

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère De L'enseignement  
Supérieur et de La Recherche Scientifique

Université 8 Mai 1945 Guelma



وزارة التعليم العالي  
و البحث العلمي  
جامعة 8 ماي 1945 قالمة



# Ergonomie des Interfaces Homme Machine

## Cours & Exercices

Par

**Dr. Khaled HALIMI**

## Résumé

L'usage de systèmes interactifs ne cessant de s'accroître, il devient nécessaire d'améliorer et de faciliter l'interaction homme-machine. Le développement de nouveaux outils logiciels, langages et dispositifs d'interaction ainsi que la prise en compte des facteurs humains permettent de répondre aux besoins des utilisateurs. Ce cours a pour objectif d'initier les étudiants à la conception et réalisation de systèmes interactifs et de présenter les évolutions récentes dans le domaine des IHM du point de vue des méthodes et des réalisations. Le premier chapitre du cours présente les connaissances qui forment la base du domaine de l'interaction homme-machine, il porte sur : les facteurs humains et les interfaces graphiques. Dans le deuxième chapitre, les étudiants peuvent apprendre facilement les critères ergonomiques et plus particulièrement ils vont comprendre comment créer des interfaces aussi utilisables que possible à travers une panoplie de recommandations et des bonnes pratiques. Le troisième chapitre décrit les approches de conception des interfaces homme machine qui diffèrent des méthodes de conception en génie logiciel, où l'accent est mis sur l'approche centrée utilisateur. Le quatrième chapitre présente les différentes méthodes d'évaluation des interfaces utilisateurs et le dernier chapitre présente un ensemble des exercices qui peuvent être extrêmement intéressants aux étudiants pour apprendre et assimiler les différentes notions présentées dans les chapitres précédents.

**Mots clés :** IHM, Ergonomie, Interaction, Conception, Evaluation.

## Table des Matières

<b>RESUME .....</b>	<b>1</b>
<b>TABLE DES MATIERES.....</b>	<b>4</b>
<b>LISTE DES FIGURES .....</b>	<b>6</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>2</b>
<b>I. LES INTERACTIONS HOMME-MACHINE .....</b>	<b>3</b>
I.1. INTRODUCTION.....	4
I.2. LES ORIGINES DES IHM .....	4
I.3. LA CROISSANCE DE LA RECHERCHE IHM .....	6
I.4. LE FACTEUR HUMAIN .....	7
<i>I.4.1. L'échelle de temps de l'action humaine .....</i>	<i>8</i>
I.5. LES CARACTERISTIQUES HUMAINS .....	8
<i>I.5.1. Les Capteurs .....</i>	<i>9</i>
a) La Vision.....	9
i. La fréquence.....	10
ii. L'Intensité .....	10
iii. Les Fixations et les saccades.....	10
b) L'Audition.....	11
c) Le Toucher .....	12
d) L'odorat et le goût .....	13
I.6. LES INTERVENANTS HUMAINS .....	13
I.7. CONCLUSION.....	15
<b>II. L'ERGONOMIE DES INTERFACES HOMME-MACHINE.....</b>	<b>16</b>
II.1. INTRODUCTION.....	17
II.2. L'ERGONOMIE .....	17
<i>II.2.1. Étymologie .....</i>	<i>18</i>
<i>II.2.2. Domaines de spécialisation.....</i>	<i>18</i>
<i>II.2.3. L'ergonomie physique .....</i>	<i>18</i>
<i>II.2.4. L'ergonomie cognitive .....</i>	<i>19</i>
i. Les Objectifs de l'ergonomie cognitive .....	19
II.3. L'ORIGINE DES CRITERES ERGONOMIQUES .....	19
II.4. L'UTILITE DES CRITERES ERGONOMIQUES.....	20
II.5. LES CRITERES ERGONOMIQUES .....	20
<i>II.5.1. Le Guidage .....</i>	<i>21</i>
a) L'Incitation .....	21
b) Le critère Groupement / Distinction des items .....	22
c) Le Feedback immédiat .....	23
d) Lisibilité.....	24
<i>II.5.2. La charge de travail.....</i>	<i>24</i>
a) Brièveté .....	24
b) Densité de l'information .....	25
<i>II.5.3. Control explicit de l'utilisateur .....</i>	<i>26</i>
<i>II.5.4. Adaptabilité.....</i>	<i>27</i>
a) La flexibilité.....	27
b) Expérience utilisateur .....	28

II.5.5. Gestion des erreurs .....	29
a) Protection contre les erreurs .....	29
b) Qualité des messages d'erreur .....	29
c) Correction des erreurs .....	30
II.5.6. Cohérence .....	30
II.5.7. La signification de codes .....	31
II.5.8. La Compatibilité .....	32
II.6. CONCLUSION.....	32
<b>III. CONCEPTION DES SYSTEMES INTERACTIFS .....</b>	<b>34</b>
III.1. INTRODUCTION.....	35
III.2. L'INGENIERIE D'UTILISABILITE .....	35
III.2.1. Les Objectifs de l'ingénierie d'utilisabilité .....	35
III.2.2. L'Etude d'utilisabilité .....	36
III.2.3. Les Outils logiciels .....	36
III.3. L'IHM ET LE GENIE LOGICIEL .....	36
III.4. LA CONCEPTION DES SYSTEMES INTERACTIFS .....	38
III.5. METHODES DE CONCEPTION DES IHM .....	38
III.5.1. La Conception centrée utilisateur .....	38
a) Modèles et approches de la conception centrée sur l'utilisateur .....	39
b) Le But de la CCU.....	39
c) Les Eléments de la CCU.....	40
c.1. La Visibilité .....	40
c.2. L'Accessibilité .....	40
c.3. Lisibilité.....	40
c.4. Langue .....	40
III.6. CONCLUSION.....	40
<b>IV. L'EVALUATION DES INTERFACES HOMME-MACHINE .....</b>	<b>42</b>
IV.1. INTRODUCTION .....	43
IV.2. L'EVALUATION DES IHM .....	43
IV.3. ÉVALUATION PAR L'ANALYSE DES EXPERTS.....	43
IV.3.1. La méthode cognitive Walkthrough.....	43
IV.3.2. L'Évaluation heuristique .....	44
IV.3.3. L'évaluation à base des modèles .....	44
IV.4. L'EVALUATION PAR LA PARTICIPATION DES UTILISATEURS .....	45
IV.4.1. Styles d'études d'évaluation .....	45
IV.4.2. Méthodes Empiriques : l'évaluation expérimentale .....	45
IV.5. LES TECHNIQUES D'OBSERVATION.....	46
IV.6. CHOIX D'UNE METHODE D'EVALUATION.....	46
IV.7. CONCLUSION .....	47
<b>V. EXERCICES DE REFLEXIONS.....</b>	<b>48</b>
V.1. EXERCICES .....	49
<b>VI. REFERENCES.....</b>	<b>54</b>

---

## Liste des Figures

FIGURE 1. 1. LARGEUR VS. PROFONDEUR DANS LA CONCEPTION DES MENUS .....	6
FIGURE 1. 2. LA VUE DES FACTEURS HUMAINS DANS L'ENVIRONNEMENT DU TRAVAIL [28].....	8
FIGURE 1. 3. L'ŒIL .....	9
FIGURE 1. 4. L'IMAGE FOVEA COUVRE UNE REGION UN PEU PLUS D'UN DEGRE D'ANGLE VISUEL [1]. .....	10
FIGURE 1. 5. LE SPECTRE VISUEL.....	10
FIGURE 1. 6. CHEMIN DE LOCALISATION DU CONTENU SUR UN SITE WEB .....	11
FIGURE 1. 7. LE FEEDBACK TACTILE [33] .....	13
FIGURE 1. 8. LES INTERVENANTS HUMAINS [35]. .....	14
FIGURE 1. 9. L'UTILISATION DES MEMBRES.....	14
FIGURE 2. 1. LES PRINCIPAUX CRITERES ERGONOMIQUES.....	21
FIGURE 2. 2. EXEMPLE D'INCITATION : SAISIE AUTOMATIQUE DE LA DATE .....	22
FIGURE 2. 3. EXEMPLE DE REGROUPEMENT DES ITEMS.....	23
FIGURE 2. 4. FEEDBACK : INDICATEUR DE PROGRES DE TELECHARGEMENT .....	23
FIGURE 2. 5. BONNE PRATIQUE SUR LA LISIBILITE .....	24
FIGURE 2. 6. LA CHARGE DE TRAVAIL LA CONCISION.....	25
FIGURE 2. 7. MAUVAISE PRATIQUE SUR LA DENSITE D'INFORMATION .....	26
FIGURE 2. 8. CONTROLE EXPLICITE DES ACTIONS DE L'UTILISATEUR .....	27
FIGURE 2. 9. ADAPTATION DE L'INTERFACE (MENU, ITEMS, RACCOURCIS) .....	28
FIGURE 2. 10. LES MESSAGES D'ERREUR SONT INFORMATIFS ET EFFICACES .....	30
FIGURE 2. 11. ASSOCIATION ICONE ET LIBELLE: CLAIR ET EXPLICITE .....	31
FIGURE 2. 12. LA COMPATIBILITE AVEC L'UNIVERS DE LA FACTURATION .....	32
FIGURE 3. 1. LE MODELE DE CONCEPTION DU LOGICIEL EN CASCADE.....	37
FIGURE 3. 2. MODELE DE CONCEPTION DES INTERFACES GRAPHIQUES .....	37

# **Introduction Générale**

## **Introduction Générale**

Les hommes interagissent avec la machine par plusieurs façons où l'interface entre les humains et les ordinateurs qu'ils utilisent pour établir l'interaction doit être très facile à utiliser afin que les humains mènent à bien leurs tâches. Les applications bureautiques, les navigateurs Internet, les ordinateurs de poche, etc. utilisent tous des interfaces utilisateur graphiques (GUI). L'Interaction homme-machine étudie alors les façons dont les humains font ou ne font pas, l'utilisation d'artefacts informatiques, des systèmes et des infrastructures. Une grande partie de la recherche dans le domaine vise à améliorer l'interaction homme-ordinateur en améliorant la facilité d'utilisation des interfaces informatiques, et cherche de répondre aux questions suivantes : comment la facilité d'utilisation doit être précisément comprise, comment elle se rapporte à d'autres valeurs sociales et culturelles et quand elle est ou elle ne peut pas être une propriété souhaitable d'interfaces informatiques.

Les chercheurs voient le domaine de plusieurs perspectives et de plusieurs dimensions. D'une perspective cognitive, les chercheurs de l'IHM peuvent chercher à aligner les interfaces informatiques selon le modèle mental des humains. D'une perspective post-cognitive, les chercheurs de l'IHM peuvent, par exemple, chercher à aligner des interfaces informatiques avec les pratiques sociales existantes ou les valeurs socioculturelles existantes. Les praticiens professionnels dans le domaine de l'IHM sont généralement des concepteurs concernés par l'application pratique des méthodologies de conception travail tourne souvent autour de la conception graphique des interfaces utilisateur et des interfaces web.

Les chercheurs de l'IHM sont intéressés par le développement de nouvelles méthodologies de conception, l'expérimentation de nouveaux dispositifs, l'évaluation des interfaces, le prototypage de nouveaux systèmes logiciels, en explorant de nouveaux paradigmes d'interaction et de développer des modèles et des théories de l'interaction.

Ce cours traite l'ergonomie des interfaces homme machine, il est organisé en cinq chapitres. Il commence au premier chapitre par un contexte historique du domaine, la chronique d'importants travaux conduisant à l'émergence de l'IHM comme un domaine de la recherche et de la pratique est bien détaillée. Un aperçu des facteurs humains est présenté, où les caractéristiques cognitives, psychologiques et physiques de l'être humain sont introduits et résumés. Le deuxième chapitre présente le travail de l'ergonome qui s'articule autour d'outils qui lui servent à juger l'utilité et de l'utilisabilité de l'interface informatique. Ces outils, sont décrits dans un ensemble de normes, et de recommandations visant à fournir un cadre de l'expertise de l'ergonome. Le troisième chapitre décrit les méthodes, les concepts et les aspects de conceptions des IHM en se basant sur les critères ergonomiques présentés dans le chapitre précédent, où on a met l'accent sur l'approche de conception centrée sur l'utilisateur. Le quatrième chapitre qui présente l'évaluation des IHM, décrit les différentes méthodes et techniques utilisées pour faire une évaluation efficace de l'interface utilisateur. Le cinquième chapitre résume les notions et les aspects appris dans les chapitres précédents dans un ensemble des exercices.

# Chapitre 01

## I. Les Interactions Homme-Machine

I.1. INTRODUCTION.....	4
I.2. LES ORIGINES DES IHM.....	4
I.3. LA CROISSANCE DE LA RECHERCHE IHM .....	6
I.4. LE FACTEUR HUMAIN .....	7
<i>I.4.1. L'échelle de temps de l'action humaine.....</i>	<i>8</i>
I.5. LES CARACTERISTIQUES HUMAINS .....	8
<i>I.5.1. Les Capteurs.....</i>	<i>9</i>
a) La Vision .....	9
i. La fréquence.....	10
ii. L'Intensité.....	10
iii. Les Fixations et les saccades.....	10
b) L'Audition .....	11
c) Le Toucher.....	12
d) L'odorat et le goût .....	13
I.6. LES INTERVENANTS HUMAINS .....	13
I.7. CONCLUSION .....	15

## I.1. *Introduction*

L'Interaction Homme-Machine (IHM) est un domaine de recherche et de la pratique qui a émergé au début des années 1980, d'abord comme un domaine de spécialité en informatique embrassant les sciences cognitives et ingénierie des facteurs humains. L'IHM a augmenté rapidement et régulièrement pendant les trois dernières décennies, où il a attiré des professionnels de nombreuses autres disciplines et en incorporant divers concepts et approches. Dans une large mesure, l'IHM regroupe maintenant une collection de champs semi-autonomes de la recherche et de la pratique en informatique centrés sur l'humain. Cependant, la synthèse continue des conceptions disparates et les approches de la science et la pratique dans l'IHM a produit un exemple dramatique de la façon dont les différentes épistémologies et paradigmes peuvent être rapprochés et intégrés dans un projet intellectuel dynamique et productif [1]. Nous présentons dans ce premier chapitre, un aperçu global sur l'interaction homme machine, ses enjeux et conditions d'existence, ses motivations et orientations ; nous donnons aussi une vue d'ensemble sur les facteurs humains, et comme le non respect de ces facteurs peut entraîner à un échec incontournable de l'utilisation de l'interface.

## I.2. *Les origines des IHM*

Jusqu'à la fin des années 1970, les seuls humains qui ont interagi avec les ordinateurs étaient des professionnels de la technologie de l'information et les amateurs dévoués. Cela a changé grandement avec l'émergence de l'informatique personnelle dans les années 1970 plus tard. Les ordinateurs personnels, y compris les logiciels personnels (applications de productivité, tels que les éditeurs et les feuilles de calcul du texte, et des jeux interactifs sur ordinateur) et les plates-formes informatiques personnelles (systèmes d'exploitation, langages de programmation, et le matériel) font chaque personne dans le monde un utilisateur potentiel de l'ordinateur, et vivement mis en évidence les lacunes des ordinateurs à l'égard de la facilité d'utilisation pour ceux qui voulaient utiliser l'ordinateur comme outil [2].

Le défi de l'informatique personnelle est devenu manifeste à un moment opportun. Le vaste projet de la science cognitive, qui a incorporé la psychologie cognitive, l'intelligence artificielle, la linguistique, l'anthropologie cognitive, et la philosophie de l'esprit, avait formé à la fin des années 1970. Une partie du programme de la science cognitive était d'articuler les demandes systématiques et scientifiquement éclairés pour être connu comme "*l'ingénierie cognitive*". Ainsi, juste au moment où l'informatique personnelle a présenté la nécessité pratique de l'IHM, la science cognitive a présenté des gens, des concepts, des compétences et une vision pour répondre à ces besoins grâce à une synthèse ambitieuse de la science et de l'ingénierie. L'IHM a été l'un des premiers exemples de l'ingénierie cognitive [1].

Cela a été facilité par les développements analogues dans l'ingénierie et la conception des zones adjacentes à l'IHM, et en fait souvent chevauchement l'IHM, notamment l'ingénierie des facteurs humains et le développement de la documentation. Les facteurs humains ont développé des techniques empiriques et les tâches d'analyse pour évaluer les interactions-système humain dans des domaines tels que l'aviation et de la fabrication, et se déplaçait pour traiter des contextes du système interactif dans lequel les opérateurs humains exercent régulièrement une plus grande mesure de résolution de problèmes. Le développement de la documentation se déplaçait au-delà de son rôle traditionnel de produire des descriptions techniques systématiques vers une approche cognitive incorporant des théories de l'écriture, la lecture, et les médias, avec des tests utilisateurs empiriques [3].

D'autres développements historiquement fortuits ont contribué à la création de l'IHM. L'ingénierie logicielle, embourbés dans la complexité des logiciels ingérable dans les années 1970 (la «crise du logiciel»), commençait à se concentrer sur les exigences non fonctionnelles, y compris la facilité d'utilisation et la maintenabilité, et sur les processus de développement de logiciels empiriques qui comptaient beaucoup sur le prototypage itératif et des tests empiriques. L'infographie et la recherche d'information ont vu le jour dans les années 1970, et rapidement est venu de reconnaître que les systèmes interactifs étaient la clé pour progresser au-delà de premières réalisations. Tous ces fils de développement en informatique ont souligné à la même conclusion: la voie à suivre pour l'informatique a entraîné la meilleure compréhension de l'utilisateur. Ces diverses forces de nécessité et l'opportunité ont convergé vers 1980, en se concentrant une énorme énergie humaine, et la création d'un projet interdisciplinaire très visible [4].

Compte tenu de la forme contemporaine de l'IHM, il est important de se rappeler que ses origines sont des interactions de productivités personnelles liées à l'ordinateur de bureau, telles que le traitement de texte et tableurs. En effet, l'une des plus grandes idées de conception du début des années 1980 était la soi-disant métaphore de bureau en désordre, popularisé par Apple Macintosh: les fichiers et les dossiers ont été affichés sous forme d'icônes qui pourraient être, et ont été dispersés autour de la surface d'affichage [5]. Le bureau en désordre était un incubateur parfait pour le paradigme de développement d'interfaces utilisateur graphiques. Peut-être qu'il n'a pas été aussi facile à apprendre et facile à utiliser, mais les gens étaient bientôt en mesure de glisser les fenêtres et les icônes autour de leurs écrans, et de perdre la trace des choses sur leurs interfaces de bureau comme ils le faisaient sur leurs postes de travail physique. Il était sûrement un contraste frappant avec la métaphore de télétype immédiatement avant d'Unix, dans lequel toutes les interactions ont été accomplies en tapant des [6].

Le second sens dans lequel l'IHM déplacé au-delà du bureau était sous l'influence croissante de l'Internet sur l'informatique et sur la société. À partir du milieu des années 1980, le courrier électronique a émergé comme l'une des applications les plus importantes de l'IHM, mais ironiquement, l'email faite des ordinateurs et des réseaux dans des canaux de communication; les gens ne sont pas en interaction avec les ordinateurs, ils ont été en interaction avec d'autres personnes par le biais des ordinateurs [7]. Les Outils et les applications pour soutenir l'activité collaborative incluent désormais la messagerie instantanée, les wikis, les blogs, les forums en ligne, les réseaux sociaux, le bookmarking social et des services de marquage, des espaces de médias et d'autres espaces de travail collaboratifs, les systèmes de recommandation et de filtrage collaboratif, et une grande variété de groupes et de communautés en ligne. De nouveaux paradigmes et mécanismes de l'activité collective ont émergé, notamment des ventes aux enchères en ligne, les systèmes de réputation, des capteurs souples, etc. Cette zone de l'IHM, maintenant souvent appelé l'informatique sociale, est devenue l'un des développements le plus rapide récemment [8].

