



HAL
open science

Jalons de développement pour un logiciel de support à la gestion des règles ergonomiques

Jean Vanderdonckt

► **To cite this version:**

Jean Vanderdonckt. Jalons de développement pour un logiciel de support à la gestion des règles ergonomiques. [0] Université catholique de Louvain. 2002. hal-01314083

HAL Id: hal-01314083

<https://hal.science/hal-01314083>

Submitted on 10 May 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

SYNTHESE

Jalons de développement pour un logiciel de support à la gestion des règles ergonomiques

Jean Vanderdonckt

Université catholique de Louvain (UCL), Louvain School of Management (LSM),
Place des Doyens, 1, B-1348 Louvain-la-Neuve, Belgique, E-mail : jean.vanderdonckt@uclouvain.be

RESUME. De nouveaux outils logiciels pour le développement de systèmes interactifs apparaissent progressivement dans le domaine commercial ou dans la recherche. Comme ces outils se basent de plus en plus sur des règles ergonomiques pour développer l'interface homme-machine d'un système interactif, ils entraînent une modification significative de la démarche de développement. Il est aujourd'hui prouvé que développer un système interactif sur base de règles ergonomiques améliore l'utilisabilité de son interface. Toutefois, cette preuve n'est plus valide lorsque ces règles ont été transformées de façon à être incorporées dans un outil logiciel pour le développement de systèmes interactifs. En effet, ces règles ne sont plus appliquées par un ergonomiste, mais par un concepteur supporté par ce genre d'outil. Pour répondre à ces interrogations, nous introduisons cinq jalons pour le développement d'un outil logiciel à base de règles ergonomiques : (1) la collecte de règles ergonomiques, (2) l'organisation, (3) l'incorporation dans une démarche, (4) l'opérationnalisation, (5) l'utilisation de règles ergonomiques. Dans cette synthèse, nous définissons chaque jalon, précisons ses objectifs, spécifions la procédure générale et discutons des problèmes soulevés pour l'atteindre. Nous livrons un résumé analytique de différentes expériences acquises en recherche pour les résoudre ; puis, nous discutons de la validité de ces expériences du point de vue de la complétude, de la cohérence et de la correction. Enfin, nous en tirons des enseignements utiles à toute utilisation ou développement d'un outil logiciel à base de règles ergonomiques.

ABSTRACT. New software tools for developing interactive systems progressively appear both on the market and from research. Since these tools are more and more frequently based on guidelines aimed at developing the user interface of an interactive system, they induce some significant change in the way systems are developed. These guidelines are indeed no longer applied by ergonomists, but by designers supported by this kind of tools. To address these questions, five milestones for developing a tool for working with guidelines are introduced : (1) collecting guidelines, (2) organizing guidelines, (3) their embodiment into a method, (4) their operationalization, (5) the use of guidelines. In this overview, each milestone is defined, their goals are specified, their general procedure is specified and the related problems are discussed. A critical summary of some research experiences in this domain is provided ; then, these experiences are analyzed for their displayed completeness, consistency, and soundness. Finally, we draw some conclusions useful for using or developing a tool for working with guideline.

MOTS-CLE: système interactif, génie logiciel, ergonomie du logiciel, interface homme-machine, règle ergonomique, méthodologie de développement, utilisabilité, utility.

KEYWORDS: interactive system, software engineering, software ergonomics, user interface, guideline, development method, usability, utility.

1. Introduction

Assurer la qualité ergonomique des interfaces homme-machine (IHM) est devenu une des préoccupations majeures dans le développement d'applications interactives depuis une quinzaine d'années. Pour en rendre compte, on distingue souvent utilité et utilisabilité [NIE 93]. L'utilité traduit l'adéquation de l'IHM par rapport aux objectifs fonctionnels de l'application interactive ; en ce sens, elle reste indépendante de l'utilisateur final. Quant à l'utilisabilité, elle rend compte de l'adéquation de l'IHM par rapport aux besoins opérationnels de l'utilisateur : elle est donc hautement dépendante de l'utilisateur final. L'IHM d'un traitement de texte peut s'avérer utile en prévoyant la création assistée d'une table des matières d'un document donné ; l'utilisabilité de cette IHM dépendra en particulier de la facilité avec laquelle l'utilisateur sera capable d'accomplir cette tâche, ne le bloquant pas en cas d'erreurs et lui offrant la possibilité de les corriger.

Le débat des applications interactives fonctionnellement riches (donc, utiles), mais opérationnellement pauvres (donc, peu utilisables) est permanent :

- les utilisateurs intensifs, expérimentés ont tendance à préférer une application interactive utile même si elle n'est pas utilisable plutôt qu'une application utilisable, mais peu utile ;
- les utilisateurs occasionnels, novices rejettent une application interactive dès qu'elle n'est pas utilisable, même si elle s'avère très utile ; à la limite, ils peuvent paradoxalement préférer une application peu utile, mais utilisable.

Pour étudier, rendre compte et assurer l'utilisabilité d'une IHM, plusieurs disciplines peuvent aider toute personne responsable du développement de l'IHM : la conception participative, la psychologie cognitive, l'analyse contextuelle, l'ergonomie logicielle... Dans cette dernière, plusieurs méthodes ont déjà prouvé leur impact positif sur l'utilisabilité de l'IHM : les méthodes d'évaluation avec ou sans la présence de l'utilisateur [GRI 96], l'évaluation heuristique [NIE 90], les tests en laboratoire d'utilisabilité [REC 96], ainsi que des démarches ergonomique fondées sur des règles ergonomiques [BAS 95].

On entend généralement par *règle ergonomique* ou *recommandation ergonomique* (en anglais, *guideline*) un principe de conception et/ou d'évaluation à observer en vue d'obtenir et/ou de garantir l'utilisabilité d'une IHM pour une tâche interactive donnée accomplie par une population d'utilisateurs donnée dans un contexte donné [VAN 97]. Nous considérons dans la suite du texte l'expression *démarche ergonomique* comme tout moyen de mise en œuvre de ces règles ergonomiques tout au long du cycle de vie de développement de l'IHM de l'application interactive. Elle se situe le plus fréquemment au niveau de :

- la phase de spécification : un ensemble de règles ergonomiques est délimité comme spécifications de la future IHM ;
- la phase de conception : des règles ergonomiques sont exploitées pour décider des options de conception dans le sens d'une meilleure prise en compte du contexte (qui inclut la tâche interactive, la population des utilisateurs et l'environnement de travail dans lequel ces utilisateurs accomplissent ces tâches) ;
- la phase de prototypage : des règles ergonomiques sont exploitées pour obtenir aussi rapidement que possible une maquette ou un prototype de l'IHM qui soit montrable, exécutable, testable et évaluable, en particulier grâce aux techniques de génération automatique ou de conception assistée des IHM [VAN 96] ;
- la phase de programmation : des règles ergonomiques sont rassemblées pour guider, orienter, préciser, assurer le développement de l'IHM au sein de l'environnement de développement retenu sur la ou les plates-formes cibles ;
- la phase d'évaluation : l'IHM résultat est évaluée vis-à-vis de règles ergonomiques, souvent celles issues des phases précédentes lorsqu'elles y étaient sélectionnées ;
- la phase de documentation et de certification : les règles ergonomiques manipulées dans les phases précédentes sont consignées dans la documentation de l'application interactive à des fins de communication, de réutilisation, de maintenance ou de promotion commerciale par le biais d'une certification à l'encontre de ces règles ergonomiques.

A côté de ces situations, les règles ergonomiques ont défriché un nouveau terrain d'expansion : celui de l'enseignement de la conception des IHM sur base de règles tout au long de son cycle de vie. La présente synthèse concerne les activités sous-tendues par la démarche ergonomique : la recherche de règles, la collecte, la mise en œuvre, la rédaction, la diffusion, le recours, l'application, la vérification et, plus récemment, leur enseignement. Ces activités sont progressivement mieux appréhendées et structurées en méthodes, se sont vues

assurées par une série de personnes qui peuvent cumuler les rôles en fonction des circonstances : chef de projet, responsable méthodologique, analyste, concepteur, programmeur, ou encore évaluateur sous l'angle, soit de la technique, soit de l'ergonomie (que ces personnes soient informaticiennes, ergonomes, psychologues, etc.), voire enseignantes.

Pour supporter ces personnes dans les activités de la démarche ergonomique, la recherche et le développement en informatique a produit et commercialisé depuis 1989 (avec NaviText SAM® [PER 89]) un certain nombre d'outils logiciels de support à la démarche ergonomique (en anglais, *tools for working with guidelines*, ce thème faisant l'objet d'un courant de recherche très actif au niveau international). De cette production et de cette commercialisation s'ensuit un profond bouleversement de la pratique de cette démarche ergonomique, répercuté dans de nombreuses questions soulevées principalement à trois niveaux :

1. au niveau de la source de la transformation :
 - dans quelle mesure peut-on se fier aux règles ergonomiques mises en jeu dans la démarche ergonomique ?
 - en quels lieux s'insèrent-elles dans les méthodologies de développement d'applications interactives qui parcourent les phases évoquées ci-dessus et comment ?
 - quels sont les rôles exacts joués par les personnes qui manipulent ces règles ergonomiques dans les activités citées et comment s'insèrent-elles dans le tissu conjonctif de l'équipe de développement ?
2. au niveau de la destination de la transformation, qui se résume souvent à reporter les mêmes questions au niveau de l'outil logiciel, de son contenu et de son utilisation :
 - dans quelle mesure peut-on accorder un niveau de confiance acceptable dans les règles ergonomiques incorporées dans les outils logiciels ? Plus particulièrement, si le niveau de confiance des règles ergonomiques au niveau de la source est connu et acceptable, que devient-il après transformation ?
 - en quels lieux leur utilisation s'insère-t-elle dans les méthodologies de développement d'applications interactives qui parcourent les phases évoquées ci-dessus et comment ? Comment ces lieux sont-ils redéfinis suite à l'utilisation des outils logiciels ? Plus particulièrement, jusqu'à quel point peut-on être assisté dans la démarche ergonomique ? Jusqu'à quel point peut-on déléguer une partie de ces activités aux outils logiciels ? De quelle manière ?
 - quels sont les rôles exacts joués par les personnes qui utilisent ces outils logiciels dans les activités redéfinies et comment s'insèrent-elles dans le tissu conjonctif de l'équipe de développement ? De manière plus cruciale, une personne fraîchement initiée à l'ergonomie logicielle, mais s'appuyant sur ces outils, peut-elle assurer des rôles initialement dévolus aux personnes formées, rompues à la démarche ergonomique, mais non nécessairement assistés par de tels outils ? Par exemple, un concepteur nanti de tels outils logiciels peut-il se substituer aux ergonomes patentés et aux experts en facteurs humains ? Ou bien : ces derniers peuvent-ils aussi être assistés par les mêmes outils ?
3. au niveau du processus de transformation lui-même, depuis la source jusqu'à la destination :
 - comment peut-on se rendre capable de développer un outil logiciel efficace et valide ?
 - sur quelles règles ergonomiques peut-on se fonder et comment les incorporer dans de tels outils logiciels ?
 - quelles sont les conséquences tant positives que négatives sur l'utilisabilité de cette transformation, au niveau des différentes étapes de la transformation ?

Poser ces questions, interroger les contenus et les pratiques à ces trois niveaux, c'est éclairer sous un regard nouveau l'utilisabilité de l'IHM résultant de cette nouvelle démarche et ses enjeux symboliques et collectifs. Si nous ne sommes pas encore capables aujourd'hui –le serons-nous un jour ? – de fournir une réponse circonstanciée à chacune de ces questions, nous pouvons néanmoins avancer des éléments de réponse en examinant les étapes qui mènent à la transformation de la démarche ergonomique traditionnelle, basée sur une utilisation manuelle des règles ergonomiques, à une démarche nouvelle, assistée par des outils logiciels.

Dans ce but, nous introduisons cinq jalons de développement par lesquels il faut passer pour obtenir un outil logiciel de support à cette démarche ergonomique nouvelle (figure 1). Chaque jalon est posé en sortie de chacune des cinq étapes de la transformation complète :

1. la collecte des règles ergonomiques a pour objet de collecter, rassembler, réunir, compiler les règles ergonomiques issues des sources disponibles mondialement, en rapport avec des règles ergonomiques que l'on peut qualifier d'initiales (jalon n°1) ;

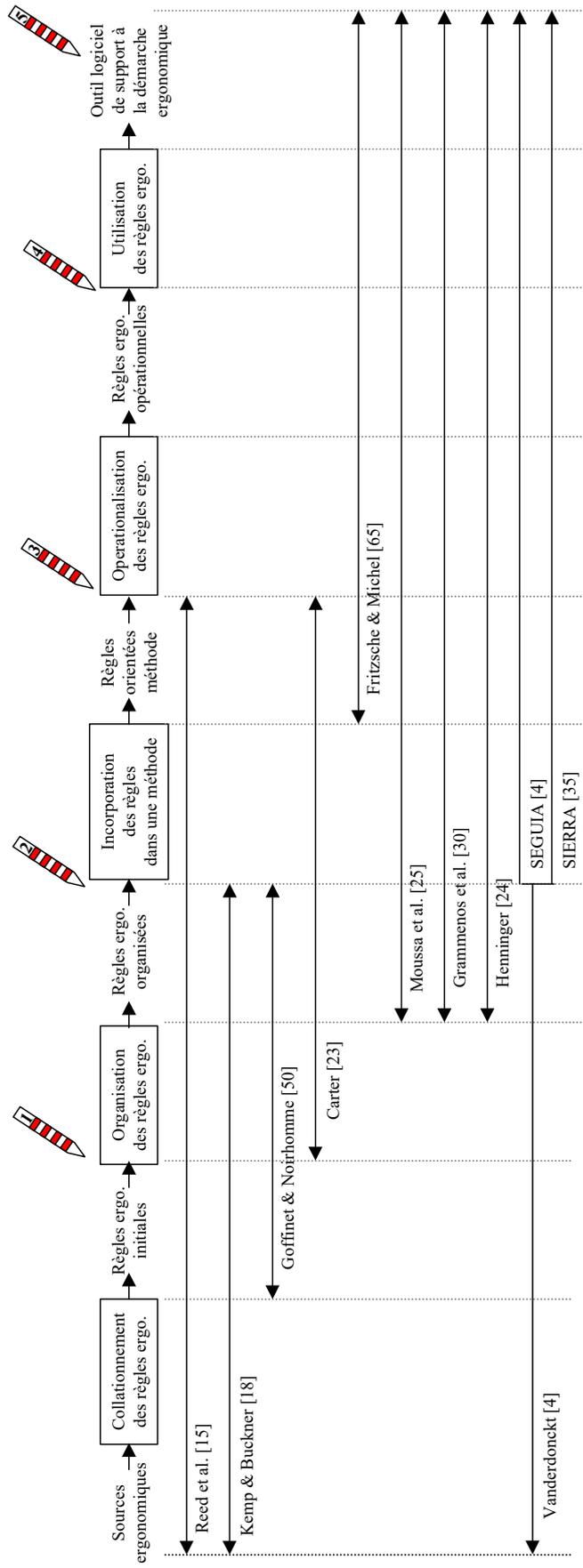


Figure 1. Jalons de développement pour un outil de support à la démarche ergonomique.

2. l'organisation des règles ergonomiques trie, classe, uniformise ces règles ergonomiques initiales pour les rendre disponibles sous la forme de règles ergonomiques organisées (jalon n°2) ;
3. l'incorporation des règles ergonomiques organisées dans une démarche sítue, précise, circonscrit, spécifie les points d'intervention de sous-ensembles de règles ergonomiques organisées dans une méthodologie de développement d'application interactive fondée sur ces règles (jalon n°3) ;
4. l'opérationnalisation des règles ergonomiques situées méthodologiquement les transforme, réexprime, reformule suivant une représentation interne opérationnelle, exécutable, manipulable par un automate aux états finis (jalon n°4) ;
5. l'utilisation des règles ergonomiques opérationnelles examine, analyse, développe les façons possibles dont les règles ergonomiques sont enregistrées, consultées, accédées, manipulées au sein d'un outil logiciel de support à la démarche ergonomique (jalon n°5).

