUOMA A., TUOMELA U., VAN LAERHOVEN K., VAN DE VELDE W., *Advanced Interaction in Context*. 1th International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing (HUC'99), Hans-Werner Gellersen (Ed.), Karlsruhe,

Germany, 1999 & Lecture notes in computer science; Vol 1707, ISBN 3-540-66550-1, Springer, 1999, pp 89-101

[SEB 94] SEBILLOTTE S et al. □ *Note de recherche concernant le formalisme MAD*, Projet de Psychologie Ergonomique pour l'Informatique, INRIA Rocquencourt, Novembre 1994, 31 pages

[SMI 82] SMITH S.L., MOSIER J.N., *A design evaluation checklist for user-system interface software*, Report #MTR-9480 EDS_TR_84-358, The MITRE Corporation, Bedford, MA, 1982

[SZE 96] SZEKELY P., *Retrospective and Challenges for Model-Based Interface Development*, Proceedings of the 1996 Computer-Aided Design of User Interfaces Conference (CADUI96), J. Vanderdonckt (eds), Presses Universitaires de Namur, pp xxi-xliv

[THE 99] THEVENIN D., COUTAZ J., *Plasticity of User Interfaces: Framework and Research Agenda*, Proceedings of INTERACT'99, 1999, pp. 110-117

[VAN 94] VANDERDONCKT J., *Guide ergonomique des interfaces homme-machine*, Presses Universitaires de Namur, Namur, 1994

[YAN 00] YAN H., SELKER T., *Context-Aware Office Assistant*, Proceedings of the 2000 International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI2000), H Lieberman (eds), ACM Press, New-Orleans LA USA, pp 276-279.