Avec la formation de l'ACM SIGCHI en 1983 et le lancement et le succès de l'Apple Macintosh en 1984, l'interaction homme-machine était lancée. Les interfaces utilisateurs graphiques (GUIs) sont entrées dans le grand public et, par conséquent, une communauté beaucoup plus large d'utilisateurs et des chercheurs ont été exposés à ce nouveau genre d'interaction. Microsoft était un retardataire dans les GUIs. Les premières versions de Microsoft Windows sont apparues en 1985, mais il a fallu attendre la sortie de Windows 3.0 (1990) et en particulier Windows 3.1 (1992) que Microsoft Windows a été considéré comme une alternative sérieuse au système d'exploitation Macintosh.

Avec l'avancement des intérêts dans l'interaction homme-machine, toutes les grandes universités introduit des cours d'IHM ou la conception de l'interface utilisateur (UI), avec étudiants diplômés choisissant souvent un sujet dans l'IHM pour leur thèse de recherche. Beaucoup de ces programmes d'études étaient dans les départements de l'informatique; cependant, l'IHM a également émergé comme un foyer légitime

et populaire dans d'autres domaines tels que la psychologie, les sciences cognitives, le génie industriel, des systèmes d'information, et la sociologie, etc. Et il n'y avait pas que les universités qui ont reconnu l'importance du domaine émergent. Les entreprises ont vite réalisé que la conception de bonnes interfaces utilisateur était une bonne affaire, mais il n'a pas été facile [1].

Des histoires de mauvaises des interfaces utilisateurs sont énormes dans l'IHM [9]. Donc, il y avait du travail à faire. Les praticiens qui sont, les spécialistes appliquant les principes de l'IHM dans l'industrie sont des membres importants de la communauté IHM, et ils forment un important contingent à de nombreuses conférences d'IHM aujourd'hui.

L'une des réalisations les plus importantes de l'IHM est son modèle évolutif de l'intégration de la recherche et de la pratique. Initialement, ce modèle a été articulé comme une relation réciproque entre les sciences cognitives et l'ingénierie cognitive. Plus tard, il ambitieusement incorporé une fondation scientifique diversifiée, notamment la psychologie sociale et organisationnelle, la théorie de l'activité, la cognition distribuée, et la sociologie, et une activité humaine des approches ethnographiques, y compris les activités de conception et de développement technologique et d'appropriation [10]. Actuellement, le modèle intègre les pratiques de conception et de recherche dans un large spectre. Dans ces développements, l'IHM fournit un plan pour une relation mutuelle entre la science et la pratique [11].

### 1.3. La croissance de la recherche IHM

L'intérêt de la recherche en interaction homme-machine, au moins au début, était de la qualité, l'efficacité et l'efficacité de l'interface. Comment les gens rapidement et avec précision peuvent faire des tâches courantes à l'aide d'une interface graphique par rapport à une interface de ligne de commande basé sur le texte? Ou, étant donné deux ou plusieurs variations dans une implémentation de l'interface graphique, dont l'un est plus rapide et plus précise? Ces questions similaires ont constitué la base de nombreuses recherches empiriques dans les premiers jours de l'IHM. Un exemple classique d'un sujet de recherche en IHM est la conception de menus. Avec une interface graphique, l'utilisateur émet une commande à l'ordinateur en sélectionnant la commande à partir d'un menu plutôt que de taper sur le clavier.

Il est connu que la reconnaissance est préférée au rappel dans les interfaces utilisateur [12], [13], au moins pour les novices, mais un nouveau problème des surfaces alors. S'il y a de nombreuses commandes dans un menu, comment doivent-ils être organisés? Une approche consiste à organiser des commandes de menu dans une hiérarchie qui comprend la profondeur et la largeur. La question qui se pose: quelle est la meilleure structure pour la hiérarchie? Prenons le cas de 64 commandes organisées dans un menu. Le menu pourrait être organisée avec la profondeur = 8 et la largeur = 2, ou avec la profondeur = 2 et la largeur = 6. Les deux structures permettent d'accéder aux 64 éléments de menu, voir la figure 1.1.

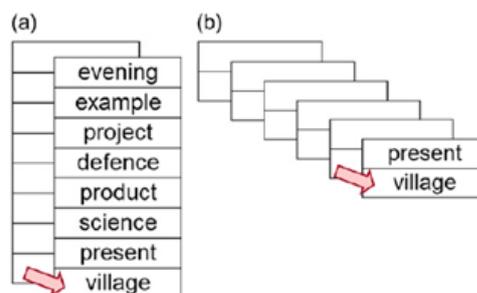


Figure I. 1. Largeur Vs. Profondeur dans la conception des menus

Le cas profondeur donne  $2^6 = 64$  choix (Figure 1.1b). Quelle organisation est mieux? Est-ce une autre organisation mieux encore (par exemple,  $4^3 = 64$ )? Compte tenu de ces questions, il n'est pas surprenant que les problèmes de conception de menu ont été activement poursuivis comme sujets de recherche dans les premiers jours d'IHM (par exemple : [14], [15], [16]).

Profondeur par rapport à la largeur n'est pas le seul problème de la recherche dans la conception de menu; il y a beaucoup d'autres. Les items doivent être classés par ordre alphabétique ou par fonction [17]? Est-ce que la présence d'un titre sur un sous-menu améliorer l'accès au menu? Est-ce que l'accès amélioré si une icône est ajoutée à l'étiquette [18]? Les gens de différents groupes d'âge réagissent différemment aux menus en largeur par rapport aux menus en profondeurs [19]? Y a-t-il un avantage de profondeur par rapport à la largeur pour les menus sur les appareils mobiles [20]? Est-ce que la rétroaction auditive améliorer l'accès au menu [21]? L'inclinaison d'un téléphone mobile peut être utilisée pour le menu de navigation [22]? Peut-être des listes de menu feuilletés en forme, plutôt qu'en linéaire [23]? Les menus circulaires peuvent être utilisés pour la saisie de texte [24]?

Les réponses à ces questions de recherche peuvent être trouvées dans les documents cités. Ils sont des exemples des types de questions de recherche qui créent des possibilités pour la recherche empirique en IHM.

#### 1.4. *Le facteur humain*

Les défis les plus profonds dans l'interaction homme-machine (IHM) se trouvent dans le facteur humain. Les humains sont compliqués. Les ordinateurs, par comparaison, sont simples. Les ordinateurs sont conçus et construits et fonctionnent en termes assez strictes en fonction de leur capacités programmées. Il n'y a aucun parallèle avec les humains. Les scientifiques humaines (y compris ceux de l'IHM) précisent que les êtres humains sont différents. Nous sommes jeunes, vieux, femmes, hommes, experts, novices, gaucher, anglophone droitier, grand, petit, fort, faible, rapide, lent, valides, handicapés, aperçu, aveugle, motivés, paresseux, créatif, fade, fatigué, alerte, et ainsi de suite. La variabilité des humains apportée à la table signifie que notre travail n'est jamais précis. Concevoir des systèmes qui fonctionnent bien est un objectif noble, mais malheureusement, il ne possible dans la mesure que nous aimerions atteindre. Un système pourrait bien fonctionner pour un sous-ensemble de personnes, mais le système pourrait fonctionner mal, ou pas du tout. Il est pour cette raison que les concepteurs d'IHM avoir des préceptes comme "connaissent son utilisateur" [25].

Les chercheurs de l'IHM ont des questions-beaucoup d'entre eux. Nous sommes bons pour les petits, mais les grands sont difficiles à répondre: Pourquoi les humains font des erreurs? Pourquoi les humains oublient comment faire les choses? Pourquoi les humains deviennent confus lors de l'installation des applications sur leurs ordinateurs? Pourquoi les humains ont du mal à conduire tout en parlant sur un téléphone mobile? Pourquoi les humains jouissent tellement Facebook? De toute évidence, la partie humaine est extrêmement importante et fascinante. Plus nous comprenons les humains, meilleures sont nos chances de conception de systèmes interactifs qui fonctionnent comme prévu [1].

Les questions posées dans le paragraphe précédent commencent par pourquoi, ce sont de grandes questions. Prendre la première question: *Pourquoi les humains font des erreurs?* Du point de vue de la recherche empirique, la question est trop large. Il ne peut y répondre avec précision. La meilleure solution proposée est de travailler avec un groupe défini des utilisateurs (une population) et leur demander de faire une tâche particulière sur un système particulier dans un environnement particulier. En observant l'interaction et de mesurer le comportement. Sur le chemin, en enregistrant les erreurs, les classer, les

compter, et prenant note de l'endroit où et comment les erreurs se sont produites. Si la méthodologie est solide, il pourrait assimiler suffisamment d'informations pour mettre en avant une réponse à la question *pourquoi* dans un sens étroit [1]. Si la recherche est faite dans ce sens, il sera possible de développer une réponse dans un sens large. Mais une approche fondée et rigoureuse à la recherche empirique nécessite de petites questions et très ciblés.

Pour comprendre l'être humain, il faut prendre en compte les modèles descriptifs de «l'humain». On va présenter dans le suivant, les différents modèles nécessaires pour développer un bon IHM.

#### 1.4.1. L'échelle de temps de l'action humaine

L'échelle de temps d'action humaine de Newell est un modèle descriptif de l'humain [26]. Il délimite l'espace de problème en positionnant les différents types d'actions humaines dans des délais au sein de laquelle les actions se produisent. Le modèle comporte quatre bandes, une bande biologique, une bande cognitive, une bande rationnelle et une bande sociale. Chaque bande est divisée en trois niveaux. Le temps est commandé par des secondes et apparaît sur une échelle logarithmique, à chaque niveau un facteur de dix plus long que le niveau inférieur. Les unités sont microsecondes au fond et des mois au sommet. Pour neuf niveaux, Newell attribue un label pour le système humain au travail (par exemple, des opérations ou tâches). Au sein de ces étiquettes, nous voyons une connexion avec l'IHM. Les étiquettes pour les bandes suggèrent une vision du monde ou de la théorie de l'action humaine.

La variable dépendante la plus courante dans la recherche expérimentale en IHM est le temps, (le temps pour un utilisateur pour effectuer une tâche). En ce sens, le modèle de temps à l'échelle de Newell est pertinent à l'IHM. Le modèle est également approprié, car il reflète la nature multidisciplinaire du domaine. Les tâches de ces interactions durent généralement de l'ordre de quelques centaines de millisecondes (ms) à quelques dizaines de secondes.

#### 1.5. Les caractéristiques humains

Il existe de nombreuses façons de caractériser l'homme dans les systèmes interactifs. L'un est le modèle du processeur humain de cardé [27]. Les chercheurs des facteurs humains utilisent souvent un modèle montrant un opérateur humain face à une machine, comme présenté dans la figure 1.2. L'homme surveille l'état de l'ordinateur grâce à des capteurs et des écrans et contrôle l'état de l'ordinateur par le biais des intervenants et des contrôles. La ligne verticale en pointillés est importante car elle est à l'interface où l'interaction a lieu. Ceci est l'endroit où les chercheurs observent et mesurent les événements comportementaux qui forment l'interaction.

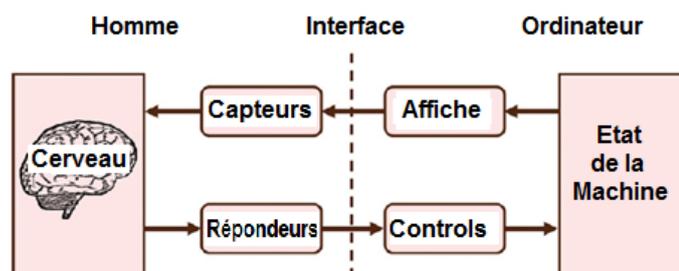


Figure I. 2. La vue des facteurs humains dans l'environnement du travail [28]

La Figure 1.2 est un moyen pratique d'organiser cette section, car il simplifie l'humain à trois composants: capteurs, répondeurs, et un cerveau.

### 1.5.1. Les Capteurs

Les cinq sens humains classiques sont la vision, l'ouïe, le goût, l'odorat et le toucher. Chacun apporte nettement des différentes propriétés physiques de l'environnement à l'être humain. Une caractéristique le sens partage est la réception et la conversion en signaux nerveux électriques des phénomènes physiques tels que les ondes sonores, les rayons lumineux, les saveurs, les odeurs et le contact physique. Les signaux sont transmis au cerveau pour le traitement. Les stimuli sensoriels et les organes sensoriels sont purement physiologiques. La perception comprend à la fois la détection de stimuli et de l'utilisation du cerveau pour développer l'identification, la sensibilisation et la compréhension de ce qui est détecté.

#### a) La Vision

La Vision, ou la vue, est la capacité humaine de recevoir des informations de l'environnement sous forme de lumière visible perçue par l'œil. Le canal sensoriel visuel est extrêmement important, car la plupart des gens obtiennent environ 80 % de leurs informations par le sens de la lumière [29]. L'acte de voir commence par la réception de la lumière à travers la lentille de l'œil. La lentille focalise la lumière dans une image projetée sur la rétine à l'arrière de l'œil, voir la figure 1.3. La rétine est un transducteur, convertissant la lumière visible en signaux neurologiques envoyés au cerveau par le nerf optique.

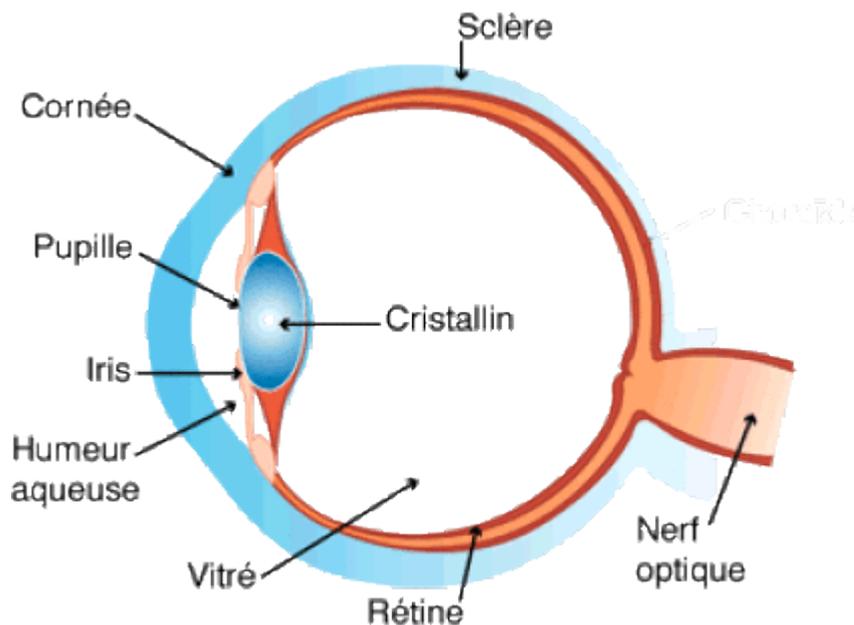


Figure I. 3. L'œil

Près du centre de la rétine est la fovéa, qui est responsable de la vision centrale, comme la lecture ou regarder la télévision. L'image de fovéa dans l'environnement englobe un peu plus d'un degré d'angle visuel, à peu près équivalente à la largeur de son pouce à bout de bras, voir la figure 1.4. Bien que la fovéa soit seulement d'environ 1% de la rétine en taille, le traitement neuronal associé à l'image vient en prise fovéa environ 50 % du cortex visuel du cerveau. Comme avec d'autres stimuli sensoriels, la lumière a des propriétés telles que : la fréquence, l'intensité et les fixations et les saccades [1].

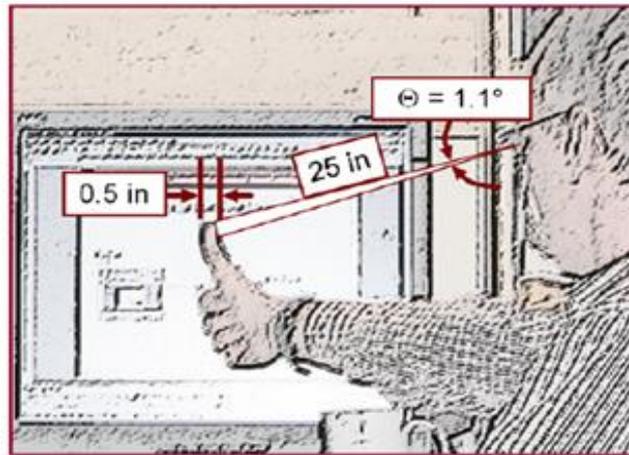


Figure I. 4. L'image fovéa couvre une région un peu plus d'un degré d'angle visuel [1].

i. La fréquence.

La fréquence est la propriété de premier plan à la lumière de la perception de la couleur. La lumière visible est une petite bande dans le spectre électromagnétique, qui va d'ondes radio aux rayons X et les rayons gamma. Différentes couleurs sont positionnés dans le spectre visible d'ondes électromagnétiques, avec du violet à une extrémité (390 nanomètres) et rouge à l'autre (750 nm). Voir la figure 1.5, les couleurs pas apparente dans l'impression en niveaux de gris.

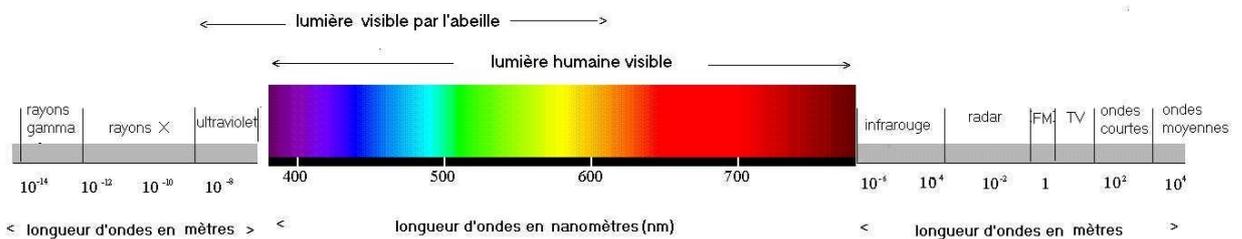


Figure I. 5. Le spectre visuel

ii. L'Intensité

Bien que la fréquence de la lumière soit un concept relativement simple, on ne peut en dire autant pour l'intensité de la lumière. Quantifier l'intensité de la lumière, du point de vue humain, est compliquée parce que la sensibilité lumineuse de l'œil varie selon la longueur d'onde de la lumière et aussi par la complexité de la source (par exemple, une fréquence unique ou un mélange de fréquences). Liés à l'intensité est la luminance, qui se réfère à la quantité de lumière passant à travers une zone donnée. Avec la luminance est la luminosité, une propriété subjective de l'œil qui inclut la perception par le cerveau [1].

iii. Les Fixations et les saccades.

La vision est plus que la réception humaine des ondes électromagnétiques ayant une fréquence et d'intensité. A travers les yeux, les humains regardent et perçoivent l'environnement. Ce faisant, les yeux se livrent à deux actions primitives: les fixations et les saccades.

Lors d'une fixation, les yeux sont fixes, en prenant en détail visuel de l'environnement. Les fixations peuvent être longues ou courtes, mais durent généralement au moins 200 ms. Le changement du point de

fixation à un nouvel emplacement nécessite une saccade-un repositionnement rapide des yeux à une nouvelle position. Les saccades sont intrinsèquement rapides, ne prenant que 30-120 ms. Les premières recherches influentes sur les fixations et les saccades ont été présentées dans une publication à 1965 en russe par Yarbus, traduite comme *les mouvements oculaires et Vision* [30].

La recherche en IHM dans les mouvements oculaires a plusieurs thèmes. L'un est l'analyse de la façon dont les gens lisent et affichent le contenu sur les pages Web. La figure 1.6 montre un exemple de *scanpath* (une séquence de fixations et de saccades) pour un contenu de visualisation de l'utilisateur à des endroits différents sur une page (voir aussi [31]). Les résultats des analyses offrent des implications pour la conception de page. Par exemple, les annonceurs pourraient vouloir savoir sur les habitudes d'écoute et, par exemple, la façon dont les hommes et les femmes diffèrent dans la visualisation de contenu. Il existe des différences entre les sexes dans les mouvements oculaires.

