HAL
open science

Proposition d'une démarche d'évaluation a priori des IHM de supervision

Martial Grislin, Christophe Kolski

To cite this version:

Martial Grislin, Christophe Kolski. Proposition d'une démarche d'évaluation a priori des IHM de supervision : application aux étapes de spécification fonctionnelle et de conception préliminaire. Journal Européen des Systèmes Automatisés (JESA), 1997, 7, pp. 1111-1154. hal-03331676

HAL Id: hal-03331676

https://uphf.hal.science/hal-03331676

Submitted on 8 Jul 2022

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.

Une version de cet article a été publiée dans : *Journal Européen des Systèmes Automatisés (RAIRO-APII-JESA)*, 31 (7), pp. 1111-1154, 1997.

Proposition d'une démarche d'évaluation *a priori* des IHM de supervision

Application aux étapes de spécification fonctionnelle et de conception préliminaire

Martial GRISLIN, Christophe KOLSKI

Laboratoire d'Automatique et de Mécanique Industrielles et Humaines
LAMIH - U.A. CNRS 1775
Université de Valenciennes, Le Mont Houy - BP 311
59326 Valenciennes Cedex (France)

http://www.univ-valenciennes.fr

RÉSUMÉ. *En présentant la mise en œuvre d'une nouvelle démarche d'évaluation des interfaces homme-machine (IHM) de supervision, cet article montre la faisabilité d'une évaluation a priori, c'est-à-dire dès le début de son cycle de développement. Notre approche permet d'intégrer explicitement des aspects ergonomiques de l'interaction homme-machine dès les étapes de spécification fonctionnelle et de conception préliminaire, avant toute réalisation effective ou prototype. Dans ce but, des méthodes qualifiées d'analytiques sont appliquées selon les différents niveaux d'un cadre théorique dénommé COSESYL.*

ABSTRACT. *By the presentation of a new method for evaluating human-computer interfaces (HCI) used in control and supervisoring applications, this paper shows the faisability of an a priori evaluation from the early stages of the development. Our approach allows to include explicitely cognitive ergonomics aspects of the human-computer interaction during the functional specification and preliminary design stages, before any effective implementation or prototype. With this goal, so-called analytical methods are applied according with the different levels of a theoretical framework called COSESYL.*

MOTS-CLÉS : *IHM de supervision, évaluation, modélisation d'interface homme-machine, cycle de développement, contrôle de procédé*

KEY WORDS : *Human-computer interface, supervision, evaluation, human-computer interface modelling, development cycle, process control*

1. Introduction

L'objectif de article est de montrer la faisabilité d'évaluer —d'un point de vue ergonomique— une IHM de supervision *a priori*, c'est-à-dire dès le début de son développement, et ceci dans les étapes de spécification fonctionnelle et de conception préliminaire, avant toute réalisation effective. Comme beaucoup de travaux l'ont montré plus ou moins directement [BOE 1988] [TUL 1988] [NIE 1993], une évaluation *a priori* peut apporter un gain important en terme de coûts et de délais de développement. De plus, le "stress" engendré par les phases de tests finaux et de validation devient en conséquence moindre. Cette limitation de pression sur l'équipe de développement peut donc influer positivement sur la qualité du produit développé, et faciliter grandement l'acceptation finale du système interactif par leurs utilisateurs.

Ce travail de recherche concerne l'ingénierie des systèmes homme-machine de supervision, leur cycle global de développement, et en particulier la localisation de l'IHM et de son évaluation dans le cycle en V, figure 1 [GRI 1995] [KOL 1995]. Dans ce but, nous nous sommes consacrés à une réflexion sur les méthodes et techniques d'évaluation utilisables *a priori* pour les systèmes industriels de supervision (voir à ce sujet [GRI 1996] pour une présentation complète des méthodes et techniques usuelles d'évaluation des IHM, présentation non focalisée sur un domaine d'application particulier).

Une version de cet article a été publiée dans : *Journal Européen des Systèmes Automatisés (RAIRO-APII-JESA)*, 31 (7), pp. 1111-1154, 1997.

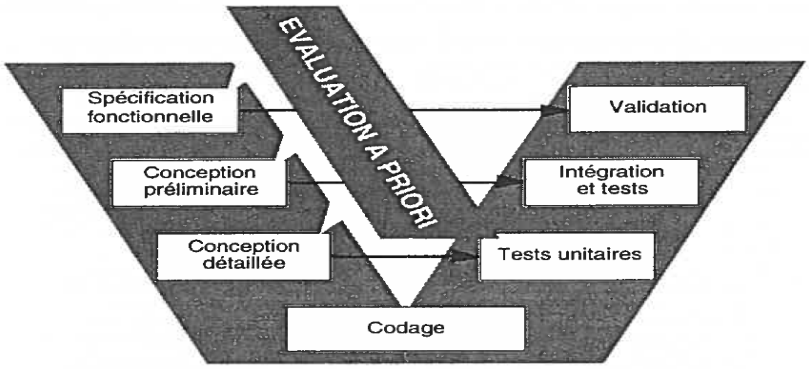

Figure 1. *L'évaluation a priori dans le cycle en V*

On constate que ce sont surtout des évaluations informelles (avec ou sans les opérateurs de supervision d'ailleurs) qui sont effectuées, et ceci lors des dernières étapes du cycle en V : l'IHM n'est évaluée que lorsqu'elle a été codée. Aussi, des lacunes introduites lors des étapes de spécification-conception sont détectées tardivement alors qu'une évaluation *a priori* les aurait sans doute décelées plus tôt. C'est pourquoi nous nous sommes intéressés à la possibilité d'insérer explicitement l'évaluation dans le développement complet d'un système industriel de supervision, en la ramenant le plus en amont possible dans le cycle (figure 1).

C'est dans ce cadre que nous avons analysé les modèles formels de conception-évaluation proposés dans la littérature en montrant leur utilité pour l'évaluation tout au long du cycle de développement. Ainsi, des "briques" existent sous le forme de méthodes et de modèles, elles ont été utilisées le plus souvent ponctuellement, sur des cas simples, par exemple sur des applications de bureautique ; nous les avons « assemblées » et tenté de les appliquer sur des applications complexes.

1.1. *Principe de l'évaluation et propriétés à analyser pour évaluer des IHM*

L'évaluation ergonomique d'une IHM consiste à s'assurer que l'utilisateur est capable de réaliser sa tâche au moyen du système de communication qui lui est proposé. « *Toute évaluation consiste à comparer un modèle de l'objet évalué à un modèle de référence permettant d'établir des conclusions* » [SEN 1990]. Lors de l'évaluation de système interactif, le modèle que l'on peut qualifier d'observé (ou d'analysé) est donc comparé à un modèle de référence. Ce modèle dit de référence – nous l'appellerons plutôt « modèle de l'évaluateur » - doit être représentatif de l'adéquation de l'IHM évaluée par rapport aux besoins spécifiques définis par le concepteur (figure 2).

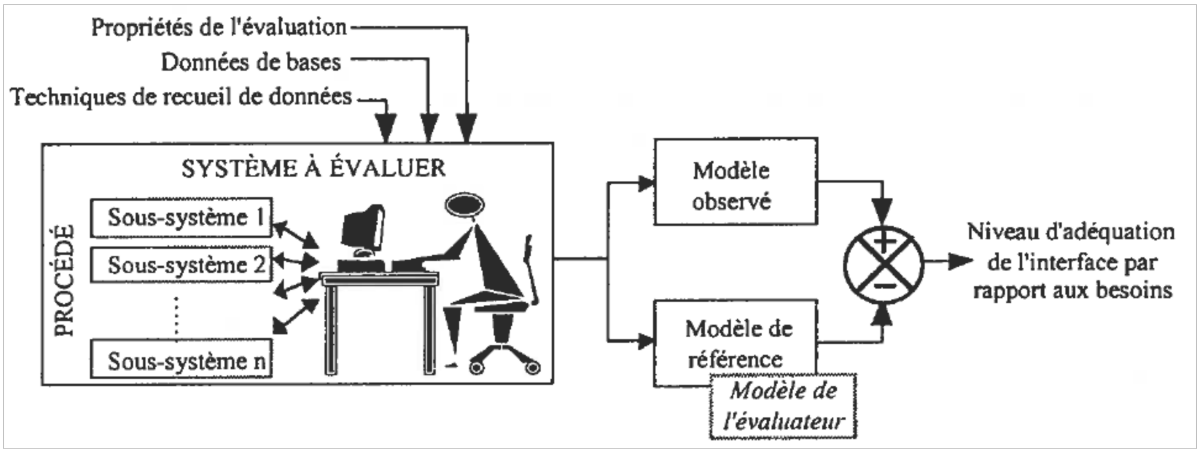

Figure 2. *Principe global de l'évaluation [GRI 1995]*

Une version de cet article a été publiée dans : *Journal Européen des Systèmes Automatisés (RAIRO-APII-JESA)*, 31 (7), pp. 1111-1154, 1997.

L'analyse de l'IHM doit mettre à jour un ensemble de variables cibles, c'est-à-dire les données de base à recueillir. La figure 3 présente quelques-unes des principales variables dépendantes utilisées pour l'évaluation.

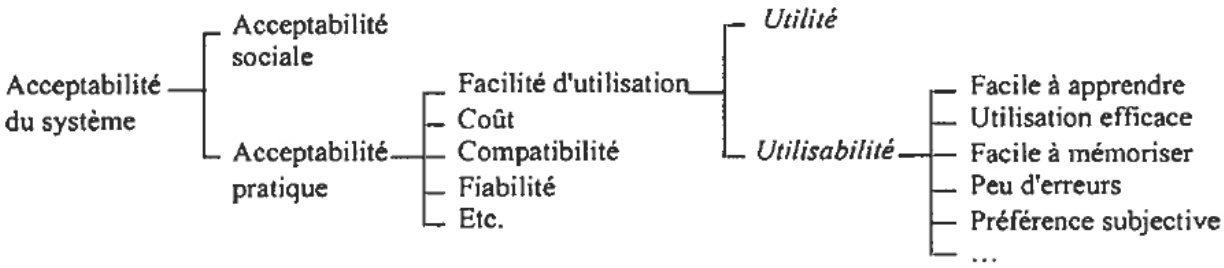

Figure 3. *Principales variables cibles pour l'évaluation [NIE 1993]*

Deux grandes familles se distinguent : l'acceptabilité sociale (des systèmes inacceptables socialement seraient par exemple des systèmes posant des questions indiscrètes aux utilisateurs, ou visant à identifier dans un but de licenciement des opérateurs insuffisamment productifs) et l'acceptabilité pratique. La seconde classe comprend les contraintes courantes de production, de coût, de fiabilité... mais aussi la facilité d'utilisation qui concerne principalement l'IHM. C'est dans ce critère d'utilisation que l'on positionne les deux propriétés reconnues par tous comme les plus importantes pour diagnostiquer la qualité ergonomique des IHM : *l'utilité* et *l'utilisabilité*.

- *L'utilité* détermine si l'IHM permet à l'utilisateur d'atteindre ses objectifs de travail. Elle correspond aux capacités fonctionnelles, aux performances et à la qualité de l'assistance technique fournie à l'utilisateur par le système.

- *L'utilisabilité* rend compte de la qualité de l'interaction homme-machine, en termes de facilité d'apprentissage et d'utilisation, ainsi que de qualité de la documentation. C'est en quelque sorte une frontière entre l'utilité potentielle d'un produit et son utilité réelle. En effet, fréquemment, l'ajout à l'IHM de fonctionnalités censées faciliter l'exploitation a pour effet pervers de compliquer la tâche de l'utilisateur. En annexe a été placée une liste de critères d'utilisabilité reconnue dans le domaine de l'évaluation d'IHM [BAS 1993].

1.2. *Les méthodes et modèles utilisables pour la conception-évaluation des IHM*

Indépendamment des domaines d'application, plusieurs classifications des méthodes et modèles d'évaluation (ou conception-évaluation selon certains auteurs) existent dans la littérature. On trouve souvent la distinction entre des approches dites prédictives et des approches dites expérimentales ; c'est le cas par exemple de la classification de Molich et Nielsen [MOL 1990]. Proche de ces auteurs, Senach [SEN 1990] différencie les techniques en des approches analytiques et d'autres empiriques. Sweeney *et al.* [SWE 1993] proposent trois grandes familles de méthodes où l'évaluation est basée sur l'utilisateur, la théorie ou sur une expertise. Whitefield *et al.* [WHI 1990] organisent leur classification en fonction de la présence ou non de l'utilisateur d'une part, et du système interactif à évaluer d'autre part. Balbo et Coutaz [BAL 1993] classifient les techniques en fonction de plusieurs paramètres, tel leur degré d'automatisation, la prise en compte de l'utilisateur, ou encore le savoir utilisé pour l'évaluation.

De telles classifications sont très importantes, et semblent souvent en théorie très pertinentes, puisqu'elles permettent d'appréhender de manière générale les conditions principales d'évaluation. Toutefois, en tirant des leçons des évaluations réalisées sur des systèmes homme-machine complexes réels et/ou simulés, nous constatons que chaque cas d'évaluation est un cas particulier [GRI 1996]. L'évaluation relève d'un état d'esprit qui doit se retrouver tout au long des étapes du cycle de vie du système concerné, où les conditions d'évaluation peuvent varier d'une semaine à l'autre sous les contraintes industrielles (non-disponibilité des utilisateurs représentatifs, nombre limité de journées de travail

imposé par les décideurs[1], obligation d'utiliser des méthodes « simples » réutilisables ensuite en interne par des non-spécialistes, mise en évidence de problèmes de fond concernant l'utilité du futur système, etc.).

Pour l'évaluation de l'utilité et de l'utilisabilité des IHM, la modélisation des tâches humaines est particulièrement importante dans la mesure où elle facilite la communication entre les intervenants de l'équipe de développement. D'après de nombreux auteurs [BAR 1988] [SEN 1990] [ABE 1990] [KOL 1997], les besoins en assistance peuvent être mieux mis en évidence, et considérés lors du choix des différentes fonctions d'aide ; de même, on considère que les besoins informationnels de l'utilisateur ne peuvent qu'être mieux pris en compte lors de la spécification des IHM, si ceux-ci sont situés par rapport à une modélisation des tâches humaines. Cette modélisation peut être effectuée au moyen de différents modes de description généralement inspirés d'une décomposition en buts, sous-buts. Ces décompositions peuvent respecter plusieurs formalismes issus des modèles formels prédictifs (dits aussi analytiques) que l'on retrouve dans la littérature portant sur les IHM. Globalement, on distingue les modèles de tâches et les modèles linguistiques.[2]

- Les modèles de tâches consistent en une décomposition hiérarchique des tâches pour représenter l'activité d'un utilisateur, par exemple : **HTA** [DUN 1981] [STA 1990], **GOMS** [CAR 1983] [GRA 1992], **DIANE** et DIANE+ [BAR 1988] [TAR 1993], **MAD** [SCA 1989] [SEB 1994], **SADT-PÉTRI** ou TOOD [ABE 1990] [MAH 1995]. Dans ce type de description, la tâche est décomposée par raffinage successif en partant de la tâche globale ou, au contraire, à partir des constituants élémentaires (analyse descendante et ascendante). Elle fournit un support formel pour l'évaluation prédictive de la performance, puisqu'elle propose une description mesurable du comportement de l'utilisateur et de ses performances.
- Les modèles linguistiques explicitent la structure de l'interaction homme-machine au moyen de grammaires, par exemple : **ALG** [REI 1984], **CLG** [MOR 1981] (voir aussi [COU 1990] pour des exemples d'application), **TAG** et ETAG [PAY 1989] [TAU 1990]. Ces modèles sont utilisables pour décrire les tâches d'interaction entre l'utilisateur et l'interface, dans un but principalement d'évaluation du langage de commande et de sa cohérence. Ces grammaires formelles constituent des modèles à base d'items hiérarchisés jusqu'au niveau le plus bas de la description (définition de la tâche globale, puis des sous-tâches jusqu'aux tâches élémentaires).

2. Proposition d'une démarche d'évaluation *a priori*

2.1. *Description globale*

La démarche d'évaluation *a priori* que nous proposons est située dans la phase descendante de spécification-conception du cycle en V —cycle de vie issu du génie logiciel, généralement rencontré en industrie [PRN 1992] [SOM 1994], et préconisé par l'AFAQ. Le système à évaluer est à ce stade inexistant ou en cours de développement. Le principe de la démarche d'évaluation proposée consiste alors à construire une représentation de l'interaction homme-machine à partir des informations sur l'IHM en cours de développement.

Cette description sera réalisée selon deux points de vues (figure 4) : la vision des concepteurs orientée procédé (*le modèle observé*), et la vision des évaluateurs orienté opérateur humain (*le modèle de l'évaluateur*). Une comparaison de ceux-ci permettra ensuite d'évaluer **l'utilité** de l'interface future pour élaborer des modifications et effectuer un ajustement des modèles (cf. §2.3). Puis, l'interaction homme-machine est évaluée en s'intéressant à la propriété **d'utilisabilité** de l'interface.

1 Peut-on dans ce cas encore parler d'évaluation ? Ou plutôt d'évaluation à moindre coût [NIE 1993] [CHI 1995].

2 L'application de certains d'entre eux sera expliquée dans la suite.

Une version de cet article a été publiée dans : *Journal Européen des Systèmes Automatisés (RAIRO-APII-JESA)*, 31 (7), pp. 1111-1154, 1997.