Cet outil est le point d'orgue de la transformation complète, le cinquième jalon étant le jalon ultime du processus. Pour aborder les questions posées ci-dessus, nous parcourrons successivement les cinq jalons en décrivant chaque étape de manière systématique. Chaque étape de la transformation complète sera définie en quatre parties :

1. *définition et objectifs* : nous résumons ici l'étape par les principaux objectifs qui doivent être assignés et atteints par cette étape pour transformer les informations en entrée de l'étape en résultats en sortie de l'étape ;
2. *procédure* : nous indiquons ici, de façon concrète, la liste des différentes actions à mener pour atteindre les objectifs assignés à l'étape ;
3. *problèmes et analyse* : nous rapportons ici d'abord différents problèmes posés par la mise en œuvre de cette procédure ; nous exposons ensuite différentes solutions, perspectives de solution qui ont contribué de manière significative aux connaissances acquises sous lesquelles la transformation a été assurée, en les évaluant et en montrant leurs articulations. Une synthèse pluridisciplinaire, le cas échéant, est proposée en faisant attention à l'actualité de cette synthèse. Dans ce but, nous partons de notre propre expérience en la matière, plus particulièrement sur deux outils, SEGUIA et SIERRA (ligne 9 de la figure 1) ; nous mettons ensuite en évidence d'autres expériences pour la même étape et nous en tirons une synthèse ;
4. *Validation* : nous assurons ici une validation de l'étape, action importante effectuée au niveau de chaque étape pour vérifier son résultat et sa conformité avec les étapes précédentes de la transformation. Cette validation rendra compte particulièrement de trois composantes : la complétude, la cohérence et la correction du résultat en sortie par rapport aux informations en entrée. Si les informations en entrée de l'étape sont complètes, cohérentes, correctes pour résoudre une question d'utilisabilité, les résultats en sortie de l'étape ont-ils préservé cette complétude, cette cohérence, cette correction ?

La *complétude* doit permettre de vérifier que les résultats de chaque étape possèdent bien toutes les propriétés prévues pour une phase envisagée. Par exemple, les règles ergonomiques résultant de chaque étape sont-elles nécessaires, suffisantes pour résoudre un problème posé dans la phase envisagée ?

La *cohérence* doit permettre de vérifier si les résultats de chaque étape ne sont ni contradictoires entre eux ni contradictoires avec les résultats des étapes précédentes. Par exemple, il ne peut y avoir de contradiction entre les règles ergonomiques situées en sortie de différentes étapes.

La *correction* doit permettre de vérifier si les résultats de chaque étape ne sont pas entachés d'erreurs intrinsèques, de biais.

Ces critères de complétude, cohérence et correction seront généralement vérifiés *a posteriori* pour contrôler l'état des résultats au terme des différentes étapes de la transformation. Sauf exception, nous traiterons davantage des moyens d'assurer une validation interne (des résultats à l'intérieur de la transformation) que d'une validation externe (des résultats à l'extérieur de la transformation, vis-à-vis d'autres approches). Par exemple, les règles ergonomiques résultant de chaque étape sont-elles applicables en dehors du contexte dans lequel elles ont été sélectionnées? Sont-elles généralisables?

2. Collecte des règles ergonomiques

2.1. Définition et objectifs de la collecte

Dès qu'une personne souhaite tirer parti des connaissances enregistrées dans des règles ergonomiques, quel qu'en soit l'usage, elle débute toujours par une collecte des règles ergonomiques. Il a pour objectif de rassembler

un sous-ensemble utile de règles ergonomiques aptes à éclairer le développement de l'IHM souhaité par la personne. Ce sous-ensemble forme les règles ergonomiques initiales.

2.2. Procédure de la collecte

Pour l'obtenir, la littérature doit être parcourue le plus systématiquement possible à la recherche de sources, contenant des règles ergonomiques. De cette investigation résulte une sélection des sources selon certains critères (par exemple, en fonction du problème posé, de l'option de conception à décider, de la plate-forme logicielle cible), en privilégiant telle source et rejetant telle autre). Puis, un sous-ensemble utile de règles ergonomiques en est extrait de façon à correspondre au but poursuivi par la personne et à satisfaire d'autres critères (par exemple, en retenant les règles ergonomiques expérimentalement vérifiées, suivant une grille de lecture).

2.3. Problèmes et analyse de la collecte

La première investigation de la procédure décrite ci-dessus révèle qu'une quantité énorme de communications de chercheurs universitaires ou industriels, de rapports internes, d'ouvrages et d'articles a été publiée sur les règles ergonomiques. Cette masse est malheureusement dispersée dans le temps, dans l'espace, dans la forme et dans leur accès qui en devient ardu, même pour les profanes habitués. En outre, une certaine interrogation peut naître quant à la rigueur scientifique de la source à partir du moment où celle-ci contient des règles ergonomiques de bon sens, de pratique commune, de règles ergonomiques dont l'établissement suit des conventions arbitraires, des règles ergonomiques vérifiées expérimentalement.

2.3.1. Notre expérience en matière de collecte

2.3.1.1. Méthode.

Comme les règles ergonomiques contenues dans les sources portent des appellations différentes (par exemple, principes de conception, heuristiques, règles d'or, maximes, commandements, règles de l'art, lignes de conduite, recommandations), il paraît opportun de pouvoir les différencier. Cinq types de source ergonomique peuvent être distingués [SMI 88] [SCA 89] [FAR 95] [VAN 94a] :

- 1. les règles de conception** : elles consistent en une série de spécifications fonctionnelles et/ou opérationnelles précisant la conception d'une IHM particulière. Ces spécifications sont rédigées de façon à ne plus requérir aucune interprétation de la part ni des concepteurs ni des programmeurs. Elles se présentent typiquement sous la forme de règles physiques, de format d'écran ou de gabarit d'écran. Elles sont exprimées sous une forme directement opérationnelle, applicable ; leur exploitation est immédiate. Par exemple, par rapport avec le retour d'information apporté à l'utilisateur, pour certains types de tâches, une règle typique est la suivante : "afficher une horloge ou un message indiquant la durée au bout de laquelle la réponse de l'ordinateur sera affichée".
- 2. les ensembles de règles ergonomiques** : ils consistent en plusieurs prescriptions rédigées pour une large gamme d'IHMs. Chaque prescription se présente sous la forme d'un énoncé, accompagné ou non d'exemples, clarifié ou non par des explications, des commentaires. Chaque prescription est généralement le fruit d'un consensus humain entre les parties qui l'utilisent. Ce consensus va de soi dès le moment où la prescription est expérimentalement testée et validée. Ces prescriptions peuvent faire l'objet d'un *article* publié dans une conférence dédiée à ce sujet (par exemple, [NOR 95]), une revue scientifique ou bien peuvent être englobées dans un document plus large généralement appelé *guide de recommandations* ou *guide ergonomique*. Les articles abritent quelques prescriptions relatives à un sujet bien déterminé (par exemple la préférence d'une technique d'interaction pour un choix graphique, l'utilisation de la couleur pour une tâche de recherche d'information sur une page-écran), tandis que les guides de recommandations se veulent plus exhaustifs (par exemple, ils couvrent un spectre plus large des interactions possibles entre l'utilisateur et l'IHM).
- 3. les standards** : ils contiennent une série de spécifications fonctionnelles et/ou opérationnelles en vue d'une conception standardisée de l'IHM. Les standards sont promulgués par des organismes de standardisation nationaux ou internationaux tant à vocation militaire, gouvernementale que civile, industrielle. Ces organismes sont nombreux : l'Association Française pour la Normalisation (AFNOR) en France, le British Standardisation Institute (BSI) en Grande-Bretagne, la Human Factors and Ergonomics Society (HFES) aux États-Unis, le Département de la Défense Américaine (DoD), l'International Standard Organization (ISO) en Europe. Les standards servent un objectif de généralisation. D'une part, ils proposent des spécifications à respecter par les concepteurs en vue de concevoir des IHMs ergonomiques. D'autre part, ils supposent que cette standardisation constitue une solution unique aux problèmes d'utilisabilité. Un des avantages est leur capacité à couper court à travers les différentes plates-formes et environnements de développement qui

prêchent tous pour leur chapelle. Ils aident à définir un seuil minimal d'utilisabilité en dessous duquel l'IHM ne peut pas descendre. En France, citons par exemple la norme AFNOR Z67-110 qui vise à "décrire les règles générales à respecter dans la conception d'un dialogue homme-ordinateur lorsqu'on développe une application informatique" [AFN 88].

4. **les guides de style** : ils constituent un ensemble de règles ergonomiques et/ou de spécifications fonctionnelles et non fonctionnelles visant à assurer la cohérence d'une famille d'IHMs distinctes. Cette famille peut être propre à un système d'exploitation, tel que Windows'95, à un fabricant d'ordinateur, tel que la norme IBM CUA, à un éditeur de logiciels, tels que les produits Borland), à un environnement physique particulier, tel que NeXTStep, à un domaine d'activité, tel que les télécommunications, ou propre à une entreprise donnée, non nécessairement informatique. Les grandes organisations s'orientent de plus en plus vers le déploiement de leur propre guide de style, appelés *guides de style particularisés* par opposition aux *guides de style généraux* précités (Cf. par exemple [DRO 96] à EDF/GDF).
5. **les algorithmes ergonomiques** : ils ont pour objectif de systématiser un aspect de la conception de l'IHM en la construisant toujours de la même manière, généralement sur base de règles de conception. Ils se présentent nettement plus fréquemment sous la forme d'une section de programme informatique implémentant l'algorithme que sous la forme d'une procédure papier.

Pour rendre compte de ces cinq types de sources ergonomiques, le premier auteur de cet article a parcouru la littérature de manière aussi exhaustive que possible en considérant les sources ergonomiques parues avant juin 1994 et les a décrites suivant la fiche d'identité visible en figure 2 [VAN 94a].

L'utilisation de cette fiche d'identité vise en particulier à mettre en évidence des caractéristiques importantes des sources ergonomiques pour la collecte tels que la fiabilité de la provenance, la présence d'exemples, la référence à des expérimentations, la portée, ou encore l'utilité.

- un *titre* : c'est la dénomination de la source étudiée ;
- le *type de source ergonomique* : il s'agit d'un des cinq types énumérés : règles de conception, ensembles de règles ergonomiques, guides de style, standard, algorithme ergonomique ;
- les *référence(s) bibliographique(s)* : il s'agit de la ou des références bibliographiques lorsque plusieurs volumes constituent la source ou lorsque celle-ci a connu des versions successives au cours du temps ;
- la *description du contenu* : c'est un résumé de la structure et du contenu de la source ;
- l'*organisation* : c'est le nom de l'organisation qui a patronné la rédaction, l'instauration de la source ; elle peut être civile, officielle, gouvernementale, militaire, privée ou publique ;
- la *plate-forme* : on indique la ou les plates-formes (par exemple, Amiga, Macintosh, MS-DOS, Windows V3.11, Windows'95, OS/2, Open Look, Open Windows) pour lesquelles la source est dévolue ; la source est dite indéfinie si elle ne cible aucune plate-forme particulière, ou *multiple* si elle en cible plusieurs ;
- la *discipline* : il s'agit de la discipline prépondérante dont est issue la source ;
- le *nombre de règles ergonomiques* : il s'agit du total des règles ergonomiques répertoriées dans la source, pour autant qu'on puisse les identifier ;
- le *nombre de pages* : il s'agit du total des pages pour donner une impression du volume de la source ;
- le *nombre de références bibliographiques* : il s'agit du nombre de références fournies dans la bibliographie de la source ayant trait (in)directement aux règles ergonomiques ; ce renseignement donne une idée de la manière dont la source s'appuie ou non sur des résultats antérieurs ;
- le *nombre de citations* : il s'agit du nombre total de fois que les références bibliographiques sont citées ;
- les *citations expérimentales* : on caractérise sommairement le nombre de fois que la source cite des résultats expérimentalement validés au moyen de l'échelle « aucune/quelques unes/beaucoup/énormément » ou au moyen d'un système métrique lorsque cela est possible ;
- quelque(s) *exemple(s) de règles ergonomiques* : un ou plusieurs exemples représentatifs de règles ergonomiques découverts dans la source ;
- les *types d'exemple* : un exemple est dit *partiel* s'il illustre une seule règle ergonomique à la fois ou *total* s'il en illustre plusieurs simultanément ; le nombre d'exemples est évalué par l'échelle « aucun/plusieurs/beaucoup/énormément » ; le style d'exemple est qualifié de *bon* et/ou *mauvais* selon que des exemples de bonne, respectivement de mauvaise, application sont fournis ;
- les *types d'IHMs* : on spécifie tous les types d'IHMs couvertes par la source : textuelle, graphique, vocale, tactile, stylet, virtuelle ;
- la *discussion de la source* : nous évaluons l'impact et l'utilité de la source.

Figure 2. Fiche d'identité d'une source contenant des règles ergonomiques [VAN 94a]

938 sources ergonomiques ont été compulsées et décrites suivant la fiche d'identité introduite¹. A titre illustratif, la fiche d'identité du guide de ??? est fournie en figure 3.

¹ La liste de ces sources ergonomiques est disponible à <http://belchi.qant.ucl.ac.be/guidelines/ErgoSources.doc> (format Microsoft Word'97) ou ErgoSources.pdf (format Adobe Acrobat).

- *Titre* : guide de Mayhew.
- *Type de source ergonomique* : ensemble de règles ergonomiques
- *Référence bibliographique* : [MAY 92]
- *Description du contenu* : le guide est divisé en douze chapitres dont l'angle de vue est celui des styles d'interaction pris globalement.
- *Organisation* : personnelle
- *Plate-forme* : indéfinie, mais les exemples sont teintés des traits du monde Macintosh
- *Discipline* : interaction homme-machine, avec des références empruntées à d'autres disciplines
- *Nombre de règles ergonomiques* : 293
- *Nombre de pages* : 619
- *Nombre de références bibliographiques* : 316, dont 122 expérimentales
- *Citations expérimentales* : chaque chapitre est toujours divisé en deux parties. La première rappelle les résultats expérimentaux majeurs tandis que la seconde rassemble les règles ergonomiques que l'on peut en déduire. Les citations sont nombreuses. Cette dichotomie isole le pourquoi (les résultats expérimentaux) du quoi (les règles ergonomiques), mais ôte tout lien direct entre une règle et ses citations empiriques. Le tableau montre la proportion existant entre les références rapportant des résultats expérimentaux et celles énonçant des principes. Il dévoile les secteurs où les connaissances empiriques sont avancées (par exemple, la sélection de menu, la conception du format d'écran) ou quasi inexistantes (par exemple, la sélection des styles d'interaction, les modèles conceptuels, le fenêtrage au chapitre 13).
- *Exemple de règle ergonomique* :

Figure 3. Fiche d'identité du guide de Mayhew [MAY 92]



Minimiser la distance articulaire lors de la conception des icônes.

Plus une icône correspond directement à son référent, meilleure elle est. Lorsque le référent est un objet, cette correspondance est relativement directe. Les icônes concrètes et familières, comme à la figure 9-15, correspondent mieux à leurs référents que des icônes abstraites ou peu familières. Ceci minimise la *distance articulaire*. Pour ce qui est des actions ou d'attributs, il est plus ardu de parvenir à une représentativité articulaire.

Pour les actions, il paraît évident (Rogers, 1989) que les icônes représentant une *action et un objet* (p. ex. un X sur le texte d'une page pour dénoter la commande "couper") sont plus directes que les icônes basées sur une *analogie* (p. ex. des ciseaux), ou sur *l'objet* de l'action (p. ex. le texte), ou que des *symboles abstraits* (p. ex. un X).

Figure 9-15 Icônes concrètes, familières vs. abstraites et non familières.

	Concrètes/familières	Abstraites/non familières
Dossier		
Annuaire téléphonique		
Horloge		
Base de données		

- *Types d'exemple* : nombreux exemples abstraits partiels et totaux, quelques exemples concrets partiels
- *Types d'IHM* : textuelle, graphique, vocale, virtuelle et tactile
- *Discussion* : ce guide reprend de manière réutilisable la plupart des règles ergonomiques des IHM modernes, en plus des anciennes IHM textuelles. Il débute naturellement par des considérations relatives à l'utilisateur et son profil cognitif. L'accent est ensuite marqué vers sept styles d'interaction dont un résumé unique soulève le problème de leur sélection. L'intérêt de ce guide est sa volonté délibérée de synthétiser pour chaque chapitre d'abord l'ensemble des résultats expérimentaux, puis l'ensemble des règles ergonomiques que l'on peut en déduire suivant une même structure. Le lecteur intéressé par une mise en application rapide peut économiser le parcours des résultats expérimentaux. Bien que manifestement orientés vers la manipulation directe et le multi-fenêtrage, les exemples sont aussi nombreux qu'éloquents. De petits organigrammes jalonnent le parcours des règles ergonomiques.

Figure 3. (suite)

2.3.1.3. *Discussion.*

D'après les caractéristiques observées pour chaque type de source ergonomique (tableau 1), il apparaît que les cinq types de source ergonomiques sont à apprécier différemment.

La sélection des sources ergonomiques peut s'appuyer sur les renseignements fournis dans ce tableau. En particulier, l'applicabilité de la source ergonomique la plus générale est soutenue par les standards qui fixent peu le contexte de l'utilisateur, son type de tâche, la plate-forme matérielle et logicielle. Les ensembles de règles ergonomiques réduisent cette généralité aux conditions du contexte expérimental lorsqu'il est exprimé. Les guides de style visent délibérément une plate-forme matérielle et/ou logicielle sans préciser de famille d'IHMs. Cette précision vient avec les règles de conception et peut être mise en œuvre dans un algorithme ergonomique. Il faut par conséquent être conscient de ces caractéristiques lors de la sélection des sources et des règles ergonomiques qu'elles contiennent.