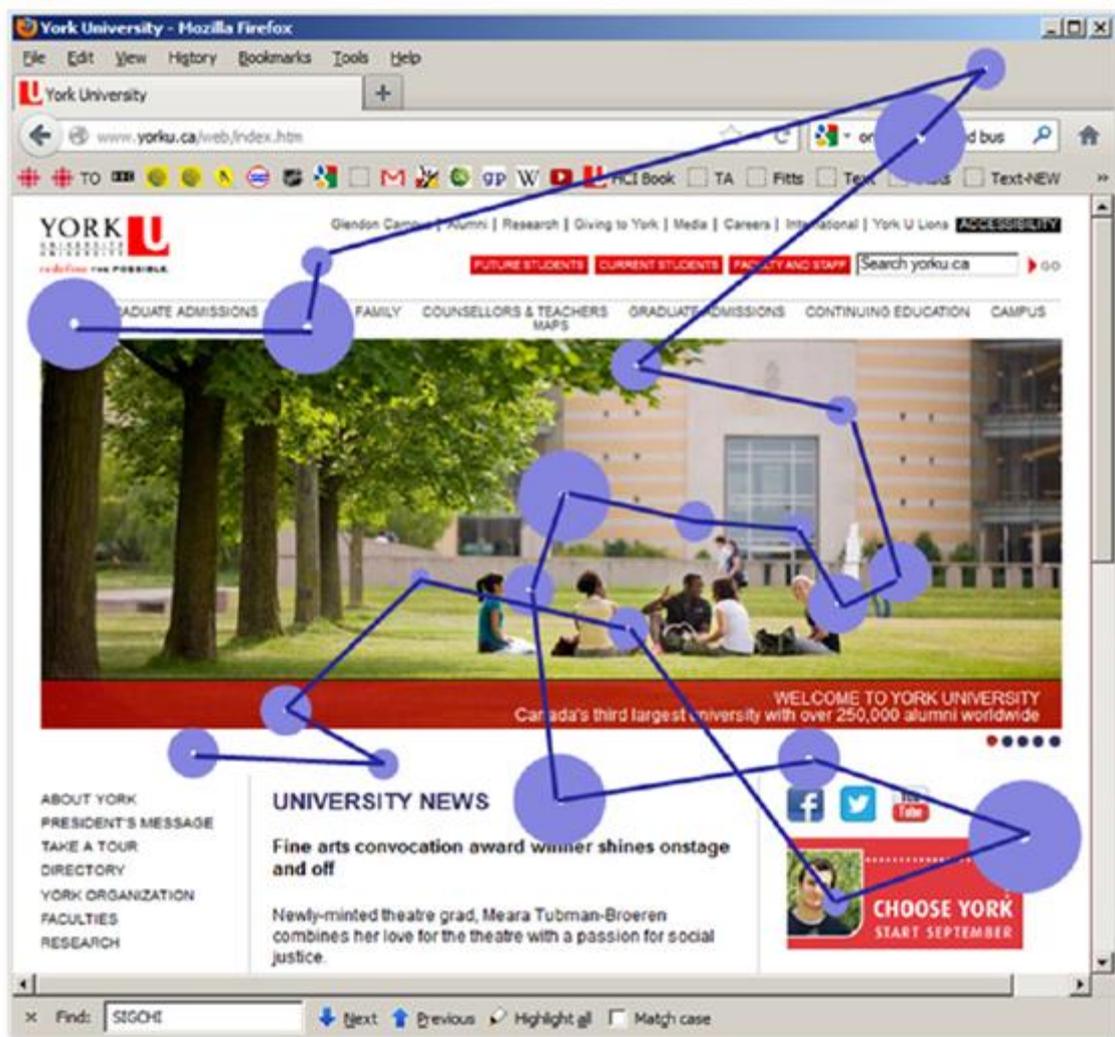


Figure I. 6. Chemin de localisation du contenu sur un site web

#### b) L'Audition

L'Audition est la détection du son par les humains. Le son est transmis par l'environnement sous forme d'ondes sonores. Les ondes sonores sont créées lorsque les objets physiques sont déplacés ou vibrent, créant ainsi des fluctuations de la pression atmosphérique. L'Auditive se produit lorsque les ondes sonores atteignent l'oreille d'un être humain et stimulent le tympan pour créer des impulsions nerveuses

qui sont envoyés au cerveau. Un son unique à partir d'une source unique a au moins quatre propriétés physiques: intensité, la fréquence, le timbre et l'enveloppe. Comme un exemple simple, considérons une note de musique jouée à partir d'un instrument comme une trompette. La note peut être fort ou doux (intensité); haute ou basse (fréquence). Nous entendons et nous reconnaissons la note comme provenant d'une trompette, par opposition à une flûte, à cause du timbre et de l'enveloppe de la note.

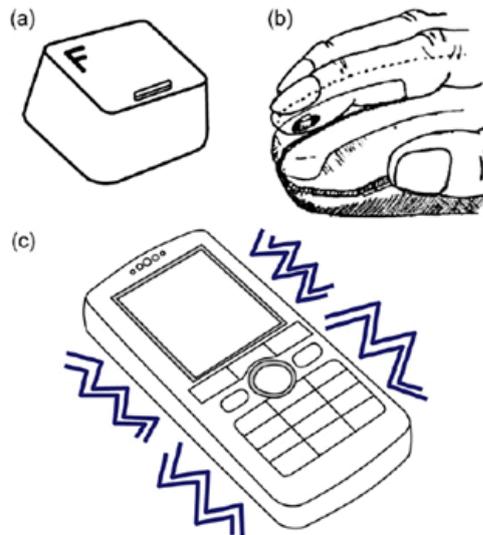
Les humains ont deux oreilles, mais chaque son a une seule source. La légère différence dans les propriétés physiques du son comme il arrive à chaque oreille aide des humains pour identifier l'emplacement d'un solide (direction et distance). Lorsque plusieurs sons provenant de sources multiples se font entendre à travers les deux oreilles, les effets perceptifs tels que le stéréo émergent.

Les sons fournir un étonnamment riche éventail d'indices pour les humains, que ce soit à propos de la marche lors de l'achat ou assis devant un ordinateur en tapant un message e-mail. Sans surprise, le son est crucial pour les utilisateurs aveugles, par exemple, pour transmettre des informations sur l'emplacement et la distance des phénomènes environnementaux [32].

### c) Le Toucher

Bien que le toucher soit considéré comme l'un des cinq sens humains traditionnels, le toucher est juste un composant du système somatosensoriel. Ce système comprend les récepteurs sensoriels de la peau, les muscles, les os, les articulations et les organes qui fournissent des informations sur une variété de phénomènes physiques ou environnementaux, y compris le toucher, la température, la douleur, le corps et la position des membres. La rétroaction tactile dans l'IHM, fait référence à des informations fournies par le système somatosensoriel à partir d'une partie du corps, comme un doigt, quand il est en contact avec (toucher) un objet physique. Des informations supplémentaires, telles que la température, la forme, la texture, ou la position de l'objet, ou le montant de la résistance, est également transmis.

Toutes les interfaces utilisateur qui impliquent un contact physique avec les mains de l'utilisateur (ou d'autres parties du corps) comprennent une rétroaction tactile. Il suffit de saisir une souris et en le déplaçant apporte des informations considérables à l'opérateur humain: la sensation lisse ou caoutchouteuse du châssis de la souris ou le mouvement glissant sur le bureau. L'interaction avec un clavier de bureau est également guidée par la rétroaction tactile. L'utilisateur détecte les bords et les formes des touches et éprouve la résistance comme une touche est enfoncée. Les identifiants tactiles sur les sommets des clés facilitent la dactylographie en libérant les yeux. Les identifiants se trouvent sur la touche 5 pour les claviers numériques et sur les touches F et J pour les claviers alphanumériques, voir la figure 1.7a [33]



**Figure I. 7. Le feedback tactile [33]**

Augmenter l'expérience utilisateur grâce à la rétroaction tactile active est un sujet de recherche commun. La figure 1.7b montre une souris instrumentée avec une broche entraînée par solénoïde en dessous de l'index [33]. La broche est actionnée (pulsée) lorsque le curseur de la souris traverse une frontière, comme le bord d'un bouton doux ou d'une fenêtre. La rétroaction tactile ajoutée aide à informer et à guider l'interaction et réduit la demande sur le canal visuel potentiellement. Une utilisation courante de rétroaction tactile dans les téléphones mobiles est la vibration, la signalisation d'un appel entrant ou un message, voir la figure 1.7c.

#### d) L'odorat et le goût

L'odorat est la capacité de percevoir les odeurs. Pour les humains, cela se produit à travers les cellules sensorielles dans la cavité nasale. Le goût est une réception chimique directe de sensations douces, salées, amères, aigres à travers les papilles dans la langue et la cavité buccale.

La saveur est un processus perceptif dans le cerveau qui se produit à travers un partenariat entre le sens de l'odorat et le goût. Bien que l'odorat et le goût soient connus intuitivement par pratiquement tous les humains, ils sont moins bien compris que les sens visuels et auditifs. Les odeurs et les goûts complexes peuvent être construits à partir d'éléments simples, mais les processus perceptifs pour ce demeurent un sujet de recherche. Par exemple, les systèmes de classification ont été développés pour des secteurs spécifiques (par exemple, le parfum), mais ceux-ci ne généralisent pas à des expériences humaines avec d'autres odeurs et goûts.

Bien que les humains utilisent l'odorat et le goût tout le temps sans effort, ces sens ne sont généralement pas "conçus" pour les systèmes. Il y a quelques exemples dans l'IHM, par exemple les auteurs dans [34] ont étudié l'odeur comme une aide dans la recherche des albums photo numériques. Les utilisateurs travaillent sur deux méthodes de marquage, du texte et de l'odorat, et puis plus tard utilisent les balises pour répondre aux questions sur les photos disponibles. Le fait que l'odeur a des liens vers la mémoire, il a été conjecturé que l'odeur des indices pourraient aider dans le rappel. En fin de compte, le rappel avec des étiquettes odeur était plus pauvre qu'avec des étiquettes de mots.

### I.6. Les intervenants humains



Le mouvement des membres est étroitement couplé au système somatosensoriel, en particulier proprioception (la proprioception est la coordination des mouvements des membres et de la position à travers la perception des stimuli à l'intérieur des muscles). Pour obtenir la précision et la finesse que les parties du corps se déplacent par rapport au corps dans l'ensemble, l'utilisation de la souris sans regarder et taper sur le clavier sans regarder sont des bons exemples. Dans la figure 1.9b, la main gauche de l'utilisateur agrippe la souris. On peut supposer que cet utilisateur est gaucher.

### ***1.7. Conclusion***

Le système interactif est une application informatique qui prend en charge les interactions et les informations communiquées par les utilisateurs du système pendant son exécution, où il produit une représentation perceptible de son état interne. Beaucoup plus précisément, les entrées fournies par l'utilisateur influencent et/ou dépendent des sorties produites par le système et vice versa.

Les systèmes interactifs représentent actuellement la grande et la plus importante partie des applications informatiques. Comme on va voir dans le reste de ce cours, la conception, le développement et l'évaluation des systèmes interactifs nécessitent des méthodes et des techniques particulières afin de prendre en compte les caractéristiques physiques, psychiques et cognitifs des utilisateurs, ces techniques sont les critères ergonomiques qui représentent l'essentiel du deuxième chapitre.

## Chapitre 02

### II. L'ergonomie des Interfaces Homme-Machine

II.1. INTRODUCTION .....	17
II.2. L'ERGONOMIE .....	17
II.2.1. Étymologie.....	18
II.2.2. Domaines de spécialisation.....	18
II.2.3. L'ergonomie physique.....	18
II.2.4. L'ergonomie cognitive.....	19
II.3. L'ORIGINE DES CRITERES ERGONOMIQUES .....	19
II.4. L'UTILITE DES CRITERES ERGONOMIQUES .....	20
II.5. LES CRITERES ERGONOMIQUES .....	20
II.5.1. Le Guidage.....	21
II.5.2. La charge de travail.....	24
II.5.3. Control explicit de l'utilisateur.....	26
II.5.4. Adaptabilité.....	27
II.5.5. Gestion des erreurs.....	29
II.5.6. Cohérence.....	30
II.5.7. La signifiante de codes.....	31
II.5.8. La Compatibilité.....	32
II.6. CONCLUSION .....	32

## II.1. Introduction

La conception de critères ergonomiques fait partie d'un domaine de recherche visant à développer des méthodes et des outils qui pourraient permettre d'intégrer les facteurs humains dans le processus de conception et d'évaluation des interfaces homme-machine (IHM). Alors que d'autres parties des travaux portent sur des questions de recherche de la tâche, les questions d'expertise, les questions de modélisation de l'interface, etc., la conception de critères est considérée comme un moyen de définir et opérationnaliser les dimensions de l'utilisabilité. En ce qui concerne l'évaluation, la conception de critères représente un moyen d'améliorer l'exhaustivité et explicitation du diagnostic, de normaliser le format de l'évaluation, et de mieux documenter l'évaluation. Dans ce chapitre on va voir les différents critères ergonomiques nécessaires pour la conception d'une bonne interface avec les meilleures recommandations et les bonnes pratiques.

## II.2. L'ergonomie

L'ergonomie également connu comme la conception de confort, est la pratique de la conception des produits, des systèmes ou des procédés pour tenir compte de l'interaction entre eux et les personnes qui les utilisent [38].

Le champ a vu des contributions de nombreuses disciplines, comme la psychologie, l'ingénierie, la biomécanique, le design industriel et l'anthropométrie. En substance, il est l'étude de la conception de l'équipement, les dispositifs et les procédés qui correspondent au corps humain et ses capacités cognitives. Les deux termes «facteurs humains» et «ergonomie» sont essentiellement synonymes [39].

L'Association internationale d'ergonomie définit l'ergonomie comme suit: [40] «*L'ergonomie est la discipline scientifique concernée par la compréhension des interactions entre les humains et les autres éléments d'un système, et la profession qui applique la théorie, les principes, les données et les méthodes de conception afin d'optimiser le bien-être humain et la performance global du système*».

L'ergonomie est utilisée pour remplir les objectifs de la santé et la sécurité au travail et la productivité. Il est pertinent dans la conception des choses telles que les meubles sécurisés et les interfaces faciles à utiliser, etc. Le design ergonomique adéquat est nécessaire pour prévenir les microtraumatismes répétés et d'autres troubles musculo-squelettiques, qui peuvent se développer au fil du temps et peut conduire à une invalidité à long terme.

L'ergonomie est concernée par la «correspondance» entre l'utilisateur, l'équipement et leurs environnements. Il prend en compte les capacités et les limites de l'utilisateur en cherchant à assurer que les tâches, les fonctions, l'information et l'environnement correspondent à chaque utilisateur.

Pour évaluer l'adéquation entre une personne et la technologie utilisée, les spécialistes de l'ergonomie (ou bien les ergonomes) considèrent le travail (activité); l'équipement utilisé (sa taille, la forme et la façon dont il est approprié pour la tâche) et les informations utilisées (la façon dont il est présenté, accessible et a changé). L'ergonomie appuie sur nombreuses disciplines dans son étude sur les humains et leurs environnements, y compris l'anthropométrie, la biomécanique, le génie mécanique, le génie industriel, la conception industrielle, la conception de l'information, la kinésiologie, la physiologie, la psychologie cognitive, la psychologie industrielle et organisationnelle et la psychologie de l'espace.

### *II.2.1. Étymologie*

L'ergonomie à long terme (ἔργον de la grecque, ce qui signifie «travail», et νόμος, ce qui signifie «loi naturelle») est entré dans le lexique moderne lorsque le scientifique polonais Wojciech Jastrzębowski utilisé le mot dans son article en 1857 *Rys ergonomji czyli nauki o pracy, opartej na prawdach poczerpniętych z Nauki Przyrody* (le schéma de l'ergonomie, à savoir la science du travail, basé sur les vérités prises de sciences naturelles) [41]. L'introduction du terme dans le lexique anglais est largement attribuée au psychologue britannique Hywel Murrell, lors de la réunion en 1949 à l'Amirauté du Royaume-Uni, qui a conduit à la fondation de la Société d'ergonomie. Il l'a utilisé pour englober les études dans lesquelles il avait été engagé pendant et après la Seconde Guerre mondiale [42].

### *II.2.2. Domaines de spécialisation*

L'ergonomie comprend trois grands domaines de recherche: l'ergonomie physique, cognitif et organisationnel. Il y a beaucoup de spécialisations au sein de ces grandes catégories, les spécialisations dans le domaine de l'ergonomie physique peuvent inclure l'ergonomie visuelle. Les Spécialisations dans le domaine de l'ergonomie cognitive peuvent inclure l'utilisabilité, l'interaction homme-ordinateur, et l'ingénierie de l'expérience utilisateur.

Certaines spécialisations peuvent se chevaucher à travers ces domaines: l'ergonomie de l'environnement concerne l'interaction humaine avec l'environnement tel qu'il est caractérisé par le climat, la température, la pression, les vibrations, la lumière, etc. [43]. Le domaine émergent des facteurs humains dans la sécurité routière utilise les principes des facteurs humains pour comprendre les actions et les capacités des usagers de la route - les conducteurs de voitures et de camions, les piétons, les cyclistes, etc. - et utilisent ces connaissances pour concevoir des routes et des rues pour réduire les collisions de la route. L'erreur du conducteur est répertorié comme un facteur contributif dans 44% des collisions mortelles aux Etats-Unis, donc un sujet d'intérêt particulier est la façon dont les usagers se réunissent et le processus d'informations sur la route et de son environnement, et comment les aider à prendre la décision appropriée [44].

De nouveaux termes sont générés tout le temps. Par exemple, «ingénieur d'évaluation de l'utilisateur » peut se référer à un facteur humain professionnel qui se spécialise dans l'évaluation de l'utilisateur. Bien que les noms changent, ergonomes appliquent une compréhension des facteurs humains à la conception des équipements, des systèmes et des méthodes de travail afin d'améliorer le confort, la santé, la sécurité et la productivité.

Selon l'Association internationale d'ergonomie, dans la discipline de l'ergonomie, il existe des domaines de spécialisation:

### *II.2.3. L'ergonomie physique*

L'ergonomie physique concerne l'anatomie humaine, et certains caractéristiques de l'anthropométrie, de la mécanique physiologique et biologique comme elles se rapportent à l'activité physique [40]. Les principes de l'ergonomie physique ont été largement utilisés dans la conception des produits des consommateurs tant des produits des industriels. L'ergonomie physique est importante dans le domaine médical, notamment pour les personnes diagnostiquées avec des troubles ou désordres physiologiques.

#### II.2.4. L'ergonomie cognitive

L'Ergonomie cognitive, définie par l'Association internationale d'ergonomie : "*elle est concernée par les processus mentaux tels que la perception, la mémoire, le raisonnement, et la réponse du moteur cognitive, car ils affectent les interactions entre les humains et les autres éléments d'un système. Les sujets pertinents comprennent la charge mentale, la prise de décision, la performance qualifiée, l'interaction homme-ordinateur, la fiabilité humaine, le stress au travail et à la formation que ceux-ci peuvent être liées à la conception-système humain.*" [41]. L'ergonomie cognitive étudie la cognition dans le travail et les paramètres opérationnels, afin d'optimiser le bien-être et la performance du système. Elle est un sous-ensemble du champ plus large de l'ergonomie.

##### i. Les Objectifs de l'ergonomie cognitive

L'ergonomie cognitive (parfois connue sous le nom d'ingénierie cognitive) est une branche émergente de l'ergonomie, qui met particulièrement l'accent sur l'analyse des processus cognitifs requis des opérateurs dans les industries modernes et des milieux similaires. Les exemples comprennent le diagnostic, la charge de travail, la conscience de la situation, la prise de décision et la planification [42]. L'ergonomie cognitive vise à améliorer les performances des tâches cognitives au moyen de plusieurs interventions, dont celles-ci:

- La conception centrée sur l'utilisateur de l'interaction homme-machine (IHM);
- La conception des systèmes de technologie de l'information qui prennent en charge les tâches cognitives (par exemple, des artefacts cognitifs);
- Le développement de programmes de formation;
- La redéfinition des tâches pour gérer la charge de travail cognitive et d'accroître la fiabilité humaine.