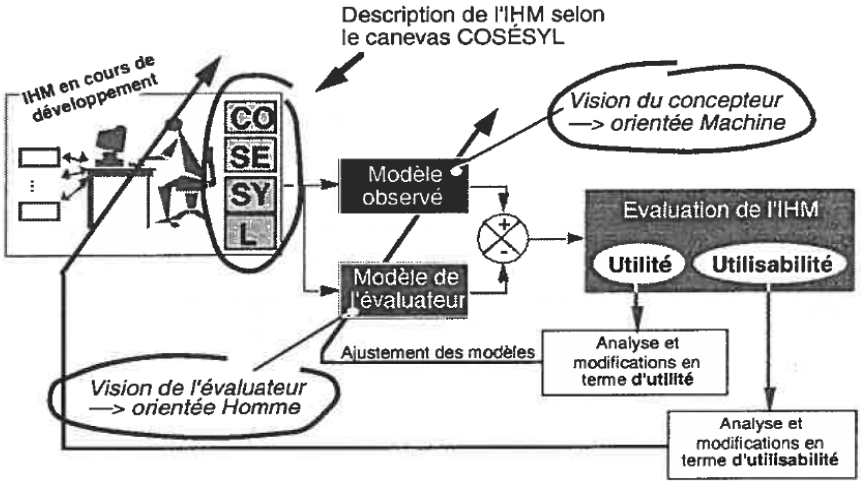

Figure 4. *Principe de l'évaluation basée sur une comparaison d'une description de l'interaction homme-machine [GRI 1995]*

Pour des systèmes de supervision, nous verrons qu'une évaluation basée sur une comparaison n'est pas simple. Ce principe va aider l'équipe de développement à décrire un modèle d'une interface capable de répondre aux besoins de l'opérateur en terme de tâche.

La construction et la validation des modèles utilisés constituent les principales sources de difficulté pour une bonne évaluation. Ceux-ci consistent en une description formelle du dialogue entre l'opérateur de supervision et la machine. Comme l'interaction homme-machine est difficile à décrire de manière simple —il existe souvent un écart entre la théorie formalisée et la réalité—, le problème est de savoir si l'on peut se fier aux résultats d'une évaluation basée sur une représentation plus ou moins éloignée de la réalité. Pour y pallier, l'interaction sera décrite selon un canevas de description appelé COSESYL. Proposé par Grislin [GRI 1995], celui-ci est orienté systèmes interactifs de supervision, tout en s'inspirant des principes que l'on retrouve dans les modèles les plus connus d'architecture de système interactif, tels LANGAGE [FOL 1982], SEEHEIM [PFA 1985] ou ARCH [BAS 1991]. Ce mode de description a pour but de représenter l'interaction homme-machine selon 4 niveaux d'abstraction (figure 5) :

- Le modèle **CO**nceptuel de l'interface concerne les tâches à réaliser par l'opérateur au moyen de l'interface. C'est le plus haut niveau de la description, où l'on définit la structure globale de l'interaction, soit le modèle de la tâche avec identification des concepts importants de l'application (types d'objets manipulés par l'application et dont l'utilisateur a besoin pour exécuter sa tâche, opérations sur les objets, leurs attributs et leurs relations) ;

- La **SÉ**mantique de la tâche décrit l'accomplissement des tâches, identifiées au niveau conceptuel, en termes de composants du système et d'actions sur ces composants. Un composant est un objet du système tel que l'utilisateur le perçoit et le manipule au travers de l'interface, non pas toujours tel qu'il existe en réalité (par exemple, la commande de manœuvre des grappes de contrôle dans le cœur d'un réacteur nucléaire n'est pas représentée sur le pupitre par son mécanisme réel, mais plutôt par un commutateur ou une manette...) ;

- La définition **SY**ntaxique a pour objectif de décrire le dialogue homme-machine (mise en œuvre des actions décrites au niveau sémantique). Le dialogue est détaillé en explicitant les séquences d'entrées-sorties qui représentent les procédures pour atteindre un objectif ;

- La représentation **L**exicale consiste à exprimer les informations en termes de dénomination, de représentation physique juste avant le codage. La représentation lexicale détermine ce qui est immédiatement accessible par l'utilisateur : les éléments physiques manipulés (entrées), les affichages (sorties) – cette définition rejoint celle de Coutaz [COU 1990]. Elle renvoie à la sémantique des objets représentés et donc à l'interaction homme-machine.

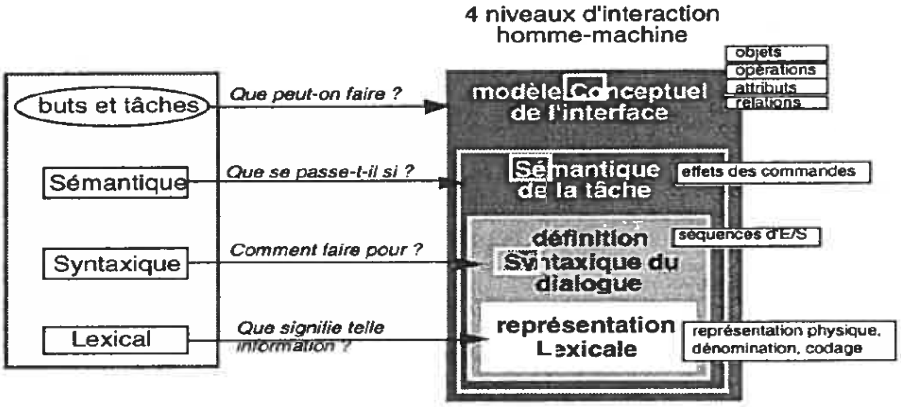

Figure 5. *Canevas théorique pour décrire l'interaction homme-machine (COSÉSYL)*

Il est possible de situer les quatre niveaux de COSÉSYL dans le cycle en V selon le principe visible en figure 6. Ainsi, l'étape de spécification fonctionnelle contient les études détaillées des besoins par rapport au fonctionnement attendu de l'IHM visée, et les spécifications par rapport à sa décomposition. Une première description des procédures d'utilisation du système est fournie à ce stade. Ces informations concernant ce que doit proposer l'interface en termes de tâches et comment l'utilisateur doit accomplir sa tâche, correspondent au niveau conceptuel de l'interaction homme-machine. Ensuite, à partir des fonctions que doit remplir l'application, identifiées lors de la spécification fonctionnelle, l'étape de conception préliminaire, située au niveau sémantique, va consister à recenser l'ensemble des modules informatiques les concrétisant. L'étape de conception détaillée concerne principalement la syntaxe de l'interaction car elle consiste à développer les modules en termes d'unités fonctionnelles (procédures ou fonctions). Les actions physiques élémentaires de l'interface sont aussi définies lors de cette étape (niveau lexical). En effet, ce niveau d'abstraction constitue encore une description de ce que doit être l'interaction homme-machine et pas encore tout à fait sa réalisation.

Au regard du principe global, la démarche d'évaluation *a priori* proposée est composée de trois phases notées E1, E2 et E3 – pour Evaluation 1, Evaluation 2 et Evaluation 3 - (Figure 7). Ces trois phases sont mises en œuvre tout au long de chacune des étapes de spécification et conception (préliminaire puis détaillée) de l'IHM. Elles seront détaillées dans la partie 3 sur une application concrète.

Notons que l'évaluation *a priori* pour les niveaux SY et L n'est valable (ou rentable) que si la démarche a été suivie dès le commencement du projet. Se contenter de celle-ci ne correspondrait qu'à une évaluation ne s'intéressant qu'à une ergonomie de bas niveau, souvent qualifiée « d'ergonomie de surface », indépendante du contexte d'utilisation de l'IHM.

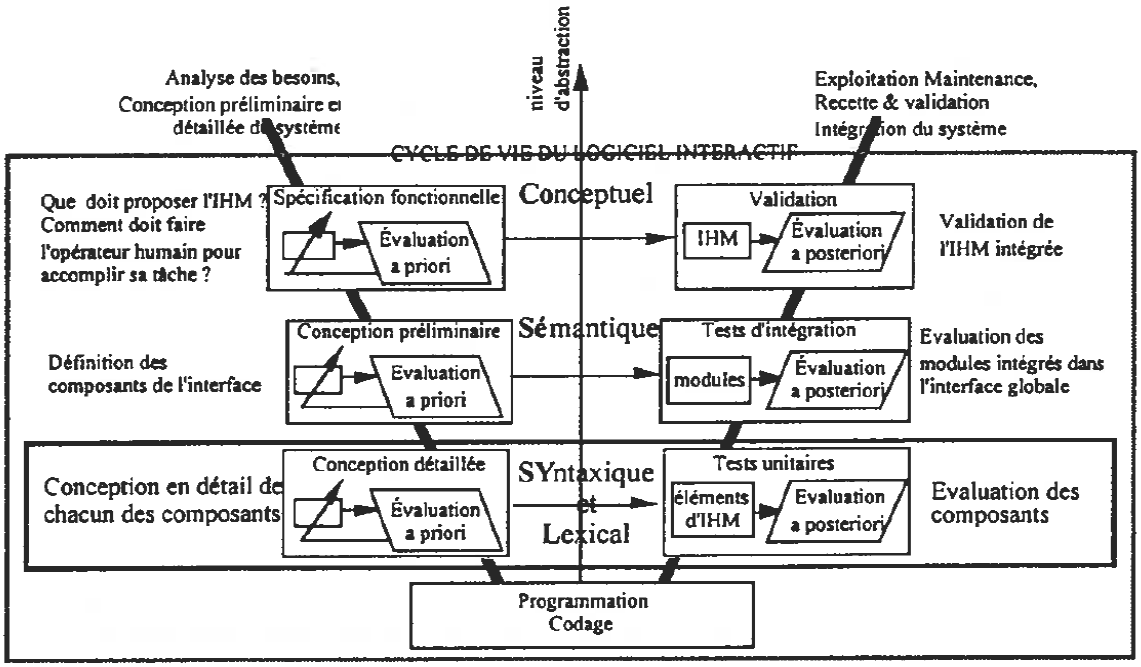

Figure 6. *Localisation des quatre niveaux de* COSÉSYL *vis-à-vis du cycle en V*

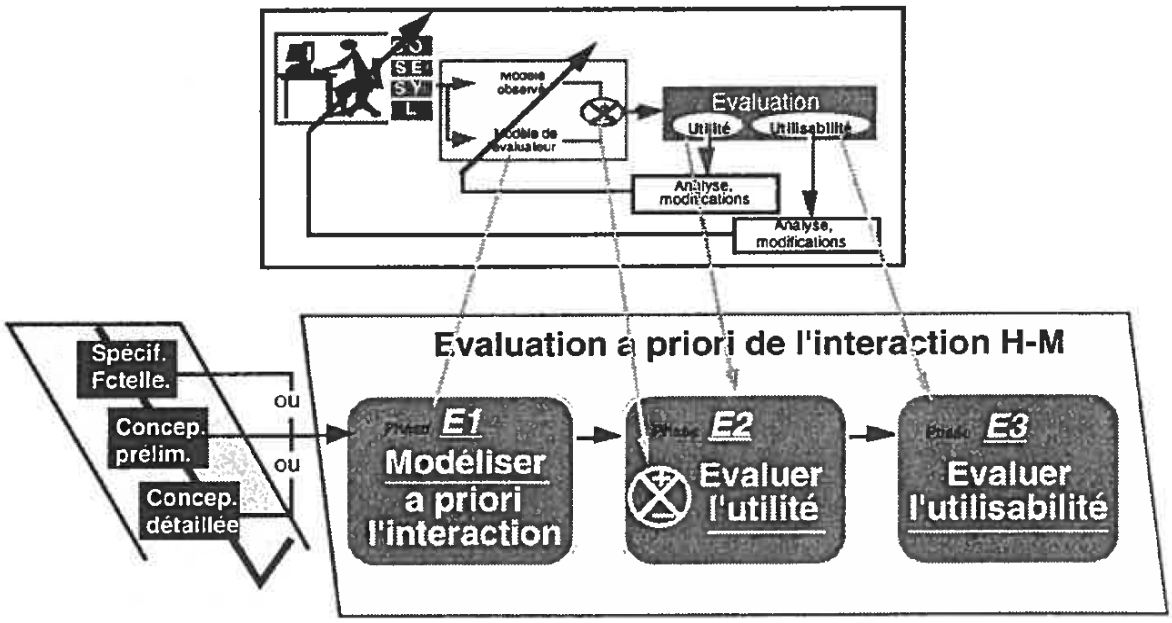

Figure 7. *Principe global de la démarche d'évaluation proposée [GRI 1995]*

Comme on peut le voir sur cette figure, on retrouve le principe global de notre proposition basée sur une description de l'interaction homme-machine structurée avec COSESYL (E1), sur une comparaison entre un modèle observé et un modèle dit de l'évaluateur (cf. ci-après), pour évaluer l'utilité (E2), puis sur une analyse de l'utilisabilité de l'interface (E3).

2.2. Phase E1 : modélisation a priori de l'interaction homme-machine

La **phase E1** concerne à modéliser ce que sera l'interaction homme-machine au niveau conceptuel (au sens de

COSESYL) en identifiant et en classant les concepts importants de l'application : les buts et les tâches de l'utilisateur. L'objectif est d'identifier le plus tôt possible les problèmes qui risquent d'être rencontrés lors de l'exécution de la tâche prescrite. Elle a pour but la construction d'un modèle orienté procédé (vision du concepteur, modèle qui doit être construit par l'équipe de conception impliquée dans la démarche) et d'un autre orienté homme (vision de l'évaluateur, « spécialiste » en interaction homme-machine et habitué à l'utilisation des critères d'utilité et d'utilisabilité des interfaces)[3], à partir des informations issues de l'étape de développement en cours (figure 8). La description *a priori* de l'interaction sera ensuite réalisée à partir d'une synthèse des modèles *observé (OBS)* et de *l'évaluateur (ÉVAL)*.

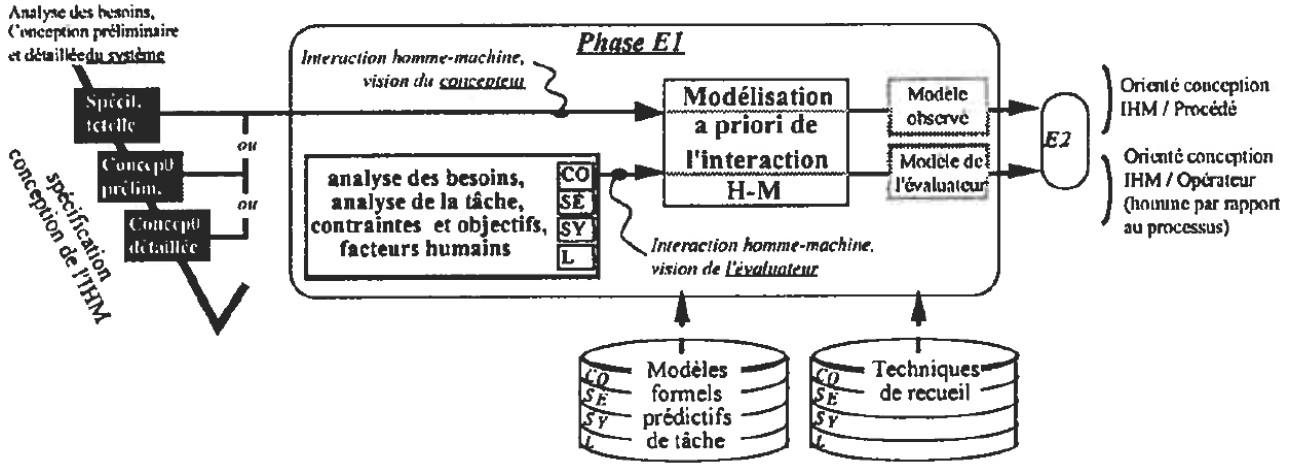

Figure 8. *Phase E1, Modélisation a priori de l'interaction homme-machine*

E1 englobe donc la réalisation des deux descriptions de l'interaction homme-machine. D'un côté l'équipe d'évaluation dispose d'une description de ce que sera l'interaction vue par les concepteurs, à partir des informations fournies par l'étape en cours ; de l'autre, l'équipe réalise une analyse *a priori* de l'interaction homme-machine en prenant explicitement en compte l'homme. En effet, il existe différents points de vue de l'interface en fonction des intervenants sur le système et de leurs connaissances. Ainsi, le *modèle observé* est plus centré sur la technique et le *modèle de l'évaluateur* est plus centré sur l'homme. Bien sûr, aucun des deux n'est parfait, l'objectif est d'arriver à un compromis pour développer une interface adaptée aux tâches à réaliser.

Notons que pour la réalisation des tâches, l'équipe d'évaluation peut être confrontée à deux cas de figures :

- Les concepteurs effectuent une analyse de tâche suivie d'une modélisation ; le modèle OBS correspondra à cette description de la tâche de l'opérateur (c'est la cas le moins fréquent dans l'industrie).
- Les concepteurs n'ont pas effectué d'analyse de tâche ; l'équipe d'évaluation doit remédier à ce manque en effectuant une analyse de tâche à l'aide des informations disponibles et donc construire OBS (en plus de EVAL) ; c'est le cas le plus fréquent, et c'est justement celui qui est traité comme exemple d'application de la démarche dans la partie 3.

2.2.1. *Construction du modèle observé*

Lors du développement d'applications interactives, une analyse de l'interaction homme-machine doit être réalisée par le concepteur. Par exemple, lors de l'étape de spécification fonctionnelle, l'objectif de l'équipe de conception est de répondre à la question "Quelles fonctions doit assurer l'interface ?", et ce, à partir des besoins exprimés (analyse des besoins). L'activité de développement à ce niveau consiste donc à formaliser les besoins exprimés dans un document de spécification fonctionnelle.