Tableau 1. Caractéristiques des cinq types de source ergonomique.

2.3.2. *Autres expériences en matière de collecte*

La conscience d'une collecte rigoureuse est apparue dans [SCA 89] : les critères de sélection doivent être clairement définis. Si la personne intéressée par les règles ergonomique ne peut pas ou ne veut pas, pour quelque raison que ce soit procéder elle-même à la collecte des règles ergonomiques dont la procédure est décrite en 2.2, elle se tournera naturellement vers les sources ergonomiques dont c'est la nature, l'objectif : les ensembles de règles, les standards et les guides de style. Assez curieusement, les tentatives de collecte au sein des ensembles de règles restent antédiluviennes et sporadiques ; à part celle rédigée par le premier auteur [VAN 94a], le document de Smith & Mosier [SMI 86], datant de 1986, reste la dernière tentative connue à ce jour avec tous les inconvénients que cela comporte : obsolescence, incomplétude, difficulté d'interprétation, inutilité...

Reed *et al.* soulignent que la situation a fortement évolué avec les standards [REE 99] :

- Les plus anciens standards, bien qu'émergeant d'organismes officiels (par exemple, le MIL-STD-1472D du DoD [MIL 89]), restaient des initiatives de collecte privées, essentiellement centrées sur les interfaces homme-machine alphanumériques et les aspects physiques du matériel ;
- Certains standards plus récents, tel que le NUREG-O400 de la Commission Américaine pour la Régulation de l'Énergie Atomique (NUREG) [OHA 94] considèrent davantage les IHM graphiques, plus modernes ou les aspects plus cognitifs des tâches interactives ; ils restent néanmoins le fruit d'une initiative privée ;
- Au contraire, les standards modernes, émanant d'organisations de standardisation internationale, donc en principe indépendantes, se distinguent par une collecte consistant à capitaliser les règles ergonomiques provenant de tous les individus et organisations qui ont l'opportunité de représenter leur intérêt dans le standard et d'y participer. Evidemment, ceci écarte ceux qui ne disposent ni de cette opportunité ni des ressources pour assister aux réunions périodiques qui se tiennent de par le monde.

Afin de procéder à une collecte, Reed *et al.* fournissent un éventail détaillé des standards à partir desquels on peut puiser des règles ergonomiques.

En collectant des règles ergonomiques pour la conception des hypermédias, Kemp & Buckner se sont heurtés aux mêmes problèmes que ceux mentionnés ci-dessus [KEM 99]. Ils détaillent une logique de sélection des règles où ils se restreignent aux ensembles de règles présentés formellement. Pour le même problème, Hardman & Sharatt [HAR 90] ont considéré toute source contenant des règles susceptibles de concerner les hypermédias, les ont séparé en principes ou règles ergonomiques, puis classé par rapport aux zones fonctionnelles d'un hypermédia.

2.4. Validation de la collecte

2.4.1. Complétude de la collecte

Bien que les règles ergonomiques aient été collectées à partir d'une fusion des sources [VAN 94a], d'un consensus à leur égard [REE 99] ou du respect de leur formalisation [KEM 99], la collecte reste et restera perpétuellement incomplète pour les raisons suivantes : par rapport à l'utilisabilité des IHMs, il demeurera toujours [SCA 89] [GOU 88] [VAN 94b] :

- des questions non encore soulevées : quelle est l'utilisabilité des nouvelles modalités d'interaction ?
- des questions soulevées, mais non encore résolues : quelle est la métaphore la plus utilisable pour un contexte donné ?
- des questions soulevées, résolues, mais seulement partiellement : quelles sont les métaphores possibles pour un contexte donné ?

Il est prouvé [SHN 97] [CAR 99] [HEN 99] [MOU 99] que le recours aux sources ergonomiques permet d'obtenir une IHM plus utilisable qu'une première version non fondées sur ces sources. En plus de cette incomplétude interne (il peut toujours manquer des sources pour une question spéciale), nous sommes confrontés à l'incomplétude externe (il faut plus que des sources pour garantir l'utilisabilité d'une IHM) : souvent, il est recommandé de recourir aux sources en les utilisant dans une méthodologie de conception/évaluation à pratiquer sur base de scénarios, de tests utilisateur, notamment en laboratoire d'utilisabilité. En conclusion, les sources ergonomiques sont nécessaires, mais insuffisantes [KOL 97].

2.4.2. Cohérence de la collecte

La collecte des règles ergonomiques implique inmanquablement des conflits entre plusieurs sources ergonomiques. Pour un même problème d'utilisabilité, plusieurs sources ergonomiques peuvent procurer des résultats incohérents entre eux. Par exemple, Schumacher a essayé de déduire des règles de conception à partir de trois guides de style [SCH 93] : l'Apple Human Interface Guidelines [APP 92], le guide de style de Windows V3.11 [MIC 92] et celui d'OSF/Motif [OSF 92]. Résoudre de tels conflits passe par l'adoption et la prise de conscience d'un consensus tel que celui relaté dans [REE 99] lorsque les avis divergent. L'important est de tempérer chaque source par différents critères et de balancer l'adhésion ou le rejet par des critères sains, rationnels et surtout, explicites. Le conflit entre les sources ergonomiques atteint son paroxysme lorsqu'elles sont contradictoires entre elles [GOU 88] [VAN 94b] [GRA 99] : dans des circonstances identiques, elles recommandent des directions opposées. Schumacher déplore que les trois sources citées précédemment autorisent au moins huit manières différentes de sélectionner un objet interactif (par exemple, un bouton radio, une liste de sélection) pour un choix simple sans préciser les circonstances dans lesquelles il est sélectionné [CAR 99]. Pour ce problème, ces trois sources s'avèrent donc incohérentes.

2.4.3. Correction de la collecte

Certaines sources ergonomiques, bien que peu nombreuses, contiennent des règles ergonomiques incorrectes [VAN 94b], contentieuses [DIL 90]. Garantir leur correction est malaisé car leurs faiblesses originelles ne peuvent pas toujours être détectées [KEM 99], elles restent soumises aux pièges d'expression, la correction varie en fonction du fondement de la source ergonomique [VAN 94b].

D'autres sources sont basées sur des résultats expérimentaux menés *in situ* ou en laboratoire [MCD 88] [PIN 89], d'autres encore concrétisent des vues communément adoptées [SMI 88], certaines sont devenues axiomatiques [PER 87], d'autres enfin proviennent d'une expérience propre qu'aucune expérimentation ne vient infirmer ou confirmer.

D'une part, certaines sources s'avèrent incorrectes pour des IHMs spécifiques : les règles générales, dérivées de la recherche fondamentale, sont suspectes parce que leur application particulière prévoit des clauses, des impondérables humains capables de les rendre incorrectes. D'autre part, certaines sources ergonomiques s'avèrent aussi incorrectes pour des IHMs générales : les règles spécifiques, dérivées de la recherche appliquée, contiennent des conditions particulières empêchant toute généralisation.

La sélection et l'extraction sont aussi soumises aux erreurs, particulièrement quand le volume des sources ergonomiques impose une condensation [KEM 99].

Les seuls remparts pouvant contenir l'incorrection demeurent le souci de la globalité, de l'exhaustivité, de la représentativité et la restriction aux sources expérimentales.

3. Organisation des règles ergonomiques

3.1. Définition et objectifs de l'organisation

L'abondance des règles ergonomiques initiales, leur dispersion et la variabilité de leur rigueur scientifique nous incitent à penser qu'un travail préliminaire à la manipulation des règles initiales s'impose : celui de disposer d'une structure de règles ergonomiques organisées. Tel est l'objectif assigné à l'organisation des règles.

3.2. Procédure de l'organisation

Pour atteindre cet objectif, les règles ergonomiques initiales font l'objet d'un examen approfondi, d'une traduction de leur expression initiale en une expression finale suivant un schéma uniformisé et d'un classement en une structure appropriée au but poursuivi par la personne.

3.3. Problèmes et analyse de l'organisation

La mise en œuvre de cette procédure – nous le verrons – exacerbe les problèmes déjà rencontrés dans l'étape 1 de la collecte et en introduit d'autres dès le moment où une uniformisation et une organisation rigides par nature, sont appliquées.

3.3.1. Notre expérience en matière d'organisation

3.3.1.1. Méthode.

Préalablement à toute traduction des règles ergonomiques initiales en une expression finale, uniformisée, une méthode de traduction s'impose. Nous avons retenu la traduction de chaque règle initiale suivant un modèle de règle général, obtenu par essais/erreurs [VAN 95] et comportant les attributs suivants :

- un numéro identifiant de la règle,
- un titre concis et représentatif,
- un énoncé complet rédigé en langue naturelle (ici, le français),
- une liste de références citant la règle ; cette liste comprend les références qui promeuvent une norme,
- le niveau linguistique auquel la règle s'applique,
- le critère ergonomique de conception que la règle respecte,
- le(s) critère(s) ergonomique(s) d'évaluation que la règle garantit,
- les facteurs d'utilité et d'utilisabilité satisfaits par ces critères,
- une formule mathématique exprimée en prédicats de la logique du premier ordre,
- un motif justifiant le pourquoi de la règle,
- un ou plusieurs exemples négatifs illustrant des cas d'IHM ne respectant pas la règle,
- un ou plusieurs exemples positifs illustrant des cas d'IHM respectant la règle,
- un ou plusieurs cas d'exception de la règle, avec un ou plusieurs exemples positifs, négatifs,
- l'ensemble des relations avec les autres règles suivant une typologie des liens,
- le(s) style(s) d'interaction dont la règle régit le fonctionnement;
- le(s) moyen(s) d'interaction que la règle touche.

Le choix, la définition des attributs et de leurs valeurs possibles sont détaillés dans [VAN 97] [VAN 95]. Parallèlement à ce modèle, nous souhaitons inscrire chaque règle ré-exprimée dans une hiérarchie de sections taxonomiques où chaque section est caractérisée par un numéro, un nom, une définition et un objectif.

3.3.1.2. Résultats.

Des 938 sources ergonomiques collectées, 3.700 règles ergonomiques ont été extraites, exprimées en termes du modèle général introduit ci-dessus autant que possible et organisées en divisions (tableau 2).

Division	Titre de la division	Nombre de règles
1	Saisie d'informations	528
2	Affichage d'informations	970
3	Dialogue	162

4	Graphisme	393
5	Moyens d'interaction	123
6	Styles d'interaction	609
7	Guidage	370
8	Messages	125
9	Aide en ligne	155
10	Documentation	171
11	Évaluation	8
12	Aide en ligne	86
	TOTAL	3700

Tableau 2. Structure en divisions du corpus de règles ergonomiques.

Chaque division est décomposée hiérarchiquement en sections taxinomiques provenant de la fusion des sections de Smith & Mosier [SMI 86], Mayhew [MAY 92] et Horton [HOR 90]. Plusieurs options de conception de la présentation, non reprises dans les sources ergonomiques, ont été délibérément ajoutées : la sélection d'objets interactifs pour l'acquisition d'informations ([VAN 94a], pp. 40-57) et leur restitution ([VAN 94a], pp. 110-119) avec un accent particulier sur l'identification des fenêtres ([VAN 94a], pp. 115-119) et le placement des objets interactifs ([VAN 94a], pp. 119-152).

Au cours de la collecte et de l'organisation, plusieurs statistiques ont été relevées : ²

- la distribution des règles ergonomiques en fonction de l'année où elles ont été publiées dans leur source (fig. 4),
- la répartition des règles en fonction de la nature de leur source (fig. 5a),
- la répartition des règles en fonction du type de leur source (fig. 5b),
- la répartition des règles en fonction de la discipline de leur source (fig. 6),
- la répartition des règles en fonction de l'origine de leur source (fig. 7).

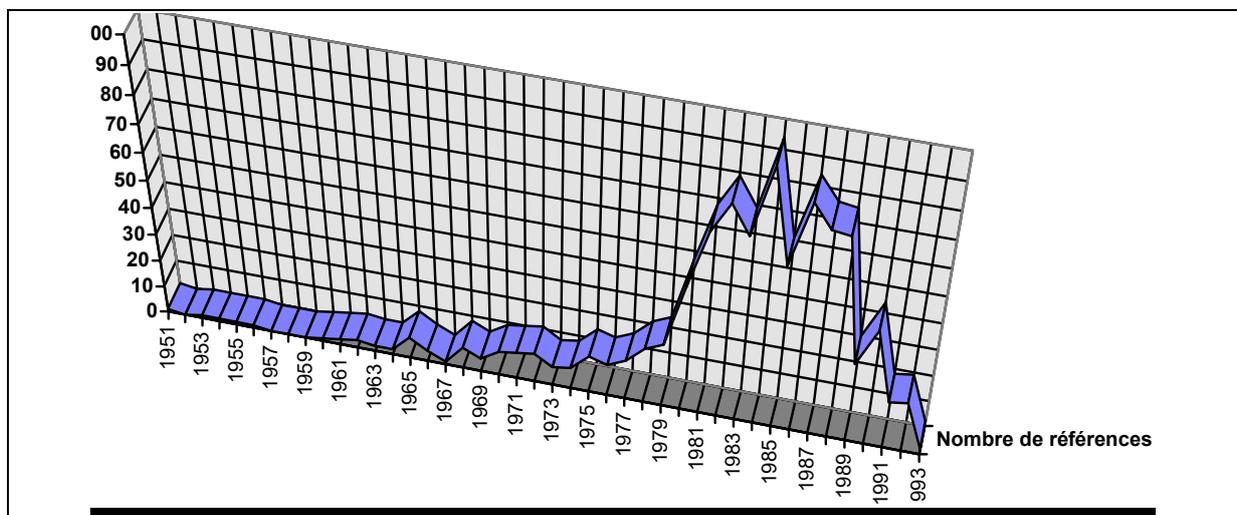


Figure 4. Distribution des règles ergonomiques en fonction de l'année de publication.

² Ces statistiques sont établies suivant les valeurs de différents attributs de la fiche d'identité des sources ergonomiques.

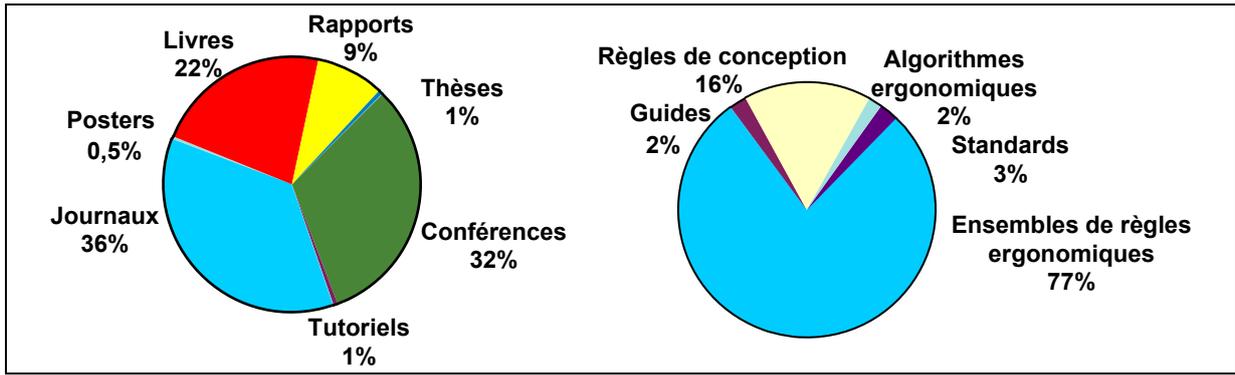


Figure 5. Répartition des règles ergonomiques en fonction (a) de la nature, (b) du type de leur source

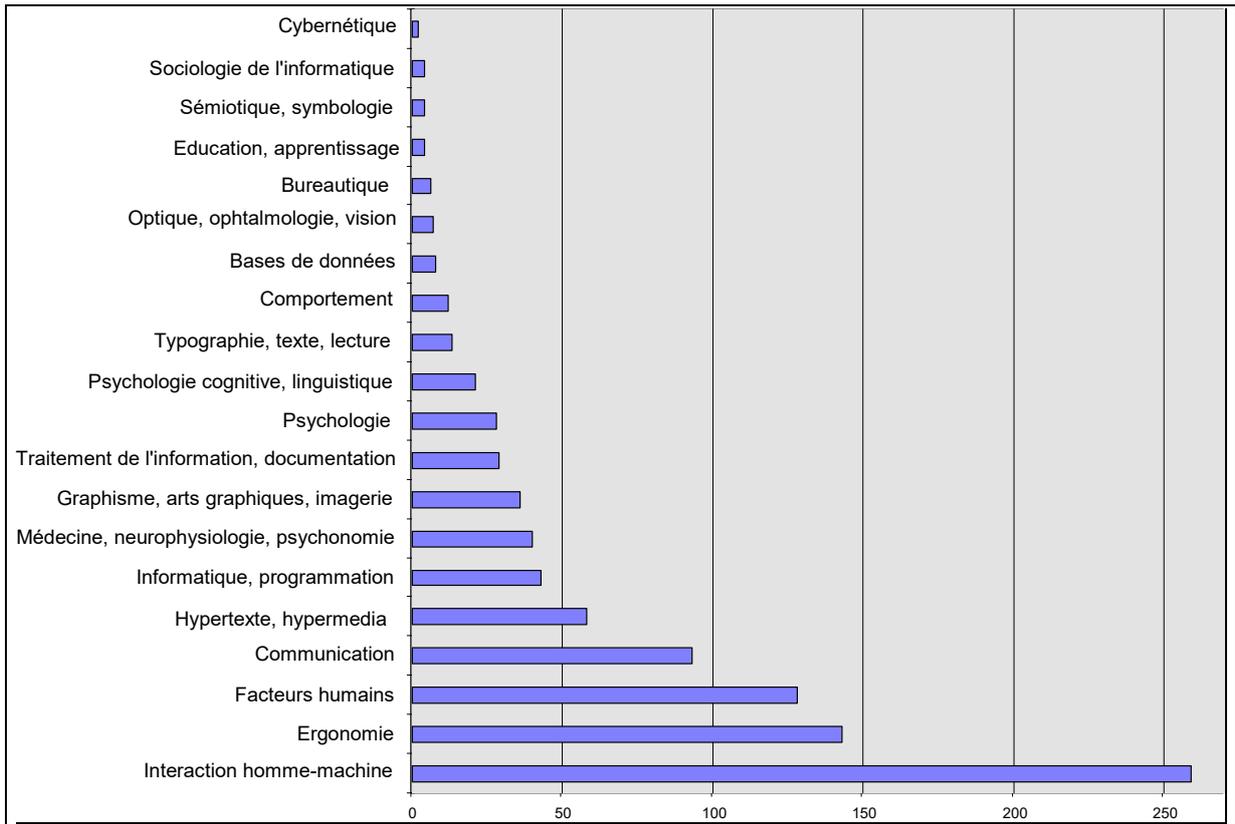


Figure 6. Répartition des règles ergonomiques en fonction de la discipline de leur source ergonomique.