L'intervention ergonomique efficace dans le domaine des tâches cognitives exige une compréhension approfondie non seulement des exigences de la situation de travail, mais aussi des stratégies d'utilisateur dans l'exécution de tâches cognitives et de limitations dans la cognition humaine. Dans certains cas, les objets ou les outils utilisés pour mener à bien une tâche peuvent imposer leurs propres contraintes et leurs limites (par exemple, la navigation à travers un grand nombre d'écrans). Les outils peuvent également co-déterminer la nature même de la tâche [43]. En ce sens, l'analyse des tâches cognitives devrait examiner à la fois l'interaction des utilisateurs avec leur milieu de travail et l'interaction des utilisateurs avec les objets ou les outils. Celui-ci est très important que des artefacts modernes (par exemple, des panneaux de contrôle, logiciels, systèmes experts, etc.) qui deviennent de plus en plus sophistiqués. L'accent est mis sur la façon de concevoir des interfaces homme-machine et des artefacts cognitifs de sorte que la performance humaine est soutenue dans les environnements de travail où l'information peut être peu fiable, des événements peuvent être difficiles à prévoir et les objectifs simultanés peuvent être en conflit [44].

#### II.3. L'origine des critères ergonomiques

La conception de critères ergonomiques fait partie d'un projet de recherche visant à développer des méthodes et des outils qui pourraient permettre d'intégrer les facteurs humains dans le processus de conception et d'évaluation des interfaces homme-machine [45]. Alors que d'autres parties des travaux portent sur des questions de recherche sur la tâche, les questions d'expertise, les questions de modélisation de l'interface, etc., la conception de critères est considérée comme un moyen pour définir et

opérationnaliser les dimensions de l'utilisabilité. En ce qui concerne l'évaluation, la conception de critères représente un moyen d'améliorer l'exhaustivité et explicitation du diagnostic, de normaliser le format de l'évaluation, et de mieux documenter l'évaluation. L'ensemble des critères ergonomiques repose sur un assez grand nombre de recommandations individuelles que les caractérisent et les synthétisent. En ce sens, les critères peuvent être considérés comme valables [50].

L'évolution des critères ergonomiques de Bastien & Scapin s'est basée sur des résultats expérimentaux. Les auteurs se sont assuré que disposer de la liste des critères augmentait les performances d'évaluation d'une interface (par rapport à une évaluation libre). Ces études ont conduit à un remaniement des critères ergonomiques. Bastien, Scapin & Leulier ont mené une étude expérimentale comparant les performances d'évaluation sur trois groupes [51]:

- Un groupe dit "contrôle", ne disposant d'aucun référent pour conduire son évaluation.
- Un groupe dit "critères", à qui ils fournissaient les critères ergonomiques comme guide d'évaluation.
- Un groupe dit "ISO", à qui ils fournissaient la partie 10 de la norme ISO 9241 (concernant le dialogue) comme guide d'évaluation.

Les résultats montrent que l'utilisation des critères ergonomiques lors de l'évaluation d'une interface entraîne la détection d'un plus grand nombre de problèmes de conception que l'utilisation de la norme ISO 9241-10 ou qu'une évaluation libre.

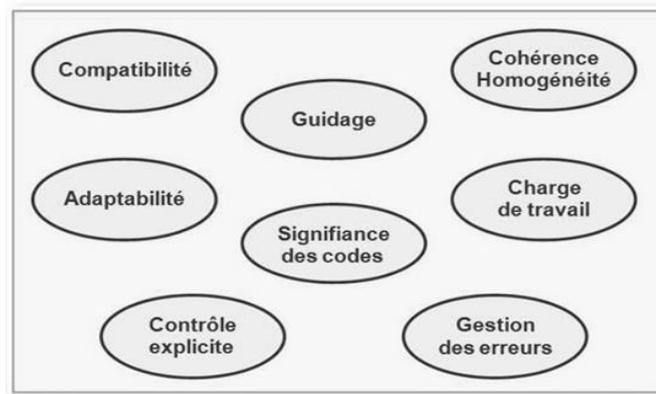
Ils n'ont pas observé une différence de performance entre le groupe ISO et le groupe contrôle. Ceci peut notamment être relié au fait que la rédaction des normes ISO est basée sur un consensus inter-juges. Ce sont donc des dimensions sur lesquels tout le monde s'accorde.

#### **II.4. L'utilité des critères ergonomiques**

Le travail de l'ergonome s'articule autour d'outils qui lui servent à juger de l'utilité et de l'utilisabilité d'un système informatique. Parmi ces outils, il existe de nombreuses normes, recommandations et check-lists visant à fournir un cadre à l'expertise de l'ergonome. Ce type d'outil est important dans le sens où il permet d'avoir toujours la même base pour lister et classer tous les défauts d'utilisabilité potentiels d'une interface informatique. Leur intérêt réside aussi dans leur précision, le fait qu'ils soient formels et réutilisables. Le problème qui se pose dans l'exercice quotidien de l'ergonome est la compilation de toutes ces sources et la question de leur fiabilité.

#### **II.5. Les Critères ergonomiques**

Face à la multitude des recommandations existantes, Christian Bastien et Dominique Scapin ont procédé à partir de 1997 à la synthèse d'environ 900 recommandations dans le domaine de l'ergonomie informatique au sens large. Leur travail a abouti à une liste de 18 critères répartis en 8 dimensions [52], voir la figure 2.1 :



**Figure 2. 1. Les principaux critères ergonomiques**

### II.5.1. Le Guidage

Le Guide de l'utilisateur se réfère aux moyens disponibles pour conseiller, orienter, informer et guider les utilisateurs tout au long de leurs interactions avec un ordinateur (messages, alarmes, étiquettes, etc.), y compris d'un point de vue lexical. L'utilisateur doit comprendre clairement ce qu'il peut faire et comment il peut le faire. Le système doit donc le prendre en main pour le conduire efficacement.

Le guidage facilite l'apprentissage et l'utilisation d'un système en permettant aux utilisateurs: de savoir à tout moment où ils sont dans une séquence d'interactions, ou dans l'accomplissement d'une tâche; de savoir quelles sont les actions possibles, ainsi que leurs conséquences; et pour obtenir des informations supplémentaires (éventuellement sur demande). La facilité d'apprentissage et la facilité d'utilisation qui suit un bon guidage conduisent à une meilleure performance et moins d'erreurs.

Le critère Guidage est subdivisé en quatre critères: Incitation, Regroupement / Distinction des items, Feedback (rétroaction) immédiat, et la Lisibilité.

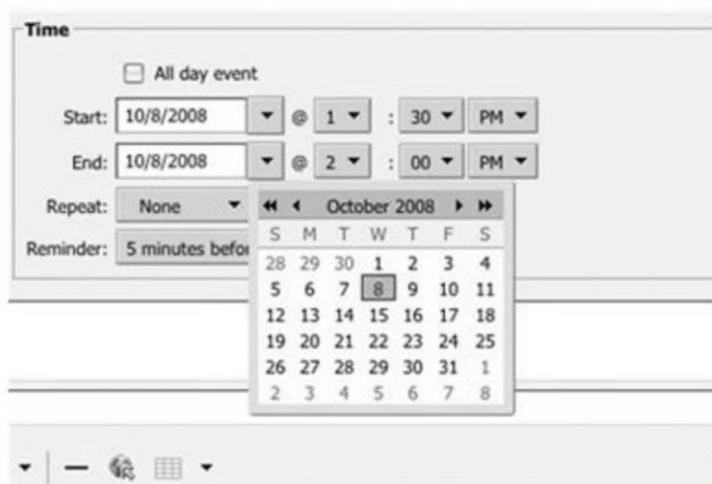
#### a) L'Incitation

L'incitation fait référence aux moyens disponibles pour conduire les utilisateurs à faire des actions spécifiques que ce soit la saisie de données ou d'autres tâches. Ce critère se réfère également à tous les moyens qui permettent aux utilisateurs de connaître les alternatives lorsque plusieurs actions sont possibles en fonction des contextes. Elle concerne aussi des informations d'état, ce sont des informations sur l'état réel ou le contexte du système, ainsi que des informations concernant les installations d'aide et leur accessibilité.

La bonne incitation guide les utilisateurs lors de l'apprentissage d'une série de commandes et permet également aux utilisateurs de savoir exactement le mode actuel, où ils sont dans le dialogue, ainsi que les actions qui ont abouti à ce contexte. Elle aide les utilisateurs ainsi à naviguer dans l'application ou le système et elle les aide à réduire les erreurs, la figure 2.2 montre un bon exemple de l'incitation, dont voici quelques recommandations :

- Pour la saisie de données, fournir à l'utilisateur les formats requis et les valeurs acceptables;
- Afficher les unités de mesure pour la saisie des données.
- Indiquez toutes les informations d'état (par exemple, les modes, les valeurs, etc.).
- Pour chaque champ de données, afficher une étiquette associée.
- Fournir des indices sur la longueur acceptable des entrées.

- Fournir un titre pour chaque fenêtre.
- Fournir de l'aide et des conseils en ligne.



**Figure 2. 2. Exemple d'incitation : saisie automatique de la date**

b) Le critère Groupement / Distinction des items

Le critère de Groupement / de Distinction des items concerne l'organisation visuelle des éléments d'information par rapport à l'autre. Ce critère prend en compte la topologie (emplacement) et certaines caractéristiques graphiques (format) afin d'indiquer les relations entre les différents éléments affichés, pour indiquer si oui ou non ils appartiennent à une classe donnée, ou bien pour indiquer les différences entre les classes, ce critère concerne aussi l'organisation des éléments d'une catégorie.

La compréhension des utilisateurs d'un écran d'affichage dépend, entre autres choses, sur la commande, le positionnement et la distinction des objets (images, textes, commandes, etc.) qui sont présentés. Les utilisateurs pourront détecter les différents items ou groupes d'items, et d'apprendre leurs relations plus facilement si, d'une part, ils sont présentés d'une manière organisée (par exemple, tri alphabétique, fréquence d'utilisation, etc.), et si d'autre part les éléments ou groupes d'éléments sont présentés dans des formats ou codés de façon qui indiquent leurs similitudes ou leurs différences. En outre, l'apprentissage et la mémorisation des items ou groupes d'items seront améliorés. Le regroupement / distinction des éléments conduit à une meilleure orientation, la figure 2.3 montre un bon exemple de regroupement des items, dont voici quelques recommandations :

- Organiser des éléments dans des listes hiérarchiques.
- Organiser les options d'un dialogue de menu en fonction des objets auxquels ils appliquent.
- Lorsque plusieurs options sont présentées, leur organisation doit être logique, à savoir, l'organisation doit représenter une organisation fonctionnelle significative ou pertinente (ordre alphabétique, fonctionnelle, fréquence d'utilisation, etc.).
- Fournir une distinction claire visuelle des zones ayant des fonctions différentes (zone de commande, zone de message, etc.).
- Fournir une distinction visuelle claire des champs de données et de leurs étiquettes.

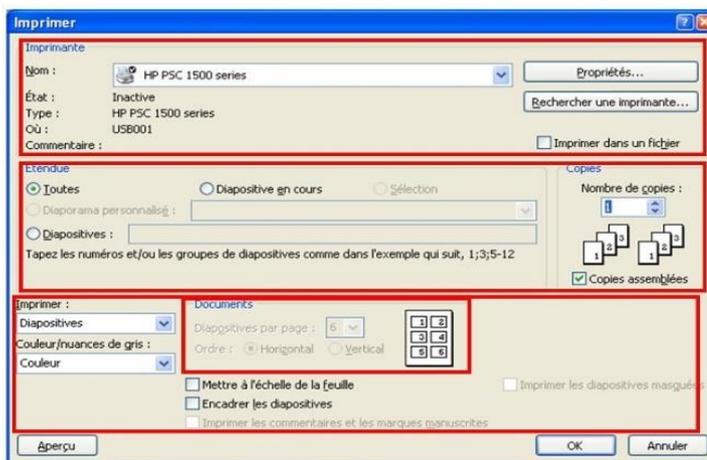


Figure 2. 3. Exemple de regroupement des items

c) Le Feedback immédiat

Le feedback (ou la rétroaction) immédiat concerne les réponses du système aux actions des utilisateurs. Ces actions peuvent être des simples entrées à clé ou des transactions plus complexes telles que les commandes empilées. Dans tous les cas, les réponses de l'ordinateur doivent être fournies, elles doivent être rapides, avec un timing adéquat et cohérent pour les différents types de transactions. Dans tous les cas, une réponse rapide de l'ordinateur doit être fournie avec des informations sur la transaction demandée et son résultat.

La qualité et la rapidité de rétroaction sont deux facteurs importants pour l'établissement de la confiance et la satisfaction des utilisateurs, ainsi que pour la compréhension du dialogue. Ces facteurs permettent aux utilisateurs d'acquérir une meilleure compréhension du fonctionnement du système.

L'absence de commentaires ou une rétroaction retardée peut être déconcertant pour l'utilisateur. Les utilisateurs peuvent se méfier d'une défaillance du système et peuvent entreprendre des actions qui peuvent être perturbateurs pour les processus en cours, la figure 2.4 montre un BON exemple de feedback immédiat, dont voici quelques recommandations :

- Les entrées de tous les utilisateurs doivent être affichées à l'exception des entrées sécurisées. Même dans ce cas, chaque entrée à clé doit produire une rétroaction perceptible (par exemple, des symboles tels que des étoiles).
- Suite à l'interruption de traitement de données par l'utilisateur, il faut afficher un message d'avertissement assurant à l'utilisateur que le système est revenu à son état précédent.
- Lorsque le traitement de l'ordinateur est long, des informations concernant l'état du traitement doit être fournies à l'utilisateur.

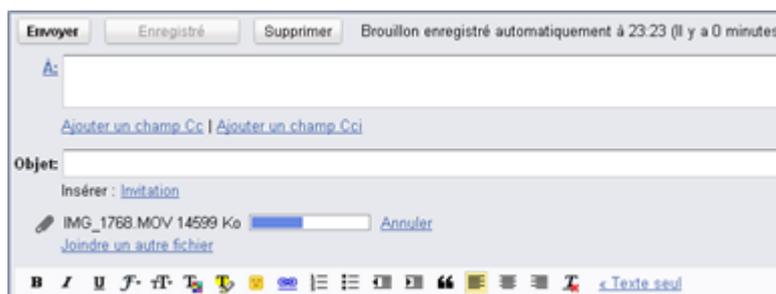


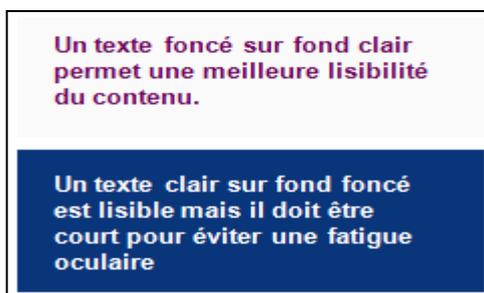
Figure 2. 4. Feedback : indicateur de progrès de téléchargement

d) Lisibilité

La Lisibilité concerne les caractéristiques lexicales de l'information présentée sur l'écran qui peuvent entraver ou faciliter la lecture de cette information (luminosité de caractère, le contraste entre la lettre et l'arrière-plan, la taille, l'espacement entre les mots, l'espacement des lignes, points espacement, la longueur de la ligne, etc.). Par définition, le critère de lisibilité ne concerne pas les commentaires ou les messages d'erreur.

Les performances sont accrues lorsque la présentation des informations sur l'écran prend en compte les caractéristiques cognitives et perceptives des utilisateurs. Une bonne lisibilité facilite la lecture de l'information présentée. Par exemple, des lettres noires sur un fond clair sont plus faciles à lire que dans l'autre sens; un texte présenté avec mixte majuscules / minuscules est lu plus rapidement qu'un texte présenté avec seulement des lettres majuscules, la figure 2.5 montre un bon exemple de la lisibilité, , dont voici quelques recommandations :

- Les titres doivent être centrés.
- Les étiquettes doivent être affichées en lettres majuscules.
- Les curseurs doivent être distingués des autres éléments affichés.
- Lorsque l'espace pour l'affichage de texte est limitée, afficher quelques longues lignes de texte plutôt que de nombreuses lignes courtes de texte.
- Afficher le texte continue dans les colonnes de large, contenant au moins 50 caractères par ligne.
- La justification à droite devrait être utilisée.
- Dans l'affichage de matériel textuel, gardez les mots intacts, avec la rupture minimale par césures entre les lignes.



**Figure 2. 5. Bonne pratique sur la lisibilité**

*II.5.2. La charge de travail*

Le critère de charge de travail concerne tous les éléments de l'interface qui jouent un rôle dans la réduction de la charge perceptive ou cognitive des utilisateurs, et l'augmentation de l'efficacité du dialogue. Plus la charge est élevée, plus la probabilité de faire des erreurs augmente. De plus, les utilisateurs moins sont distraits par des informations inutiles, plus ils seront en mesure d'accomplir leur tâche efficacement. Le critère de charge de travail est subdivisé en deux critères: Brièveté (qui comprend la Concision et les Actions Minimales), et la Densité de l'information.

a) Brièveté

Le critère de brièveté concerne la charge de travail perceptive et cognitive à la fois pour les entrées et sorties individuelles et pour des ensembles d'entrées (à savoir, l'ensemble d'actions nécessaires pour

atteindre un but ou une tâche). Le critère de brièveté est subdivisé en deux critères: Concision et Actions Minimales.

Le critère Concision concerne la charge de travail perceptive et cognitive pour les entrées ou sorties individuelles et le critère Actions Minimales concernent la charge de travail par rapport au nombre d'actions nécessaires pour atteindre un but ou une tâche. Il est ici question de limiter autant que possible les étapes que les utilisateurs doivent passer par, la figure 2.6 montre un bon exemple de la brièveté, dont voici quelques recommandations :

- Pour les données numériques, l'entrée des principaux zéros ne devrait pas être nécessaire.
- Si les codes sont plus longs que 4 ou 5 caractères, utiliser les mnémoniques ou les abréviations.
- Autoriser les utilisateurs des entrées de données courtes.
- Quand une unité de mesure est associée à un champ de données particulier, inclure cette unité dans le cadre de l'étiquette sur le champ plutôt que d'exiger à l'utilisateur de l'entrer.
- Minimiser le nombre d'étapes nécessaires pour effectuer une sélection dans un menu.
- Ne nécessite pas la saisie de données par l'utilisateur lorsque les données peuvent être obtenues par l'ordinateur.
- Evitez les entrées de commandes qui incluent la ponctuation des utilisateurs.
- Pour la saisie de données, définir les valeurs par défaut dans leurs champs de données appropriés.
- Pour les longs, les écrans multipages, il devrait être possible de demander une page particulière directement, sans avoir à passer par toutes les pages intermédiaires.

The image shows a web form titled "Renseignements sur la personne-ressource". The form contains the following fields and controls:

- \* Champ du prénom: A dropdown menu with "M." selected and an adjacent text input field.
- \* Champ du nom de famille: A text input field.
- \* Raison sociale de l'entreprise: A text input field.
- \* Adresse de courriel: A text input field.
- \* Titre: A dropdown menu with "Veillez faire un seul choix..." selected. Below it is a text input field with the instruction "Si vous avez choisi Autre, veuillez spécifier".
- \* Fonction: A dropdown menu with "Veillez faire un seul choix..." selected. Below it is a text input field with the instruction "Si vous avez choisi Autre, veuillez spécifier".
- \* Mon entreprise est située: Radio buttons for "Canada", "É.-U.", and "Ailleurs".
- \* Nombre d'employés: A dropdown menu with "1 à 10" selected.
- At the bottom, a checked checkbox with the text: "Oui, j'aimerais recevoir GRATUITEMENT le bulletin de [redacted] par courriel et être tenu au courant de toutes les nouveautés concernant le site."