Le premier objectif de la phase E1 est de modéliser *a priori* l'interaction homme-machine à partir des informations issues de l'analyse effectuée lors de l'étape en cours, pour aboutir au *modèle observé*. Ces informations sont souvent orientées procédé car le concepteur est dépendant de la méthode d'analyse employée : influence de la structuration de la démarche, de son intuition des besoins et des capacités de l'utilisateur. De ce fait, l'analyse de la tâche par l'expert du procédé technologique n'est pas forcément en accord avec les concepts de l'utilisateur (l'ingénieur atomicien ne verra pas la chaufferie nucléaire comme l'opérateur de conduite).

C'est pourquoi pour chaque étape du développement, l'évaluateur doit adopter une démarche orientée homme (Cf. l'approche "user centred design" préconisée par Norman [NOR 1986]).

---

3 Nous employons les termes *concepteur* et *évaluateur* pour désigner l'équipe de conception et l'équipe d'évaluation (en rapport avec les utilisateurs si ceux-ci existent), tous deux ayant des éléments communs et faisant partie de l'équipe de développement.

Une version de cet article a été publiée dans : *Journal Européen des Systèmes Automatisés (RAIRO-APII-JESA)*, 31 (7), pp. 1111-1154, 1997.

2.2.2. *Construction du modèle de l'évaluateur*

Le modèle de l'évaluateur, point clé de l'évaluation, sera constitué de ce que doit respecter l'interface au niveau de développement concerné en termes de besoins de l'utilisateur pour réaliser sa tâche. Pour guider la construction de ce modèle nous proposons d'analyser le cahier des charges du système en termes de besoins, contraintes et objectifs pour la réalisation de la tâche de l'opérateur. Cette analyse *a priori* de l'interaction constitue le deuxième objectif de la phase E1 : la description du *modèle de l'évaluateur.*

L'analyse de l'interaction homme-machine, nécessite de s'intéresser à la tâche de l'utilisateur qui est définie comme : "un objectif à atteindre par l'utilisateur à l'aide du système interactif" [NOR 1992]. Une arborescence en buts et sous-buts doit être utilisée pour construire une description concise de la structure de la tâche du point de vue de l'utilisateur [KIE 1985]. Ce découpage présente un caractère plus constant que les résultats obtenus par d'autres méthodes qui peuvent subir des changements au gré des personnes ou des machines. C'est pourquoi il nous paraît nécessaire d'utiliser les modèles formels prédictifs pour décrire cette interaction.

2.2.3. *Positionnement des modèles formels prédictifs*

Ces modèles peuvent être utilisés à plusieurs niveaux du développement pour la modélisation *a priori*, selon leurs spécificités. A chaque étape du développement, ils peuvent permettre de modéliser l'interaction homme-machine.

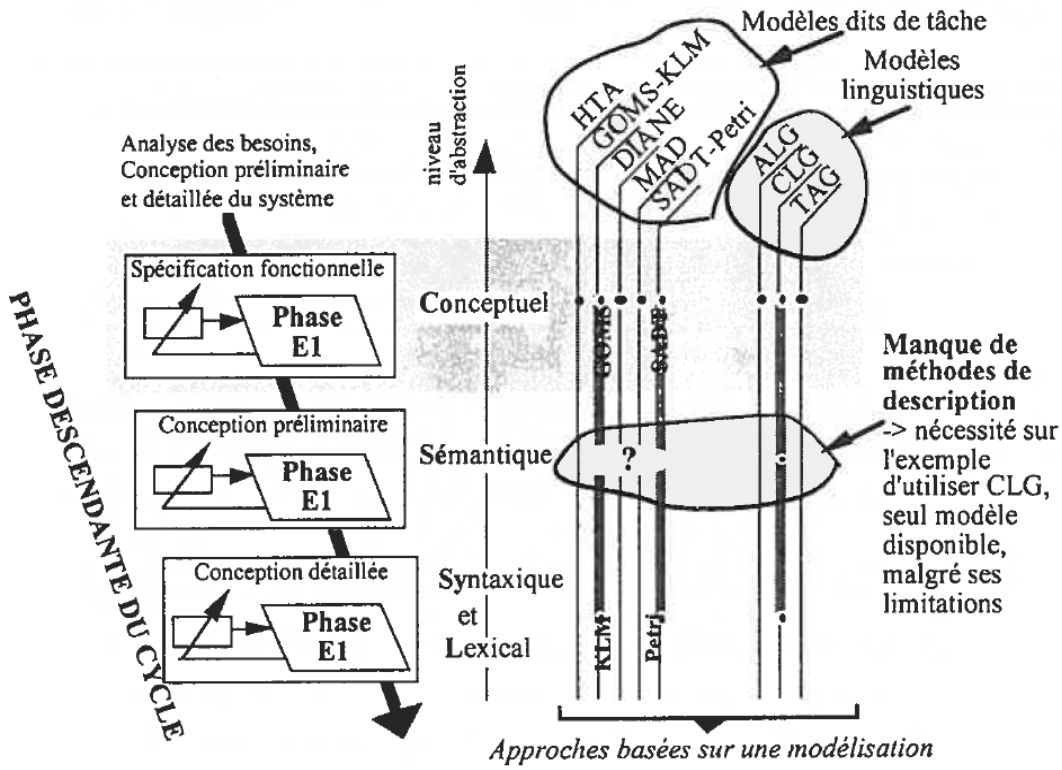

Figure 9. *Positionnement des modèles formels prédictifs utilisables pour l'évaluation a priori*[4]

Pour choisir la méthode adaptée au niveau considéré, nous avons positionné les modèles formels prédictifs par rapport à différents niveaux d'abstraction. Cette classification les met aussi en rapport avec les couches du cycle de développement en V. La figure 9 présente cette première localisation, des techniques d'évaluation (de type modèles formels prédictifs) utilisables. Bien entendu, notre souci n'est pas ici de présenter en détail chaque méthode (le lecteur intéressé se référera à ce sujet à [GRI 1996]) ; par contre, il sera utile de voir la mise en œuvre qui en a été faite pour l'application présentée dans la partie 3. En résumé, on se rend compte que les modèles dits de tâche et linguistiques peuvent contribuer à l'évaluation *a priori* de l'interface avant toute réalisation effective ; nous le constaterons d'ailleurs dans l'exemple fourni.

Bien entendu, d'autres méthodes d'évaluation existent (cf. [GRI 1996] [KOL 1997]). Cependant, certaines approches

4 Le positionnement proposé est visualisé sur la figure qui indique que la méthode nous paraît adaptée au niveau considéré. Notons que cette localisation des techniques peut être moins « binaire » et plus modulée dans les divers niveaux.

centrées sur les utilisateurs (comme les arbres de causes, les incidents critiques ou encore l'analyse des tactiques visuelles) nécessitent déjà une expérience d'utilisation par exemple sur un système de référence, ce qui n'est pas toujours possible. De même, le prototypage, les groupes de discussion intégrant des utilisateurs, l'utilisation de grilles d'évaluation, ainsi que l'intervention d'un spécialiste des facteurs humains, nécessitent l'existence d'une ou de plusieurs versions de l'IHM. C'est pourquoi nous nous intéressons essentiellement aux modèles de tâche et linguistiques, permettant une évaluation de l'IHM avant toute réalisation.

2.3. *Phase E2 : Évaluation a priori de l'utilité de l'interface*

La phase E2 concerne l'évaluation de l'utilité de l'interface à partir des modèles de description de l'interaction homme-machine issus de la phase précédente (modèle observé et modèle de l'évaluateur). C'est lors de cette phase que nous cherchons à appliquer le principe énoncé par Senach [SEN 1990] : « *Toute évaluation consiste à comparer un modèle de l'objet évalué à un modèle de référence permettant d'établir des conclusions* ». Selon les hypothèses de notre démarche, ces modèles doivent être à l'image de l'interaction homme-machine du produit final, leur analyse doit permettre d'estimer l'utilité (phase E2) puis la difficulté d'utilisation de l'interface, l'utilisabilité (phase E3, nous y viendrons au paragraphe suivant).

Comme la démarche est appliquée de façon chronologique tout au long du cycle de développement, celle-ci s'intéresse successivement aux différentes étapes descendantes de spécification-conception et donc aux quatre niveaux de description de l'interaction homme-machine (conceptuel, sémantique, syntaxique et lexical) identifiés comme des couches d'abstraction. La figure 10 présente le principe de la phase E2 : le modèle observé obtenu, lors de la phase E1, doit être comparé au modèle de l'évaluateur pour évaluer l'utilité de l'interface et construire le modèle de l'interaction homme-machine. L'analyse des résultats de cette comparaison doit permettre ensuite d'ajuster les éléments issus du modèle observé et de celui de l'évaluateur.

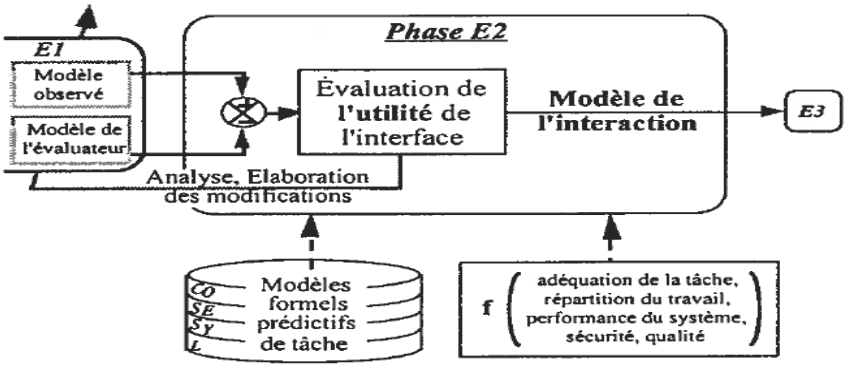

Figure 10. *Phase E2, Évaluation a priori de l'utilité de l'interface*

Lors de cette phase, l'évaluation consiste à vérifier si ce qui a été spécifié ou conçu correspond bien à ce qui a été demandé, notamment en ce qui concerne la propriété d'utilité. Rappelons que l'utilité concerne la prise en compte de la capacité fonctionnelle de la future interface à permettre à l'utilisateur d'atteindre ses objectifs, en termes d'adéquation à la tâche, de répartition du travail, de performance, de sécurité et de qualité. L'évaluer consiste à observer l'adéquation à la tâche et la répartition du travail, c'est-à-dire à vérifier si les procédures de l'utilisateur sont similaires à celles qui seront développées (comparaison de la tâche prescrite à la tâche réelle).

Cette phase constitue en fait une validation (au sens de Boehm [BOE 1988]), dans la mesure où nous proposons une méthode, basée sur des ajustements des modèles OBS et EVAL, pour valider l'interaction homme-machine à chaque niveau du développement.

2.4. *Phase E3 : Évaluation de l'utilisabilité de l'interface*

Évaluer l'utilisabilité de l'interface avant qu'elle ne soit réalisée doit permettre de vérifier si les solutions envisagées sont en accord avec les critères ergonomiques préconisées dans les classifications les plus connues (voir à ce sujet un résumé de celle issue de l'INRIA [BAS 1993] et largement reconnue dans la communauté scientifique francophone, dont nous nous sommes inspirée, en annexe). S'il y a désaccord vis-à-vis des critères préconisés, on peut s'attendre à ce

que l'interface qui sera conçue engendre inévitablement des erreurs ou des problèmes pour l'utilisateur. Il vaut mieux dans ce cas modifier ou adapter le plus rapidement possible les choix de spécification ou de conception. C'est l'objet de l'ajustement réalisé par la phase E3 (figure 11).

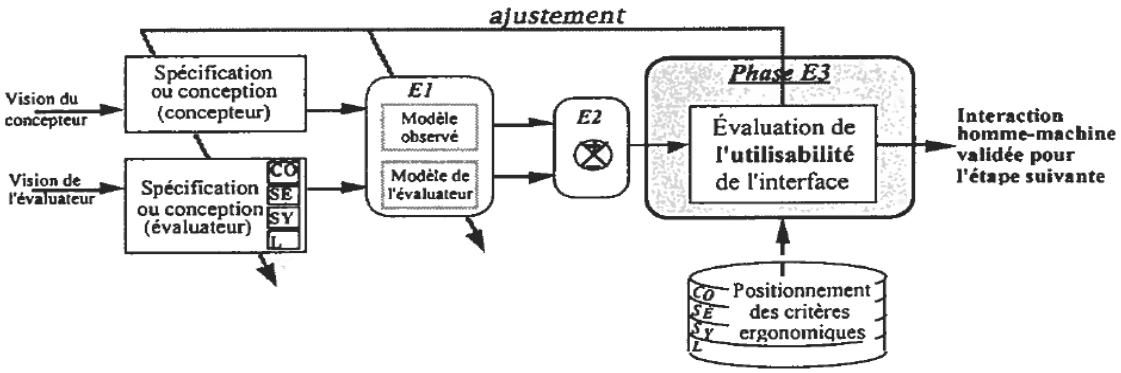

Figure 11. *Phase E3, Évaluation a priori de l'utilisabilité de l'interface*

Les spécifications ergonomiques (liées aux critères utilisés) recensées dans la littérature et couramment utilisées dans le domaine de la communication homme-machine [SMI 1986] [RAV 1989] [MOL 1990] [SCA 1990] [BAS 1993] [VAN 1994] sont utilisées lors de cette phase pour prédire l'utilisabilité de la future interface. Il s'agit donc de les faire « apparaître » dans le modèle de l'interaction obtenu et de les estimer. Ceux-ci concernent divers aspects de l'interface à des niveaux d'abstraction différents (par exemple, l'organisation en tâches de l'IHM ne se situe pas au même niveau que le choix de la couleur d'un composant d'une vue). C'est pourquoi nous proposons un premier positionnement des critères ergonomiques par rapport aux niveaux d'abstraction du développement.

La figure 12 illustre la localisation des critères ergonomiques selon les étapes de développement du cycle de vie en V d'une IHM. Le principe du classement a été de différencier les notions prises en compte dans la définition de chaque critère [GRI 1993], puis suivant le niveau d'abstraction de ces notions.

Les critères concernent l'interface à différents niveaux d'abstraction ; ils ne sont pas à prendre en compte dans une même étape du cycle de développement. Par exemple, lors des spécifications fonctionnelles, les jugements portent davantage sur l'organisation et les fonctionnalités de l'interface que sur la police de caractère d'un message d'alarme (qui ne sont d'ailleurs le plus souvent pas encore définies). De plus, lorsqu'un critère est concerné par un niveau d'abstraction, il continue à l'être dans les niveaux inférieurs. En effet un critère peut avoir une définition trop générale, et donc être pris en compte à plusieurs étapes, pour des raisons différentes. Par exemple, la flexibilité de l'interface qui concerne les moyens mis à la disposition des utilisateurs pour personnaliser l'interface, correspond :

- au nombre de façons différentes pour atteindre un objectif donné, au niveau COnceptuel,
- aux différentes possibilités d'action sur les composants du système, au niveau SÉmantique,
- aux variations offertes par l'interface dans la structure du dialogue de commande, et possibilités d'actions physiques, aux niveaux SYntaxique et Lexical.

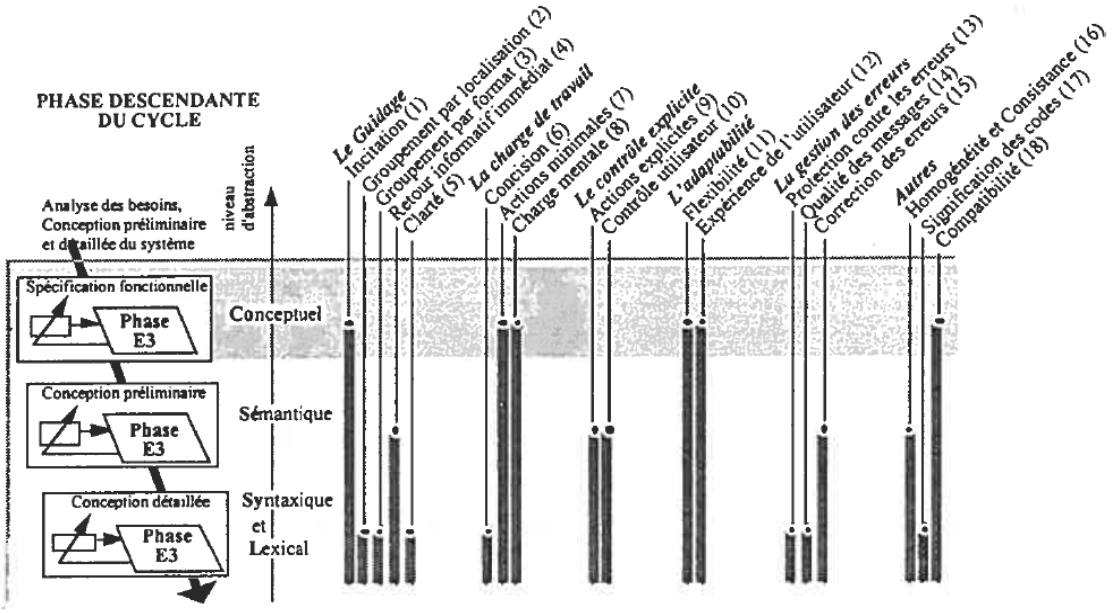

Figure 12. *Les critères ergonomiques d'évaluation dans le canevas* COSÉSYL, *pour l'évaluation a priori (première proposition)*

Les motivations de ce positionnement sont diverses. En premier lieu, il s'agit d'aider l'équipe de développement dans le choix des critères d'évaluation adaptés à l'étape en cours. Les recommandations ergonomiques doivent faciliter la « notation » de l'interface selon différents niveaux d'abstraction. En effet, l'aide, l'organisation des menus, la charge de travail, les affichages, la qualité de messages, etc., ne sont pas à prendre en compte dans une même étape du cycle de développement. En second lieu, il se peut qu'un critère ergonomique intervienne de manière différente à plusieurs étapes de conception.