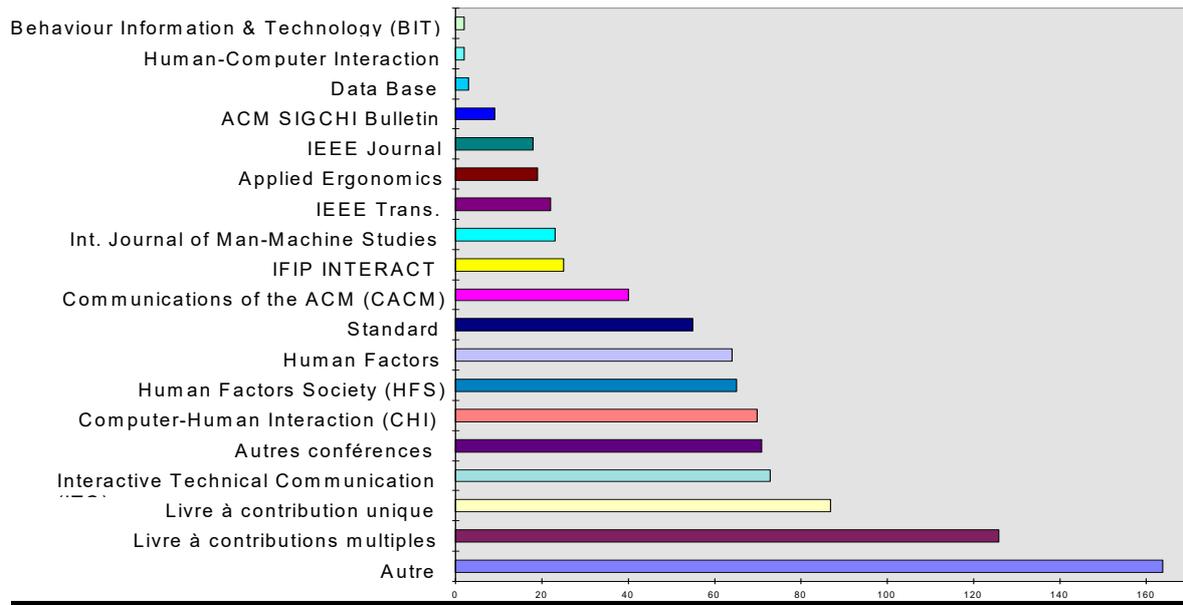


Figure 7. Répartition des règles ergonomiques en fonction de l'origine de leur source ergonomique.

3.3.1.3. Discussion.

L'organisation des règles ergonomiques suivant la méthode retenue a mis en lumière une série de problèmes que nous résumons ici. Malgré notre tentative de les partitionner, les énoncés de ces problèmes se recouvrent partiellement en raison de leur transversalité et de leur interdépendance.

Les règles ergonomiques initiales sont extrêmement nombreuses [GOU 88] [PIN 89] : par exemple, 944 dans [SMI 86], 1812 dans [IBM 93], 3.700 dans [VAN 94]. En outre, la traduction des règles ergonomiques reste simple si son résultat produit une règle unique et devient multiple si son résultat produit une règle déjà traduite, identique. Cette situation survient lorsque deux règles, issues de deux sources différentes, se traduisent de la même façon ou lorsqu'une même règle est répétée d'une source à l'autre. Le nombre de règles, s'il devient trop élevé, risque davantage de constituer un frein qu'un catalyseur.

Les règles initiales croissent rapidement au cours du temps [BAS 95] [SCA 89] [RAV 89], au fur et à mesure que la recherche avance [DUM 88]. Nous tempérons cette évolution en examinant la distribution des règles en fonction de leur année de publication (fig. 4) : un démarrage rapide commence, une extinction lente termine (notre collecte s'est arrêtée en juin 1994). Nous y voyons principalement deux raisons :

- Les règles n'évoluent pas aussi vite que la technologie informatique : par exemple, de nouvelles IHMs multimodales ont déjà été implantées et utilisées sans qu'on puisse maîtriser leur impact sur l'utilisabilité ;
- La plupart des règles élémentaires et fondamentales ont été découvertes, les règles ergonomiques restant à découvrir sont des règles requérant des recherches plus approfondies, des expérimentations plus complexes et coûteuses tant elles conjuguent simultanément plusieurs facteurs d'utilisabilité, par exemple celles relatives à la charge de travail des utilisateurs [MIL 88] [BER 92].

Les règles ergonomiques initiales sont éparpillées dans les sources ergonomiques, parfois difficilement accessibles [SCA 89] [BOD 93]. D'un côté, une règle initiale, isolée provient d'une revue scientifique spécialisée ; d'un autre côté, une autre règle initiale, elle aussi isolée, vient appuyer, compléter la première. D'après la figure 5, on constate que près des trois quarts des règles proviennent d'ensembles de règles, le plus souvent des articles de conférence. Une personne plongée en milieu professionnel n'a généralement ni le temps ni la capacité ni la compétence pour embrasser en un temps réduit une telle dissémination des règles ergonomiques.

Ces règles initiales varient fortement en fonction de leur discipline : le corollaire du problème précédent concerne leur multidisciplinarité (figures 4 et 5). Si l'interaction homme-machine et l'ergonomie logicielle procurent le plus de règles, plusieurs domaines connexes, parfois plus éloignés, offrent aussi leurs services : la neurophysiologie, les arts graphiques, la sémiotique. Transposer les règles initiales d'autant de disciplines différentes n'est pas aisé [VAN 86]. La qualité des règles provenant de ces disciplines est aussi variable.

Certains auteurs regrettent aussi l'insuffisance de l'apport de la psychologie moderne [PIN 89] [GAR 87] à l'ergonomie logicielle parce qu'elle relève encore trop du domaine de la recherche.

Ces règles initiales varient aussi fortement en fonction de leur contenu [RAV 89]. Les règles relatives aux IHMs textuelles peuvent être étendues aux IHMs graphiques, mais dans une certaine mesure [SCH 93]. Certaines règles sont anciennes (tel que [SMI 86]), parfois plus d'actualité (tel que [BAN 83]). On trouve pêle-mêle des règles sur l'usage approprié des fonctionnalités (par exemple la facilité d'édition), l'usage des objets interactifs (par exemple, la sélection d'objets interactifs), l'usage des moyens d'interaction (par exemple, la sélection de dispositifs), l'usage de styles d'interaction, la prise en compte de l'utilisateur, des motivations profondes, des détails physiques... Le contenu est présenté de manière variable d'une règle à l'autre en raison de leurs origines diverses.

Les règles ergonomiques initiales varient aussi fortement en fonction de leur niveau de détail [RAV 89] [TET 91]. Cette variation débute au niveau des cinq types de sources (tableau 1) et se prolonge au niveau de chaque règle. Certaines règles sont très générales [SCA 89] [GOU 88] [KOL 89] dans le sens où elles consistent en des énoncés génériques de principes, d'autres sont très précises, vont très loin dans les détails [VAN 86]. Éviter la généralité ou la spécificité ne résout rien : plus une règle devient spécifique, moins elle devient applicable. Rares sont les continuums partant de règles générales progressivement raffinées en règles spécifiques de niveau de détail croissant. Certaines règles sont subjectives [STR 90] : par exemple, « le contrôle du dialogue doit varier en fonction du niveau d'expérience de l'utilisateur » est subjectif car fixé à un moment donné, donc variable dans le temps. Certaines règles ergonomiques sont objectives [VAN 97] : par exemple, « pour acquérir une valeur booléenne, sélectionner une boîte à cocher ». D'un côté, les règles ergonomiques s'avèrent larges et vagues, d'un autre, elles sont étroites et pointilleuses, difficiles ou trop faciles à juger, ce qui peut désorienter le lecteur [SCA 89].

Les deux problèmes majeurs encourus à cette étape sont la conséquence directe des problèmes intermédiaires qui viennent d'être évoqués : (1) les règles ergonomiques doivent toutes être traduites, quel que soit le schéma d'uniformisation adopté ; puisque les règles ergonomiques initiales sont rédigées dans le vocabulaire et les conventions en vigueur dans les disciplines des différentes sources ergonomiques, elles varient suivant tous les axes identifiés ci avant et engendrent un besoin de traduction permanent. (2) les règles ergonomiques initiales sont insuffisamment classées ; nombreux sont les auteurs regrettant le manque de classement des règles ergonomiques [BAS 95] [SCA 89] [KOL 89] [MCD 88] [VAN 95] [BOD 93], encore plus nombreux sont les moyens de les organiser :

- par critère ergonomique, comme dans le guide ergonomique de Scapin [SCA 86] ;
- par facteur d'utilisabilité, comme dans le standard ISO 9241 [ISO 92] ;
- par style d'interaction, comme dans l'ouvrage de Mayhew [MAY 92] ;
- par objet interactif, comme dans le guide de style IBM CUA [IBM 93] ;
- suivant une classification orientée objet des entrées-sorties, comme dans le rapport ITHACA [SCA 89] ;
- par niveau linguistique, comme le « User Interface Standard Manual » [MAR 91] ;
- par niveau d'importance, comme dans le standard de Banks [BAN 83] ;
- par type d'objets interactifs, comme dans l'outil ERGOVAL [FAR 97].

Chaque attribut du modèle général des règles ergonomiques peut devenir virtuellement une clé de classement soit primaire soit secondaire. Malheureusement, aucune étude connue ne vient circonstancier, étayer la préférence d'un classement ou d'un autre. La taxonomie reste le support le plus fréquent pour ce classement. De toute façon, on regrette que, dès qu'un classement suivant un ou plusieurs attributs a été établi et appliqué, l'organisation qui en résulte se rigidifie instantanément et le support papier la gèle. Une organisation particulière (par exemple en vue de l'évaluation de la conformité avec un standard) peut convenir à un but poursuivi par la personne, mais s'avère totalement inadéquat pour un autre but (par exemple, en vue d'enseigner l'utilisabilité suivant le même standard).

3.3.2. Autres expériences en matière d'organisation

Reed *et al.* rapportent différentes expériences quant à l'organisation de règles ergonomiques initiales au sein de standards américains et internationaux [REE 99], organisation majoritairement basée sur un consensus voté entre les participants à la rédaction du standard.

De manière plus approfondie, Kemp & Buckner [KEM 99] renforcent notre critique à l'égard de l'insuffisance des classements existants : ils détaillent leur méthode de classement des règles ergonomiques initiales dans le domaine de la conception des hypermédiats et leur expérience dans leur application :

1. d'abord un classement initial, constitué d'un ensemble de catégories principales, a été constitué sur base des catégories issues des sources ergonomiques ;

2. ensuite en posant sciemment la question de la longueur et du détail, ces catégories principales ont été subdivisées en catégories secondaires. Cette subdivision apparut clairement depuis l'étape 1 de la collecte ;
3. enfin, à partir d'une compilation des sous-catégories découvertes dans les sources et à partir d'une réflexion argumentée de ces sous-catégories et d'autres sous-catégories manquantes, une liste finale a été dégagée suivant les paramètres « discipline de base », « type suivant l'auteur », « niveau de détail (principal, secondaire, tertiaire) », « caractéristiques fonctionnelles et opérationnelles » et « orientation procédure ».

Un autre problème identifié par Goffinet et Noirhomme [GOF 99] concerne la disparition des connexions existant entre les règles ergonomiques initiales. Quand on prend conscience des connexions sous-jacentes aux règles initiales, elles deviennent plus riches car elles permettent un cheminement intellectuel entre règles suivant différents fils conducteurs. Dès le moment où les connexions disparaissent, soit déjà au niveau des sources ergonomiques soit lors de l'organisation, de tels cheminements intellectuels sont rendus impossibles. Pour les restaurer et pour valider ceux qui restent, Goffinet et Noirhomme proposent une méthode de découvertes automatique de liens syntaxiques entre les règles initiales en se basant sur différentes formules statistiques de rapprochement issues du domaine du retrait d'information. Les liens syntaxiques manipulés par Goffinet et Noirhomme concernent la relation « est voisine de ». On pourrait en proposer une typologie plus élaborée : « est l'inverse de », « hérite de » vs « est héritée par », « généralise » vs « spécialise », « est voisine de », « précède » vs « suit », « précise », « est un », « comprend » vs « appartient à », « inclut » vs « est incluse dans », « est utilisateur de » vs « est propriétaire de », « a comme propriété », « est un exemple de », « est fourni par », « utilise » vs « est utilisé par », « est une spécification de », « est alternative à », « est contraire à », « entre en conflit avec », etc. Goffinet et Noirhomme appliquent ces formules avec variantes sur le document bien connu de Smith & Mosier [SMI 86] à l'intérieur duquel des connexions existent. Leur conclusion symptomatique non seulement renforce certains liens existants mais surtout dévoile des liens manquants. Comme leur méthode est supportée par un outil logiciel de génération automatique de liens, elle peut directement convenir pour tout ensemble de règles initiales et s'avère d'autant plus indispensable que le volume des règles initiales est imposant. Par exemple, le standard NUREG-0400 [OHA 94] contient près d'un millier de règles sans connexion : il pourrait grandement bénéficier de l'application de cette méthode.

3.4. Validation de l'organisation

Rappelons dans un premier temps l'incomplétude latente, l'incohérence inévitable et l'incorrection possible identifiées à l'étape précédente. Par conséquent, la procédure accomplie au sein de cette étape ne pourra pas améliorer ce constat de carences initiales ; tout au mieux pourra-t-elle le préserver, au pire, le détériorer, tant au niveau de la traduction des règles initiales suivant un schéma uniforme qu'au niveau de leur classement.

3.4.1. Complétude de l'organisation

Bien que le modèle général de règles ergonomiques fût voulu comme le plus général possible pour éviter toute perte d'information, il occasionne néanmoins une réduction importante de l'expressivité des règles initiales, donc de leur complétude. En effet, chaque attribut du modèle est simplificateur, quel qu'il soit ; toute règle initiale ne se moule pas nécessairement et univoquement suivant ces attributs : certains fragments ne correspondent à aucun attribut dans le modèle (par exemple, le type cognitif de la tâche envisagée), certains fragments correspondent à plusieurs attributs (par exemple, les critères ergonomiques de conception et d'évaluation) avec la difficulté de les rendre autonomes, certains fragments correspondent à un attribut, mais cette correspondance n'est pas claire (par exemple, le niveau linguistique), etc. Parfois aussi un attribut reste vide car il ne correspond à aucun fragment. En particulier, une réduction importante a été introduite à partir du seul niveau linguistique. Cette mise en correspondance, bien qu'animée d'un souci louable de bijection, est arbitraire puisque fixée unilatéralement en fonction d'un contexte donné. Une règle pourrait très bien être multicritères, multi-niveaux avec une pondération associée à chaque répartition. Dégager cela des règles initiales constitue un processus complexe amplifié par l'incomplétude résiduelle de ces mêmes règles (par exemple, l'incomplétude des liens [GOF 99]).