Figure 2. 6. La Charge de travail la concision

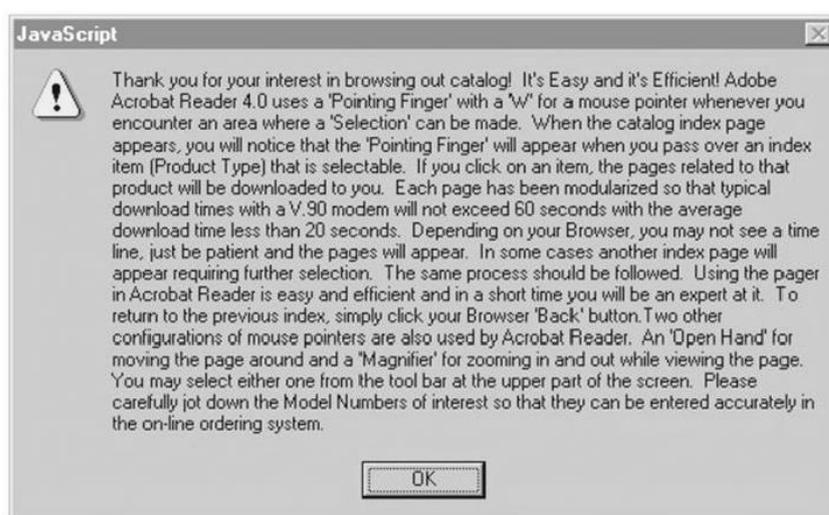
b) Densité de l'information

Le critère de la densité de l'information concerne la charge de travail des utilisateurs d'un point perceptive et cognitive de vue à l'égard de l'ensemble des informations présentées aux utilisateurs au lieu que chaque élément individuel. Dans la plupart des tâches, les performances des utilisateurs sont aggravés lorsque la densité d'information est trop élevée ou trop faible: dans ces cas, les erreurs deviennent plus probables. Les éléments qui ne sont pas liés à la tâche doivent être supprimés.

La charge de la mémoire de l'utilisateur doit être minimisée. Les utilisateurs ne devraient pas avoir à mémoriser de longues listes de données ou des procédures compliquées. Ils ne devraient pas avoir à

entreprendre des activités cognitives complexes lorsque celles-ci ne sont pas tenues par la tâche à accomplir, la figure 2.7 montre un mauvais exemple sur la densité de l'information, , dont voici quelques recommandations :

- Fournir des données uniquement nécessaires et immédiatement utilisables pour toute transaction
- Les données ne doit pas exiger la traduction de l'unité.
- Le langage de requête doit utiliser le minimum de quantificateurs dans la formulation de la requête.
- Ne pas obliger les utilisateurs à se souvenir des données avec précision à partir d'une fenêtre à l'autre.
- Fournir le calcul automatique des données dérivées, de sorte qu'un utilisateur n'a pas besoin de faire des calculs ou entrer un numéro qui peut être dérivé à partir des données déjà accessibles à l'ordinateur.



**Figure 2. 7. Mauvaise pratique sur la densité d'information**

### II.5.3. Control explicite de l'utilisateur

Le critère control explicite des actions de l'utilisateur se réfère à la relation entre le traitement de l'ordinateur et les actions des utilisateurs. Cette relation doit être explicite, à savoir, l'ordinateur doit traiter uniquement les actions demandées par les utilisateurs et uniquement lorsque ils demandent de le faire.

Lorsque les utilisateurs définissent explicitement leurs entrées, et quand ces entrées sont sous leur contrôle, les erreurs ainsi que les ambiguïtés sont limitées. En outre, le système sera mieux accepté par les utilisateurs s'ils ont le contrôle sur le dialogue.

Le critère de contrôle de l'utilisateur se réfère au fait que les utilisateurs doivent toujours être en contrôle du traitement du système (par exemple, interrompre, annuler, suspendre et continuer). Chaque action possible par un utilisateur doit être prévue et les options appropriées devraient être fournies.

Le contrôle des interactions favorise l'apprentissage et diminue la probabilité de commettre des erreurs ainsi. En conséquence, l'ordinateur devient plus prévisible, la figure 2.8 montre un bon exemple du control explicite, dont voici quelques recommandations :

- Toujours demander à un utilisateur de faire une action explicite ENTRER pour lancer le traitement des données saisies; ne pas lancer le traitement comme un effet secondaire (par exemple, la mise à jour d'un fichier) d'une autre action (par exemple, l'impression d'un fichier).
- Si la sélection de menu est réalisée en pointant, prévoir la double activation, dans lequel la première action (positions d'un curseur) désigne l'option sélectionnée, suivie d'une deuxième action distincte qui fait une entrée de contrôle explicite.
- Permettre à l'utilisateur d'interrompre à tout moment une tâche en cours
- Autoriser et faciliter les retours en arrière
- Proposer des points de sortie évidents
- Autoriser les utilisateurs à arpenter leur entrée de données
- Le curseur ne doit pas être automatiquement déplacé sans le contrôle des utilisateurs (à l'exception des procédures stables et bien connues, telles que sous forme de remplissage).
- Les utilisateurs devraient avoir le contrôle sur les pages d'écran.
- Fournir une option ANNULER qui aura pour effet d'effacer toutes les modifications viennent d'être faites par l'utilisateur et la restauration de l'affichage actuel à sa version précédente.



Figure 2. 8. Contrôle explicite des actions de l'utilisateur

#### II.5.4. Adaptabilité

L'adaptabilité d'un système se réfère à la capacité du système à réagir selon le contexte, mais aussi selon les besoins, préférences et niveaux d'expertise des utilisateurs. Elle permet de proposer plusieurs façons pour arriver à un même résultat, pour bénéficier d'une application personnalisée ou encore pour customiser son interface, ces atouts représentés sont les dimensions clés de l'adaptabilité, et de fortes attentes des utilisateurs. Les options et les commandes du système doivent être à la disposition des utilisateurs pour leur permettre d'atteindre un objectif donné. En outre, une interface donnée peut ne pas convenir à tous ses utilisateurs potentiels. Pour éviter les effets négatifs sur les utilisateurs, l'interface doit s'y adapter, la figure 2.9 montre un bon exemple de l'adaptation de l'interface.

Le critère d'adaptabilité critère est subdivisé en deux critères: la flexibilité et l'expérience utilisateur.

##### a) La flexibilité

Le critère de flexibilité porte sur les moyens disponibles pour les utilisateurs afin de personnaliser l'interface, et de tenir compte de leurs stratégies de travail et / ou de leurs habitudes. La souplesse se traduit par le nombre de façons possibles pour réaliser un objectif donné. En d'autres termes, elle est la capacité de l'interface pour s'adapter aux besoins particuliers de l'utilisateur, dont voici quelques recommandations :

- Lorsque les besoins des utilisateurs sont incertains, fournir aux utilisateurs un moyen pour contrôler la configuration d'affichage.

- Lorsque les concepteurs d'interfaces ne peuvent pas prédire quelles valeurs par défaut seront utiles, il faut donner aux utilisateurs les moyens pour définir, modifier ou supprimer des valeurs par défaut pour la saisie des données.
- Lorsque certains affichages sont inutiles, les utilisateurs devraient être en mesure de les retirer temporairement.
- Fournir les moyen aux les utilisateurs pour modifier la séquence d'entrée de données et pour respecter leur séquence préférée.
- Lorsque les formats de texte ne peuvent être prévus à l'avance, permettre aux utilisateurs de spécifier et de stocker pour une utilisation future des formats qui pourraient être nécessaires.
- Les utilisateurs doivent être en mesure d'attribuer des noms aux champs de données qu'ils ont créés.

#### b) Expérience utilisateur

Le critère de l'expérience de l'utilisateur se réfère aux moyens disponibles pour prendre en compte le niveau d'expérience de l'utilisateur. Les utilisateurs expérimentés et inexpérimentés ont des besoins d'information différents. Il peut être souhaitable de fournir aux utilisateurs inexpérimentés avec les modes inspirés de transactions permettant des actions simples, étape par étape. Pour les utilisateurs expérimentés, les dialogues initiés par ordinateur peuvent être ennuyeux et ralentir leurs interactions; les raccourcis peuvent leur permettre d'accéder à des fonctions système plus rapidement. Différents niveaux d'interaction devraient prendre l'expérience des utilisateurs en compte.

Les utilisateurs peuvent devenir plus expert avec une expérience accrue, ou peut-être moins expert après une longue période d'inutilisation. L'interface devrait également être conçue de manière à tenir compte des niveaux différents d'expérience des utilisateurs, dont voici quelques recommandations :

- Autoriser les utilisateurs expérimentés à contourner une série de sélections par menu en formulant directement des commandes ou par des raccourcis clavier.
- Autoriser les utilisateurs de modifier la séquence des entrées de données pour s'adapter à l'ordre souhaité par les utilisateurs.
- Les types de dialogue doivent être conçus pour répondre aux besoins des différents utilisateurs.
- Lorsque les techniques adoptées pour le guidage de l'utilisateur peuvent ralentir un utilisateur expérimenté, fournir des chemins ou des modes alternatifs permettant à un utilisateur de contourner les procédures d'orientation standard.
- Suite à la sortie d'un message d'erreur, permettre aux utilisateurs de demander une explication plus détaillée de l'erreur qui est adaptée à leur niveau de connaissance.

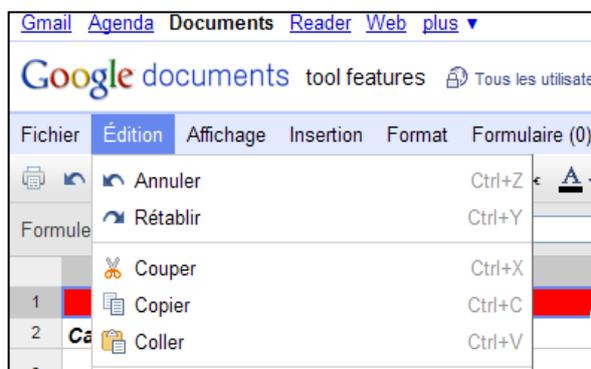


Figure 2. 9. Adaptation de l'interface (Menu, Items, Raccourcis)

### II.5.5. Gestion des erreurs

Le critère de gestion d'erreur se réfère aux moyens disponibles pour prévenir ou réduire les erreurs et de récupérer d'eux quand ils se produisent. Ce critère concerne la capacité du système à proposer à l'utilisateur tous les éléments nécessaires et suffisants pour lui permettre de ne pas commettre d'erreurs. Il concerne aussi ses capacités de contrôle et de réponse à une erreur détectée.

Les interruptions du système causées par les erreurs des utilisateurs ont des conséquences négatives sur les activités des utilisateurs. En général, ces types d'interruptions augmentent le nombre d'interactions et perturbent l'organisation et la réalisation de la tâche. En limitant le nombre d'erreurs, le nombre d'interruptions est également limité, la performance est donc meilleure.

Le critère de gestion des erreurs est subdivisé en trois critères: protection contre les erreurs, la qualité des messages d'erreur et la correction d'erreur.

#### a) Protection contre les erreurs

Le critère de la protection contre les erreurs se réfère aux moyens disponibles pour détecter et prévenir les erreurs de saisie de données, les erreurs de commande ou les actions avec des conséquences destructrices. Il est préférable de détecter les erreurs de validation avant plutôt qu'après, dont voici quelques recommandations :

- Lorsqu'un utilisateur demande de quitter une tâche et si une transaction en attente ne sera pas terminée, ou si les données seront perdues, afficher un message d'avertissement demandant la confirmation de l'utilisateur.
- Protéger les étiquettes de champ de modification accidentelle par les utilisateurs.
- Les champs conçus pour l'affichage de l'information doivent être protégés: les utilisateurs ne devraient pas être autorisés à modifier l'information contenue dans ces domaines.
- Veiller à ce que le logiciel d'interface utilisateur traitera de manière appropriée avec toutes les erreurs des utilisateurs possibles, y compris les entrées accidentelles.

#### b) Qualité des messages d'erreur

Le critère de la qualité des messages d'erreur se réfère à la formulation et le contenu des messages d'erreur, qui est: la pertinence, la lisibilité et la spécificité de la nature des erreurs (syntaxe, format, etc.) et les actions nécessaires pour les corriger.

La qualité des messages d'erreur favorise l'apprentissage des systèmes en indiquant aux utilisateurs les raisons de leurs erreurs, leur nature, et en leur enseignant les moyens de prévenir ou de résoudre leurs erreurs, la figure 2.10 montre un bon exemple de la qualité des messages, dont voici quelques recommandations :

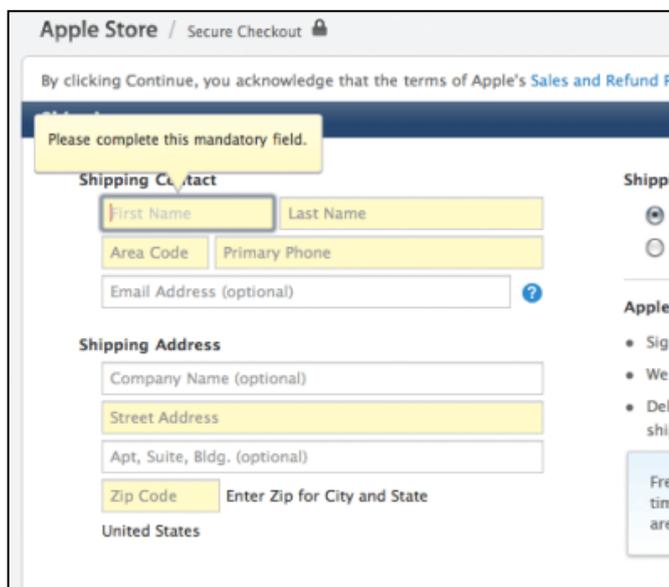
- Si l'utilisateur sélectionne une touche de fonction non valide, aucune action de système ne devrait déboucher, sauf un message indiquant les fonctions appropriées pour cette étape de la transaction.
- Afficher les messages d'erreur les plus concis possible (tout en restant précis)
- Proposer autant que possible des messages d'erreur comportant les actions correctrices que peut engager l'utilisateur
- Rédiger les messages d'erreur dans le langage de l'utilisateur
- Indiquer le plus précisément possible la cause de l'erreur (ex : « Votre adresse email est incomplète » ; « Votre adresse email comporte un caractère non autorisé » ; « Votre adresse email doit inclure le signe @ »)

- Proposer des messages d'erreur simples et compréhensibles, directifs mais non agressifs ni autoritaires
- Eviter les fautes d'orthographe des messages d'erreur.

c) Correction des erreurs

Le critère de correction des erreurs se réfère aux moyens disponibles pour les utilisateurs afin de corriger leurs erreurs. Les erreurs sont moins inquiétantes quand ils sont facilement et immédiatement corrigés, , dont voici quelques recommandations :

- Les utilisateurs doivent être autorisés à modifier une commande étendue au cours de sa composition avant de prendre une action explicite pour ENTRER la commande.
- Suite à la détection d'erreur, l'utilisateur doit entrer de nouveau la partie de la commande qui ne est pas correcte.
- Si une transaction de saisie de données est terminée et les erreurs détectées, autoriser les utilisateurs de faire directement et immédiatement des corrections.



**Figure 2. 10. Les messages d'erreur sont informatifs et efficaces**

### II.5.6. Cohérence

Le critère de cohérence fait référence aux choix de conception d'interface de navigation (codes, nommage, formats, procédures, etc.) qui sont maintenues dans des contextes similaires, et sont différents lorsqu'ils sont appliqués à des contextes différents.

Les procédures, les étiquettes, les commandes, etc., seront mieux rappelées, situées, reconnues et utilisées si leur format, l'emplacement et la syntaxe sont stables d'un écran à l'autre, d'une séance à l'autre. Dans ces conditions, le logiciel est plus prévisible, l'apprentissage et la généralisation sont facilitées, et le nombre d'erreurs est réduit. Un manque de cohérence peut augmenter considérablement le temps de recherche. Le manque de cohérence est une raison importante pour le rejet par les utilisateurs, dont voici quelques recommandations :

- Les titres de fenêtres doivent toujours être placés au même endroit.

- Utilisez des formats d'écran similaires.
- Utiliser des procédures similaires pour accéder aux options de menu.
- Fournir des mécanismes de navigation cohérents.
- Proposer les systèmes de navigation de manière constante sur l'ensemble des pages du site.
- Prévoir un lien vers la page d'accueil du site ou de l'application dans toutes les pages.
- Prévoir un bandeau de navigation principal présent et identique sur toutes les pages pour se déplacer entre les domaines de l'application.
- Regrouper les fonctions transverses dans une zone généralement située en haut à droite de l'écran et maintenir cette position constante sur l'ensemble du site.
- Les formulaires de données ou l'entrée des commandes doivent être affichés dans un emplacement standard.
- Les champs de saisie de données doivent toujours être le même.

### II.5.7. La signifiante de codes

Le critère de signifiante de codes qualifie la relation entre un terme et / ou un signe et sa référence. Les codes et les noms sont importants pour les utilisateurs quand il y a une relation sémantique forte entre ces codes et les éléments ou les actions auxquelles ils se réfèrent.

Lorsque les codes sont significatifs, leur mémorisation et leur identification sont plus faciles. En outre, les codes ou les noms significatifs ne peuvent conduire à des opérations des utilisateurs inappropriés, et donc pas des erreurs, la figure 2.11 montre un bon exemple du respect de la signifiante des codes, dont voici quelques recommandations :

- Les titres doivent être distincts et significative.
- Établir des règles d'abréviation explicite.
- Les codes doivent être significatifs et familier plutôt que arbitraire (par exemple, M pour Homme, et F pour femmes plutôt que 1 et 2).
- S'assurer que les liens sont explicites dans leur contexte: l'utilisateur doit savoir s'ils renvoient vers une autre page, s'ils ouvrent un document bureautique ou s'ils correspondent à une adresse électronique.
- Rendre les règles d'abréviation explicites.
- Vérifier la compréhension des icônes avec les utilisateurs cibles.
- Utiliser des icônes pour les éléments fréquemment employés.
- Accompagner l'icône de son nom.

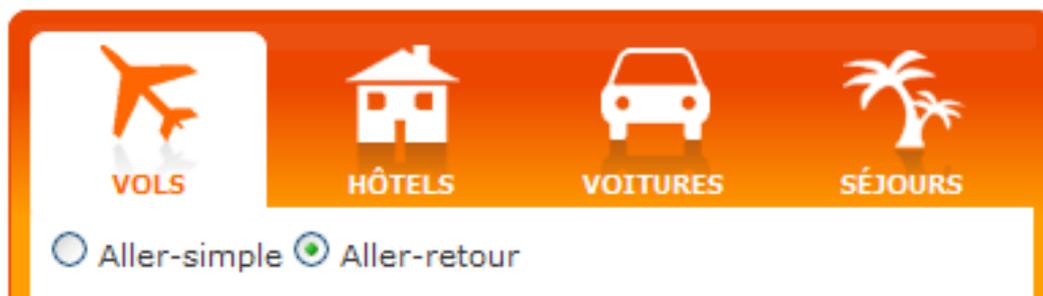


Figure 2. 11. Association Icône et Libellé: Clair et Explicite

### II.5.8. La Compatibilité

Le critère de compatibilité se réfère à la correspondance entre les caractéristiques des utilisateurs (la mémoire, les perceptions, les compétences, l'âge, les attentes, etc.) et les caractéristiques de la tâche, d'une part, et l'organisation de la sortie, entrée, et le dialogue pour une application donnée d'autre part. Le critère de compatibilité concerne également la cohérence entre les environnements et entre les applications.