Ainsi, après avoir modélisé l'interaction homme-machine dans la phase E2, l'évaluation sera effectuée à partir des critères ergonomiques. Les différents critères étant localisés tout au long du cycle de développement, l'équipe d'évaluation doit pouvoir, en se basant sur le modèle de l'interaction (issu de la comparaison des modèles observés et de l'évaluateur), évaluer l'interface en estimant tous les critères pris en considération au sein de l'étape en cours.

3. Mise en œuvre de la démarche d'évaluation *a priori*

Cette première mise en œuvre de la démarche concerne l'évaluation d'une interface de supervision d'un procédé industriel. Le développement de celle-ci est fondé sur le cycle en V et a abouti à une première version papier de l'IHM. Nous verrons par la suite que certains modèles analytiques sont donc utilisés concrètement pour décrire l'interaction homme-machine, dans un but d'évaluation *a priori*.

3.1. *Modalités de mise en œuvre de la démarche*

Le système à évaluer est une interface de supervision d'une usine de fabrication de mélange (figure 13). La supervision consiste principalement à contrôler et à commander treize stations comportant un ensemble d'éléments couramment rencontrés en situation réelle (convoyeurs, moteurs, vannes, containers, actionneurs, capteurs…).

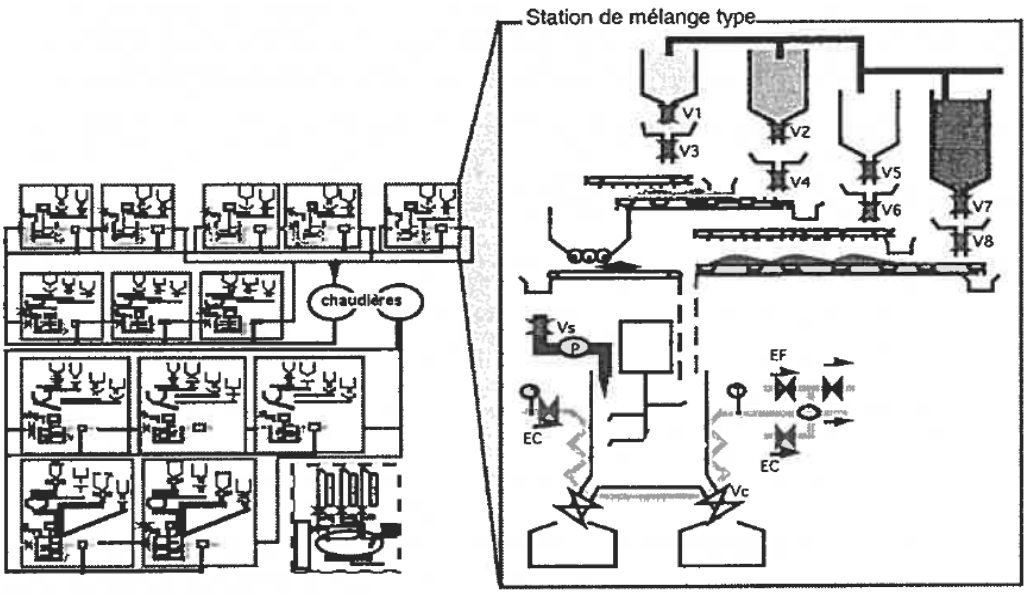

Figure 13. *Vue globale des 13 stations de mélange, schéma d'une station de mélange type*

Ce procédé est fictif et a été défini au LAMIH dans le but de tester la démarche, dans le cadre d'un projet de laboratoire [JOU 1994]. Le système de fabrication est en fait similaire à une station de mélange de sables pour la fabrication du verre d'une entreprise de la région.

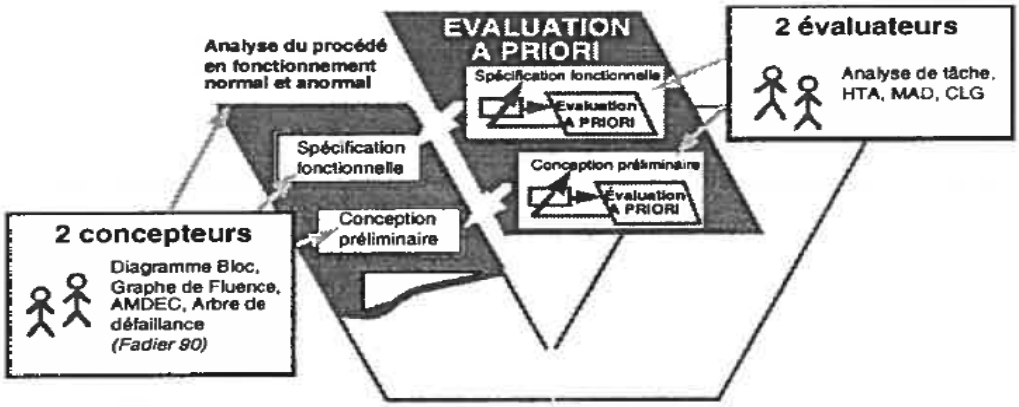

Figure 14. *Evaluation pendant les étapes de spécification et conception de l'IHM*

L'objectif du projet consistait pour deux concepteurs, à analyser le fonctionnement du système homme-machine pour aboutir à une maquette de l'interface de supervision utilisée par un opérateur seul dans une salle de contrôle. La démarche de développement suivie respecte celle préconisée par le cycle en V (figure 14).

L'équipe de conception était composée de deux étudiants de niveau ingénieur-maître, l'un d'eux considéré comme débutant —bien que déjà sensibilisé à l'importance des facteurs humains— et l'autre ayant déjà conçu des synoptiques dans le cadre d'un stage industriel.

L'équipe d'évaluation était composée de deux chercheurs en communication homme-machine : l'un informaticien très sensibilisé aux méthodes d'évaluation des IHM dans le cadre de son DEA, et l'autre, automaticien travaillant sur l'évaluation des IHM depuis plusieurs années (évaluation de la charge de travail du conducteur automobile [RIE 1994], analyse de l'activité des opérateurs de conduite de réacteur nucléaire [GRI 1992], étude des méthodes et techniques d'évaluation [GRI 1993] [GRI 1996]). Cette équipe a effectué une analyse de la tâche exclusivement à partir des

données fournies par les concepteurs en fonction de l'étape en cours (accès aux documents et rapports des concepteurs, et mises au point lors de réunions périodiques). Les modèles HTA, MAD et CLG ont été utilisés pour décrire l'interaction homme-machine.

Cette « simulation » du développement de l'IHM de supervision s'est déroulée au LAMIH sur une période de cinq mois.

La démarche d'évaluation a priori a été appliquée étape par étape parallèlement au développement. Nous l'avons tout d'abord utilisée pour évaluer les *spécifications fonctionnelles*, puis lors de l'étape de *conception préliminaire* pour évaluer les éléments de l'interface (fig. 6). La démarche d'évaluation n'a pas été appliquée lors de l'étape de conception détaillée car on se rapproche d'un prototype de l'interface, son évaluation peut donc être prise en compte dans une démarche classique de prototypage ; domaine pour lequel beaucoup de travaux ont déjà été réalisés (Cf. [TUL 1988], [KOL 1991], [WIL 1990], [MIL 1991], [ROW 1994], [VIL 1994], etc).

3.2. *Évaluation lors de l'étape de spécification fonctionnelle*

Lors de l'étape de spécification fonctionnelle, l'IHM n'est pas encore réalisée (en termes d'images et d'interaction). Les informations disponibles pour l'évaluation sont uniquement celles issues des analyses menées par les concepteurs en amont (analyse du fonctionnement normal et anormal, définition des besoins), et les spécifications concernent l'interaction homme-machine générée à cette étape.

3.2.1. Déroulement de la phase E1 pour l'IHM spécifiée

La **phase E1** consiste à modéliser ce que sera l'interaction homme-machine en termes de tâches spécifiées lors de l'étape de spécification fonctionnelle (fig. 15): c'est le niveau conceptuel au sens de COSESYL qui est mis à contribution. Cette phase a pour but la construction d'un modèle orienté procédé (modèle observé) et d'un autre orienté homme (modèle de l'évaluateur).

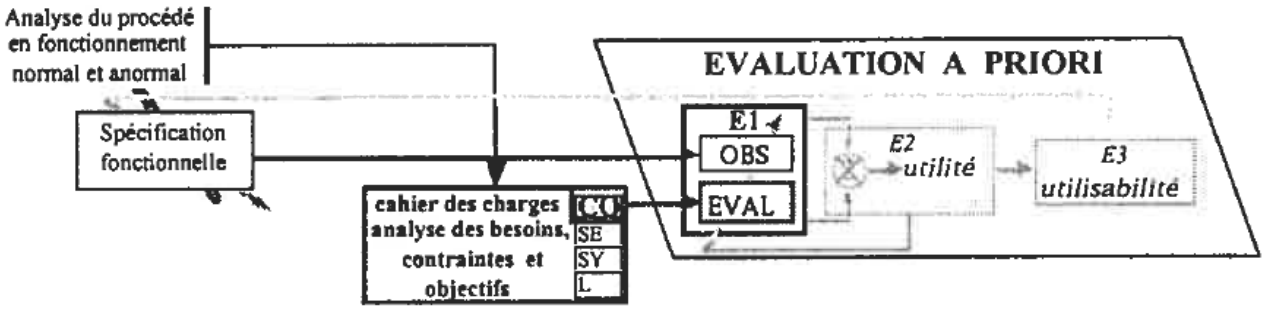

Figure 15. *Phase E1, Modélisation a priori de l'interaction homme-machine*

Le modèle OBS est construit à partir des spécifications fonctionnelles, il a été réalisé par les évaluateurs en collaboration avec les concepteurs car ceux-ci n'avaient pas effectué d'analyse orientée tâche (cf. 2.2).

Le modèle ÉVAL est construit par l'équipe d'évaluation à partir des analyses du cahier des charges, des besoins, des contraintes et des objectifs du futur système.

Ces premières modélisations sont en fait principalement consacrées à la tâche(niveau conceptuel). En effet, c'est au niveau conceptuel qu'est déterminée la structure des tâches que l'utilisateur devra effectuer à l'aide de l'IHM.

Nous proposons d'utiliser les modèles formels prédictifs pour décrire la tâche de l'opérateur (cf. figure 9 : positionnement des techniques/cycle en V).

Dans un but d'illustration, nous détaillons un exemple d'utilisation du modèle hiérarchique de tâche HTA [DUN 1981] [STA 1990] [SHE 1993], pour construire le *modèle OBServé* d'une part (figure 17a), et le *modèle de l'ÉVALuateur* d'autre part (figure 17b), obtenus à partir des spécifications fonctionnelles. HTA est une méthode de description par décomposition hiérarchique de la tâche globale en sous-tâches élémentaires pour mettre en évidence les compétences et informations nécessaires à l'utilisateur pour chaque but ou sous-but, compte tenu de la structure du système. Considéré comme l'ancêtre des modèles de tâche, HTA a été utilisé dans l'industrie pour la formation des utilisateurs, mais aussi comme moyen d'analyse de la fiabilité humaine pour un ensemble de tâches à réaliser. Notons que nous aurions pu illustrer cet exemple avec GOMS, DIANE, MAD, SADT-Petri ou encore une autre méthode ; mais HTA nous parait être le plus simple et le

plus pédagogique pour montrer la mise en œuvre de la démarche d'évaluation.

Construction du modèle OBS

Pour construire cette arborescence, les informations collectées sont celles utilisées pendant l'analyse et proviennent de différentes sources. Dans notre cas, ces données sur la tâche de l'opérateur sont principalement issues de l'analyse du fonctionnement du procédé. Cette analyse est issue d'une description à l'aide de quatre méthodes préconisées et détaillées par Fadier [FAD 1990] : *les diagrammes blocs* et l*es graphes de fluence*, puis *l'Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets (AMDE)* et *les arbres de défaillances* (exemple en figure 16). Cette analyse a été réalisée par les concepteurs et a contribué à la définition des besoins vis-à-vis de l'interface, selon leur point de vue.

Les quatre méthodes d'analyse proposées permettent l'étude des différents modes de fonctionnement du procédé : respectivement en fonctionnement normal pour les deux premières, puis anormal pour les suivantes [VIL 1988] [FAD 1990] :

1. *Les Diagrammes blocs* consistent à décrire le système sous la forme de "boîtes" interconnectées avec différents niveaux de détails, ceci par affinements successifs jusqu'aux composants élémentaires. Les blocs ainsi constitués représentent les éléments ; les liens matérialisés par des flèches représentent les flux (énergie, matière, information).

2. *Les Graphes de fluence* consistent à représenter un graphe du système à partir des interactions entre variables. Celles ayant plusieurs entrées et sorties sont considérées comme des variables clés du système. La mise en œuvre de la méthode commence par la détermination des variables principales du système, puis la constitution d'un tableau regroupant toutes ces variables et leurs interactions. Le tableau est ensuite transcrit sous forme d'un graphe qui sera analysé.

3. *L'Analyse des Modes de Défaillances et de leurs Effets* consiste à construire de manière inductive, un tableau regroupant tous les éléments du système. A partir de chaque élément, on détermine toutes les défaillances possibles et on induit les conséquences sur le fonctionnement du système et la sécurité, en local et sur le système complet. On reporte également sur le tableau les différentes solutions envisagées pour pallier ces défaillances.

4. *Les Arbres de Défaillances* consistent à construire un arbre de manière déductive, avec comme racines les événements redoutés et comme feuilles les causes élémentaires. Chaque cause peut elle-même être décomposée en causes de niveau inférieur. La jonction entre les éléments se fait par des portes logiques (ET, OU).

Ces méthodes ont permis aux concepteurs de décrire le système, de comprendre son fonctionnement normal et dégradé, de le modéliser, et de connaître ainsi les liaisons fonctionnelles entre les différentes variables. Par exemple, les graphes de fluence permettent de faire des regroupements, de détecter les variables clés et leurs interactions. Notons toutefois que la complexité des graphes obtenus rend difficile leur exploitation. Les diagrammes blocs ont permis d'avoir une vision globale du procédé en fonctionnement et représentent le schéma fonctionnel qu'auront les opérateurs lors de la supervision.

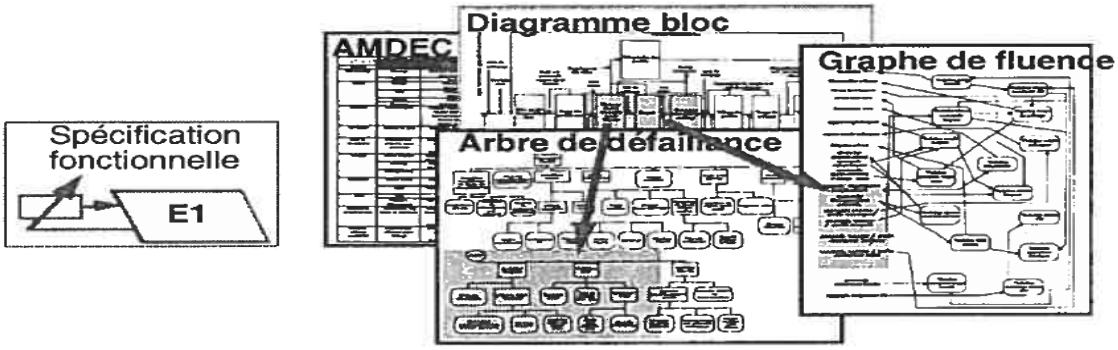

Figure 16. *Exemple de documents utilisés par l'équipe d'évaluation*

Le diagramme de tâche, réalisé ensuite avec HTA dans le cadre du premier objectif de la phase E1, va permettre de structurer la connaissance utilisée en conception à partir des spécifications, sans nécessité de mesure directe généralement obtenue par une évaluation empirique. Mais seules les actions opérateurs sont représentées ; les procédures de résolution des problèmes ne sont pas décrites. Malgré cette lacune, cette modélisation des tâches humaines est particulièrement importante dans la mesure où elle facilite la communication entre les intervenants de

l'équipe de développement, et met en évidence les besoins informationnels de l'opérateur. La démarche suivie pour l'analyse et la construction de l'arbre hiérarchique des tâches de supervision est la suivante (inspirée de celle utilisée par Stammers *et al.* [STA 1990]) :

1. Les tâches buts de l'opérateur de supervision sont énumérées.
2. Une tâche but est choisie et dénommée par un verbe. Elle est décrite ensuite en une série d'opérations plus détaillées, avec des constituants et un ordre de réalisation.
3. Chaque opération est redécrite progressivement, jusqu'à un niveau de réalisation de sous-tâches explicites qui ne méritent plus d'être détaillées.
4. Puis, on retourne à l'étape 2 pour décrire la tâche suivante, jusqu'à ce que toutes les tâches énumérées en 1 soient décrites.

Par exemple, dans notre cas les tâches buts de l'opérateur de supervision sont (figure 17a) : superviser la fabrication de produit dans chacune des cellules, contrôler que les cuves de mélange soient à la bonne température, la commander si nécessaire, configurer le calculateur avec les gammes de fabrication (ou recettes) des produits et anticiper sur l'évolution du système et sur les dysfonctionnements. Sur la figure 17a, la première tâche but a été dénommée "surveiller la cellule 1" (C1), décomposée en neuf sous-tâches plus détaillées, avec un ordre de réalisation correspondant au plan 1. Chaque sous-tâche est redécrite ensuite de la même manière jusqu'au niveau élémentaire.