Le classement des règles traduites au sein d'une taxonomie est aussi une opération réductrice : malgré le souci de l'exhaustivité des sections (que l'on peut étendre à souhait pour accueillir de nouvelles règles), les sections peuvent s'avérer non-pertinentes, pauvrement définies [KEM 99]. Pinsky regrette que le classement des règles en sections très simples telles que écran, encodage, commandes, messages, entrées, sorties induit une vision atomiste de la tâche concernée par les règles [PIN 89] : les règles découpent la tâche interactive en atomes artificiels (par exemple, les moyens d'interaction, les styles d'interaction, les objets interactifs) dont l'interaction moléculaire avec la tâche a disparu. Le prix de ce retour : celui d'une analyse de la tâche.

3.4.2. Cohérence de l'organisation

Malgré son souci de systématisation, la traduction des règles ergonomiques initiales n'échappe pas à la dimension de l'interprétation subjective : l'examen d'une règle initiale et l'affectation de valeurs aux attributs du modèle suite à cet examen restent subjectifs en dépit d'une volonté d'objectivation du contenu, ou plutôt d'une désobjectivation. Cette désobjectivation se révèle d'autant plus ardue que les règles initiales varient fortement en fonction de leur portée. Pour contrer cela, nous séparons règles initiales qui relèvent du pôle objectif (par exemple, les règles expérimentalement validées) des règles ergonomiques relevant du pôle subjectif (par exemple, les règles de pratique commune, de goût personnel). Il en va de même pour le classement. Des sections multiples peuvent porter des noms synonymes ou se chevaucher partiellement.

3.4.3. Correction de l'organisation

Au niveau de la traduction des règles ergonomiques initiales, la probabilité d'une incorrection n'est pas nulle en raison de « la soumission aux sept péchés capitaux du spécificateur » (selon Meyer) : le bruit, le silence, la sur-spécification, la contradiction, l'ambiguïté, le repentir, l'incohérence. La probabilité d'une incorrection croît d'ailleurs avec le volume des règles initiales comme le remarquent Kemp & Buckner [KEM 99].

La probabilité d'une incorrection surgit inévitablement dès qu'une action de sélection intervient, comme dans le classement de la règle traduite dans une section taxonomique, quelle que soit la taxonomie. Kemp & Buckner [KEM 99] affirment très pertinemment que la présence de biais, d'erreur dans une taxonomie est ultime, mais discernable si la stratégie qui a conduit à cette taxonomie est rendu explicite, ouvert, public, donc analysable. Ils recommandent également de mener l'élaboration de la taxonomie de manière indépendante, par plusieurs équipes simultanément et de confronter la consolidation des résultats à une expertise.

4. Incorporation de règles ergonomiques organisées dans une démarche

4.1. Définition et objectifs de l'incorporation

Pour autoriser une prise en compte de l'ergonomie logicielle aussi tôt que possible, une conception de l'IHM aussi itérative, précoce que possible [GOU 88], il importe [SCA 89] de connaître les sections taxonomiques de règles ergonomiques susceptibles d'être considérées durant chacune des phases identifiées : spécification, conception, prototypage, programmation, évaluation, documentation et certification, ou encore enseignement et formation. Cette étape a donc pour objectif de situer à l'intérieur de ces phases les points d'intervention des règles organisées, de préciser celles qui sont concernées et d'identifier les règles locales (pour une phase), globales (pour toutes les phases) ou transversales (pour plusieurs phases).

4.2. Procédure de l'incorporation

Il s'agit de :

- disposer d'une méthodologie de développement d'applications interactives suffisamment fine, pratique pour une famille de tâches interactives donnée (par exemple, MUSE [KIM 94], LUCID [KRE 97], MOST [CAR 91], TRIDENT [BOD 94], DIANE+ [TAR 96]) ;
- lister les questions posées à chaque étape de la méthodologie retenue ;
- parcourir la taxonomie des règles organisées issues de l'étape 2 ;
- marquer toute règle ou toute section taxonomique fournissant une réponse ou un élément de réponse aux questions listées, pour chaque type de tâche interactive rencontré.

4.3. Problèmes et analyse de l'incorporation

4.3.1. Notre expérience en matière d'incorporation

Nous avons essayé d'appliquer la procédure ci-dessus au 3.700 règles ergonomiques de [VAN 94a] en les attachant aux phases et sous-phases de la méthodologie TRIDENT [KRE 97]. Nous nous sommes heurtés essentiellement à trois problèmes.

Les règles varient en fonction de la phase considérée et cette variation est floue. D'une part, chaque règle organisée a été examinée pour l'attacher à une (sous-)phase ; d'autre part, chaque (sous-)phase de la méthodologie a été examinée pour être attachée à une ou plusieurs règles ou sections de règles (par exemple, la sous-phase « sélection des objets interactifs abstraits » est attachée à la section « sélection des objets interactifs pour l'acquisition, la restitution d'informations simples, complexes [VAN 94a]). L'examen dual révèle qu'il est plus facile de cibler les règles pertinentes pour une (sous-)phase que l'inverse et que, si une règle reste principalement dédiée à une phase particulière, elle intéresse simultanément plusieurs phases et cet intérêt varie

fortement. Clarifier la relation entretenue entre (sous-)phase et règle est ardu en raison non seulement des variations mais surtout à cause du contenu des règles organisées : elles ne donnent pas beaucoup de réponses aux questions du genre : où utiliser cette règle ? quand l'utiliser ? comment l'utiliser ? dans quel cas ? [BAS 95] [RAV 89]. L'examen dual a aussi confirmé qu'on ne peut effectivement attacher des règles à des (sous-)phases que dans le cadre d'une méthodologie spécifique : si on change de méthode, l'attachement peut changer. Mosier & Smith [SMI 86] rapportaient déjà que leur guide était utilisé par 41 % des personnes en conception, 25 % en prototypage et 18 % en évaluation. Il serait dommage de restreindre les règles à ces seules phases.

Les règles ergonomiques organisées varient aussi en fonction de la personne destinataire. Comme les règles varient en fonction de la phase considérée, elles varient aussi en fonction des différentes personnes à qui elles sont destinées, personnes qui sont les acteurs de l'équipe de développement. Les règles doivent donc leur être destinées en fonction du rôle joué dans l'équipe [MOS 86] :

- l'analyste de la tâche espère trouver des règles relatives aux différentes tâches interactives possibles (par exemple, le retrait d'information, la prise de décision, la saisie d'un formulaire interactif, la recherche multicritères, la résolution de problème) ;
- le chef de projet n'accorde son attention qu'aux règles de haut niveau (vis-à-vis de ses fonctions), d'importance fondamentale (par exemple, les règles ergonomiques dédiées au choix d'une métaphore ergonomique) puisqu'il a en principe le dernier mot quant à la décision des options de conception ; bien entendu, en tant que chef de projet, il devrait aussi être à même de préconiser des règles adaptées aux autres membres de l'équipe dont il a la charge ;
- l'ergonome manipule plutôt les règles en fonction des principes cognitifs liés aux tâches interactives, à la conception centrée sur l'utilisateur, et aux évaluations menées aussi bien en amont qu'en aval de la programmation [GRI 95] (cf. ci-dessous aussi l'évaluateur) ;
- le programmeur se tourne davantage vers les règles touchant les objets interactifs de l'IHM puisque la programmation de ces objets, de leur présentation et de leur comportement, lui incombe ; il est la personne la plus concernée par les guides de style ;
- le concepteur établit un pont entre le chef de projet et le programmeur, l'analyste de la tâche et l'ergonome : c'est la personne qui prend en charge le respect des règles pendant le plus long intervalle de temps dans le développement ;
- l'évaluateur (en principe l'ergonome, cf. ci-dessus, même si Ravden et Johnson [RAV 89] partent de l'hypothèse que, jusqu'à un certain niveau, plusieurs types de personnes peuvent faire office d'évaluateurs : utilisateurs, concepteurs, technico-commerciaux, etc.) préfère des règles ergonomiques qui expriment l'utilisabilité d'une IHM en des termes mesurables.

Comme les règles sont destinées à plusieurs personnes différentes, la taxonomie complète ne peut pas être confiée à toute personne de manière égale.

Le dépouillement contextuel des règles ergonomiques organisées limite considérablement le marquage des règles pour un type de tâche interactive déterminé. Certaines règles sont parfois livrées dénuées des situations expérimentales qui ont servi à valider les conditions d'application de leurs résultats [VAN 94b]. Cette perte d'information rend la règle absolue alors qu'elle devrait être relativisée en fonction du contexte, du type de tâche, du profil cognitif de l'utilisateur. Si on parvenait à rendre explicites toutes ces conditions généralement implicites, le coût cognitif d'application des règles en fonction de la phase s'en trouverait réduit [DES 90]. Si on trouve une règle dont la traduction est indépendante entre autres du type de tâche, du type d'utilisateur, cela signifie-t-il que la règle est valable pour toute tâche, quel que soit l'utilisateur ? En tout cas, cela donne à tort l'impression qu'elle est valable pour un utilisateur moyen, optimal, constant au cours du temps.

4.3.2. Autres expériences en matière d'incorporation

Plutôt que d'attacher des règles aux (sous-)phases d'une méthodologie de développement existante, Reed *et al.* [REE 99] construisent et détaillent une méthodologie de mise en œuvre des règles autour de leur organisation en standard. Cette méthodologie, constituée de huit étapes, a l'avantage de l'autonomie, mais l'inconvénient d'un nécessaire repositionnement dans le processus de développement.

Carter va plus loin sur la même voie en proposant « Usability First », une méthodologie de développement d'applications interactives qui comprend naturellement des phases d'accès aux règles ergonomiques [CAR 99]. Le plus intéressant est la propriété d'identifier directement les règles organisées parmi les taxonomies disponibles. Pour ce faire, l'auteur considère les cinq types de source dégagés à la section 2. Cette méthodologie présente l'avantage d'être constituée de (sous-)phases qui incitent intrinsèquement les personnes à :

- recourir à une analyse de la tâche pour cerner des spécifications informelles,
- identifier des règles ergonomiques respectant ces spécifications et les mettant en application,
- développer des modèles d'utilisation qui transforment ces spécifications en conception,
- évaluer l'utilisabilité de ces conceptions sur base de règles appropriées.

On y constate aussi que les règles ergonomiques utilisées en spécification, en conception peuvent différer de celles utilisées en évaluation ; cela signifierait-il par là que l'évaluation ne devrait pas se restreindre aux seules règles utilisées antérieurement dans la méthodologie ?

Lorsque le domaine d'activité est précisé, les règles pertinentes pour chaque (sous-) phase de la méthodologie deviennent aussi plus évidentes à découvrir : Moussa *et al.* ont pu positionner plus précisément de telles règles au sein d'une méthodologie de conception globale prévue pour des applications interactives de contrôle de processus dynamique, continu (figures 1 et 2) [MOU 99]. Ce fut le cas aussi pour le système à base de connaissance SYNOP [KOL 89] [KOL 91] dédié à l'évaluation automatique de certaines parties de l'interface pour de telles applications interactives.

Par ailleurs, il est symptomatique de constater que des règles ergonomiques utilisées dans des (sous-)phases semblables, mais dans des méthodologies différentes, même de domaines d'activité différents, peuvent se rejoindre dans l'intention de résoudre un problème commun (par exemple, la conception de la présentation d'un affichage visuel) comme le soulignent Javaux *et al.* [JAV 96]. Cela serait le signe de règles plus générales, indépendantes du domaine d'activité.

4.4. Validité de l'incorporation

4.4.1. Complétude de l'incorporation

De tous les problèmes répertoriés et analysés jusqu'à présent, le dépouillement contextuel des règles ouvre la porte la plus béante à l'incomplétude. Sans une compréhension du contexte, absent, et sans explication de ses points d'intervention pour son incorporation méthodologique, l'utilisabilité induite est sujette à une évolution aléatoire ou dépendante de l'expérience et de l'habileté des personnes. Les règles incorporées risquent de s'avérer encore plus incomplètes que ne l'étaient leurs prédécesseurs, en l'occurrence les règles organisées.

4.4.2. Cohérence de l'incorporation

La variabilité des contextes expérimentaux, la multiplicité des profils des personnes qui ont défini ces contextes expérimentaux et le risque d'appliquer des règles ergonomiques dans un contexte différent du contexte expérimental, d'attacher une règle à une (sous-)phase autre que celle prévue dans l'étude expérimentale forment autant d'éléments à composer au passif de la cohérence des règles incorporées.

4.4.3. Correction de l'incorporation

Les mêmes facteurs affectent aussi leur correction. Depuis que l'on regrette que les règles ergonomiques sont indépendantes des tâches interactives, des utilisateurs,... en raison de leur dépouillement contextuel, on pourrait y remédier en formulant les règles en fonction de paramètres descriptifs de la tâche, de l'utilisateur à qui elles s'adressent. Ceci engendre le besoin d'un formalisme de représentation de la tâche, de l'utilisateur [DIA 89] [ABE 97] [PIN 89] dont l'interprétation correcte requiert une certaine compétence non nécessairement présente chez les personnes destinataires [VAN 94b] [MCD 88]. Si l'interprétation est incorrecte, l'utilisabilité de l'IHM basée sur ces règles peut s'avérer être radicalement différente de celles espérée, ce qui découragerait toute personne à les utiliser. En conclusion, la correction repose fortement sur les épaules des personnes qui les utilisent ([KOL, 97], page 215).

5. Opérationnalisation des règles ergonomiques

5.1. Définition et objectifs de l'opérationnalisation

Jusqu'à présent, les règles ergonomiques situées méthodologiquement sont susceptibles d'être utilisées, manipulées de manière circonstanciée, mais manuelle. Ce genre de règles fût abondamment soumis à utilisation au sein d'équipes de développement et, pourtant, fut relativement ignoré, méconnu, sous-utilisé pour plusieurs motifs [TET 91] :

- Il y a d'abord les raisons intrinsèques à l'état des règles elles-mêmes telles que évoquées : la difficulté d'interprétation (les concepteurs éprouvent notamment des problèmes d'interprétation avec 30 % des règles consultées [SOU 90]), le dépouillement contextuel limitant l'application des règles ou la détournant de son

objectif originel, la variation des règles ergonomiques en fonction de leur importance, de leur personne destinataire...

- Il y a ensuite des raisons liées à la gestion lourde, inefficace des règles dans cet état actuel. Le volume de règles, au-delà d'un certain seuil, devient mentalement insoutenable, pratiquement infaisable et engendre un problème d'utilisabilité fondamentale [VAN 93] : la rigidité du support papier des règles ergonomiques situées méthodologiquement devient rapidement un travail de bénédictin, alourdit leur manipulation, limite considérablement des parcours multiples en fonction de différentes variables, accroît le temps de recherche d'une règle (jusqu'à 15 minutes pour une règle ergonomique selon [SMI 88]), empêche la maintenance des attributs de chaque règle. Seulement 58 % des concepteurs consultés parviennent à extraire les règles pertinentes vis-à-vis de leur problème particulier [SMI 88], ils enfreignent en moyenne 11 % des règles du document car ils ne savaient pas comment y accéder [DES 90].

L'appréciation de ces lacunes a invité maints chercheurs à envisager des supports alternatifs au support papier [GRA 99] : support audio, support vidéo, support informatique,... Nous nous attachons exclusivement au support informatique. Les règles ergonomiques situées méthodologiquement, bien qu'ayant été traduites suivant un schéma uniformisé ne se prêtent pas volontiers dans leur état actuel à une implantation directe au sein d'outils logiciels de support à des démarches de conception de systèmes interactifs. L'opérationnalisation des règles situées méthodologiquement a donc pour objectif d'exprimer, pour une option de conception, ou un problème à résoudre, un sous-ensemble de règles pertinentes qui puisse être directement réutilisable et exploitable au sein d'outils logiciels. Rappelons que, dans la littérature internationale, de tels outils logiciels sont dénommés *tools for working with guidelines*.

5.2. Procédure de l'opérationnalisation

L'atteinte de cet objectif peut être réalisé en deux temps : un principe de contraction-extension sera d'abord appliqué afin d'obtenir un sous-ensemble de règles ergonomiques pertinentes par option de conception, par problème ; nous devrons ensuite opter pour un formalisme de représentation interne à un outil logiciel qui soit approprié au contexte et enfin exprimer le sous-ensemble de règles pertinentes en terme de ce formalisme.