L'efficacité est augmentée lorsque: les procédures visant à accomplir une tâche sont compatibles avec les caractéristiques psychologiques des utilisateurs; les procédures et les tâches sont organisées par rapport aux attentes et aux pratiques des utilisateurs; les performances sont meilleures lorsque l'information est présentée sous une forme directement utilisable, la figure 2.10 montre un bon exemple de la compatibilité, dont voici quelques recommandations :

- Les Dialogues devraient refléter les structures de données ou des organisations qui sont perçues par les utilisateurs comme étant naturel.
- Les formats de calendrier doivent suivre les coutumes des utilisateurs (américains vs calendrier européen).
- Les étiquettes, les invites et les messages d'orientation de l'utilisateur doit être familier aux utilisateurs et orienté vers la tâche.
- Les unités de mesure doivent être familières à l'utilisateur.
- Affiche des données textuelles, des messages ou des instructions, devraient suivre les conventions de conception pour le texte imprimé.
- Proposer des valeurs par défaut quand c'est possible.
- Utiliser le langage de l'utilisateur.
- Doter chaque image d'une alternative textuelle.
- Réserver les textes soulignés aux liens hypertextes.
- Identifier la destination des liens.
- Proposer un plan de site accessible depuis chaque page.

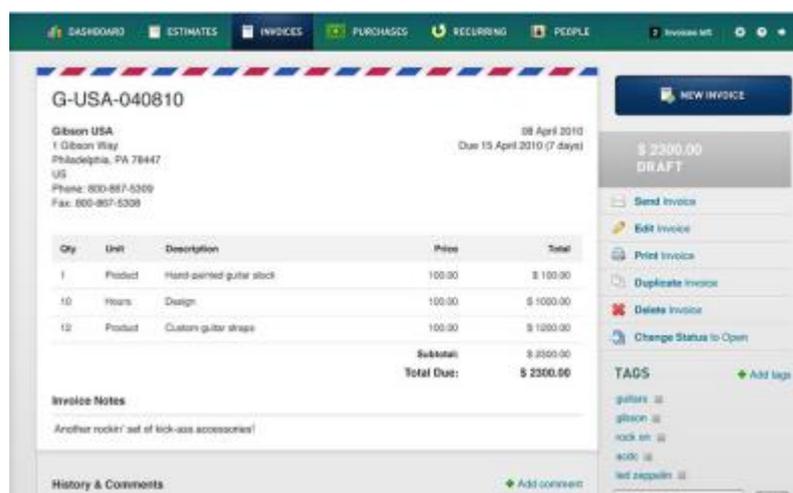


Figure 2. 12. La compatibilité avec l'univers de la facturation

## II.6. Conclusion

On a vu dans ce chapitre un bref aperçu sur la conception de critères ergonomiques pour l'évaluation des interfaces hommes machines où on a présenté le contexte dans lequel s'inscrivent les critères, l'objectif de chaque critère. Le jeu de critères issu de ces travaux est constitué de 8 grandes catégories. Les critères sont présentés avec leurs définitions, justifications, exemples de recommandations et commentaires permettant d'explicitier les distinctions entre certains d'entre eux et les bonnes pratiques de l'exploitation de chaque critère.

# Chapitre 3

## III. Conception des systèmes interactifs

III.1. INTRODUCTION .....	35
III.2. L'INGENIERIE D'UTILISABILITE.....	35
III.2.1. Les Objectifs de l'ingénierie d'utilisabilité .....	35
III.2.2. L'Etude d'utilisabilité.....	36
III.2.3. Les Outils logiciels.....	36
III.3. L'IHM ET LE GENIE LOGICIEL.....	36
III.4. LA CONCEPTION DES SYSTEMES INTERACTIFS .....	38
III.5. METHODES DE CONCEPTION DES IHM .....	38
III.5.1. La Conception centrée utilisateur.....	38
III.6. CONCLUSION .....	40

### III.1. *Introduction*

L'objectif de ce chapitre est d'apprendre les aspects de la conception et le développement de systèmes interactifs, qui sont maintenant une partie importante de notre vie. La conception et la facilité d'utilisation de ces systèmes laisse un effet sur la qualité de la relation des hommes à la technologie. Les applications Web, les jeux, les dispositifs embarqués, etc., sont tous une partie de ces systèmes, qui sont devenus une partie intégrante de nos vies.

Il est indispensable d'intégrer la recherche en génie logiciel dans la conception des interfaces homme-machine. Le domaine du développement des systèmes interactifs bénéficiera considérablement si les différentes théories, les modèles, les techniques et les outils peuvent être mis ensemble efficacement.

Les modèles de tâches représentent l'intersection entre la conception de l'interface utilisateur et les approches du génie logiciel les plus formelles en fournissant aux concepteurs un moyen de la représentation et la manipulation d'une abstraction formelle des activités qui doivent être exécutées pour atteindre les objectifs de l'utilisateur.

Bien que les modèles de tâches ont longtemps été considérés dans l'interaction homme-machine, les développeurs des interfaces utilisateur et les concepteurs ont récemment réalisé leur importance et la nécessité pour l'ingénierie des approches des modèles de tâches pour mieux retenir des solutions efficaces et cohérentes. Dans ce chapitre on va présenter les méthodes, les concepts et les aspects de conceptions des IHM, où on va mettre l'accent sur l'approche de conception centrée sur l'utilisateur.

### III.2. *L'ingénierie d'utilisabilité*

L'ingénierie d'utilisabilité est un domaine qui concerne généralement l'interaction homme-ordinateur et en particulier avec la conception d'interfaces homme-machine qui ont une grande facilité d'utilisation ou de convivialité. Elle fournit des méthodes structurées pour assurer l'efficacité et l'élégance dans la conception de l'interface.

Plusieurs disciplines générales, y compris la psychologie, les facteurs humains et les sciences cognitives subsument l'ingénierie d'utilisabilité, mais les fondements théoriques du champ proviennent de domaines plus spécifiques: la perception, la cognition et les facteurs humains; méthodologies de recherche comportementale; et, dans une moindre mesure, des techniques quantitatives et l'analyse statistique. Il se réfère donc aux caractéristiques de fonction s'utilisabilité du processus global d'abstraction, d'implémentation et de test des produits matériels et logiciels [53].

#### III.2.1. *Les Objectifs de l'ingénierie d'utilisabilité*

L'utilisabilité intéresse à la façon dont les utilisateurs interagissent avec la technologie et l'ingénierie d'utilisabilité étudie l'interface homme-machine (IHM) en profondeur. L'ingénierie d'utilisabilité exige une solide connaissance de l'informatique et de la psychologie et des approches de développement de produits basé sur les commentaires des utilisateurs. Un ingénieur d'utilisabilité travaille avec les utilisateurs pour développer une meilleure compréhension des exigences de fonctionnalité et de conception d'un produit afin de construire des données plus fiables pour eux. L'utilisabilité a trois composantes principales : l'efficacité, l'efficacité et la satisfaction [54].

- Efficacité: est la capacité du logiciel à permettre aux utilisateurs d'atteindre leurs objectifs.
- Efficience: est la compétence utilisée dans l'utilisation des ressources pour atteindre efficacement les objectifs.
- Satisfaction : est définie par une attitude positive de l'interaction utilisateur-produit.

### III.2.2. L'Etude d'utilisabilité

L'étude de l'utilisabilité concerne l'étude méthodique sur l'interaction entre les personnes, les produits, et de l'environnement basé sur l'évaluation expérimentale. Exemple: la psychologie, les sciences du comportement, etc.

Le test d'utilisabilité est défini comme étant l'évaluation scientifique des paramètres d'utilisabilité indiqués comme : les besoins de l'utilisateur, les compétences, les perspectives, la sécurité et la satisfaction, etc. Les tests d'acceptation (aussi connu comme le test d'acceptation de l'utilisateur) est une procédure de test qui est effectuée par les utilisateurs comme un point de contrôle finale avant de signer auprès d'un fournisseur. Il est nécessaire que les tests d'acceptation par l'utilisateur "passent" avant de recevoir le produit final auprès du fournisseur [55].

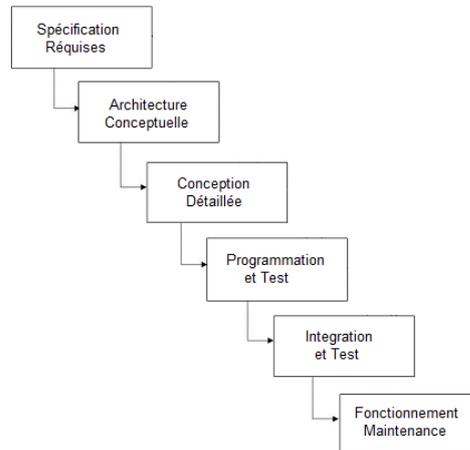
### III.2.3. Les Outils logiciels

Un outil logiciel est un logiciel de programmation utilisé pour créer, maintenir, ou autrement soutenir d'autres programmes et applications. Quelques-uns des outils logiciels couramment utilisés dans la conception des IHM sont les suivants [56] :

- Les méthodes spécifications : Les méthodes utilisées pour spécifier les interfaces GUI. Même si ces méthodes sont longues et ambiguës, ils sont faciles à comprendre.
- Les grammaires : Instructions ou expressions écrites qu'un programme comprendrait. Ils fournissent des confirmations pour l'exhaustivité et l'exactitude.
- Les Diagramme de transition : Un ensemble de nœuds et de liens qui peuvent être affichées dans le texte, la fréquence de liaison, le diagramme d'états, etc. Ils sont difficiles dans l'évaluation de la facilité d'utilisation, la visibilité, la modularité et la synchronisation.
- Les diagrammes d'états : Des méthodes graphiques développées pour les activités des utilisateurs et des actions extérieures. Ils fournissent le lien de spécification avec des outils de construction d'interface.
- Les Outils de construction Interface : Des méthodes de conception qui aident à la conception de langages de commande, des structures de saisie de données, et les widgets.
- Outils des maquettes d'interface : Des outils pour développer une esquisse rapide de l'interface graphique. Par exemple, Microsoft Visio, Visual Studio .Net, etc.
- Outils d'ingénierie de logiciels : Des outils de programmation étendus pour fournir des systèmes de gestion de l'interface utilisateur.
- Outils d'évaluation : Des outils pour évaluer l'exactitude et l'exhaustivité des logiciels.

### III.3. L'IHM et le génie logiciel

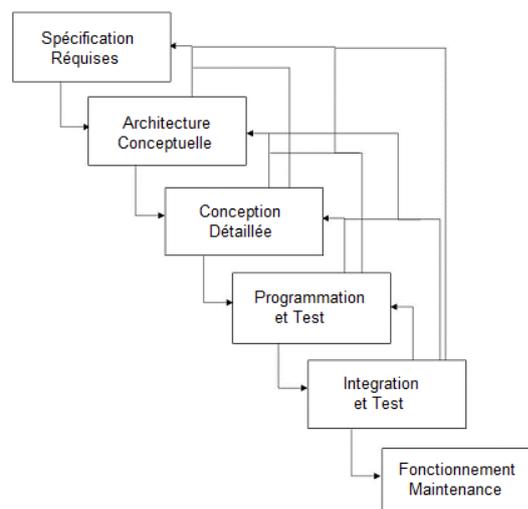
Le génie logiciel est l'étude de la conception, le développement et la préservation du logiciel. Il peut entrer en contact avec la conception des IHM pour rendre l'interaction entre l'homme et la machine plus dynamique et plus interactive. Il existe plusieurs méthodes de conception en génie logiciel, on peut citer à titre d'exemple : la méthode merise, le modèle en cascade, le modèle en V, le modèle en spirale, le modèle agile, etc. Prenons par exemple le modèle en cascade pour la conception des logiciels présenté dans la figure 3.1 [57].



**Figure 3. 1. Le modèle de conception du logiciel en cascade.**

Le mouvement unidirectionnel du modèle en cascade montre que chaque phase dépende de la phase précédente et non vice-versa. Toutefois, le modèle en cascade et la plupart des modèles de conception en génie logiciel ne conviennent pas pour la conception d'une interface homme machine le fait que dans la conception des IHM, la nécessité de faire des retours et des itérations est très importantes, comme il y a le principe d'indépendance entre le noyau fonctionnel et l'interface utilisateur, où Interface et l'interaction ne sont définies qu'après la conception des fonctionnalités du logiciel. Sur ces limites des modèles de conception en génie logiciels, les chercheurs ont s'orienté vers le développement des méthodes proprement dites spécifiques à la conception des interfaces homme-machine.

La conception du système interactif montre que chaque phase dépend de l'autre pour servir l'objectif de la conception et la création de produits. Il est un processus continu car il y a tellement de choses à savoir et les utilisateurs ne cessent de changer tout le temps. Un concepteur de système interactif devrait reconnaître cette diversité.



**Figure 3. 2. Modèle de conception des interfaces graphiques**

### III.4. *La conception des systèmes interactifs*

La conception des IHM est considérée comme un processus de résolution de problème. Elle vise à: minimiser l'investissement nécessaire pour pouvoir utiliser l'interface, la réalisation des tâches prévues, garantir des interactions fiables et favoriser la standardisation, etc. [58]. Les points suivants sont les quatre activités de base de la conception des IHM :

- Identifier les exigences ;
- Conceptions de construction alternatives ;
- Développer des versions interactives de l'interface ;
- Évaluation de l'interface ;

Les principales étapes de la conception d'une IHM sont:

1. déterminer l'ensemble des tâches que l'IHM devra permettre de réaliser : une bonne IHM est une IHM dont les objectifs fonctionnels sont clairement identifiés;
2. déterminer les caractéristiques principales des utilisateurs qui seront amenés à utiliser l'IHM (leur profil) : la qualité d'une IHM est directement dépendante de son adéquation avec la population d'utilisateurs pour laquelle elle est prévue;
3. proposer plusieurs prototypes d'interface qui seront discutés et évalués par les concepteurs et les utilisateurs potentiels : une bonne IHM naît le plus souvent de la diversité et plusieurs pistes doivent donc être explorées;
4. produire une spécification explicite de l'IHM, décrivant à la fois les contraintes fonctionnelles et les contraintes de la mise en forme; un manuel d'utilisation et une référence technique pourront également être produits durant cette phase;
5. réaliser l'IHM proprement dite (phase d'implémentation effective);
6. évaluer l'IHM produite sur la base d'indicateurs reconnus.

### III.5. *Méthodes de conception des IHM*

Plusieurs méthodes de conception des interfaces graphiques existent sur la littérature, on va présenter quelques-unes dans la partie suivante.

- La Conception itérative
- La Conception par prototypage
- La Conception centrée utilisateur
- La Conception participative
- La Conception informative
- Conception par scénarios

Dans ce cours, on va mettre l'accent uniquement sur la conception centrée utilisateur

#### III.5.1. *La Conception centrée utilisateur*

La conception centrée sur l'utilisateur (CCU) [59] est une structure de processus (non limités aux interfaces ou aux technologies) dans lequel les besoins, les désirs et les limites des utilisateurs finaux d'un produit, un service ou un processus sont donnés une grande attention à chaque étape du processus de

conception. La conception centrée sur l'utilisateur peut être caractérisée comme un processus de résolution de problèmes en plusieurs étapes qui exige non seulement les concepteurs d'analyser et de prévoir comment les utilisateurs sont susceptibles d'utiliser un produit, mais aussi de tester la validité de leurs hypothèses en ce qui concerne le comportement de l'utilisateur dans le monde réel. Un tel test est nécessaire, car il est souvent très difficile pour les concepteurs d'un produit à comprendre intuitivement ce qu'un utilisateur peut voir pour la première fois leur expérience de conception.

a) Modèles et approches de la conception centrée sur l'utilisateur

Le processus de conception centrée sur l'utilisateur peut aider les concepteurs de logiciels pour atteindre l'objectif d'un produit conçu pour leurs utilisateurs. Les besoins des utilisateurs sont considérés dès le début et inclus dans le cycle du produit entier. Ces exigences sont notées et affinées grâce à des méthodes d'enquête, y compris: l'étude ethnographique, l'enquête contextuelle, les essais de prototypes, les tests d'utilisabilité et d'autres méthodes. Les méthodes génératives peuvent également être utilisées, y compris: le tri de cartes, les diagrammes d'affinité et les sessions de conception participative. En outre, les besoins des utilisateurs peuvent être déduits par une analyse minutieuse des produits utilisables similaires au produit conçu.

- La conception coopérative: impliquant les concepteurs et les utilisateurs sur le même niveau. Ceci est la tradition scandinave du design d'objets et elle a évolué depuis 1970 [60].
- La Conception participative (PD), un terme en Amérique du Nord pour le même concept, inspiré par la conception coopérative, en mettant l'accent sur la participation des utilisateurs. Depuis 1990, il y a eu une conférence de conception participative bi-annuelle [61].
- La conception contextuelle, "la conception centrée sur l'utilisateur" dans le contexte actuel, y compris quelques idées de conception participative [62].

Toutes ces approches suivent la norme ISO 52075 [63], cette dernière décrit 6 principes clés qui assureront une conception centrée utilisateur:

- La conception est basée sur une compréhension explicite des utilisateurs, des tâches et des environnements.
- Les utilisateurs sont impliqués dans toute la conception et le développement.
- La conception est entraînée et affinée par l'évaluation centrée sur l'utilisateur.
- Le processus est itératif.
- La conception aborde l'expérience utilisateur entière.
- L'équipe de conception comprend des compétences et des perspectives multidisciplinaires.

b) Le But de la CCU

La CCU répond aux questions sur les utilisateurs et leurs tâches et objectifs, puis utilise les résultats pour prendre des décisions sur le développement et la conception [64]. La CCU d'une interface cherche à répondre aux questions suivantes:

- Qui sont les utilisateurs de l'interface?
- Quelles sont les tâches et les objectifs des utilisateurs?
- Quels sont les niveaux d'expérience des utilisateurs avec l'interface?
- Quelles fonctions les utilisateurs ont besoin de l'interface?
- Quelles informations pourraient les utilisateurs ont besoin, et sous quelle forme ont-ils besoin?
- Comment les utilisateurs pensent que l'interface devrait fonctionner?
- Est-ce que l'utilisateur travaille en mode multitâche?

- Est-ce que l'interface utilise différentes modes d'entrées tels que le toucher, la parole, les gestes, ou l'orientation?

c) Les Eléments de la CCU

Les éléments essentiels de la CCU d'une interface interactive sont des considérations de visibilité, d'accessibilité, de lisibilité et de langue [64] :

c.1. La Visibilité

La Visibilité permet à l'utilisateur de construire un modèle mental de l'interface. Les modèles permettent à l'utilisateur de prédire l'effet de leurs actions tout en utilisant l'interface. Des éléments importants (tels que ceux qui aide à la navigation) devraient être emphatiques. Les utilisateurs doivent être en mesure de dire d'un coup d'œil ce qu'ils peuvent et ne peuvent pas faire avec l'interface.

c.2. L'Accessibilité

Les utilisateurs doivent être en mesure de trouver les informations rapidement et facilement dans toute le l'interface, quelle que soit sa complexité. Les utilisateurs devraient avoir diverses façons pour trouver des informations (telles que les éléments de navigation, les fonctions de recherche, la table des matières, des sections clairement marquées, les numéros de page, le codage par couleur, etc.). Les éléments de navigation devraient être compatibles avec le type de l'interface. La segmentation (ou Chunking en anglais) est une stratégie utile qui consiste à briser l'information en petits morceaux qui peuvent être organisées dans un certain type ordre significatif ou dans une hiérarchie. La capacité de parcourir l'interface permet aux utilisateurs de trouver leur élément d'information en scannant plutôt que de lire. Par exemple, les mots en gras et en italique sont souvent utilisés.

c.3. Lisibilité

Le texte doit être facile à lire, le concepteur doit être en mesure de déterminer un style de police utile. Les polices décoratives et les lettres majuscules dans le texte sont difficiles à lire, mais en italique et en gras peuvent être utiles lorsqu'ils sont utilisés correctement. Les corps du texte grand ou petit sont aussi difficiles à lire. Le contraste élevé des arrière-plans entre le texte et le fond augmente la lisibilité. Un texte sombre sur un fond clair est plus lisible.

c.4. Langue

Les phrases courtes sont utiles, tout comme les textes bien écrits utilisés dans des explications. À moins que la situation l'exige, le jargon ou termes techniques ne doivent pas être utilisés. Beaucoup d'écrivains choisissent d'utiliser la voix active, les verbes (au lieu de chaînes ou nominaux) et les structure des phrases simples.