Construction du modèle ÉVAL

Après avoir observé et décrit les spécifications fonctionnelles proposées par les concepteurs, l'évaluateur s'intéresse maintenant à ce qui avait été effectivement demandé au début du développement. C'est la construction du modèle de l'évaluateur.

Lors de l'étape de spécification fonctionnelle de l'interface, l'évaluation consiste à vérifier si l'IHM spécifiée permet bien de réaliser les tâches préconisées par l'analyse du fonctionnement du procédé et la définition des besoins. Pour cela, l'évaluateur s'est reporté au cahier des charges, et a analysé ce qui a été demandé par l'initiateur du projet, concernant la tâche de l'opérateur de supervision. Ce travail doit en principe être effectué en étroite collaboration avec le futur utilisateur de l'interface (s'il existe) ou celui d'une interface voisine. Dans le cas du projet décrit, l'opérateur de supervision doit saisir les recettes des mélanges à fabriquer pour configurer le calculateur, gérer la communication avec les services amont et aval mais surtout avec la manutention, superviser les 13 cellules de mélange, la cellule de solvant (CS) et la température de chaque cuve de mélangeur. Pendant la fabrication ou en cas de problème, c'est lui qui agit sur les paramètres du processus et décide des interventions nécessaires (équipe de manutention ou de maintenance). De plus, l'interface doit permettre à l'opérateur d'anticiper au maximum.

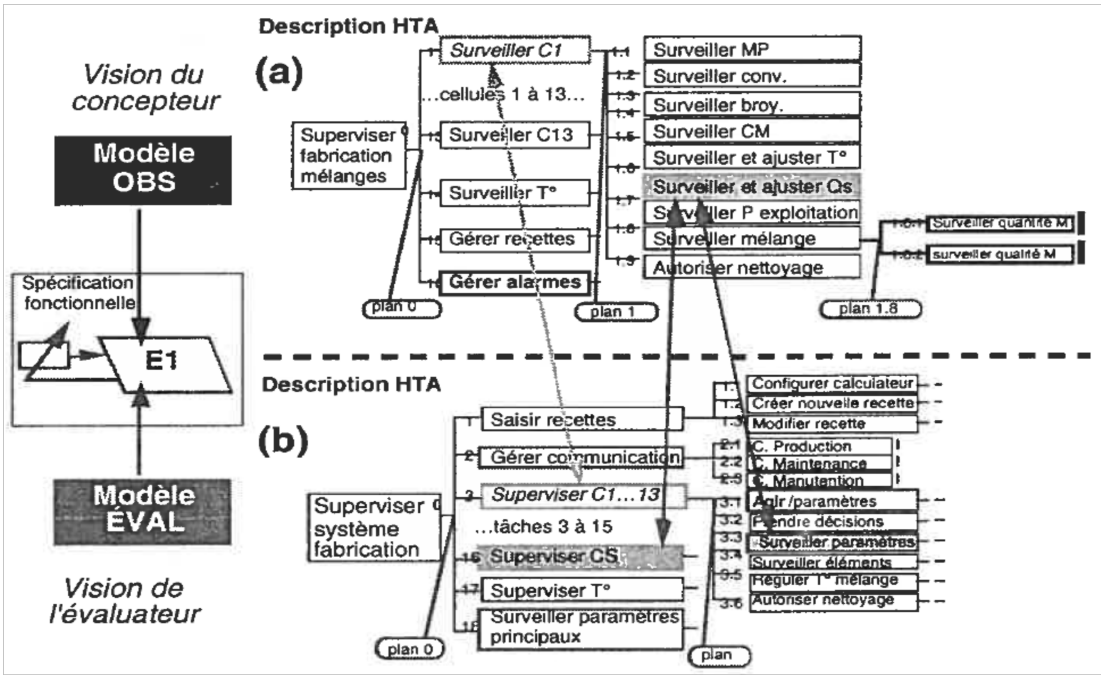

Figure 17. *(a) Modèle OBServé et (b) modèle ÉVALuateur obtenus lors de l'étape de spécification fonctionnelle*

La description ÉVAL doit être effectuée dans un formalisme permettant sa comparaison avec le modèle OBS, ici une hiérarchie HTA de tâches, figure 17b. La démarche pour aboutir à cette description est la même que celle décrite précédemment.

Après avoir décrit les spécifications de l'interaction homme-machine, sous la forme des modèles OBS et ÉVAL, l'évaluation *a priori* de *l'utilité de l'interface* devient possible dans la phase E2.

3.2.2. Déroulement de la phase E2 pour l'IHM spécifiée

La comparaison des deux descriptions est effectuée par les évaluateurs, en mettant en rapport les tâches énumérées dans chacune des descriptions. Celles-ci doivent de plus être prises en compte à un même niveau de décomposition (figure 18). En fait, il faut vérifier que tous les besoins ont bien été pris en compte ou que leur interprétation est en accord avec la tâche globale ou les sous-tâches de l'opérateur de supervision. En cas de mauvaise description, l'interface qui en sera issue risque de ne plus correspondre à ce qui a été demandé.

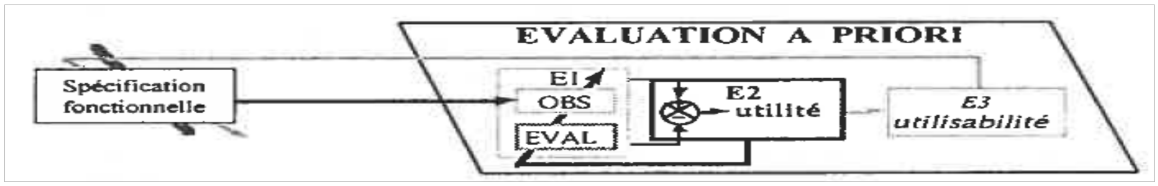

Figure 18. *Phase E2*

Pour chaque tâche du modèle de l'évaluateur ($Téval_i$), on recherche celle correspondante dans le modèle observé ($Tobs_i$). Si elle n'existe pas, c'est que cette tâche n'a pas été prise en compte et constitue une erreur de spécification. Il est toutefois possible qu'une tâche $Tobs_i$ soit divisée en plusieurs tâches ($Téval_{j1}$, $Téval_{j2}$, $Téval_{j3}$) dans le modèle ÉVAL, ou inversement que $Téval_i$ corresponde à ($Tobs_{j1}$, $Tobs_{j2}$, …, $Tobs_{jn}$). Dans ce cas, la tâche sera effectivement prise en compte dans l'interaction mais il faut vérifier que la décomposition soit toujours en accord avec la réalisation de la tâche préconisée lors de la définition des besoins. Lorsque la tâche $Tobs_i$ est décrite dans le modèle OBS, son niveau dans l'arborescence doit être identique à celle de $Téval_i$ du modèle ÉVAL. Si le niveau est différent, cet état de fait doit

être justifié. Il faut aussi vérifier les tâches mères et sœurs en prenant en compte leurs liens et surtout leur planification. C'est pourquoi le plan associé à chaque division est intéressant pour préciser l'ordonnancement des tâches.

Concernant les spécifications de l'interface du procédé de mélange, les points énumérés ci-dessous présentent quelques-unes des remarques issues de la comparaison des deux descriptions proposées (cf. figure 17, qui met OBS et ÉVAL en vis-à-vis) :

- Tous les besoins préconisés dans le modèle ÉVAL apparaissent dans la description a priori OBS. Cela laisse présager une bonne prise en compte des besoins utilisateur (en considérant que l'analyse des tâches a été bien effectuée).
- Les tâches de supervision des paramètres des cellules de mélange apparaissent au niveau 2 de la description OBS (Tobs1.5 et Tobs1.7). Elles sont pourtant primordiales pour l'anticipation de l'évolution du processus ; c'est pourquoi la modélisation ÉVAL les a prises en compte très tôt (Tobs18). La profondeur à laquelle se trouvent les tâches et surtout la comparaison avec ce qui été préconisé met à jour l'importance accordée aux différentes activités de supervision. Il semble en effet que plus une opération se trouve bas dans l'arborescence, plus elle devient spécifique et donc moins globale.
- Lors de la définition des besoins, il a été demandé de prévoir une interface qui permette d'anticiper au maximum. C'est pourquoi, une tâche de gestion des alarmes apparaît au second niveau de la description OBS (Tobs16). Dans le modèle ÉVAL, cette tâche n'est pas présente de façon explicite pour éviter une conduite dite "sous alarme". L'anticipation est rendue possible par la présentation au premier niveau des principaux paramètres pertinents de chaque cellule (Téval18). Notons que la définition et le mode de présentation de ces paramètres permettant l'anticipation ne sont pas donnés.
- La tâche de communication avec la manutention n'est pas prise en compte dans la description *a priori* OBS. Pourtant elle a été préconisée comme faisant partie de l'interaction homme-machine (Téval2) puisque l'opérateur de supervision doit dans certain cas prendre contact avec des intervenants sur le terrain pour obtenir des informations non instrumentées sur le procédé (par exemple le niveau de remplissage des trémies).
- En ce qui concerne le solvant, liant important dans la composition du produit, nous constatons que celui-ci n'est surveillé qu'au sein de la supervision des cellules de mélange (Tobs1.6). Une tâche de haut niveau pour superviser la cellule solvant doit être ajoutée, en effet le solvant est un élément qui intervient dans tout le processus de fabrication, un arrêt de sa distribution engendrerait inévitablement un arrêt de la production. C'est pourquoi l'évaluateur a préconisé la tâche Téval$_{16}$.

La phase E2 constitue donc une vérification des propositions des concepteurs lors de l'étape de spécification. La synthèse des deux modèles conduit en quelque sorte à effectuer une conception orientée homme. A l'issue de la phase d'évaluation, on obtient un *modèle a priori de l'interaction homme-machine* au niveau conceptuel, qui devra être utilisé pour la suite (figure 19). Les améliorations suite à l'analyse de la phase E2 sont annotées sur la figure.

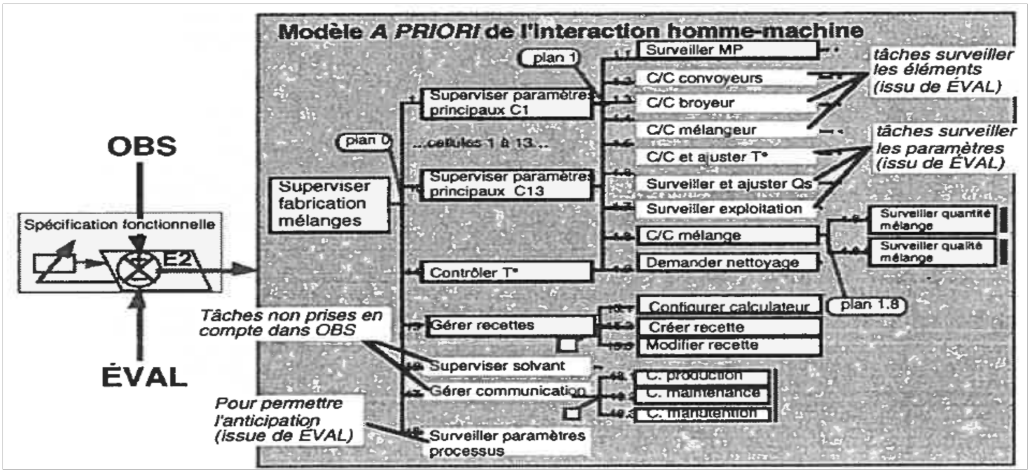

Figure 19. *Modèle a priori de l'interaction homme-machine, au niveau conceptuel (synthèse et compromis des modèles ÉVAL et OBS)*

L'analyse de la tâche et la comparaison des deux descriptions par ce premier "filtre d'évaluation" E2 permet de concevoir des systèmes à partir des fonctions définies lors de l'identification du besoin et non à partir du matériel existant. Elle permet également de prendre en considération les exigences de l'opérateur humain impliqué dans le système, et aboutit à l'établissement des schémas de structure du système. Au niveau conceptuel, on parlera de tâches réalisées par l'opérateur lors de l'interaction avec la machine. A ce modèle *a priori* de l'interaction, sera ajoutée une description des tâches, de leurs attributs et de leurs relations (illustrée par la figure 20 pour T_1 : "surveiller les paramètres principaux de la cellule 1" et T_{15} : "gérer les recettes".

Chaque tâche doit comporter des informations et des indices qui seront ensuite utilisés lors de la phase suivante d'évaluation. Le nom, le numéro d'ordre, le type de tâche, le niveau ou la profondeur dans l'arborescence, le nombre de tâches de même niveau (parmi), l'indice de la tâche immédiatement supérieure (parent) sont autant de données nécessaires pour identifier chaque tâche et la localiser dans l'arborescence. Le but de la tâche informe sur la signification de l'objet dans l'interaction homme-machine. Les relations entre tâches, les paramètres manipulés, leurs attributs et les outils qui seront *a priori* utilisés dans l'interaction, seront utiles pour décrire la sémantique de l'interaction homme-machine. Les conditions déclenchantes correspondent à l'état du monde à satisfaire avant de commencer la tâche. Celles déclenchées représentent le monde après réalisation de la tâche (similaire aux pré-conditions et post-conditions du formalisme MAD [SCA 1989]).

Surveiller les paramètres principaux de la cellule 1 =(tâche, niveau(1), numéro(1), parmi(18), parent (tâche,0))
But: Évaluer l'état global de la cellule en contrôlant certains paramètres pertinents, afin de se rendre compte de l'état du système
Relation: surveiller entrée matières premières (T1.1), surveiller éléments cellule (T1.2, T1.3, T1.4), surveiller-ajuster paramètres température (T1.5), surveiller-ajuster débit solvant (T1.6), surveiller paramètres exploitation (T1.7), surveiller mélange sortie processus (T1.8), nettoyage cellule (T1.9), cellules adjacentes (T2...13), communication (T17.3)
Paramètres manipulés: état éléments, recette mélange
Outils utilisés pour l'interaction: écran, clavier, souris, radio téléphone
Pré-condition:
Post-condition:

Gérer les recettes =(tâche, niveau(1), numero(15), parmi(18), parent(tâche,0))
But: décrire le mode de fabrication d'un ou de différents produits
Relations: configurer calculateur (T15.1), créer nouvelle recette (T15.2), modifier recette (T15.3)
calculateur, cellules mélanges
Paramètres manipulés: n° recette, n° cellule, noms composant, noms produit, quantités...
Outils utilisés pour l'interaction: écran, clavier, souris
Pré-condition: début de poste, fonctionnement normal
Post-condition: configuration calculateur

Figure 20. *Exemple de description des tâches, de leurs attributs et leurs relations*

Lors de la démarche de développement, l'évaluation doit aussi être effectuée à l'aide de critères ergonomiques liés à l'utilisabilité du système interactif. C'est l'objet de la phase E3.

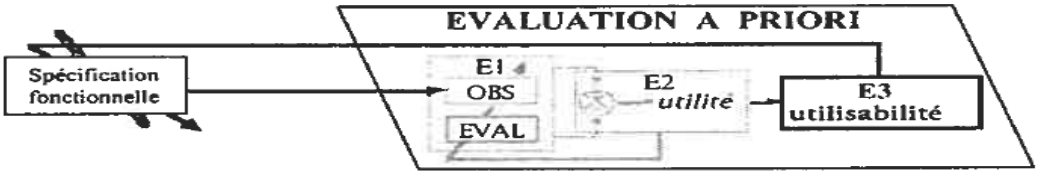

Figure 21. *Phase E3*

3.2.3. *Déroulement de la phase E3 pour l'IHM spécifiée*

Au sens de Bastien et Scapin [BAS 1993], et comme nous l'avons positionné en figure 12, les critères d'utilisabilité à évaluer lors de l'étape de spécification fonctionnelle sont *l'incitation*, les *actions minimales* et la *charge mentale*, la *flexibilité* et la *prise en compte de l'expérience de l'utilisateur* rassemblés dans l'adaptabilité de l'interface, et la *compatibilité* (voir annexe). La démarche d'estimation de chaque critère consiste tout d'abord à le mettre en évidence dans la description *a priori* puis à juger de sa prise en compte. Une recherche importante doit encore être menée dans ce domaine pour proposer des méthodes d'estimation de tous ces critères ergonomiques d'évaluation (voir quelques pistes de recherche dans [GRI 1995]). Nous travaillons actuellement sur la mise en œuvre et la validation de certaines "métriques". A titre d'exemple, nous nous intéressons ci-dessous au critère d'incitation, caractéristique du guidage dans la communication homme-machine.

La description hiérarchique des tâches et les plans de la figure 16 listent les informations *a priori* utilisées par l'opérateur lors de son interaction avec l'application : les relations entre tâches, leurs attributs et propriétés, les opérations possibles. Ces données (reprises dans la figure 17) permettent de conseiller, orienter, informer et guider l'utilisateur pour la réalisation de sa tâche ; elles sont représentatives de l'incitation. Lister et comptabiliser les éléments renseignés dans les descriptions peut contribuer à une première estimation de ce critère. Dans la proposition, chaque élément renseigné dans la description incrémente la note du critère d'incitation de la tâche (plus la note est élevée, plus l'incitation est bonne). Dans notre exemple, la tâche "gérer les recettes" (note de 10/10) est mieux renseignée que la tâche "surveiller les paramètres principaux de la cellule 1" (note de 7/10). Ce manque de précision dans les spécifications de la tâche risque de se répercuter sur l'interface, puisque les données utilisées pour construire le modèle *a priori* doivent être utilisées dans les phases suivantes de conception jusqu'à la réalisation. Ainsi il faut apporter plus de précision dans les spécifications fonctionnelles de la tâche de visualisation de la cellule de mélange ; ici l'effort doit être porté sur les pré et post-conditions.