5.3. Problèmes et analyse de l'opérationnalisation

5.3.1. Notre expérience en matière d'opérationnalisation

Dans une première expérience (SIERRA [VAN 95]), nous avons pris l'hypothèse de ne pas privilégier une option de conception ou un problème particulier pouvant survenir durant une phase du développement. Puisqu'aucune règle ergonomique n'est alors *a priori* écartée, l'application du principe de contraction-extension ne se justifie pas.

Le formalisme de représentation interne retenu a été celui d'un enregistrement dans un fichier dont les champs correspondent aux attributs du modèle général des règles introduit à l'étape 2. Le type de données privilégié a été le texte, mais a rapidement évolué vers d'autres types [FAR 95] : images pour les recopies d'écran, les exemples, des sons pour les annotations sonores ou les règles relatives au son, des séquences vidéo pour illustrer l'application de règles dans un contexte dont la dynamique peut être mieux appréhendée par ce support, des enregistrements de sessions interactives (pour illustrer le contexte de travail), des applications interactives (pour illustrer une implémentation possible). Les règles ont été consignées dans un fichier au format Microsoft Word 2.0 avec références externes, mais liées, vers des ressources multimédia, des enregistrements, des applications interactives.

Dans une seconde expérience (SEGUIA), nous avons pris l'hypothèse de se restreindre aux problèmes de la sélection des objets interactifs concrets [VAN 93] [BOD 94] et à leur placement dans un conteneur [BOD 94]. Dans ce cas, la procédure a été appliquée entièrement. Nous décrivons cette application ci-après, puis nous discutons des résultats obtenus.

5.3.1.1. Application du principe de contraction-extension.

Premièrement, il faut extraire, à partir des règles ergonomiques situées méthodologiquement, les règles les plus importantes en regard desquelles les autres acquièrent une importance relative. Il faut essayer d'identifier, parmi l'ensemble des règles situées méthodologiquement, le cœur du savoir-faire ergonomique propre à chaque problème : c'est un mouvement de **contraction**. Contracter les règles, c'est entrer dans une dynamique de reconnaissance des règles primordiales et de partage de celles-ci. Plus les règles sont contractées, plus elles deviennent générales. Plus elles sont générales, moins elles s'appliquent à des situations particulières.

Le processus sous-jacent à cette contraction consiste à :

- estimer les informations issues du contexte (ici, dans le cas du système SIERRA, l'informatique de gestion) ;

- préciser une option de conception (ici, sélectionner des objets interactifs ergonomiques, les placer sur l'écran) ;
- parcourir l'ensemble des règles situées méthodologiquement en ne retenant que celles propres à cette option dans les phases, les règles spécifiques au contexte et en éliminant toute autre règle inutile ou non-pertinente ;
- obtenir un sous-ensemble utile et pertinent ;
- généraliser les règles spécifiques de ce sous-ensemble en règles plus générales via des mécanismes d'abstraction (par exemple, par rapport à un paramètre donné, à une partie des attributs de la règle), d'assimilation (par exemple, une règle spécifique peut être assimilée à une règle plus générale), de comparaison (par exemple, une règle prioritaire peut être conservée au détriment d'une règle secondaire).

Deuxièmement, il paraît nécessaire, pour que de telles règles ne restent pas théoriques, inapplicables ou inopérantes, qu'elles acquièrent un certain nombre de contre-éliminations et de résolutions de conflit pour répondre à des situations particulières : c'est un mouvement d'**extension**. Étendre des règles consiste à extraire le motif du modèle général et à le développer de façon à ce qu'elles rejoignent les situations particulières.

Le processus sous-jacent à cette extension consiste à :

- considérer un ensemble de règles contractées pour notre contexte et une option de conception précisée ;
- spécialiser ces règles générales en règles spécifiques de façon à couvrir une partie des valeurs possibles des paramètres de l'option de conception via des mécanismes de *concrétisation* (par exemple, une règle valable pour une classe d'objets interactifs abstraits peut être énoncée pour les objets interactifs concrets concrétisant ces objets interactifs abstraits), de *contre-élimination* (par exemple, une règle qui s'oppose à une règle secondaire contradictoire découle sur une élimination de cette règle secondaire), ou encore de *résolution de conflit* (par exemple, seule la règle la plus importante de deux règles conflictuelles est étendue).

Les règles obtenues sont étendues, s'avérant spécifiques selon un problème particulier. Le recours à ce principe peut se justifier par le souhait de rappeler que toutes les règles issues de l'étape précédente, bien que situées, ne sont pas à prendre statiquement au pied de la lettre. A contrario, leur utilisation est précisément dynamique : non seulement le centre des règles est mis en exergue, mais surtout leur esprit pour des situations particulières, concrètes peut être préservé et exprimé simultanément.

5.3.1.2. Sélection d'un formalisme de représentation interne.

Le principe de contraction-extension appliqué, on dispose d'un ensemble de règles ergonomiques étendues. Il reste à sélectionner un formalisme de représentation de ces règles qui soit interne à un outil logiciel. A titre d'exemple, citons Denley *et al.* qui proposent de formaliser les règles en vue de leur intégration explicite au moyen de l'équation suivante [DEN 93] :

$$X = f(T,U,C,P_s) \Rightarrow Y \text{ parce que } R (Y=f(X)) \text{ avec garantie } p > \text{seuil} \quad (\text{Équation 1})$$

où X = ensemble des attributs de déclenchement
 T = ensemble des attributs propres à la tâche interactive
 U = ensemble des attributs propres à l'utilisateur
 C = ensemble des attributs propres à l'environnement physique
 P_s = performance souhaitée
 Y = prescription
 R = raison

L'équation 1 correspond à un schéma intéressant puisqu'il offre la possibilité d'exprimer une règle en fonction de paramètres de l'analyse de la tâche, et ceci en n'omettant pas de la relativiser par une garantie minimale. La prescription de la règle, portant sur des paramètres descriptifs de l'IHM, est en plus compatible avec les besoins d'une intégration de l'ergonomie logicielle. Nous regrettons de ne pouvoir recourir systématiquement à ce schéma car trop de problèmes infranchissables nous en empêchent, tels ceux déjà rencontrés précédemment. Parmi ceux-ci, le dépouillement contextuel des règles mine complètement le garnissage des T, U, C, P_s. Plus simplement, Scapin orchestre l'opérationnalisation suivant un modèle de déchiffrement [SCA 89] :

$$SI \text{ (Prémisses) POUR (Critère) ALORS (Conclusion)} \quad (\text{Équation 2})$$

où (Prémisses) peut être un type d'utilisateur, un type de tâche interactive, une option de conception, un facteur contextuel
 (Critère) représente le critère ergonomique de conception concerné
 (Conclusion) peut être une option de conception, un item d'action.

Ce modèle de déchiffrement est proche des règles de production dont on connaît la pertinence et la faisabilité dans de nombreux environnements de développement d'IHMs. Le modèle renchérit aussi significativement sur l'association qu'entretiennent règles et critères ergonomique de conception. Comme nous ne connaissons pas précisément les occurrences de cette association et comme une pondération des critères associée est pour l'instant improbable, nous avons retiré la clause « POUR (Critère) » du modèle pour aboutir à la représentation interne :

SI (Attribut₁ = Valeur₁) ET (Attribut₂ = Valeur₂) ET ... ET (Attribut_n = Valeur_n) (Équation 3)
ALORS (Conclusion)

où Attribut_i peut être un paramètre issu de l'analyse contextuelle ou fonctionnelle,
Valeur_i = valeur possible de cet attribut
Conclusion = prescription pour une option de conception, pour un problème

5.3.1.3. Discussion des résultats.

En ce qui concerne le premier problème de la sélection d'objets interactifs, l'application du mouvement de contraction-extension a permis d'aboutir à 20 règles contractées de départ. Ces règles expriment quels objets sélectionner globalement, en gelant le sens de l'interaction à une acquisition/restitution d'information, en se rendant indépendant du type de donnée de l'information, en faisant varier le nombre de valeurs à choisir de 1 (choix simple) à $n > 1$ (choix multiple) et en faisant varier la définition du domaine de valeurs [VAN 97]. Avec 7 règles contractées permettant de remplacer un objet interactif sélectionné en fonction des préférences et de l'expérience de l'utilisateur, de la densité informationnelle, un sous-ensemble de 276 règles de sélection étendues a été obtenu. Ce sous-ensemble présente trois avantages :

1. lors de chaque extension, la motivation ergonomique sous-jacente a pu donner lieu à un raisonnement explicite, communicable à l'utilisateur si besoin était ; ce raisonnement a pu être réutilisé chaque fois que nécessaire ;
2. les 276 règles ont toutes pu être exprimées au moyen du formalisme de représentation interne sous la forme d'une règle de production ;
3. pour mettre en évidence les portions identiques d'antécédents des règles de production, la représentation en arbre de sélection s'est avérée la plus efficace, la plus pratique visuellement et la plus flexible par rapport aux autres telles que la liste à puces, l'organigramme, l'arbre vertical, la table de décision, la table de sélection.

En ce qui concerne le second problème du placement d'objets interactifs, la contraction a d'abord porté sur les caractéristiques suivantes :

- les règles ergonomiques ont été groupées en thèmes (par exemple, le groupement/la séparation) plutôt que laissées isolées ;
- les règles concernant diverses alternatives pour un même problème de placement ont été identifiées ; par exemple, la règle « Les libellés permettant d'identifier des objets de contrôle d'action peuvent être situés au-dessus ou à gauche de l'objet identifié, avec justification à gauche ou inférieure » contracte les deux règles correspondant aux deux possibilités ;
- seule une partie des valeurs possibles pour chaque alternative est retenue et accompagnée de règles propres ;
- les règles qui en englobent d'autres sont retenues ; par exemple, la règle « La marge des objets interactifs doit être de 10 pixels » englobe les règles « La marge doit être suffisante », « La marge doit être cohérente » ;
- les règles sont énoncées autant que possible en termes de classes d'objets interactifs abstraits [VAN 93] plutôt que d'objets interactifs abstraits simples ou d'objets interactifs concrets particuliers ; par exemple, la règle « Les libellés identifiants d'un objet doivent être situés au-dessus ou à gauche de l'objet qu'ils identifient » contracte les mêmes règles, mais énoncées pour des objets particuliers, comme la règle « Le libellé identifiants d'une liste de combinaison, déroulante ou non, peut être positionné à gauche de la liste et justifié inférieurement avec celle-ci ».

A partir d'un ensemble de 65 règles contractées, un ensemble d'environ 350 règles étendues a pu être dégagé avec deux avantages : la répétition d'une même règle concernant plusieurs objets peut être identifiée, épargnée et des règles principales ont pu être conservées au détriment de règles secondaires. Ici, les règles ont été incorporées dans deux algorithmes de placement automatique et assisté d'objets interactifs concrets dans une fenêtre [BOD 94].

5.3.2. Autres expériences en matière d'opérationnalisation

En ce qui concerne l'**application du mouvement de contraction-extension**, les autres expériences se cantonnent plus à signaler le besoin d'un sous-ensemble de règles propre à un problème qu'à détailler comment ce sous-ensemble peut être obtenu. Une opportunité réelle pour une recherche trouve ici sa place.

Ainsi, Fritzsche & Michel [FRI 99] expliquent qu'ils se restreignent à des règles applicables aux catalogues de produits électroniques, mais omettent de dire comment cette restriction peut s'opérer. De même, Moussa *et al.* [MOU 99], ainsi que Kolski et Millot [KOL 91] considèrent des règles générales ou spécifiques au contrôle de processus dynamique, continu.

Grammenos *et al.* [GRA 99] précisent que leur outil SHERLOCK reste ouvert à tout type de règle ergonomique en provenance d'un des cinq types de source répertoriés, notamment, tout sous-ensemble de règles considérées comme pertinentes pour un problème particulier. Ils reconnaissent ensuite qu'une consolidation de ces règles est requise préalablement à leur exploitation dans SHERLOCK.

Henninger soutient pour sa part que la question de la contextualisation de ces règles ergonomiques à un problème, à une situation, doit demeurer centrale [HEN 99]. C'est pourquoi son outil GUIDE ne considère pas *a priori* que les règles soient spécifiques à un problème, une situation mais s'oriente plutôt vers l'identification progressive de celles qui sont spécifiques au fur et à mesure de l'utilisation de l'outil. Son principe est de consigner dans une mémoire organisationnelle un maximum de cas de conception/évaluation d'IHMs pour y accumuler l'expérience acquise en matière d'utilisabilité par une organisation (par exemple, une équipe de développement) dans le temps, pour s'y référer lors de tout nouveau développement d'IHM ou lors d'une refonte, d'une modification. Chaque fois qu'une IHM doit vérifier une règle, un cas est créé pour cette règle et elle peut se spécialiser en d'autres règles plus spécifiques, plus précises au fur et à mesure de l'avancée du développement, au fur et à mesure que l'expérience croît.

En ce qui concerne la **sélection d'un formalisme de représentation interne**, d'autres expériences variées sont tout à fait probantes.

Dans leur outil TASSI, Fritzsche & Michel [FRI 99] ont aussi opté pour une formulation sous la forme de règle de production proche de celle de l'équation 3. Ce qui est plus intéressant, c'est qu'ils les ont formalisées en clauses de Horn sous forme de faits, de règles et de requêtes écrites dans le formalisme orienté but suivant :

A. (fait)
A : -B,C,... (règle)
 : -B,C,... (requête)

Ce formalisme est extrêmement efficace dans la mesure où un démonstrateur de théorèmes peut appliquer, vérifier automatiquement ces règles ergonomiques en chaînage avant (pour concevoir une IHM) ou arrière (pour évaluer une IHM existante dont la structure et les propriétés sont exprimées sous forme de faits).

Dans leur outil ERGO-CONCEPTOR, Moussa *et al.* [MOU 99] avancent trois raisons pour lesquelles les règles de production ont été aussi retenues :

1. une représentation formelle en deux parties (antécédent, conséquent) est possible ;
2. les règles de production autorisent et favorisent toute restructuration, tout regroupement de règles et, surtout, toute opération nécessaire au mouvement de contraction-extension ;
3. leur faisabilité a déjà été éprouvée dans différentes études (dont [MAC 86] et [PER 89]).

Plus originalement, l'IHM considérée dans ERGO-CONCEPTOR est stockée sous la forme de listes LISP contenant les faits exploitées par les règles ergonomiques accessibles par un moteur d'inférence. Dans ce sens, les expériences de Fritzsche & Michel et de Moussa *et al.* se corroborent : une expression en des termes d'une logique des prédicats d'un certain ordre (0 ou 1) autorise une exploitation automatique des règles pourvu qu'on dispose d'un outil automatique tel qu'un parseur, un démonstrateur de théorème, un vérificateur de propriété.

Dans leur outil SHERLOCK, Grammenos *et al.* [GRA 99] précisent que les règles doivent faire l'objet d'une implémentation particulière, mais que celle-ci n'est pas contrainte : elle peut être rédigée dans une procédure écrite en Visual Basic 5.0, le langage avec lequel SHERLOCK a été implémenté, ou dans n'importe quel autre langage de programmation pourvu qu'elle soit disponible via une bibliothèque dynamique (en anglais, *dynamic link library – DLL*).

Dans son outil GUIDE, Henninger [HEN 99] représente les règles dans une hiérarchie hypertextuelle reliée à des cas et des règles. En revanche, des règles sont utilisées pour faire correspondre des règles avec les différents contextes de conception des cas ; ces règles sont représentées par des paires de question-réponse dans un arbre de décision dont les feuilles contiennent le texte des règles.

En conclusion, on observe que l'opérationnalisation des règles reste **passive** si elle ne poursuit pas le but de les rendre exécutables, testables, applicables (comme dans GUIDE [HEN 99], SIERRA [VAN 95], NaviText SAM [PER 89]) ; elle devient **active** si elle a pour but de rendre les règles applicables en conception (comme dans SEGUIA [VAN 97] et ERGO-CONCEPTOR [MOU 99]), testables en évaluation (comme dans SHERLOCK [GRA 99] et SYNOP [KOL 91]) ou les deux ensemble (comme dans TASSI [FRI 99]).

Dans le premier cas, on est passé successivement par les technologies hypertexte (comme dans NaviText SAM [PER 89]), hypermédia (comme dans DRUID [FOX 89]), multimédia (comme dans Making It Macintosh [ALB 94]), base de données (comme dans DRG [OHA 94]), ou combinant hypermédia et base de données (comme dans SIERRA [VAN 97] [VAN 95]) pour arriver aujourd'hui à exploiter la technologie Web (comme dans GUIDE [HEN 99]). Ce qui paraît important ici est la faculté de coupler des fonctionnalités de type base de données pour l'accès, la sélection, la recherche, le tri des règles à des fonctionnalités de type hypermédia pour le parcours, l'organisation et la contextualisation de celles-ci.