### III.6. Conclusion

Un aspect important de l'étude des IHM est l'obtention de la satisfaction des utilisateurs, parce que l'interaction homme-ordinateur étudie un humain et une machine en communication, elle tire du support des connaissances à la fois sur la machine et sur l'humain. Sur le côté de la machine, les techniques de l'infographie, les systèmes d'exploitation, les langages de programmation et les environnements de développement doivent être pertinents. Sur le plan humain, la théorie de la communication, les disciplines du design graphique et industriel, la linguistique, les sciences sociales, la psychologie cognitive, la

psychologie sociale, et les facteurs humains tels que la satisfaction des utilisateurs de l'ordinateur doivent être respectés dans le processus de conception.

## Chapitre 4

### IV. L'évaluation des interfaces Homme-Machine

IV.1. INTRODUCTION .....	43
IV.2. L'EVALUATION DES IHM .....	43
IV.3. ÉVALUATION PAR L'ANALYSE DES EXPERTS .....	43
IV.3.1. <i>La méthode cognitive Walkthrough</i> .....	43
IV.3.2. <i>L'Évaluation heuristique</i> .....	44
IV.3.3. <i>L'évaluation à base des modèles</i> .....	44
IV.4. L'EVALUATION PAR LA PARTICIPATION DES UTILISATEURS .....	45
IV.4.1. <i>Styles d'études d'évaluation</i> .....	45
IV.4.2. <i>Méthodes Empiriques : l'évaluation expérimentale</i> .....	45
IV.5. LES TECHNIQUES D'OBSERVATION .....	46
IV.6. CHOIX D'UNE METHODE D'EVALUATION .....	46
IV.7. CONCLUSION .....	47

#### IV.1. *Introduction*

L'évaluation des systèmes interactifs sous l'angle de leur ergonomie d'utilisation est un domaine à part entière. Ainsi, de nombreuses méthodes d'évaluation sont opérationnelles et déjà largement utilisées dans certaines entreprises ; il est ainsi possible de faire appel par exemple à des consultants, des cabinets spécialisés en évaluation ou des laboratoires de recherche. L'évaluation est aussi depuis plus d'une trentaine d'années un domaine de recherche à part entière, des méthodes aussi bien automatiques qu'empiriques apparaissant progressivement, suivant les besoins et les spécificités inhérentes à l'évolution des sciences et technologies de l'information et de la communication. On va présenter dans ce chapitre, les différentes méthodes et techniques utilisées pour faire une évaluation efficace de l'interface utilisateur.

#### IV.2. *L'évaluation des IHM*

L'évaluation des IHM devrait se produire tout au long du cycle de vie de conception, même avec les modifications apportées sur l'interface lors de la conception. Une distinction est faite entre l'évaluation par le concepteur ou par un expert en utilisabilité et de l'évaluation qui étudie l'utilisation effective du système [65].

L'évaluation a trois objectifs principaux: évaluer la portée et l'accessibilité de la fonctionnalité du système, évaluer l'expérience des utilisateurs de l'interaction et identifier les problèmes spécifiques du système. On va prendre dans ce chapitre l'évaluation par l'analyse des experts et l'évaluation par participation de l'utilisateur

#### IV.3. *Évaluation par l'analyse des experts*

L'intention de base de l'évaluation par l'analyse des experts est d'identifier toutes les zones qui sont susceptibles de causer des difficultés parce qu'ils ne respectent les principes cognitifs connus, ou ignorer les résultats empiriques acceptés. Trois approches d'évaluation sont considérées ici, il s'agit de: la méthode Cognitive Walkthrough (le cheminement cognitive), l'évaluation heuristique et l'utilisation des modèles.

##### IV.3.1. *La méthode cognitive Walkthrough*

La méthode cognitive Walkthrough [66] est un examen détaillé d'une séquence d'actions, dans ce cas, les étapes de l'évaluation de l'interface exigeront l'évaluateur (qui agit comme un utilisateur) d'effectuer quelques actions afin d'accomplir une tâche connue. Les évaluateurs passent par chaque étape et fournir une histoire sur la raison pour laquelle cette étape n'est pas bon pour les nouveaux utilisateurs. Pour faire une CW, il faut quatre choses: une spécification ou un prototype du système, une description de la tâche à effectuer par l'utilisateur sur le système, une liste complète écrite des actions nécessaires pour achever la tâche avec le système et une indication de qui sont les utilisateurs et quel genre d'expérience et de connaissances, les évaluateurs peuvent prendre à propos d'eux?

L'approche CW est centrée sur la capacité de l'interface à faciliter le processus d'« apprentissage exploratoire » chez l'utilisateur, donc la possibilité pour l'utilisateur d'utiliser l'interface sans formation initiale approfondie est très forte. L'évaluation peut se faire comme suit :

1. L'utilisateur reçoit un objectif à réaliser à l'aide du
2. L'utilisateur cherche qu'est qu'il peut faire dans l'interface (en terme d'actions qu'il peut les réaliser)
3. Pour atteindre son objectif, l'utilisateur doit choisir la meilleure action.
4. L'utilisateur effectue l'action et évalue le retour du système.

Pour évaluer la facilité de l'action choisie, l'évaluateur peut prendre en considération 4 critères :

- L'objectif de l'utilisateur
- L'accessibilité de la commande appropriée
- Le degré de compatibilité du nom de la commande envers le but de l'utilisateur
- Le retour système fourni après l'exécution de la commande

#### *IV.3.2. L'Évaluation heuristique*

Le terme heuristique [67] désigne d'une manière courante, une méthode de résolution d'un problème qui ne passe pas par l'analyse détaillée du problème mais par son appartenance ou adhérence à une classe de problèmes donnés déjà identifiés. Une heuristique est une ligne directrice ou d'un principe général ou règle de base qui peut guider à concevoir une décision ou être utilisée pour critiquer une décision qui a déjà été faite.

L'Évaluation heuristique est une méthode pour structurer la critique d'un système utilisant un ensemble des heuristiques relativement simples et générales. Plusieurs évaluateurs critiquent indépendamment le système afin de tirer des problèmes d'utilisabilité potentiels. Chaque évaluateur évalue le système et note les atteintes de l'une des heuristiques et la gravité de chacune de ces violations en fonction de quatre facteurs: à quel point le problème est commun ? Est-il facile de le surmonter par les utilisateurs ? Ce sera un problème ponctuel ou un problème persistant ? Et comment le problème sera perçu sérieusement ?

Aussi appelé guides d'utilisabilité, ce sont des règles qui ressortent les principes qui composent une bonne interface et aident les experts à trouver les problèmes d'interface, Il existe plusieurs guides heuristiques [68].

Par exemple, Nielsen a proposé dix heuristiques [69]: la visibilité de l'état du système, la correspondance entre le système et le monde réel, le contrôle de l'utilisateur et de la liberté, la cohérence et les normes, la prévention des erreurs, la reconnaissance plutôt que le rappel, la flexibilité et l'efficacité de l'utilisation, l'esthétique et le design minimaliste, l'aide de reconnaissance de l'utilisateur, la diagnostique et la récupération des erreurs et l'aide et la documentation.

#### *IV.3.3. L'évaluation à base des modèles*

L'évaluation basée sur modèle utilise un modèle qui décrit la façon dont un humain serait utilisé un système proposé pour obtenir des mesures d'utilisabilité prévues par le calcul ou la simulation. Ces prédictions peuvent remplacer ou compléter les mesures empiriques obtenues par des tests utilisateurs. En

outre, le contenu du modèle lui-même transmet des informations utiles sur la relation entre la tâche de l'utilisateur et la conception du système [70].

L'objectif de l'évaluation basée sur un modèle est d'obtenir des résultats de convivialité avant la mise en œuvre d'un prototype ou d'essais sur des sujets humains. L'approche utilise un modèle de la situation de l'interaction homme-machine pour représenter la conception de l'interface et de produire des mesures de la facilité d'utilisation de l'interface prédit. Ces modèles sont également appelés modèles d'ingénierie ou des modèles analytiques pour la facilité d'utilisation. Le modèle est basé sur une description détaillée de la conception proposée et une analyse détaillée des tâches; il explique comment les utilisateurs vont accomplir les tâches en interagissant avec l'interface proposée, et utilise la théorie psychologique et des données paramétriques pour générer les mesures d'utilisabilité prévues [71].

Une fois que le modèle est construit, les prédictions d'utilisabilité peuvent être rapidement et facilement obtenues par calcul ou par l'exécution d'une simulation. En outre, les conséquences de variations sur la conception peuvent être rapidement explorées en faisant les changements correspondants dans le modèle. Comme la plupart des variations sont relativement faibles, un circuit autour de la boucle itérative de conception réviser / évaluer est généralement assez rapide une fois l'investissement initial de construction du modèle est faite. Ainsi contrairement à des tests utilisateurs, les itérations sont obtenues généralement plus rapide et plus facile au moment ou la conception est raffinée.

#### *IV.4. L'évaluation par la participation des utilisateurs*

Cette méthode d'évaluation repose sur la participation de l'utilisateur pendant le processus d'évaluation [72], elle peut englober l'évaluation des utilisateurs soit dans des labos spécialisés soit sur le terrain, ou bien l'évaluation expérimentale.

##### *IV.4.1. Styles d'études d'évaluation*

- En laboratoire : les utilisateurs prennent part à des essais contrôlés, souvent dans un laboratoire d'utilisabilité spécialisé. Les avantages sont l'équipement de pointe du laboratoire et de l'environnement sans interruption. L'inconvénient est le manque de contexte, qui peut conduire à des situations anormales.
- Etudes de terrain : l'utilisateur est observé en utilisant le système dans son propre environnement de travail. L'avantage est l'utilisation naturelle du système qui peut difficilement être atteint dans le laboratoire. Cependant, les interruptions qui viennent avec cette situation naturelle peuvent faire les observations plus difficiles.

##### *IV.4.2. Méthodes Empiriques : l'évaluation expérimentale*

Toute expérience a les mêmes formes de base: l'évaluateur choisit une hypothèse à tester, qui peut être déterminé en mesurant un attribut de comportement des participants. Un certain nombre de conditions expérimentales sont considérées qui diffère seulement dans les valeurs de certaines variables contrôlées. Tous changements dans les mesures comportementales sont attribués aux différentes conditions. Certains facteurs dans l'expérience doivent être examinés attentivement: les participants choisis, les variables testées et manipulées et l'hypothèse testée [73].

- *Les participants* : devraient être choisis pour correspondre à la population d'utilisateurs prévue aussi près que possible: ils doivent être représentatifs de la population de l'utilisateur visé. La taille de l'échantillon doit être suffisamment grande pour être représentatif de la population de l'utilisateur visé.
- *Les variables* : sont de deux types principaux: ceux manipulés (indépendant) et celles mesurées (en fonction). Les valeurs de la variable indépendante sont connues tant les niveaux. D'autres expériences complexes peuvent avoir plus d'une variable indépendante.
- *Les hypothèses* : sont les prédictions du résultat d'une expérience, encadrées en termes de variables dépendantes et indépendantes, en indiquant qu'une variation de la variable indépendante provoquera une différence de la variable dépendante. Le but de l'expérience se révèle l'hypothèse, qui se fait en refusant la contraire hypothèse nulle.
- *Le design expérimental* : se compose de phases différentes, la première étape consiste à choisir l'hypothèse et de définir la variable dépendante et indépendante. La seconde étape consiste à sélectionner la méthode expérimentale: inter-sujets, dans lequel chaque participant est affecté à un état différent, et intra-sujet, dans lequel chaque utilisateur travail dans chaque condition.
- *Les Mesures statistiques*: les données devraient tout d'abord être sauvegardées pour permettre la réalisation d'analyses multiples sur les mêmes données. Le choix de l'analyse statistique dépend du type de données et les questions que nous voulons répondre. Les variables peuvent être classées comme discrètes (ce qui peut prendre un nombre fini de valeurs et niveaux) et des variables continues (qui peut prendre une valeur comprise entre une limite inférieure et supérieure)

#### IV.5. *Les techniques d'observation*

- *Pensez à haute voix et l'évaluation coopérative* : Pensez à haute voix est une forme d'observation où l'utilisateur est invité à parler à travers ce qu'il fait, comme il est observé. Il a l'avantage de la simplicité, mais l'information fournie est souvent subjective et peut être sélective. Une variante est l'évaluation coopérative, dans lequel l'utilisateur et l'évaluateur travaillent ensemble pour évaluer le système.
- *L'analyse protocolaire*: méthode basée sur l'enregistrement des actions des utilisateurs comprennent le papier et le crayon, l'enregistrement audio, enregistrement vidéo, l'enregistrement de l'ordinateur et les ordinateurs portables des utilisateurs. Dans la pratique, un mélange de différentes méthodes est utilisé.

#### IV.6. *Choix d'une méthode d'évaluation*

Les facteurs qui permettent de distinguer les différentes techniques sont:

- La conception vs la mise en œuvre: le plus tôt dans le procès, le moins cher et la plus rapide dans l'évaluation ;
- Etudes en laboratoire vs Etudes sur le terrain ;
- Subjective vs objectif: les évaluations subjectives exigent l'interprétation de l'évaluateur et sont facilement utilisées incorrectement. Les évaluations objectives fournissent des résultats reproductibles, mais parfois moins d'informations ;
- Les mesures qualitative vs les mesures quantitatives ;

- Informations fournies: le niveau d'information requis dépend de l'état du processus de conception et influence la méthode requise: l'évaluation peut concerner une certaine partie du système ou la totalité du système ;
- Imminence de la réponse: certaines méthodes enregistrent le comportement de l'utilisateur au moment de l'interaction elle-même, d'autres comptent sur les utilisateurs pour se souvenir des événements qui peuvent être incomplètes ou biaisées ;
- L'important: la plus évidente de la méthode d'évaluation est à l'utilisateur, plus il peut influencer le comportement de l'utilisateur ;

#### IV.7. Conclusion

On a vu dans ce chapitre comment l'évaluation joue un rôle important dans la vérification et la validation des systèmes interactifs, quel que soit le domaine d'application. Si le système répond positivement aux critères mis en avant (performances, utilisabilité, utilité, etc.), celui-ci est accepté et donc validé ; dans le cas contraire, il doit faire l'objet d'aménagements en vue d'une nouvelle évaluation.

Le cycle d'évaluation peut se répéter autant de fois que nécessaire pour atteindre la satisfaction des exigences définies au départ (lors des spécifications issues de la définition des besoins) permettant à un utilisateur de réaliser sa tâche au moyen du système interactif qui lui est proposé.

## **Chapitre 5**

### **V. Exercices de Réflexions**

V.1. Exercices

- 1- Donnez une définition brève et pertinente des **critères ergonomiques**.
- 2- **Est-ce que le développement d'IHM est une activité multidisciplinaire ? justifiez votre réponse.**  
**Choisir la/les meilleure(s) réponse(s)**
- 3- **Les principaux critères ergonomiques sont:**

<input type="checkbox"/> Compatibilité	<input type="checkbox"/> Déontologie	<input type="checkbox"/> Guidage	<input type="checkbox"/> Mémorisation
<input type="checkbox"/> Adaptabilité	<input type="checkbox"/> Contrôle explicite	<input type="checkbox"/> Feed-back	<input type="checkbox"/> Charge de travail
- 4- **Le critère de Gestion des erreurs regroupe :**

<input type="checkbox"/> Protection contre les erreurs	<input type="checkbox"/> Qualité des messages	<input type="checkbox"/> Correction des erreurs
<input type="checkbox"/> Brièveté		
- 5- **A quel critère appartient cette recommandation: "Griser les fonctions non disponibles"**

<input type="checkbox"/> Guidage	<input type="checkbox"/> Adaptabilité	<input type="checkbox"/> Compatibilité
----------------------------------	---------------------------------------	--
- 6- **A quel critère appartient cette recommandation: "Eviter les textes trop longs"**

<input type="checkbox"/> Qualité des messages	<input type="checkbox"/> charge de travail	<input type="checkbox"/> Guidage
<input type="checkbox"/> Mémorisation		
- 7- **Le critère de guidage peut regrouper:**

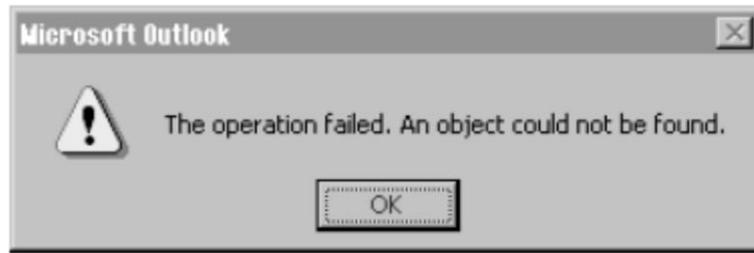
<input type="checkbox"/> Incitation	<input type="checkbox"/> Groupement / Distinction	<input type="checkbox"/> Retour utilisateur	<input type="checkbox"/> Lisibilité
-------------------------------------	---	---	-------------------------------------
6. **Dans la stratégie: Mosaïque des fenêtres (tuilage) :**

<input type="checkbox"/> Les fenêtres sont toujours invisibles	<input type="checkbox"/> Les fenêtres sont toujours visibles
--	--
7. **Les menus disposent de différentes structures pour différents modes d'interaction:**

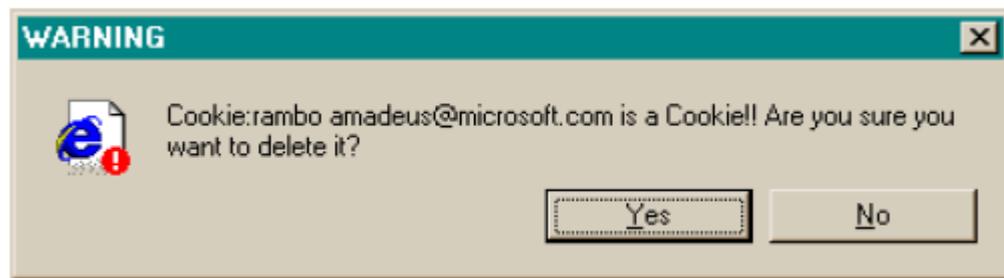
<input type="checkbox"/> Linéaire	<input type="checkbox"/> Arborescente	<input type="checkbox"/> Acyclique
-----------------------------------	---------------------------------------	------------------------------------
8. Pour chaque caractéristique de la manipulation directe (la visibilité, une action progressive, le feedback, la réversibilité, l'exploration, l'exactitude syntaxique de toutes les actions, et le remplacement de la langue à l'action) analyser et discuter d'un exemple de tâche réalisée avec des interfaces modernes.
9. Quel principe ergonomique n'est respecté par l'affichage d'erreur présenté dans la figure suivante.



7. Quel sont les problèmes posés par ce message d'erreur dans la figure suivante.



8. Quelle est la recommandation oubliée en termes de messages d'erreur dans cette version dans la figure suivante?



9. Sur Windows XP pour "arrêter" l'ordinateur il faut cliquer sur le bouton "démarrer" puis "arrêter". Après avoir précisé le genre du problème, proposer une autre solution.