3.2.4. *Conclusion sur l'évaluation des spécifications*

Dans notre cas d'étude, l'évaluation a été exclusivement réalisée à partir des informations issues des spécifications fonctionnelles. Un certain nombre de lacunes relatives à l'utilité et l'utilisabilité de l'interface future ont été mises à jour grâce à la démarche d'évaluation proposée. A ce stade du développement, les spécifications doivent être revues par rapport aux recommandations proposées. Si les spécifications restent inchangées, les lacunes détectées à ce niveau se répercuteront aux niveaux inférieurs. Ce travail d'évaluation est réalisé en étroite collaboration avec les intervenants dans le développement. Les recommandations qui en sont issues sont le résultat de compromis discutés par les deux équipes lors de réunions de travail.

Lors du déroulement du projet attaché à cette étude, une imagerie de supervision du procédé a été proposée dans l'étape de conception en prenant en compte les spécifications évaluées. Dans la partie suivante, nous présentons les principaux problèmes rencontrés pour décrire l'interaction à ce niveau du développement.

3.3. *Évaluation lors de l'étape de conception préliminaire*

Pour évaluer l'IHM, nous avons aussi suivi la démarche proposée, mais cette fois, c'est le niveau sémantique de l'interaction (au sens du modèle COSESYL) qui est concerné. Il s'agit donc d'évaluer l'aspect fonctionnel de l'interaction en analysant, d'une part les commandes et actions de l'utilisateur pour réaliser sa tâche, et d'autre part les retours du système.

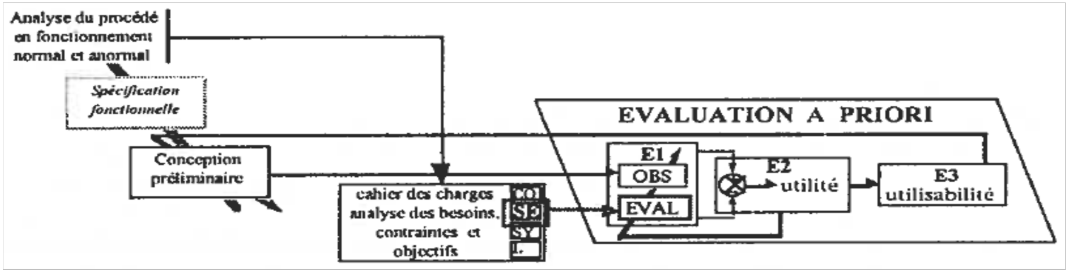

Figure 22. *Phases E1, E2 et E3 d'évaluation a priori lors de la conception préliminaire*

Selon les principes du génie logiciel, lors de l'étape de **conception préliminaire** une solution répondant le mieux possible aux besoins spécifiés lors des spécifications fonctionnelles est décrite. Cette étape consiste donc à décomposer la solution en une architecture modulaire. Dans cette architecture, chaque composant fait l'objet d'une description jusqu'à ce que les besoins identifiés soient tous pris en compte. Dans notre cas, à cette étape, l'équipe d'évaluation dispose d'une description papier des différents écrans de l'interface future donnant un aperçu des fonctions qui seront mis à la disposition des opérateurs, avec une description des enchaînements entre fonctions et/ou pages-écrans envisagés (Fig. 23). Selon les concepteurs, chaque tâche y est considérée, et l'architecture de l'interface correspond à l'ordonnancement de différents écrans

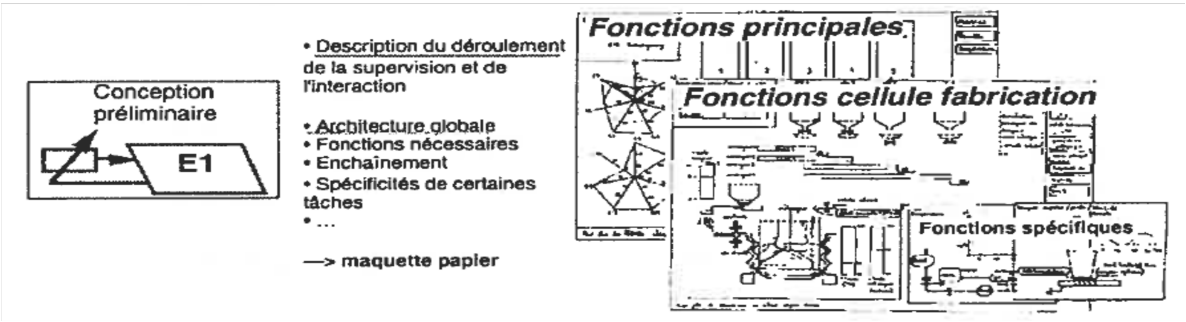

Figure 23. *Première proposition papier des fonctions de l'IHM (avec enchaînements) proposées par les concepteurs*

Notons que non seulement la sémantique de l'interaction peut être analysée, mais que l'équipe d'évaluation dispose aussi de quelques éléments correspondant aux niveaux syntaxique et lexical. En effet, lors des réunions de travail avec les concepteurs, différents aspects de la gestion du dialogue ont été abordés : enchaînements des pages écrans, rôles des boutons de commande, positionnement des items, choix graphiques, etc., qui d'après notre démarche ne sont pas encore à prendre en compte lors de notre évaluation *a priori*.

3.1.1. *Phase E1 : modélisation a priori de l'interaction homme-machine conçue*

Le formalisme CLG a été utilisé pour représenter l'interaction homme-machine aux différents niveaux d'abstraction du développement de l'IHM. CLG est un modèle linguistique qui permet de décrire la structure de l'interaction homme-machine au moyen d'une grammaire : en fait il permet la description des tâches vues par l'utilisateur en une série de modèles établis à chacun de six niveaux d'abstraction : *tâches* et *sémantique* pour la communication entre l'utilisateur et le système, présentation et *unités* d'entrée-sortie pour la composante physique.

CLG a été utilisé pour la simple et bonne raison qu'il est en théorie le seul modèle disponible au niveau sémantique (Cf. figure 9) ; même si son utilisation s'avère excessivement lourde (nous reviendrons sur ses limitations dans la partie 4), il était important de l'utiliser dans le but de valider la faisabilité d'effectuer une évaluation *a priori* lors de l'étape de conception préliminaire.

La description CLG du modèle OBS est directement issue des fonctions qui ont été proposées par les concepteurs (fig. 23). Le niveau sémantique enrichit le modèle du niveau conceptuel en précisant ce qui est mis en jeu par l'interface. CLG est fondé sur l'hypothèse de base de décrire le système selon le point de vue de l'utilisateur. Le système homme-machine y est considéré comme un ensemble d'objets à manipuler, ceux-ci sont décrits au moyen des éléments de représentation proposés au niveau sémantique de CLG. Elles sont appelées dans CLG *ENTITES* et *OPERATIONS*

CONCEPTELLES, et *METHODES SEMANTIQUES* associées (afin de respecter l'esprit de la méthode CLG, nous avons repris la dénomination initiale ; ces termes sont expliqués succinctement dans la figure 24, cet article n'ayant pas pour but de détailler ce formalisme, cf. [MOR 1981] ou [COU 1990]).

La figure 25a présente une partie de la description de l'entité "imagerie de supervision" (selon l'expression des concepteurs). Elle y est définie comme UN SYSTÈME (au sens de CLG) qui manipule un ensemble de 18 ENTITÉS correspondant aux différents écrans : *vue-principale*, *vue-cellule-fabrication[1 à 13]*, *vue-solvant* ... (comme l'ont exprimé les concepteurs : « chaque écran correspond à/représente une tâche à réaliser ». Par exemple, l'entité *vue-principale* est décrite selon eux comme représentant la tâche globale de supervision de la fabrication.

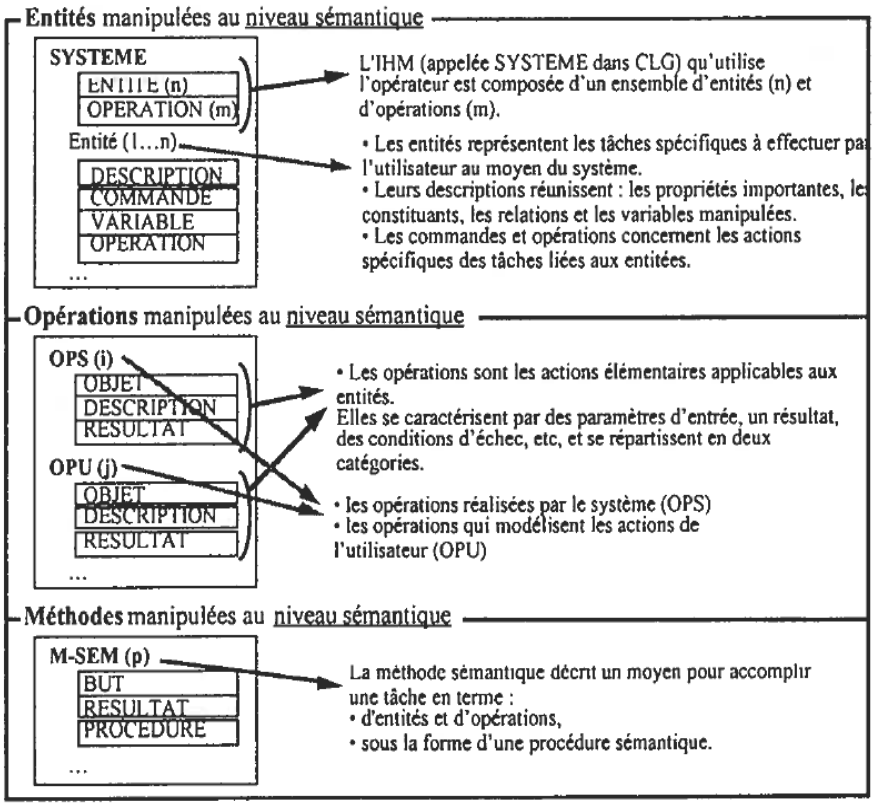

Figure 24. *Éléments de représentation au niveau sémantique de CLG*

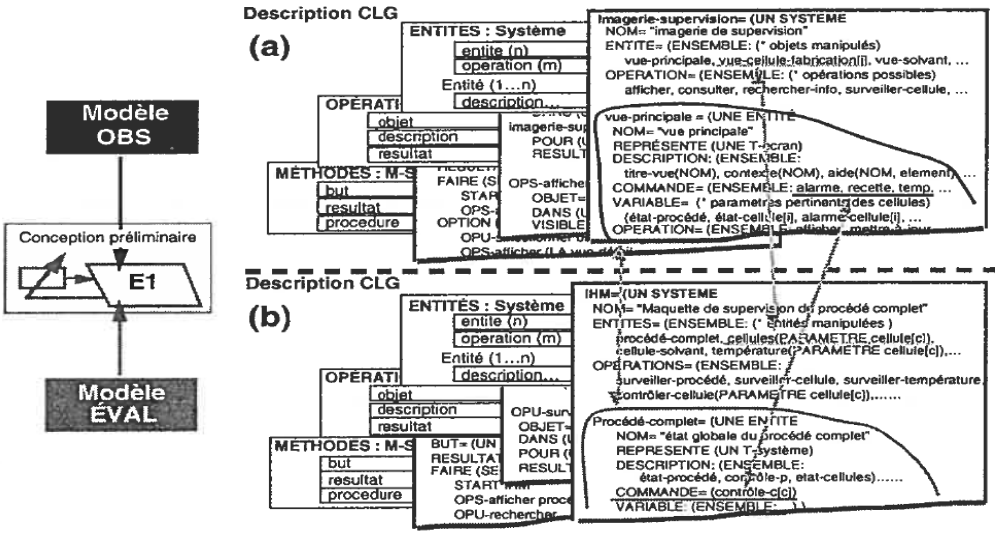

Figure 25. *Exemples de Modèles OBServé (a) et ÉVALuateur (b) obtenus à partir de l'étape de conception préliminaire*

Cette description correspond au fonctions jugées nécessaire par les concepteurs pour réaliser la tâche considérée — *c'est un extrait du modèle* OBS :

- Les entités *blocs-cellules* représentent les 13 stations de mélange et la station de fabrication du solvant. Deux entités *synthèse-paramètre* visent à fournir une présentation synthétique de l'état des cellules.
- Les *commandes* correspondent aux actions possibles à partir de cet fonction. C'est à partir de celles-ci que seront décrites ensuite les opérations interactives que peut réaliser l'opérateur à partir du système global ou les retours de l'interface vers l'opérateur. Par exemple, la surveillance des cellules sera décrite comme une opération utilisateur (OPU) qui consiste à s'intéresser à une représentation de l'image de supervision. Cet représentation est représentative de l'état de fonctionnement de la cellule à surveiller. L'opérateur va analyser cet objet par rapport à un ensemble de critères qui lui sont propres et qui vont lui permettre de connaître l'état global de la cellule (état, dysfonctionnement, dégradations, disponibilité, qualité de fabrication par exemple). L'accomplissement d'une tâche est ensuite décrite avec la méthode sémantique qui associe une procédure, basée sur les opérations système et utilisateur, à une tâche définie au niveau supérieur.
- Les *variables* utilisées pour représenter et manipuler les objets du système sont relatives à l'interaction avec l'homme et le processus. Elles représentent l'état des éléments de la cellule de fabrication concernée et les mesures effectuées sur le produit fabriqué : temps-mélange, température-cuve…

Il faut maintenant vérifier si l'IHM permet bien de réaliser les tâches qui ont été spécifiées. Avec le modèle ÉVAL, l'équipe d'évaluation enrichit la description de l'interaction homme-machine du niveau supérieur (phase E1) par des informations sur le mode d'accomplissement des tâches par l'opérateur et le système. Le formalisme utilisé doit permettre de décrire la sémantique de l'interaction. Comme l'équipe d'évaluation réalise ensuite une comparaison avec le modèle OBS, elle utilise aussi CLG ici. Cette grammaire n'ayant pas été utilisée au niveau conceptuel supérieur, il faut donc traduire la description hiérarchique de tâches HTA en CLG.

Comme pour le modèle OBS, les entités et les opérations, ainsi que les méthodes sémantiques associées sont décrites dans le modèle ÉVAL (fig. 25b). L'IHM y est décrite comme un système qui manipule des entités correspondant aux tâches que doit réaliser l'opérateur : *procédé-complet* pour la tâche de surveillance des paramètres principaux du processus, *cellules* paramétrées par un numéro, qui permet la supervision d'une station de mélange en particulier, *cellule-solvant* pour la supervision de la fabrication du solvant, et *température* qui concerne la tâche de suivi des températures de mélange. Ici ces différentes entités ne correspondent pas toujours à un écran comme dans le modèle OBS. En effet, pour la même entité, on a besoin de différentes vues pour effectuer différentes tâches.

Les méthodes sémantiques permettent ensuite de décrire *a priori* comment l'utilisateur va réaliser sa tâche. Comme pour le modèle OBS ces méthodes sont basées sur des opérations systèmes et utilisateurs qui manipulent les entités.

Cette description qui est directement issue de l'analyse des besoins, du cahier des charges et des contraintes et objectifs du système homme-machine, décompose l'interaction en une séquence d'opérations. Par exemple, pour surveiller le couple broyeur, le but de l'opérateur est de connaître son état, représenté par un paramètre. D'après ce qui est décrit dans ÉVAL, pour effectuer cette tâche, l'opérateur devra : *afficher* la vue du procédé complet, *rechercher* la cellule concernée par l'opérateur, la *sélectionner*, afficher la vue correspondante, y *rechercher* et *consulter* la valeur du couple broyeur.

3.3.2. *Phase E2 : Évaluation a priori de l'utilité de l'interface en état de conception préliminaire*

Il y a plusieurs difficultés à évaluer l'utilité de l'interface au niveau sémantique. Cette propriété concerne, d'une part les éléments manipulés lors de l'interaction homme-machine (soit les entités et les opérations, respectivement les tâches et les actions élémentaires associées), et d'autre part les méthodes pour accomplir les tâches. L'utilité concerne principalement les aspects relatifs à la tâche de l'opérateur et à la performance du système homme-machine. Celle-ci est donc « mesurée » lors de l'étape de spécification fonctionnelle. Répéter la phase E2 ici, revient donc à vérifier si les recommandations en termes d'utilité proposées dans l'étape précédente de développement ont bien été prises en compte.

Pour l'application qui nous intéresse, ce travail consiste à comparer les entités CLG entre elles. Cette comparaison a été effectuée manuellement par l'équipe d'évaluation. Selon la démarche proposée, il faut évaluer les opérations et les méthodes sémantiques CLG qui décrivent l'interaction homme-machine. Pour pouvoir les comparer, il faut disposer d'une description fortement formalisée. Dans ce cadre, la comparaison des deux descriptions OBS et ÉVAL de la phase E1 n'est possible qu'élément (de représentation) par élément : entités, opérations utilisateur et système, et méthodes.

Une analyse à partir des exemples présentés a été effectuée. Cette vérification met en évidence que les recommandations préconisées lors de l'évaluation à l'issue des spécifications fonctionnelles n'ont pas toutes été prises en

compte. Ainsi, les principales tâches de surveillance du procédé (cellules fabrication et solvant) sont représentées sur une vue principale et chaque tâche correspond à un écran spécifique détaillé. Une présentation synthétique des informations du procédé complet est prévue. Mais la tâche de communication avec les opérateurs sur le site n'a toujours pas été prise en compte et la supervision de la température du mélange ne permet pas la reprise en main de la régulation (en cas de palier important). De plus on constate que l'interface proposée ne permet pas un réel contrôle supervisé du procédé. En effet, aucune fonctionnalité de commande sur le procédé n'est présente sur les premières propositions d'écran.