Dans le second cas, toute logique des prédicats (d'ordre 0 ou 1 jusqu'à présent) s'avère faisable, applicable et efficace lorsque des outils logiciels automatiques sont prévus : il suffit alors d'exprimer une nouvelle règle dans sa représentation interne pour qu'elle soit automatiquement considérée, pourvu que cela soit possible. Si ce n'est pas possible ou si l'opérationnalisation de la règle nécessite une procédure plus complexe, un codage particulier sera requis.

Comme aucune étude existante ne va plus loin ou ne vient comparer les différentes représentations internes (règles si...alors...sinon, clauses LISP, clauses Prolog, procédure codée, arbre de décision,...), on ne connaît pas aujourd'hui si l'une d'entre elles peut prévaloir sur les autres. La seule conclusion que l'on peut en tirer est que la richesse d'expression de la règle opérationnalisée dépend du niveau de la logique (0 ou 1).

5.4. Validité de l'opérationnalisation

5.4.1. Complétude de l'opérationnalisation

Les trois opérations de contraction, extension, représentation sous forme interne sont toutes trois de nature à rendre les règles finales encore plus incomplètes qu'elles ne l'étaient en entrée de ces opérations. Il paraît à nouveau assez compliqué d'appréhender ces déperditions, bien que l'incomplétude la plus importante semble se situer au niveau de la représentation sous forme interne puisqu'elle est la plus réductrice.

Scapin [SCA 89] a découvert que certaines règles se montraient difficiles à faire rentrer dans une telle représentation interne car elles contenaient des caractéristiques contextuelles, soit qui ne sont pas exprimables en conditions simples sur un attribut (par exemple, le fait que le niveau de l'utilisateur corresponde ou non à : "expérimenté"), soit qui sont exprimables sous forme de tels attributs, mais ces attributs s'avérant absents

(Jean, peux-tu donner un exemple ?).

5.4.2. Cohérence de l'opérationnalisation

Au contraire, les règles contractées sont dès le départ cohérentes entre elles puisqu'il s'agit précisément d'un des objectifs assignés à la contraction : aboutir à une cohérence interne en payant le prix d'une éviction des règles conflictuelles, moins importantes, hors propos, contradictoires,... Cette cohérence interne obtenue par construction ne se détériore au niveau ni de l'extension ni de la représentation sous forme interne.

5.4.3. Correction de l'opérationnalisation

Les règles finales sont normalement correctes par rapport à la syntaxe du formalisme retenu, mais ceci n'épargne pas les erreurs sémantiques. La contraction reste sans doute l'opération susceptible d'introduire le biais le plus important par son filtrage. La diversité des règles à contracter, en termes de syntaxe et de sémantique, nous invite à la prudence quant à sa correction : le modèle de l'utilisateur final de l'IHM est supposé constant alors que son comportement varie indéfiniment au cours du temps et est largement influencé par le contexte ambiant d'accomplissement de sa tâche interactive et les contextes passés des accomplissements précédents ; les connaissances du concepteur, de la personne qui va utiliser l'outil logiciel sont également supposées constantes au cours du temps, alors qu'elles évoluent en fonction de son expérience.

L'extension, quant à elle, revient à une réexpression détaillée qui ne devrait pas introduire d'incorrection supplémentaire à ce niveau, si ce n'est qu'elle peut amplifier celles qui existaient déjà.

La représentation sous forme interne possède deux conséquences potentiellement néfastes :

1. la représentation finale sélectionnée (équation 3) constitue déjà elle-même une réduction importante par rapport aux autres représentations étudiées (équation 1 et 2), bien qu'infaisables.

2. la mise à niveau des règles ergonomiques étendues par rapport aux attributs de l'antécédent et du conséquent d'une règle de production constitue une distorsion très importante, à ne pas négliger.

Par contre, un avantage substantiel résulte de toute représentation sous forme de règle de production, clause de Horn, etc : au moyen d'outils logiciels adéquats, il est possible de détecter les incomplétudes, les incohérences, les incorrections, de vérifier quasi automatiquement des propriétés formelles (par exemple, l'atteignabilité d'une règle, la non-redondance d'une règle, l'unicité d'exécution d'une règle). En fait, on est renvoyé à la panoplie des méthodes formelles (telles que les preuves de programme, l'analyse statique, l'interprétation abstraite) et de leurs outils logiciels de support (tels que les démonstrateurs automatiques ou assistés de théorèmes, les analyseurs syntaxiques, les parseurs, les générateurs automatiques ou assistés) propres au formalisme retenu, pour assurer la validité des règles finales.

En conclusion, tout sous-ensemble de règles ergonomiques propres à un problème particulier qui fait l'objet d'une incorporation au sein d'un outil est le plus incomplet, potentiellement incorrect dans le sens d'une réduction de l'expression, mais intra-cohérent.

6. Utilisation des règles ergonomiques

Aujourd'hui, un constat s'impose : on ne connaît pas encore tout à fait bien l'ergonomie logicielle en tant que telle puisque le poids, la priorité, la pertinence des règles est variable et difficile à juger. On connaît en fait mal la suffisance et la validité des règles, bien que maints auteurs [BAS 95] [SMI 88] [SCA 89] [MAY 92] [GOU 88] [SHN 97] [SCH 99] [MCD 88] garantissent leur nécessité.

On ne maîtrise pas non plus davantage la méta-ergonomie, c'est-à-dire l'ergonomie de l'utilisation de règles ergonomiques en situation de développement ; De Souza [DES 90], ainsi que Thovtrup et Nielsen [THO 91] apportent néanmoins des éléments de réflexion. On ne connaît pas grand-chose enfin sur la dégradation potentielle des règles ergonomiques subies par les transformations (par exemple, quel est l'impact des règles de remplacement et de réduction?). Tout au plus sommes-nous capables de localiser les lieux de ces dégradations et de les expliciter. Donc, nous ne pouvons accorder qu'un crédit modéré aux règles utilisées.

Et enfin, nos connaissances relatives à l'ergonomie, l'utilisabilité d'un outil de support à la démarche de conception sont aussi quasi inexistantes. Pourtant, il paraît fondamental, quand on parle d'utilisabilité des IHMs, que l'IHM de l'outil logiciel de support soit elle-même utilisable dans les contextes prévus. La communauté scientifique bénéficierait grandement d'une telle étude relative à l'utilisabilité des outils de support à la démarche pour déceler dans quelle mesure ces outils sont utilisables ou non.

Le pauvre état de ces connaissances explique partiellement pourquoi il nous est impossible aujourd'hui de développer ce jalon plus avant, mais plutôt de le positionner en tant qu'axe pluridisciplinaire de recherche pour les années à venir.

Pourtant, paradoxalement, on voit apparaître des ateliers de Génie Logiciel annonçant dans leur plaquette commerciale l'intégration d'outils de génération automatique d'interfaces de dialogue respectant *a priori* des critères ergonomiques... et donc forcément ergonomiques, ce qui bien sûr est un leurre. Certaines entreprises seraient-elles largement en avance sur le monde de la recherche dans ce domaine, ou seraient-elles plutôt en train de passer complètement à côté du sujet ?

7. Conclusion

Après parcours des cinq étapes discutées auparavant (depuis la collecte jusqu'à l'utilisation), nous sommes à même d'énumérer les problèmes rencontrés :

- P₁ = numéricité des règles ergonomiques,
- P₂ = augmentation des règles en fonction du temps,
- P₃ = éparpillement des règles,
- P₄ = variation des règles en fonction de leur discipline,
- P₅ = nécessité de traduction des règles,
- P₆ = variation des règles en fonction de leur fondement,
- P₇ = dépouillement contextuel des règles,
- P₈ = variation des règles en fonction de leur contenu,
- P₉ = variation des règles en fonction de leur présentation,
- P₁₀ = variation des règles en fonction de leur niveau de détail,
- P₁₁ = variation des règles en fonction de leur complexité,

P₁₂ = variation des règles en fonction de leur niveau d'importance,
P₁₃ = variation des règles en fonction de leur portée,
P₁₄ = variation des règles en fonction de l'étape de conception,
P₁₅ = variation des règles en fonction du destinataire,
P₁₆ = nécessité et insuffisance des règles,
P₁₇ = conflit entre règles,
P₁₈ = disparition des connexions entre les règles,
P₁₉ = indépendance contextuelle des règles,
P₂₀ = réduction des règles,
P₂₁ = indépendance des règles par rapport aux utilisateurs,
P₂₂ = illustration insuffisante des règles,
P₂₃ = référence insuffisante des règles,
P₂₄ = classement insuffisant des règles,
P₂₅ = opérationnalisation insuffisante des règles en fonction du public cible,
P₂₆ = multiplicité référentielle des règles,
P₂₇ = gestion lourde des règles.

Ces problèmes auxquels nous avons été confrontés tout au long des cinq étapes sont donc nombreux. Certains problèmes sont solubles (par exemple, l'insuffisance de l'illustration, le manque d'organisation), d'autres sont intrinsèques aux règles ergonomiques (par exemple, leur incomplétude) au point qu'il paraît peu probable de les résoudre dans un avenir proche ou même lointain. Le modèle général des règles introduit à la section 3 tente de résoudre une partie des problèmes exposés. On comprend aisément qu'il est laborieux d'inclure **tous** les attributs de ce modèle pour chaque règle. Par contre, l'utilité de ce modèle au travers d'un outil logiciel paraît plus évidente, comme nous l'avons souligné dans les sections 5 et 6.

Les problèmes P₁ et P₂ étant intrinsèques, il ne nous appartient pas de les résoudre ; la recherche de nouvelles règles ergonomiques ne doit pas s'amenuiser. Il faut la promouvoir et favoriser l'expression de ses résultats suivant un même modèle général, par exemple, celui proposé à la section 3.

Les problèmes P₃ à P₅ sont résolus par la volonté d'utiliser systématiquement un modèle général et un vocabulaire uniformisé. La collecte des règles ergonomiques au sein d'un corpus unique optimise leur accessibilité et leur disponibilité.

Les problèmes P₆, P₇, P₁₉ à P₂₁ évoquent la difficulté de reprise du contexte entier d'une règle ergonomique. Là où la source l'indiquait, les valeurs des paramètres de l'analyse contextuelle ont été reprises. Nous n'avons pas pu progresser davantage, limités que nous étions par l'indisponibilité d'une taxonomie des tâches interactives. C'est aux ergonomes, aux psychologues du travail qu'échoit cette responsabilité fondamentale.

Les problèmes P₈ à P₁₅ sont abordés par la volonté de classer avec pertinence chaque règle ergonomique par rapport au critère ergonomique de conception, au niveau linguistique qui lui convient. La connaissance du critère de conception et de son niveau linguistique donne un premier indicateur systématique de leur contenu, de leur priorité et de leur destination.

Le problème P₁₆ n'a pas de solution, compte tenu de sa nature.

La résolution du conflit du problème P₁₇ peut se faire à la lumière de la double comparaison des critères de conception et des niveaux linguistiques. Nous modérons cependant ce jugement par la constatation suivante : si une règle ergonomique respecte un critère de conception plus élevé, mais de niveau linguistique plus bas qu'une autre, laquelle prime sur l'autre ? La première en raison de son critère ergonomique plus élevé ou la seconde en raison de son niveau linguistique plus élevé ? Bien que nous plaitions généralement en faveur du critère de conception le plus élevé, nous pensons que tout dépend de l'**écart** entre les différences. Si l'écart entre les critères de conception est faible, on peut pencher pour le niveau linguistique. Si l'écart entre les critères de conception est fort, on pourrait préférer le critère.

Pour le problème P₁₈, nous avons proposé une mise en relation des règles au moyen de liens typés. Dans le corpus [VAN 94a], seul le lien de voisinage a été intégré car il nous paraît le plus important ; parce que l'addition de tous les autres liens dans un volume écrit allonge indéniablement la taille de chaque règle ergonomique ; parce que le caractère dynamique de ces liens ne trouvera sa place originale et véritablement fonctionnelle qu'au sein d'un outil logiciel.

Pour le problème P₂₂ relatif à l'illustration des règles ergonomiques, nous pensons que fournir de **copieux exemples** pris parmi les sept plates-formes informatiques les plus répandues dans le monde informatique (c'est-à-dire, Ms-DOS, Macintosh, Windows'95 (et maintenant Windows'98), X-Windows avec OSF/Motif, Open Look, Amiga et Open Windows) est susceptible de remédier au problème. L'avantage le plus marquant des

exemples ne réside pas tant dans leur illustration et leur compréhension que dans la promotion d'idées. Ceci couvre une large palette de possibilités dans laquelle on peut extraire une solution convenable plutôt que de réfléchir, ce qui ne doit pas dispenser la personne d'une réflexion. La fourniture d'exemples est également incontournable pour tout ce qui concerne la conception visuelle, la présentation graphique. Cette illustration comble partiellement la lacune de l'opérationnalisation (P₂₉).

Les problèmes P₂₃ et P₂₆ ont été traités grâce à la suite chronologique des références bibliographiques, des associations aux moyens et styles d'interaction.

Pour le problème P₂₄, une organisation des règles ergonomiques à niveaux multiples (en division, par présentation/conversation, en critères de conception, en niveaux linguistiques, par moyen et style d'interaction) a été suivie. Nous rappelons l'impossibilité de n'importe quelle organisation des règles ergonomiques à satisfaire toutes les demandes pour tous les types de tâche. Nous pensons que l'organisation adoptée minimise les confusions de classement et que sa structure sous la forme d'un ouvrage de référence permet de s'accommoder de la plupart des interventions. Elle ne peut être optimale pour toutes les demandes des utilisateurs conjointement. Aussi est-il indispensable de réfléchir à l'avenir à des organisations flexibles, définissables par l'utilisateur au sein des futurs outils logiciels de support aux nouvelles démarches de conception de systèmes interactifs.

Les aspects relatifs au support logiciel des règles ergonomiques du problème P₂₇ sont essentiels : ils ont été abordés aux sections 5 et 6.

Revenons finalement à la question soulevée au début : quel crédit accorder aux règles ergonomiques aux différentes étapes, dont particulièrement la dernière ? Pour y répondre, nous sommes aujourd'hui à même de localiser dans les cinq étapes la majeure partie des lieux où la complétude, la cohérence et la correction des règles ergonomiques résultantes sont mises en défaut. Puisque la validité des règles initiales est déjà mise en défaut, elle ne peut que se répercuter davantage au cours des cinq étapes de transformation ; en connaissant les lieux de cette répercussion, on peut mieux cerner les pertes encourues.

Par conséquent, le crédit accordable aux règles ergonomiques finales est fonction de la portée, de la validité des règles initiales et de la préservation de cette portée, de cette validité par les diverses transformations subies.