10. Pour éjecter la disquette d'un Mac, il fallait jeter l'icône représentant le disque dur dans la poubelle. Expliquez le problème ergonomique de cette action et proposer une autre solution.
11. La figure suivante présente 04 interfaces d'un formulaire web, critiquez chaque formulaire et faire tirer leurs points forts et leurs points faibles ?

a) 

Nom	<input type="text"/>
Prénom	<input type="text"/>
Fonction	<input type="text"/>
Courrier Electronique	<input type="text"/>

b) 

Nom	<input type="text"/>
Prénom	<input type="text"/>
Fonction	<input type="text"/>
Courrier Electronique	<input type="text"/>

c) 

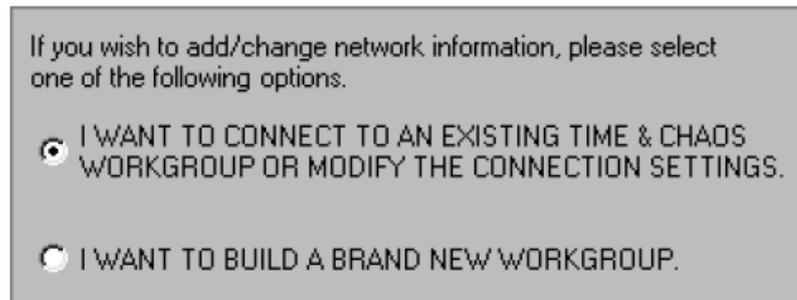
Nom	<input type="text"/>
Prénom	<input type="text"/>
Fonction	<input type="text"/>
Courrier Electronique	<input type="text"/>

d) 

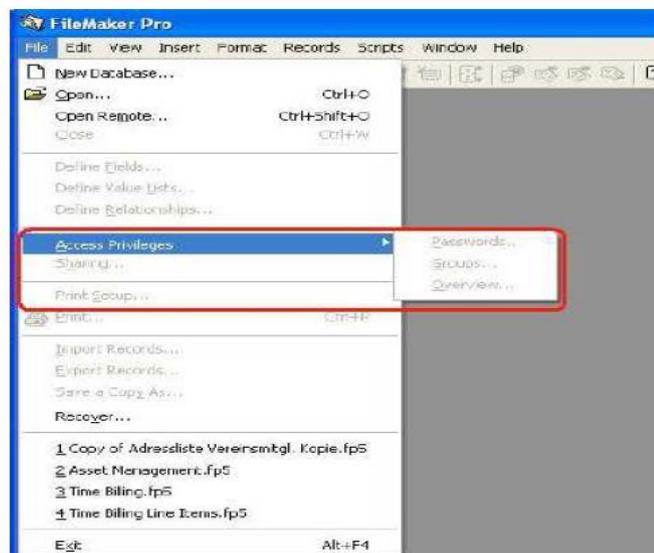
Nom	<input type="text"/>
Prénom	<input type="text"/>
Fonction	<input type="text"/>
Email	<input type="text"/>

 (optionnel)

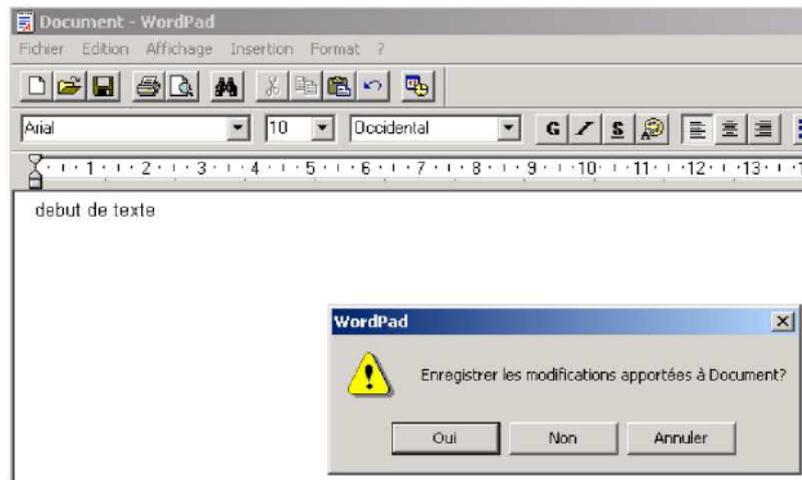
12. Quelle critique principale peut-on faire à cette fenêtre de menu ?



13. Comme dans plusieurs logiciels interactifs, les options non utilisables à un moment donné sont affichées en gris légers dans les menus. Quel problème présente visiblement l'utilisation de ce type des s menus?



14. Dans le logiciel WordPad de windows on ne peut pas ouvrir plusieurs documents en même temps. Si on cherche d'ouvrir un autre fichier, on obtient le message affiché sur la boîte de dialogue à droite. Quel problème se pose t-il ici? Quel critère ergonomique n'est pas respecté?



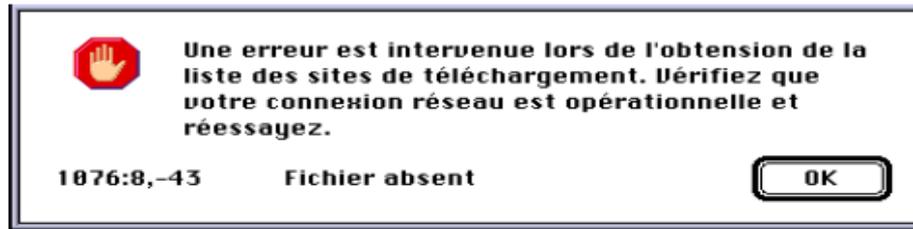
15. Quel critère ergonomique illustre cette fenêtre de configuration d'une souris ?



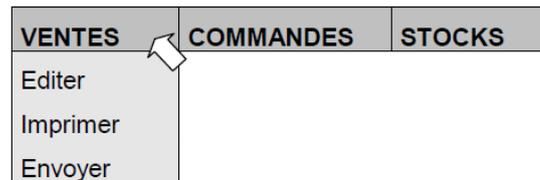
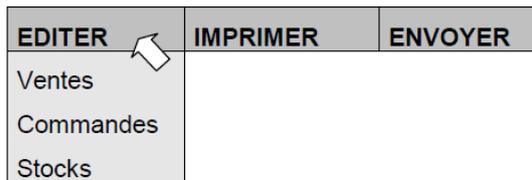
16. Quelle est la meilleure solution d'un point de vue ergonomique ? Quel est le principe ergonomique qui n'est pas respecté ici ?



17. Pourriez-vous dire quels sont les points forts et les points faibles de cette gestion des erreurs ?

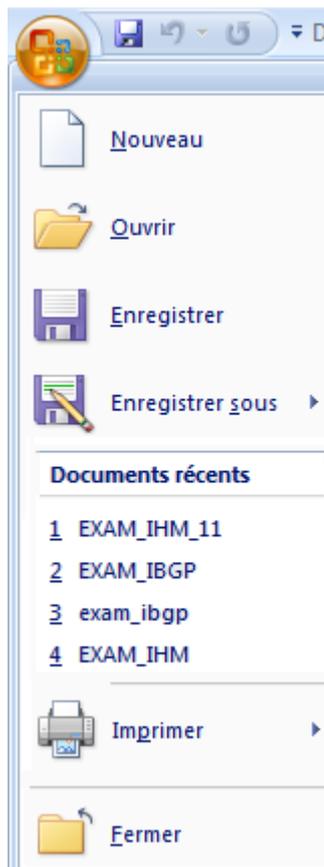


18. En considérant les critères ergonomiques de Bastien et Scapin, quelle organisation vous paraît la plus appropriée ?



19. Listez les défauts d'ergonomie des interfaces présentés ci-dessous (Interface 1 s'adressant à des enfants à partir de 4 ans et l'Interface 2 une fenêtre de microsoft word), et indiquez comment les corriger.

Interface 2



Interface 1



## VI. Références

- [1] Scott MacKenzie, I., (2013), *Human-Computer Interaction An Empirical Research Perspective*, Morgan Kaufmann is an imprint of Elsevier 225 Wyman Street, Waltham, MA 02451, USA, ISBN: 978-0-12-405865-1
- [2] Smith, D. K., & Alexander, R. C. (1988). *Fumbling the Future: How Xerox Invented, then Ignored, the First Personal Computer*. New York: William Morrow.
- [3] Permenter, K. E., Fleger, S. A., & Malone, T. B. (1987). Advanced human factors engineering tool technologies. *Proceedings of the Human Factors Society 31st Annual Meeting*. Santa Monica: Human Factors and Ergonomics Society. 345–349.
- [4] F. Brooks' book *The Mythical Man-Month* (1975, Addison-Wesley) is an insightful analysis of software engineering, and the original source for the idea that iterative prototyping is inevitable in the design and development of complex software;
- [5] Gentner, D. and Nielsen, J. (1996) The Anti-Mac interface, *Communications of the ACM* 39, 8 (August), 70-82.
- [6] Foley, J and van Dam, A. (1982), describes the early field of computer graphics as a root of what would become human-computer interaction, book *Computer Graphics*.
- [7] Horn, D.B., Finholt, T.A., Birnholtz, J.P., Motwani, D. and Jayaraman, S. (2004) Six degrees of jonathan grudin: a social network analysis of the evolution and impact of CSCW research. In *Proceedings of the 2004 ACM conference on Computer supported cooperative work (CSCW '04)*. ACM, New York, NY, USA, 582-591.
- [8] Shaer, O. and Hornecker, E. (2010) *Tangible User Interfaces: Past, Present, and Future Directions*. Found. Trends Hum.-Comput. Interact. 3, 1-2 (January), 1-137.
- [9] Cooper, A. (1999). *The Inmates are Running the Asylum*. Indianapolis: Sams.
- [10] Sutcliffe, A. (2009) *Designing for User Engagement: Aesthetic and Attractive User Interfaces*.
- [11] Wright, P. and McCarthy, J. (2010) *Experience-Centered Design: Designers, Users, and Communities in Dialogue*.
- [12] Bailey, R. W. (1996). *Human Performance Engineering: Designing High Quality, Professional User Interfaces for Computer Products, Applications, and Systems* (3<sup>rd</sup> ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- [13] Howes, A., & Payne, S. J. (1990). Display-based competence: Towards user models for menu-driven interfaces. *International Journal of Man-Machine Studies*, 33, 637–655.
- [14] Kiger, J. I. (1984). The depth/breadth trade-off in the design of menu-driven user interfaces. *International Journal of Human-Computer Studies*, 20, 201–213.
- [15] Landauer, T. K., & Nachbar, D. W. (1985). Selection from alphabetic and numeric menu trees using a touch screen: Breadth, depth, and width. *Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems—CHI '85*. ACM. 73–77.
- [16] Tullis, T. S. (1985). Designing a menu-based interface to an operating system. *Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems—CHI '85*. New York: ACM. 70–84.
- [17] Card, S. K. (1982). User perceptual mechanisms in the search of computer command menus. *Proceedings of Human Factors in Computer Systems*. New York: ACM. 190–196.
- [18] Hemenway, K. (1982). Psychological issues in the use of icons in command menus. *Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York: ACM. 20–23.
- [19] Zaphiris, P., Kurniawan, S. H., & Ellis, R. D. (2003). Age related differences and the depth vs. breadth tradeoff in hierarchical online information systems. *Proceedings of the Seventh ERCIM International Workshop on User Interfaces for all*. Berlin: Springer. 23–42.
- [20] Geven, A., Sefelin, R., & Tschelig, M. (2006). Depth and breadth away from the desktop: The optimal information hierarchy for mobile use. *Proceedings of MobileHCI 2006*. New York: ACM. 157–164.
- [21] Zhao, S., Dragicevic, P., Chignell, M., Balakrishnan, R., & Baudisch, P. (2007). Earpod: Eyes-free menu selection using touch input and reactive audio feedback. *Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems—CHI 2007*. New York: ACM. 1395–1404.

- [22] Rekimoto, J. (1996). Tilting operations for small screen interfaces. *Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology—UIST '96*. New York: ACM. 167–168.
- [23] Callahan, J., Hopkins, D., Weiser, M., & Shneiderman, B. (1988). An empirical comparison of pie vs. linear menus. *Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems—CHI '88*. New York: ACM. 95–100.
- [24] Venolia, D., & Neiberg, F. (1994). T-Cube: A fast, self-disclosing pen-based alphabet. *Proceedings of ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems—CHI '94*. New York: ACM. 265–270.
- [25] Shneiderman, B., & Plaisant, C. (2005). *Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction* (4th ed.). New York: Pearson.
- [26] Newell, A. (1990). *Unified Theories of Cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- [27] Card, S. K., Newell, A., & Moran, T. P. (1983). *The psychology of human-computer interaction*.
- [28] Kantowitz, B. H., & Sorkin, R. D. (1983). *Human factors: Understanding people-system relationships*. John Wiley & Sons Inc
- [29] Asakawa, C., & Takagi, H. (2007). Text entry for people with visual impairments. In I. S. MacKenzie & K. Tanaka-Ishii (Eds.), *Text entry systems: Mobility, accessibility, universality* (pp. 304–318). San Francisco: Morgan Kaufmann.
- [30] Tatler, B. W., Wade, N. J., Kwan, H., Findlay, J. M., & Velichkovsky, B. M. (2010). Yabus, eye movements, and vision. *i-Perception*, 1, 7–27.
- [31] Goldberg, J. H., & Helfman, J. I. (2010). Visual scanpath representation. *Proceedings of the ACM Symposium on Eye Tracking Research and Applications—ETRA 2010*. New York: ACM. 203–210.
- [32] Talbot, M., & Cowan, W. (2009). On the audio representation of distance for blind users. *Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems—CHI 2009*. New York: ACM. 1839–1848.
- [33] Akamatsu, M., MacKenzie, I. S., & Hasbrouq, T. (1995). A comparison of tactile, auditory, and visual feedback in a pointing task using a mouse-type device. *Ergonomics*, 38, 816–827.
- [34] Brewster, S. A., McGookin, D., & Miller, C. (2006). Olfoto: Designing a smell-based interaction. *Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems—CHI 2006*. New York: ACM. 653–662.
- [35] Penfield, W., & Rasmussen, T. (1990). *The Cerebral Cortex of Man: A Clinical Study of Localization of Function*. New York: Macmillan.
- [36] Card, S. K., Mackinlay, J. D., & Robertson, G. G. (1991). A morphological analysis of the design space of input devices. *ACM Transactions on Office Information Systems*, 9, 99–122.
- [37] Balakrishnan, R., Baudel, T., Kurtenbach, G., & Fitzmaurice, G. (1997). The Rockin'mouse: Integral 3D manipulation on a plane. *Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems—CHI '97*. New York: ACM. 311–318.
- [38] Ergonomics, 2016a. In Thesaurus.com. Retrieved May 8, 2016, from <http://www.dictionary.com/browse/ergonomics>
- [39] Ergonomics, 2016b. In Wikipedia Retrieved May 8, 2016, from [https://en.wikipedia.org/wiki/ISO\\_6385](https://en.wikipedia.org/wiki/ISO_6385)
- [40] Ergonomics, 2016c. International Ergonomics Association. What is Ergonomics. Website. Retrieved 17 Mai 2014.
- [41] Jastrzębowski, W. (1857). *An outline of ergonomics, or the science of work*. Central Institute of Labour Protection, Warsaw.
- [42] Stammers, R. B. (2007). Hywel Murrell at the Naval Motion Study Unit and the development of ergonomics. *Contemporary ergonomics*, 2007, 93.
- [43] Environmental Ergonomics, 2016, In environmental-ergonomics. Home page. Retrieved May 18, 2016, from <http://www.environmental-ergonomics.org/>.
- [44] Campbell, J. L., Richard, C. M., & Graham, J. (2012). NCHRP Report 600: Human Factors Guidelines for Road Systems. *Collection B: Chapters*, 6, 22-23.

- [41] Long, J. (1989). *Cognitive ergonomics and human-computer interaction* (Vol. 1). Cambridge University Press.
- [42] Hollnagel, E. (1997). Cognitive ergonomics: it's all in the mind. *Ergonomics*, 40(10), 1170-1182.
- [43] van der Veer, G. C. (2008). Cognitive Ergonomics in Interface Design-Discussion of a Moving Science. *J. UCS*, 14(16), 2614-2629.
- [44] Lee, J. D. (2001). Emerging challenges in cognitive ergonomics: Managing swarms of self-organizing agent-based automation. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 2(3), 238-250.
- [45] Scapin, D. L. (1990). Organizing human factors knowledge for the evaluation and design of interfaces. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 2(3), 203-229.
- [50] Pollier, A., & Hoc, J. M. (1992). Evaluation d'une interface par des ergonomes: diagnostics et stratégies. *Le Travail Humain*, 71-95.
- [51] Bastien, J. M. C., Scapin, D. L., & Leulier, C. (1998). Une comparaison des critères ergonomiques et des principes de dialogue ISO 9241-10 dans une tâche d'évaluation d'interface. *Revue d'interaction homme-machine*, 1(1), 33-63.
- [52] Scapin, D. L., & Bastien, J. C. (1997). Ergonomic criteria for evaluating the ergonomic quality of interactive systems. *Behaviour & information technology*, 16(4-5), 220-231.
- [53] Nielsen, J. (1994). *Usability engineering*. Elsevier.
- [54] Holzinger, A. (2005). Usability engineering methods for software developers. *Communications of the ACM*, 48(1), 71-74.
- [55] Spool, J., & Schroeder, W. (2001). Testing web sites: Five users is nowhere near enough. In *CHI'01 extended abstracts on Human factors in computing systems* (pp. 285-286). ACM.
- [56] Myers, B., Hudson, S. E., & Pausch, R. (2000). Past, present, and future of user interface software tools. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 7(1), 3-28.
- [57] John, B. E., Bass, L., Kazman, R., & Chen, E. (2004, April). Identifying gaps between HCI, software engineering, and design, and boundary objects to bridge them. In *CHI'04 extended abstracts on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1723-1724). ACM.
- [58] Myers, B. (1994). Challenges of HCI design and implementation. *interactions*, 1(1), 73-83.
- [59] Abras, C., Maloney-Krichmar, D., & Preece, J. (2004). User-centered design. *Bainbridge, W. Encyclopedia of Human-Computer Interaction. Thousand Oaks: Sage Publications*, 37(4), 445-456.
- [60] Schuler, D., & Namioka, A. (Eds.). (1993). *Participatory design: Principles and practices*. CRC Press.
- [61] Muller, M. J. (2003). Participatory design: the third space in HCI. *Human-computer interaction: Development process*, 4235, 165-185.
- [62] Carroll, J. M. (Ed.). (2003). *HCI models, theories, and frameworks: Toward a multidisciplinary science*. Morgan Kaufmann.
- [63] Ahmad, W. F. W., Butt, S. M., & Rahim, L. (2013). Usability evaluation of the agile software process. In *Advances in Visual Informatics* (pp. 640-651). Springer International Publishing.
- [64] Monk, A. (2000). User-centred design. In *Home informatics and telematics* (pp. 181-190). Springer US.
- [65] MacDonald, C. M., & Atwood, M. E. (2013). Changing perspectives on evaluation in HCI: past, present, and future. In *CHI'13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1969-1978). ACM.
- [66] Wharton, C., Rieman, J., Lewis, C., & Polson, P. (1994, June). The cognitive walkthrough method: A practitioner's guide. In *Usability inspection methods* (pp. 105-140). John Wiley & Sons, Inc.
- [67] Jeffries, R., & Desurvire, H. (1992). Usability testing vs. heuristic evaluation: was there a contest?. *ACM SIGCHI Bulletin*, 24(4), 39-41.
- [68] Tognazzini, B. (2003). First principles of interaction design. *Interaction design solutions for the real world, AskTog*.
- [69] Nielsen, J. (1994). Heuristic evaluation. *Usability inspection methods*, 17(1), 25-62.
- [70] Kieras, D. (2009). Model-based evaluation. *Human-Computer Interaction: Development Process, Human Factors and Ergonomics*, 293-311.

- [71] Paterno, F. (2012). *Model-based design and evaluation of interactive applications*. Springer Science & Business Media.
- [72] Dumas, J. S. (2002). User-based evaluations. In *The human-computer interaction handbook* (pp. 1093-1117). L. Erlbaum Associates Inc.
- [73] Beck, E., Christiansen, M., Kjeldskov, J., Kolbe, N., & Stage, J. (2003). Experimental evaluation of techniques for usability testing of mobile systems in a laboratory setting.