En ce qui concerne les opérations et les méthodes du niveau sémantique, celles-ci décrivent comment l'homme (opérateur) et la machine (système) communiquent. En comparant OBS et ÉVAL, on constate que les mêmes opérations d'interaction se retrouvent dans les deux descriptions. Elles correspondent à un dialogue classique homme-machine que l'on retrouve dans la majorité des interfaces, c'est sans doute pour cela que les concepteurs comme les évaluateurs ont choisi ce mode d'interaction.

Notons que pour faciliter et améliorer la comparaison des descriptions OBS et ÉVAL, des algorithmes d'analyse et de calcul pourraient être d'une grande utilité ; ce point constitue une perspective de recherche riche et prometteuse. Dans ce cadre, il est nécessaire de disposer d'un formalisme rigoureux et propice à ce travail, ce qui n'est pas vraiment le cas de celui proposé par CLG. En effet, CLG structure l'interaction homme-machine en niveaux mais laisse beaucoup de libertés à l'analyste quant à la manière de la décrire — la signification des entités et opérations conceptuelles, et des méthodes sont à son initiative. Seul un corps plus ou moins grossier de description est proposé par l'auteur de la méthode CLG. La décomposition obtenue organise l'interaction en sous-domaines moins complexes, mais à chaque étape interviennent des décisions essentielles pour la qualité de l'interaction. Par exemple, les choix de termes et d'enchaînement des tâches sont spécifiques à chaque application et a chaque analyste (l'entité vue-principale de OBS, correspond à l'entité procédé-complet de ÉVAL). Pour permettre la comparaison automatique, il faut soit fournir un lexique des termes à utiliser pour construire les modèles, soit les retraduire.

3.3.3. *Phase E3 : Évaluation a priori de l'utilisabilité de l'interface en état de conception préliminaire*

La représentation issue des phases précédentes correspond à une approximation de ce que sera l'interaction homme-machine si l'interface est effectivement réalisée à ce niveau. La phase E3 va permettre d'estimer son utilisabilité. Les critères d'évaluation à estimer à ce niveau sont (Cf. figure 12) : *l'incitation*, le *retour informatif immédiat*, les *actions minimales* et la *charge mentale*, les *actions explicites* et le *contrôle utilisateur* correspondant au contrôle explicite du dialogue, la *flexibilité* et *l'expérience de l'utilisateur* rassemblés dans l'adaptabilité de l'interface, la *correction des erreurs*, *l'homogénéité* et la *compatibilité* (voir les définitions en annexe).

Rechercher, valider et proposer des méthodes d'estimation de ces critères constitue une perspectives de recherche importante. Nous nous contentons ici de discuter d'une "erreur" ergonomique relative au critère de retour informatif immédiat, qui peut être facilement mise en évidence par une analyse de la description CLG. Cela montre bien que certains aspects élémentaires de l'interaction homme-machine peuvent être évalués à partir d'une description formelle.

Le *retour informatif immédiat* s'intéresse aux réponses de la machine après des actions de l'utilisateur (temps le plus court possible), chaque action utilisateur est visualisée en réponse à son attente. Il n'est pas à négliger car ce retour a des incidences sur la confiance et la satisfaction de l'utilisateur, ainsi que sur la compréhension du dialogue. Comme ce critère concerne directement l'interaction homme-machine, il peut être estimé grâce aux opérations système (OPS) et utilisateur (OPU), et aux méthodes sémantiques décrites. Dans ce cas, il faut vérifier que les OPS engendrent bien un retour vers l'homme, et que les OPU obtiennent toujours une réponse de la machine sous forme d'un résultat visible. D'après les descriptions CLG, cela ne sera pas toujours le cas.

En effet, dans le cas de l'imagerie conçue, pour ne pas surcharger les vues, les concepteurs ont choisi d'afficher seulement les éléments qui apportent des informations sur l'état de l'objet à afficher. Ainsi, un élément de la station de mélange qui n'est pas en fonctionnement, n'est pas affiché sur l'écran : par exemple, une vanne à l'état fermé est visible alors que son état ouvert n'est pas représenté. De la même manière, le couple broyeur ne sera affiché que si celui-ci est en fonctionnement. Les concepteurs ont décidé que seuls les éléments ne changeant pas d'état pendant la fabrication restent toujours à l'écran (trémies, bascules, broyeur et cuve de mélange), les autres ne sont affichés que dans leur état actif – une vanne fermée est active, ouverte elle est inactive (état de panne : rien n'a été prévu par les concepteurs).

L'analyse des méthodes CLG qui décrivent les procédures opérateur pour réaliser une tâche au moyen de l'interface contribue donc à l'estimation de ce critère. Le retour informatif immédiat implique que chaque opération utilisateur soit associée à une réponse rapide du système. Il faut donc que les objets manipulés par chaque opération soient définis de façon explicite et qu'un résultat visible soit décrit. Par exemple l'opération afficher manipule bien une ENTITE (tout élément affichable) sur l'écran, mais d'une part, le résultat n'est pas défini de façon explicite dans la description, et d'autre part celui-ci ne sera pas toujours visible puisque conditionné par son état de fonctionnement.

3.3.4. *Conclusion sur l'évaluation de la conception préliminaire*

Les remarques issues de l'évaluation *a priori* permettent de constituer un document de recommandations qui doivent être prises en compte pour ajuster la conception. Les principales recommandations de "re-conception" sont issues du déroulement de la démarche R1 (modélisation), E2 (évaluation de l'utilité par comparaison complète de OBS et ÉVAL), E3 (évaluation de l'utilisabilité pour tous les critères concernés), appliquée lors de l'étape de conception préliminaire. Nous n'en présentons ici que quelques-unes :

- Tous les écrans doivent contenir "un contexte" représentant le cheminement réalisé par l'opérateur dans l'accomplissement de sa tâche, et concernant l'état d'évolution du procédé (non prévus à l'issue de l'étape de conception préliminaire).
- Des fonctions de correction des erreurs doivent être prises en compte, spécifiées puis conçues, comme pour la prise en compte des niveaux de l'expérience des utilisateurs (critères non pris en compte à l'issue de l'étape de conception préliminaire).
- Les écrans correspondant aux tâches élémentaires et donc à l'activité de l'utilisateur ne font apparaître aucune fonction de commande, Par exemple, l'écran "cellule-fabrication" comprend un lexique de fonctions élémentaires très succinct qui ne propose que des actions liées exclusivement au dialogue avec l'interface (navigation, cellule n-1, cellule n+1, menu...).

Ce dernier point nous incite à remarquer que l'interface développée se contente de visualiser sans autoriser le contrôle/commande (c'est pourtant ce qui a été demandé dans le cahier des charges). Par exemple, si l'opérateur doit intervenir sur la régulation d'un paramètre visualisé sur une des vues, aucune fonction n'est mise à sa disposition. Cette lacune grave de la maquette incite fortement, d'une part à revoir chacun des écrans correspondant aux buts élémentaires de la description hiérarchique des tâches vue lors de l'étape de spécifications fonctionnelles, et d'autre part à prévoir des fonctions permettant à l'opérateur de vraiment superviser la fabrication —*surveillance* et *contrôle supervisé*.

Cette remarque est issue de l'évaluation E3 et de la description CLG des écrans effectuée lors de l'étape de conception préliminaire. Or elle concerne une lacune au niveau de la description des tâches de l'opérateur de supervision. Ce problème n'a en fait pas été détecté par l'évaluation du modèle *a priori* lors des spécifications fonctionnelles, en raison du fait que les informations relatives aux fonctionnalités offertes à l'utilisateur ne sont pas décrites au niveau conceptuel, mais seulement au niveau sémantique. CD'où la complémentarité des modèles utilisés.

Après avoir mis en œuvre la démarche proposée, il s'agit maintenant d'en tirer des enseignements, pour envisager des perspectives d'utilisation dans un environnement complet d'évaluation. Dans la partie suivante, la validité de la démarche d'évaluation *a priori* est discutée en dressant un bilan de la recherche effectuée. Un ensemble de perspectives d'évolution de cette recherche y sont aussi introduites.

4. Conclusion : bilan et perspectives

Cette étude de faisabilité a montré qu'il était possible de remonter l'évaluation le plus haut possible dans le cycle de développement des IHM, dans le cas d'un système industriel de supervision, tout en offrant un cadre pour l'évaluation *a priori*.

Puisque l'on travaille *a priori*, si l'équipe d'évaluation intervient très tôt dans le développement, elle peut élaborer tout de suite un modèle de l'évaluateur (en étroite collaboration avec le concepteur et l'utilisateur futur, s'il existe et/ou est disponible). Notons qu'il serait souhaitable également que l'équipe d'évaluation soit la plus neutre possible, par exemple en étant issue d'un organisme extérieur. Ce modèle sera alors utilisé directement pour la conception de l'interface. Dans ce cas, la démarche proposée s'apparente à *une démarche de conception centrée sur l'homme*, en intégrant une évaluation de l'utilité et de l'utilisabilité parallèle au développement. Par contre, si l'on n'intervient que pour l'évaluation des spécifications ou de la conception, la démarche impose de refaire tout le travail d'analyse amont à l'étape en cours. C'est pourquoi il faut une démarche de développement participative entre tous les intervenants impliqués dans le développement d'une application interactive.

En faisant intervenir des modèles formels prédictifs lors de la phase descendante du cycle de vie, l'équipe d'évaluation peut formaliser puis évaluer l'interaction homme-machine dès les étapes de spécifications fonctionnelles, et de conception préliminaire. La modélisation ainsi obtenue peut permettre d'évaluer, d'une part *l'utilité* de l'interface en comparant les modèles OBS (modèle observé) et ÉVAL (modèle de l'évaluateur), et d'autre part son *utilisabilité* à l'aide des critères ergonomiques concernés par le niveau de développement en cours. Enfin, l'élaboration d'un document regroupant des recommandations (compromis issus de la confrontation entre les modèles OBS et ÉVAL) permet à l'équipe

de conception d'améliorer l'interface au fil du développement (à condition de les prendre en compte) et non plus lors de la phase descendante du cycle en V.

Rappelons que l'objectif de l'application évaluée dans cet article était de se calquer sur des situations industrielles allant jusqu'à une première ébauche papier papier des écrans (avant toute réalisation informatique). C'est pourquoi, la démarche d'évaluation proposée n'a pas été utilisée dans sa globalité – limitée ici aux spécifications et à la conception préliminaire de l'IHM. Cette première application de laboratoire constitue donc en quelque sorte une première ébauche de *mise en œuvre*. De plus, la phase E3 de la démarche nécessite l'utilisation de "métriques" d'estimation des critères ergonomiques ; celles-ci sont encore à l'état de perspectives de recherche.

Cette pré-validation donne de premiers résultats prometteurs concernant la validité d'une approche analytique d'évaluation. Il apparaît néanmoins plusieurs difficultés, certaines faisant l'objet de perspectives de recherches.

4.1. *Vers une démarche d'évaluation participative*

Une des originalités de notre proposition vient du fait que l'évaluation est réalisée dès les premières étapes du développement. Il faut bien se représenter l'évaluation *a priori* comme faisant partie entière du développement de l'IHM et non comme étant la dernière étape du développement. Dans ce cas, l'équipe de développement doit-elle "arrêter" de concevoir pour évaluer ou doit-elle attendre les résultats de l'évaluation pour passer à l'étape suivante ?

Dans le cas d'étude présenté, les deux groupes travaillaient en parallèle mais décalés : l'un travaillant sur la spécification-conception, l'autre sur l'évaluation des données fournies. Ainsi après que les concepteurs aient fourni le dossier de spécification aux évaluateurs, ils ont commencé l'étape suivante de conception préliminaire sans attendre les résultats de l'évaluation (Cf. la non prise en compte de certaines recommandations). Avec la démarche proposée, les évaluateurs attendent donc le dossier complet de spécification, leur permettant de réaliser le modèle OBS pour commencer une première boucle d'évaluation. Les résultats de leur évaluation ne sont donc pas toujours disponibles rapidement en entrée de l'étape suivante. De plus, lorsque les recommandations sont proposées, celles-ci risquent de remettre en cause un certain nombre de données déjà spécifiées ou conçues. Avec la démarche proposée, il est donc primordial d'attendre l'aval des évaluateurs pour commencer l'étape suivante.

Pour pallier cette lacune, les deux équipes doivent travailler en étroite collaboration dès l'initiation du projet afin que les concepteurs fournissent des données au fur et à mesure du développement. Dans ce cas, la démarche d'évaluation (en liaison avec les futurs utilisateurs s'ils existent) se situe dans une approche participative de développement des systèmes hommes-machines (voir aussi la notion d'analyse de l'activité en conception participative proposée par Garrigou *et al.* [GAR 1995]). Elle constitue une démarche parallèle, mais avec des points de rencontre lors des phases d'évaluation.

Dans notre exposé, nous avons souligné les deux visions du développement : celle du concepteur et celle de l'évaluateur (en liaison avec les futurs utilisateurs s'ils existent). Dans le cas d'une démarche en étroite collaboration, il peut être judicieux de développer l'IHM en suivant directement la démarche *a priori* proposée ; on va donc disposer *en théorie* dans ce cas tout de suite d'une interface qui prend en compte l'opérateur.

4.2. *Apports d'une évaluation basée sur une modélisation*

Le principe de la démarche basé sur une comparaison de deux modèles est sujet à certaines difficultés. La modélisation est issue d'un ensemble de données spécifiques à l'application visée, et de données générales que l'on retrouve dans le modèle de conception.

Outre la difficulté de modéliser l'interaction homme-machine – qui dépend du modèle –, la première phase de la démarche soulève une difficulté lors de sa mise en œuvre. En effet, les limitations du modèle choisi risquent de se retrouver dans la description qui a été faite de l'interface. L'évaluation sera alors réalisée sur un modèle, plus ou moins erroné, de l'interaction homme-machine, ce qui peut mettre en cause une partie des résultats. De plus, l'interface elle-même et les aspects à évaluer peuvent influencer le choix du modèle ou de la méthode de modélisation.

Pour pallier ces limitations nous avons proposé une classification des modèles formels prédictifs selon le canevas COSÉSYL qui se veut détaché du contexte à évaluer.

Concernant la représentativité des modèles, ceux proposés sont issus des recherches en communication homme-machine et sont donc *a priori* adaptés à la représentation de l'interaction. Leur validité reste à prouver à l'usage et surtout pour des applications complexes (dans notre cas le contrôle de procédé industriel). Des recherches sont encore à effectuer pour affiner ces modèles, l'objectif n'étant pas de proposer une solution "universelle", mais plutôt des méthodes et outils de description fiables, adaptés à l'évaluation analytique et surtout utilisables pour des systèmes industriels de supervision.

Ainsi, il s'avère que l'utilisation du modèle CLG pour décrire une interface de contrôle de process n'est pas facile ; il faudrait utiliser un formalisme plus structuré et surtout disposer de "recettes" pour savoir quelles informations il faut aller chercher, comment les recueillir pour être sûr de ne rien oublier. De plus, CLG donne trop de liberté à l'analyste

pour choisir son vocabulaire et les opérateurs utilisés dans la description. L'exemple d'application présenté dans cet article montre bien la lourdeur du formalisme et le temps passé à décrire les deux modèles OBS et ÉVAL de l'interaction homme-machine. C'est pourquoi, il faut chercher un compromis entre la rigueur de l'évaluation et le coût résultant.

Dans ce but d'optimiser à la fois la phase de modélisation et le modèle, le formalisme doit pouvoir être réutilisable (ou traduisible) lors des étapes suivantes du développement ; cela pour éviter de devoir redécrire l'interaction dans un formalisme différent à chaque niveau. De plus, la possibilité d'implémenter l'IHM directement à partir de la description qui en a été faite permettrait d'une part de diminuer les erreurs d'interprétation faites par le développeur informaticien, et d'autre part de diminuer le temps de programmation.

Enfin, il serait primordial d'appliquer la démarche d'évaluation *a priori* tout au long du développement d'une IHM industrielle réelle, pour vérifier la validité des principes et des classifications introduits. Cela constitue une perspective incontournable pour la poursuite et la validation de ce travail. Il faudrait pour cela s'insérer dans l'équipe de développement dès le début du projet, le suivre dans chacune des étapes et évaluer pas à pas les propositions.

Remerciements. Les auteurs de l'article remercient vivement le Professeur Jean-Claude ANGUE pour ses remarques pertinentes et constructives concernant certaines idées à la base de cet article. Ils remercient également les rapporteurs anonymes de la revue qui ont largement contribué à son amélioration.

Bibliographie

[ABE 1990] ABED M., *Contribution à la méthodologie de la tâche de conception par des outils de spécification exploitant les mouvements oculaires : application à la conception et l'évaluation des interfaces Homme-Machine*. Thèse en Automatique Industrielle et Humaine, Université de Valenciennes, 1990.

[BAL 1993] BALBO S., J. COUTAZ, Modèles de tâche : analyse comparative, utilité et limitations. *IHM'93* "Cinquièmes journées sur l'ingénierie des interfaces homme-machine", Lyon, 19-20 octobre, pp. 131-137, 1993.

[BAR 1988] BARTHET M.F., *Logiciels interactifs et ergonomie, Modèles et méthodes de conception*. Dunod informatique, Paris, 1988.

[BAS 1991] BASS L. LITTLE R., PELLEGRINO R., REED S., SEACORD S., SHEPPARD S., SZESUR M., *The Arch model : Seeheim revisited*. Proceedings of User Interface Developers' Workshop, Seeheim, April, 1991.