8. Bibliographie

- [ABE 97] ABED M., SAGAR M., La conception ergonomique des interfaces des systèmes interactifs : une démarche centrée sur la modélisation de la tâche, *Génie Logiciel*, 44, pp. 31-37, 1997.
- [ALB 94] ALBEN L., FARIS J., SADDLER H., Making It Macintosh: Designing the message when the message is design, *Interactions*, 1 (1), 10-19, January, 1994.
- [AFN 94] AFNOR, *Ergonomie et conception du dialogue homme-ordinateur, partie 1 : concepts généraux*, Norme AFNOR Z67-110, Janvier 1988.
- [APP 92] *Apple Macintosh Human Interface Guidelines*, Apple Computer, Inc., Addison-Wesley, Reading, 1992.
- [BAN 9] BANKS W.W., GILMORE W.E., BLACKMAN H.S., GERTMAN D.I., *Human Engineering Design Considerations for Cathode Ray Tube-Generated Displays*, Vol. II, Document NUREG CR-3003/EGG-2230, U.S. Dept. of Energy, Idaho National Engineering Laboratory, Idaho Falls, Idaho, July 1983.
- [BAS 95] BASTIEN C., SCAPIN D.L., Evaluating a User Interface with Ergonomic Criteria, *International Journal of Human-Computer Interaction*, 7, PP. 105-121, 1995.
- [BER 92] BERGER T., *Contribution à l'étude de l'activité cognitive de l'opérateur et à l'évaluation de sa charge de travail*. Thèse de Doctorat, LAMIH, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, 1992.
- [BEV 95] BEVAN N., Usability is Quality of Use, in: Y. Anzai, K. Ogawa, H. Mori (Eds.), *Symbiosis of Human and Artifact: Human and Social Aspects of Human-Computer Interaction, Proceedings of 6th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI International'95)*, Yokohama, July 9-14, Advances in Human Factors/Ergonomics Series, Vol. 20B, Elsevier Science B.V., Amsterdam, pp. 349-354, 1995.
- [BOD 93] BODART F., VANDERDONCKT J., Expressing Guidelines into an Ergonomical StyleGuide for Highly Interactive Applications, in: *Adjunct Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems (INTERCHI'93)*, Amsterdam, April 24-29, ACM Press, New York, pp. 35-36, 1993.
- [BOD 94a] BODART F., HENNEBERT A.M., LEHEUREUX J.M., VANDERDONCKT J., Towards a Dynamic Strategy

- for Computer-Aided Visual Placement, in: T. Catarci, M.F. Costabile, S. Levialdi, G. Santucci (Eds.), *Proceedings of 2nd Workshop on Advanced Visual Interfaces (AVI'94)*, Bari, June 1-4, ACM Press, Reading, pp. 78–87, 1994.
- [BOD 94b] BODART F., VANDERDONCKT J., On the Problem of Selecting Interaction Objects, in: G. Cockton, S.W. Draper, G.R.S. Weir (Eds.), *Proceedings of British Conference on Human-Computer Interaction (HCI'94)*, Glasgow, August 23-26, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 163–178, 1994.
- [BOD 95] BODART F., HENNEBERT A.M., LEHEUREUX J.M., PROVOT I., ZUCCHINETTI G., VANDERDONCKT J., Key Activities for a Development Methodology of Interactive Applications, chapitre 7, in: D. Benyon, Ph. Palanque (Eds.), *Critical Issues in User Interface Systems Engineering*, Springer-Verlag, Berlin, pp. 109–134, 1995.
- [CAR 91] CARTER J., Combining Task Analysis with Software Engineering in a Methodology for Designing Interactive Systems, in: J. Karat (Ed.), *Taking Software Design Seriously: Practical Techniques for Human-Computer Interaction Design*, Academic Press, New York, pp. 209–234, 1991.
- [CAR 99] CARTER J., Incorporating standards and guidelines in an approach that balances usability concerns for developers and end users, *Interacting with Computers*, 11 (3), 1999.
- [DEN 93] DENLEY I., HEDMAN L., PAPADOPOULOS K., HILL B., CLARKE A., HINE N., WHITEFIELD A., Usability Principles for Service Design, in: P. Byerley, Ph. Barnard, J. May (Eds.), *Computer, Communication and Usability: Design Issues, Research and Methods*, Elsevier, Amsterdam, 1993.
- [DES 90] DE SOUZA F., The Use of Guidelines in Menu Interface Design: Evaluation of a Draft Standard, in: *Proceedings of the 3rd IFIP TC13 Conference on Human-Computer Interaction (INTERACT'90)*, Cambridge, August 27-31, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, pp. 435–440, 1990.
- [DIA 89] DIAPER D., *Task analysis for human-computer interaction*, Ellis Horwood Limited, Chichester, United Kingdom, 1989.
- [DIL 90] DILLON A., Guidelines for Screen Design, in: C. Rivlin, R. Lewis, R. Davies Cooper (Eds.), *Hypermedia*, 2(2), pp. 171–173, 1990.
- [DRO 96] DROUIN A., *Les techniques du dialogue*, Collection de la Mission Informatique et Télécommunications, EDF, 1996.
- [DUM 88] DUMAS J., *Designing User Interfaces for Software*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1988.
- [FAR 95] FARENC C., PALANQUE P., VANDERDONCKT J., User Interface Evaluation: is it Ever Usable?, in: Y. Anzai, K. Ogawa, H. Mori (Eds.), *Symbiosis of Human and Artifact: Human and Social Aspects of Human-Computer Interaction, Proceedings of 6th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI International'95)*, Yokohama, July 9-14, 1995, Advances in Human Factors/Ergonomics Series, Vol. 20B, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, pp. 329–334, 1995.
- [FAR 96] FARENC F., LIBERATI V., VANDERDONCKT J., Applying Ergonomic Rules for Interactive Computer Systems, in: A.F. Ozok & G. Salvendy (Eds.), *Proceedings of 1st International Conference on Applied Ergonomics (ICAE'96)*, Istanbul, May 21-24, USA Publishing, Istanbul - West Lafayette, pp. 117–122, 1996.
- [FAR 97] FARENC C., *ERGOVAL: une méthode de structuration des règles ergonomiques permettant l'évaluation automatique d'interfaces graphiques*, thèse de doctorat de 3^{ième} cycle, Université de Toulouse I, Janvier, 1997.
- [FOX 89] FOX J.A., SMITH S.L., *Dynamic rules for user interface design*, Document M89-22, The MITRE Corp., Bedford, 1989.
- [FRI 99] FRITZSCHE H., MICHEL T., Formalization and Proof of Design Guidelines within the Scope of Testing Formally Specified Electronic Product Catalogues, *Interacting with Computers*, 11 (4), 1999.
- [GAR 87] GARDINER M., CHRISTIE B., *Applying Cognitive Psychology to User Interface Design*, John Wiley, New York, 1987.
- [GOF 99] GOFFINET L., NOIRHOMME-FRAITURE M., Automatic cross-referencing of HCI guidelines by statistical methods, *Interacting with Computers*, 11 (3), 1999.
- [GOU 88] GOULD J.D., How to Design Usable Systems, Chapter 35, in: *Handbook of Human-Computer Interaction*, M.G. Helander (Ed.), Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, pp. 757–789, 1988.

- [GRA 99] GRAMMENOS D., AKOUMIANAKIS D., STEPHANIDIS C., Integrated support for working with guidelines: the Sherlock guideline management system, *Interacting with Computers*, 11 (4), 1999.
- [GRI 95] GRISLIN M., *Définition d'un cadre pour l'évaluation a priori des interfaces homme-machine dans les systèmes industriels de supervision*, Thèse de doctorat, LAMIH, université de Valenciennes, 1995.
- [GRI 96] GRISLIN M., KOLSKI C., Evaluation des interfaces homme-machine lors du développement des systèmes interactifs, *Technique et Science Informatiques*, 15 (3), pp. 265-296, 1996.
- [HAR 90] HARDMAN L., SHARRATT B., User-centred hypertext design : the application of HCI design principles and guidelines, in R. McAleese, C. Green (Eds.), *Hypertext : State of the Art*, Intellect, Oxford, pp. 252–259, 1990.
- [HEN 99] HENNINGER S., A methodology and tools for applying context-specific usability guidelines to interface design, *Interacting with Computers*, 11 (4), 1999.
- [HOR 90] HORTON W.K., *Designing & Writing On line Documentation - Help files to Hypertext*, John Wiley, Chichester, 1990.
- [IBM 93] *Object-Oriented Interface Design: IBM Common User Access Guidelines*, document SC34-4399, International Business Machines, Publisher Que Corp., 1993.
- [ISO 92] *ISO/WD 9241 Ergonomic requirements for Office Work with Visual Displays Units*, International Standard Organization, 1992.
- [JAV 96] JAVAUX D., COLARD M.I., VANDERDONCKT J., Visual Display Design: a Comparison of Two Methodologies, in: A.F. Ozok & G. Salvendy (Eds.), *Proceedings of 1st International Conference on Applied Ergonomics (ICAE'96)*, Istanbul, May 21-24, USA Publishing, Istanbul - West Lafayette, pp; 662–667, 1996.
- [KEM 99] KEMP B., BUCKNER K., A taxonomy of design guidance for hypermedia design, *Interacting with Computers*, 11 (3), 1999.
- [KOL 91] KOLSKI C., MILLOT P., A rule-based approach to the ergonomic « static » evaluation of man-machine graphic interface in industrial processes. *International Journal of Man-Machine Studies*, 3, pp. 657-674, 1991.
- [KOL 89] KOLSKI C., *Contribution à l'ergonomie de conception des interfaces graphiques homme-machine dans les procédés industriels : application au système expert SYNOP*. Thèse de Doctorat, LAMIH, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, Janvier, 1989.
- [KOL 97] KOLSKI C., *Interfaces Homme-Machine, application aux systèmes industriels complexes*. Editions HERMES, Paris, 1997.
- [KRE 97] KREITZBERG C.B., *LUCID Software Design FAQ*, Cognetics Corp., 1997.
- [LIM 94] LIM K.Y., LONG J., *The Muse Method for Usability Engineering*, Cambridge University Press, Cambridge, 1994.
- [MAC 86] MACKINLAY J., Automating the design of graphical presentation of relational information, *ACM Transactions on Graphics*, 5 (2), 110-141, 1986.
- [MAR 91] MARCUS A., *Graphic Design for Electronic Documents and User Interfaces*, ACM Press Books Tutorial Series, New York, 1991.
- [MAY 92] MAYHEW D.J., *Principles and Guidelines in Software User Interface Design*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1992.
- [MCD 88] McDONALD J.E., SCHVANEVELDT R.W., The Application of user Knowledge to Interface Design, in: R. Guindon, *Cognitive Science And Its Applications for Human-Computer Interaction*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, pp. 289–338, 1988.

[MEY ?] PEUX-TU LA RAJOUTER ?

- [MIC 92] *Windows Interface: An Application Design Guide*, Microsoft Press, Redmond, 1992.
- [MIL 88] MILLOT P., *Supervision des procédés automatisés et ergonomie*, Editions HERMES, Paris, 1988.
- [MIL 89] *Military Standard: Human Engineering Design Criteria for Military Systems, Equipment, and*

- Facilities*, document MIL-STD-1472D, Notice 3, U.S. Department of Defense, 1989.
- [MOS 86] MOSIER J.N., SMITH S.L., Application of Guidelines for Designing User Interface Software, *Behaviour and Information Technology*, 5 (1), pp. 39–46, January-February 1986,.
- [MOU 99] MOUSSA F., KOLSKI C., RIAHI M., A model based approach to semi-automated generation for process control interactive applications, *Interacting with Computers*, 11 (4), 1999.
- [NIE 90] NIELSEN J., MOLICH R., Heuristic Evaluation of User Interfaces, *Proceedings of ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'90)*, Seattle, April 1-5, ACM Press, New York, pp. 249–256, 1990.
- [NOR 95] NORDBYN K., HELMERSEN P.H., GILMORE D.J., ARNESEN S.A. (Eds.), *Proceedings of 5th IFIP TC13 Conference on Human-Computer Interaction (INTERACT'95)*, Lillehammer, June 25-29, Chapman & Hall, London, 1995.
- [OHA 9] O'HARA J.M., *Advanced Human-System Interface Design Review Guideline, General Evaluation Model*, Technical Development, and Guideline Description, Document NUREG/CR-5908 - BNL-NUREG-52333, Vol. 1, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Brookhaven National Laboratory, July 1994.
- [OSF 92] *OSF/Motif™ Style Guide*, Revision 1.2, Open Software Foundation, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1992.
- [PER 87] PERLMAN G., An Axiomatic Model of Information Presentation, in: *Proceedings of the Human Factors Society - 31st Annual Meeting*, New York, October 19-22, Human Factors Society, Santa Monica, pp. 1229–1233, 1987.
- [PER 89] PERLMAN G., Asynchronous Design/Evaluation Methods for Hypertext Technology Development, *Proceedings of ACM Conference on hypertext systems (Hypertext'89)*, Pittsburgh, November 5-8, ACM Press, New York, pp. 61–81, 1989.
- [PIN 89] PINSKY L., De l'interface à la situation de travail, in: V. De Keyser, A. Van Daele (Eds.), *L'ergonomie de conception, Actes du 23^{ème} Congrès de la Société d'Ergonomie de Langue Française (SELF)*, De Boeck-Wesmael, Brussels, pp. 125–132, 1989.
- [RAV 89] RAVDEN S., JOHNSON G., *Evaluating Usability of Human-Computer Interfaces, A practical method*, Series in Information Technology, Ellis Horwood, Chichester, 1989.
- [REC 96] RECONNU M., Revisiter l'interface homme-logiciel, ou le bilan de 3 années d'un laboratoire d'entreprise, In *"Intervenir par l'ergonomie"*, volume 2, R. Patesson (Eds.), XXXI^{ème} congrès de la SELF, 11-13 septembre, 1996.
- [REE 99] REED P., HOLDAWAY K., ISENSEE S., BUIE E., FOX J., WILLIAMS J., LUND A., User interface guidelines and standards: progress, issues, and prospects, *Interacting with Computers*, 11 (3), 1999.
- [ROO 93] ROOT R.W., A Headsup on GUI Styleguides: Report on the CHI'92 Styleguide SIG, *SIGCHI Bulletin*, 25 (3), pp. 32–35, July, 1993.
- [SCA 86] SCAPIN D.L., *Guide ergonomique de conception des interfaces homme-ordinateur*, Research Report n°77, Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique, Rocquencourt (Le Chesnay), Octobre, 1986.
- [SCA 89] SCAPIN D.L., *Guidelines for User Interface Design : Knowledge Collection and Organization*, Technical Report ITHACA.INRIA.89.D12.03, Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique, Rocquencourt, Décembre, 1989.
- [SCH 93] SCHUMACHER R.M., LUND A., Development of a Usable Graphical Interface Design Guide, in: M.J. Smith et G. Salvendy (Eds.), *Human-Computer Interaction: Software and Hardware Interfaces, Proceedings of the 5th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI International'93)*, Orlando, August 8-13, Advances in Human Factors/Ergonomics, Vol. 19b, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, pp. 21–26, 1993.
- [SHN 97] SHNEIDERMAN B., *Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction*, 3rd ed., Addison-Wesley, Reading, 1997.
- [SMI 86] SMITH S.L., MOSIER J.N., *Design guidelines for the user interface software*, Technical Report ESD-TR-86-278 (NTIS No. AD A177198), U.S. Air Force Electronic Systems Division, Hanscom Air Force Base, Massachusetts, 1986.

- [SMI 88] SMITH S.L., Standards versus Guidelines for Designing User Interface Software, Chapter 40, in: *Handbook of Human-Computer Interaction*, M.G. Helander (Ed.), Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, pp. 877–889, 1988.
- [STR 90] STREVELER D.J., WASSERMAN A.I., Quantitative Measures of the Spatial Properties of Screen Designs, in: *Proceedings of 3rd IFIP TC13 Conference on Human-Computer Interaction (INTERACT'90)*, Cambridge, August 27-31, 1990, D. Diaper, D. Gilmore, G. Cockton, B. Shackel (Eds.), Elsevier Science Publishers, Amsterdam, pp. 1125–1133, 1990.
- [TAR 96] TARBY J.C., BARTHET M.F., The DIANE+ Method, in: VANDERDONCKT J. (Ed.), *Computer-Aided Design of User Interfaces, Proceedings of the 2nd International Workshop on Computer-Aided Design of User Interfaces (CADUI'96)*, Namur, June 5-7, Presses Universitaires de Namur, Namur, pp. 95–119, 1996.
- [TET 91] TETZLAFF L., SCHWARTZ D.R., The Use of Guidelines in Interface Design, in: *Proceedings of ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'91)*, New Orleans, 27 April-2 May, ACM Press, New York, pp. 329–333, 1991.
- [THO 91] THOVTRUP H., NIELSEN J., Assessing the Usability of a User Interface Standard, in: *Proceedings of ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'91)*, La Nouvelle Orléans, 27 April-2 May, ACM Press, New York, pp. 335–341, 1991.
- [VAN 86] VAN RAVENZWAAI E.T., The Design of Design Guidelines for Man-Machine Interfaces, in: R. Patesson (Ed.), *L'homme et l'écran: aspects de l'ergonomie en informatique, Actes du Colloque L'Ergonomie en Informatique*, Nivelles, Novembre, Editions de l'Université de Bruxelles, Bruxelles, pp. 175–182, 1986.
- [VAN 93] VANDERDONCKT J., BODART F., Encapsulating Knowledge for Intelligent Automatic Interaction Objects Selection, in: *Proceedings of ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (InterCHI'93)*, Amsterdam, April 24-29, ACM Press, New York, pp. 424–429, 1993.
- [VAN 94a] VANDERDONCKT J., *Guide ergonomique des interfaces homme-machine*, Presses Universitaires de Namur, Namur, 1994.
- [VAN 94b] VANDERDONCKT J., BODART F., Jusqu'au bout avec nos règles ergonomiques, in: *Actes des Sixièmes Journées sur l'Ingénierie des Interfaces Homme-Machine (IHM'94)*, Lille, December 8-9, pp. 231–236, 1994.
- [VAN 95] VANDERDONCKT J., Accessing Guidelines Information with Sierra, in: NORDBYN K., HELMERSEN P.H., GILMORE D.J., ARNESEN S.A. (Eds.), *Proceedings of 5th IFIP TC13 Conference on Human-Computer Interaction (INTERACT'95)*, Lillehammer, June 25-29, Chapman & Hall, London, pp. 311–316, 1995.
- [VAN 96] VANDERDONCKT J. (Ed.), *Computer-Aided Design of User Interfaces, Proceedings of the 2nd International Workshop on Computer-Aided Design of User Interfaces (CADUI'96)*, Namur, June 5-7, Presses Universitaires de Namur, Namur, 1996.
- [VAN 97] VANDERDONCKT J., *Conception assistée de la présentation d'une interface homme-machine ergonomique pour une application de gestion hautement interactive*, thèse de doctorat, Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix, Namur, 9 Juillet, 1997.