[BAS 1993] BASTIEN J.M.C., D.L. SCAPIN, *Ergonomic criteria for the evaluation of Human-computer Interfaces*. Rapport Technique INRIA n°156, 1993.

[BOE 1988] BOEHM B.W., A spiral model of software development and Enhancement. *IEEE Comp*., 21 (5), 61-72, 1988.

[BOY 1989] BOY G., The block representation in knowledge acquisition for computer integrated documentation. Proceedings 4th AIAA-sponsored knowledge acquisition integrated documentation for knowledge-based systems workshop, Banff, Canada, October, 1-6, 1989.

[CAR 1983] CARD S., T.P. MORAN, A. NEWELL, *The psychology of human-computer interaction*. Hillsdale, NJ: Lawerence Erlbaum Associates, 1983.

[CHI 1995] CHIGNELL M.H., T. MOTOYAMA, V. MELO, Discount video analysis for usability engineering. Hillsdale, NJ: Lawerence Erlbaum Associates. In *Symbiosis of Human and Artifact*, Anzai, Ogawa & Mori (Eds.), Elsevier Science B.V., pp. 759-764, 1995.

[COU 1990] COUTAZ J., *Interfaces homme-ordinateur : conception et réalisation*. BORDAS, Paris, 1990.

[DUN 1981] DUNCAN K.D., Training for fault diagnosis in industrial process plant. In *Human Detection and Diagnosis of System Failures*, Rasmussen & Rouse (Eds.), Plenum Press, New-York, 1981.

[FAD 1990] FADIER E., Fiabilité humaine : méthodes d'analyse et domaines d'application. In *Les Facteurs humains de la fiabilité dans les systèmes complexes*, Leplat et De Terssac (Eds.), Edition Octarés, Marseille, pp. 47-80, 1990.

[FOL 1982] FOLEY J.D., VAN DAM A., *Fundamentals of interactive computer graphics*. Addison-Wesley, 1982.

[GAR 1995] GARRIGOU A., F. DANIELLOU, G. CARBALLEDA, S. RUAUD, Activity analysis in participatory design and analysis of participatory design activity. *Int. J. of Industrial Ergonomics*, 15 (1995), 311-327, 1995.

[GRA 1992] GRAY W.D., B.E. JOHN, M.E. ATWOOD, The precis of project ernestine or an overview of validation of GOMS. *CHI'92*, ACM Conf. on Human factors in Computing Systems, Bauersfeld (Ed.), Monterey, California, May 3-7 92, 307-312.

[GRI 1995] GRISLIN M., *Définition d'un cadre pour l'évaluation a priori des interfaces homme-machine dans les systèmes industriels de supervision*. Mémoire de Doctorat en automatique industrielle et humaine, Université de valenciennes, Novembre 1995.

[GRI 1996] GRISLIN M., C. KOLSKI, Évaluation des Interfaces Homme-Machine lors du développement de système interactif. *Technique et Science Informatiques*, N°3, Mars 1996, pp. 265-296.

[GRI 1993] GRISLIN M., C. KOLSKI, J.C. ANGUE, Towards an Organization of Man-Machine Interface Evaluation Techniques using a Usability Criteria Grid. Proccedings *XII European Annual Conference on Human Decision Making and Manual*

Control, Kassel, Germany, June 22-24, pp. 4.6-4.13, 1993.

[GRI 1992] GRISLIN M., P. SALAZAR-FERRER, *Interface homme-machine, imagerie interactive de conduite*. Rapport interne de recherche, CERTSM/DFH, Laboratoire d'ergonomie, DCN Toulon, 1992.

[ISO 1992] ISO 9241, *Ergonomic requirements for office work with visual displays units*. International Standard Organization, 1992.

[JOU 1994] JOUGLET D., O. PETIT, *Analyse, conception et évaluation d'une imagerie de supervision*. Projet IUP 3ème année, Université de Valenciennes, Juin 1994.

[KIE 1985] KIERAS D., P.G. POLSON, An approach to the formal analysis of user complexity. *Int. J. of Man-Machine Studies*, 22, pp. 365-394, 1985.

[KOL 1991] KOLSKI C., P. MILLOT, A rule-based approach to the ergonomic "static" evaluation of man-machine graphic interface in industrial processes. *International Journal of Man-Machine Studies*, 35, pp. 657-674, 1991.

[KOL 1995] KOLSKI C., M. GRISLIN, Méthodes d'évaluation des interfaces homme-machine, utilisation a priori et/ou a posteriori. *Journée Supervision et Coopération Homme-Machine*, Paris, 12 et 13 janvier, 1995.

[KOL 1997] KOLSKI C., *Interfaces homme-machine, application aux systèmes industriels complexes*. Editions Hermès, Paris, 1997.

[MAH 1995] MAHFOUDHI A., M. ABED M., J.C. ANGUE, TOOD : Task Object Oriented Description fot Man Machine Systyms Analysis Design. Proceedings 6th *IFAC/IFIP/IFORS/IEA SYMPOSIUM* on Analysis, Design and Evaluation of Man-Machine Systems, MIT, Cambridge, MA USA, June 27-29, 1995.

[MIL 1991] MILLER-JAKOBS H.H., Rapid Prototyping: An Effective Technique for System development. In J. Karat (Ed.), *Taking Software Design Seriously*. Boston: Academic Press, pp. 273-286, 1991.

[MOL 1990] MOLICH R., J. NIELSEN, Improving a human computer dialogue. *Communications of the ACM*, 33, pp. 338-348, 1990.

[MOR 1981] MORAN T.P., The Command Language Grammar: a representation of the user interface of interactive computer systems. *Int. J. of Man-Machine Studies*, 15, 3-50, 1981.

[NIE 1993] NIELSEN J., *Usability Engineering*. Academic Press, Boston, 1993.

[NOR 1986] NORMAN D.A., *Cognitive engineering. User centred system design: new perspectives on human computer interaction*. Norman & Draper (Eds), Hillsdale, NJ: Erlbaum Associates, pp. 31-61, 1986.

[NOR 1992] NORMAND V., *Le modèle SIROCO : de la spécification conceptuelle des interfaces utilisateurs à leur réalisation*. Thèse de l'Université Joseph Fourier, Grenoble I, 1992.

[PAY 1989] PAYNE S.J., T.R.G. GREEN, Task-Action Grammar: the model and developments. In D.Diaper (Ed), *Task analysis for human-computer interaction*, John Wiley and Sons, 75-107, 1989.

[PFA 1985] PFAFF G.E., *User interface management system*. Springer-Verlag, 1985.

[PRN 1992] PRNF, *Représentation des systèmes de contrôle et de commande des systèmes automatisés, contribution à l'intégration des outils XAO du génie automatique, modèle conceptuel Base-PTA*, Projet de normalisation, AFNOR Z68-901, 1992.

[RAV 1989] RAVDEN S., G. JOHNSON, *Evaluating Usability Of Human-Computer Interface*. Chichester: Ellis Horwood, 1989.

[REI 1984] REISNER P., *Formal grammars as a tool for analysing ease of use: some fundamental concepts*. Human Factors in Computer Systems, Thomas & Schneider (eds), Norwood, N.J.: Ablex, 1984.

[RIE 1994] RIERA B., M. GRISLIN, P. MILLOT, Methodology To Evaluate Man-Car Interfaces. Proceedings *IFAC/IFORS Transportation Systems: Theory and Application of Advanced Technology*, Tianjin, China, August 24-26, vol II, pp. 459-469, 1994.

[ROW 1994] ROWLEY D.E., Usability testing in the field: bringing the laboratory to the user. Proceedings *CHI'94* Conference, Boston, Massachusetts USA, April 24-28, ACM Press, Addison-Wesley, 1994.

[SCA 1990] SCAPIN D.L., Organizing Human Factors Knowledge for the Evaluation and Design of Interfaces. *Int. J. of Human-Computer Interaction*, 2(3), 203-229, 1990.

[SCA 1989] SCAPIN D.L., C. PIERRET-GOLBREICH, MAD : Une méthode analytique des descriptions des tâches. C*olloques sur l'ingenierie des interfaces Homme-Machines*, pp.131-148, Sophia Antipolis, 24-26 Mai, 1989.

[SCA 1986] SCAPIN D.L., *Guide ergonomique de conception des interfaces Homme-Machine*. Rapport Technique INRIA n°77, 1986.

[SEB 1994] SEBILLOTTE S., *Méthodologie pratique d'analyse de la tâche en vue de l'extraction de caractéristiques pertinentes pour la conception d'interface*. Rapport technique INRIA, n° 163, mars, 1994.

[SHE 1993] SHEPERD A., An approach to information requirements specification for process control tasks. *Ergonomics*, 36 (11), pp. 1425-1437, 1993.

[SEN 1990] SENACH B., *Évaluation ergonomique des IHM : une revue de la littérature*. Rapport INRIA, n°1180, 1990.

[SMI 1986] SMITH S.L., J.N. MOSIER, *Guidelines for designing User Interface Software. Technical report* MTR-10090, The MITRE Corporation, Bedfort, MA 01730, Massachusetts, USA, 1986.

[SOM 1994] SOMMERVILLE I., *Le génie logiciel et ses applications*, 4ème éd., informatique/intelligence artificielle (col.), 1994.

[STA 1990] STAMMERS R.B., S.C. MICHAEL, J.A. ASTEY, *Task analysis In Evaluation of Human works: a practical ergonomics methodology*. Wilson J.R. and Corlett E.N. (Eds.), Taylor & Francis, pp. 134-160, 1990.

Une version de cet article a été publiée dans : *Journal Européen des Systèmes Automatisés (RAIRO-APII-JESA)*, 31 (7), pp. 1111-1154, 1997.

[SWE 1993] SWEENEY M., M. MAGUIRE, B. SHACKEL, Evaluating user-computer interaction: a framework. *Int. J. Man-Machine Studies*, 38, 689-711, 1993.

[TAR 1993] TARBY J.C., *Gestion automatique du dialogue homme-machine à partir de spécifications conceptuelles*. Thèse de l'université de Toulouse I, 1993.

[TAU 1990] TAUBER M., ETAG: Extended Task Action Grammar - A language for the description of the user's task language. Proceedings Human-Computer Interaction - *INTERACT'90*, Diaper, Gilmore, Cockton, Shackel (Eds.), pp. 163-168, North-Holland, 1990.

[TUL 1988] TULLIS T.S., *Screen design*. In Handbook of Human-Computer Interaction, M. Helander (ed.), Elsevier Science Publisheders B.V. (North-Holland), 1988, pp. 377-411, 1988.

[VAN 1994] VANDERDONCKT J., *Guide ergonomique de la presentation des applications hautement interactives*, Presses universitaires de Namur, 1994.

[VIL 1988] VILLEMEUR A., *Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels : fiabilité, facteur humain, informatisation*. Eyrolles, Paris, 1988.

[VIL 1994] VILAIN B., T. POULAIN, C. KOLSKI, Intégration de fonctionnalités de prototypage dans ATLAS, un atelier de spécification, réalisation et validation d'applications de supervision embarquées. *APII*, 28 (6), pp. 645-685, 1994.

[WHI 1991] WHITEFIELD A., F. WILSON, J. DOWELL, *A framwork for human factors evaluation*. Behaviour & Information Technology, vol 10, n°1, jan.-feb., 65-79, 1991.

[WIL 1990] WILSON J.R., E.N. CORLETT, *Evaluation of human work, a practical ergonomics methodology*. Ed. Taylor & Francis Ltd, 1990.

Martial Grislin *est ingénieur d'études dans la société PROSYST à Valenciennes où il travaille dans le domaine de la simulation de procédés industriels avec le progiciel SIMAC. Il est aussi professeur associé (PAST) à l'université de Valenciennes où il enseigne l'automatique. Son domaine de recherche porte sur l'évaluation des IHM dans le cycle de vie des systèmes industriels de supervision. Son domaine de recherche au LAMIH porte sur l'évaluation des IHM dans le cycle de vie des systèmes industriels de supervision, suite de son doctorat en Automatique.*

Christophe Kolski *est professeur en informatique à l'université de Valenciennes où il enseigne l'intelligence artificielle, le génie logiciel et la communication homme-machine. Ses thèmes de recherche au LAMIH concernent la conception et l'évaluation de système interactif, les IHMs dites "intelligentes" et l'assistance à l'utilisateur. Il est l'auteur d'un ouvrage intitulé "Interfaces Homme-Machine, application aux systèmes industriels complexes" (2e edition revue et augmentée), publié aux éditions HERMES en 1997.*

Annexe : Critères d'évaluation de l'utilisabilité des IHM

La littérature propose un très grand nombre de recommandations ergonomiques sous forme de guides (Cf. [SMI 1986], [SCA 1986], [VAN 1994], etc) ou de standards (tel [ISO 1992]). Pour l'évaluation, il s'agit soit de les utiliser comme propriétés à observer ou mesurer, soit d'en extraire des **critères ergonomiques d'évaluation**. En se basant sur plusieurs travaux de recherche, une classification de ces informations a été proposée par Bastien et Scapin [BAS 1993] pour aboutir à un jeu de critères et sous-critères qui prennent en compte ces recommandations. Dix-huit critères élémentaires sont ainsi énumérés (nous les avons utilisés dans le travail présenté).

Critères	*Principe et Objectif*
Le guidage : moyens mis en œuvre pour conseiller, orienter, informer et conduire l'utilisateur lors de l'interaction avec la machine (localisation dans les séquences, actions permises et leurs conséquences, information sur demande.	
Incitation (1) "Prompting"	Informations fournies à l'utilisateur sur l'état dans lequel il se trouve, actions possibles ou attendues et moyens de les mettre en œuvre. Une bonne incitation guide et évite par exemple d'avoir à apprendre une série de commandes, permet aussi de connaître le mode et la position dans le dialogue (aides disponibles, format adéquat d'entrée de données, unités de mesure…).
Groupement par localisation (2)	Positionnement des items les uns par rapport aux autres pour indiquer leur appartenance ou non à une même classe, ou leur distinction : repérage (mémorisation), organisation logique (listes hiérarchiques, groupement des options en fonction des objets sur lesquels elles s'appliquent…).
Groupement par format (3)	Indices graphiques (format, couleur) des items les uns par rapport aux autres pour indiquer leur appartenance ou non à une même classe, ou leur distinction (facilité à reconnaître les liens entre informations, distinguer les aires de fonctions, ou les labels et champs d'entrées…).

Retour informatif immédiat (4) "Feed-back"	Réponses de la machine après des actions de l'utilisateur (temps le plus court possible). Le retour d'information engendre la confiance et la satisfaction de l'utilisateur comme la compréhension du dialogue. (toujours faire apparaître les entrées utilisateur à l'écran sauf si confidentielles, si plusieurs curseurs sont présents à l'écran indiquer celui qui est actif…).
Clarté (5)	Caractéristiques lexicales de présentation des informations : facilité de lecture (textes en sombre sur fond clair plus faciles à lire que l'inverse, textes en Majuscules et minuscules plus rapidement lus qu'en MAJUSCULES, titres centrés, curseur repérable…).

La charge de travail : coût du travail pour l'utilisateur, quantité de travail (mentale et physique) investie. Les surcharges comme les sous-charges (génératrices de baisse de vigilance) ne sont pas acceptables car elles sont la cause, à plus ou moins long terme, d'une défaillance de l'utilisateur et donc du système homme-machine.

Concision (6)	Charge de travail perceptive et mnésique en rapport avec des éléments individuels d'entrée/sortie : capacités de la mémoire à court terme limitées (pas de codes supérieurs à 4 ou 5 caractères ou alors, utiliser des mnémoniques ou abréviations, entrer des données courtes…).
Actions minimales (7)	Charge de travail au niveau des options ou moyens utilisés pour atteindre un but (minimum d'étapes dans la sélection, saisie unique des données, éviter la ponctuation des commandes…).
Charge mentale (8) Densité informationnelle	Charge de travail perceptive et mnésique pour des ensembles d'éléments : éviter d'imposer la mémorisation de longues et nombreuses informations, procédures, ou activités nécessitant une activité cognitive complexe (limiter la densité des informations, n'afficher que ce qui est nécessaire, l'information ne doit pas nécessiter de traduction d'unités…).

Le contrôle explicite : correspond à la fois au contrôle qu'a l'utilisateur sur l'interface et le caractère explicite de ses actions. Le contrôle du dialogue par l'utilisateur est un facteur d'acceptation du système.

Actions explicites (9)	Relation entre le fonctionnement de l'application et les actions des utilisateurs : le système doit exécuter seulement les opérations demandées par l'utilisateur et ce, au moment où il les demande (action explicite de validation après sélection d'une option par pointage, l'entrée de commande doit se terminer par <ENTER> avec des possibilités d'édition au préalable…).
Contrôle utilisateur (10)	L'utilisateur doit toujours "avoir la main" et donc pouvoir contrôler le déroulement des traitements en cours. Ses actions doivent être anticipées et des options appropriées fournies pour chaque cas, il doit toujours pouvoir intervenir (le curseur ne peut se déplacer sans contrôle de l'utilisateur, l'utilisateur doit toujours être maître de la vitesse de dialogue…).

L'adaptabilité : capacité du système à réagir selon le contexte, les besoins et préférences de l'utilisateur. Une IHM ne peut convenir à la fois à tous les utilisateurs potentiels. Pour qu'elle n'ait pas d'effets négatifs, elle doit s'adapter.

Flexibilité (11)	Moyens mis à la disposition de l'utilisateur pour la personnalisation de l'interface afin d'adopter ses propres stratégies ou habitudes de travail (différentes façons d'atteindre un même objectif, capacité de l'IHM à être adaptée à des actions variées de l'utilisateur, désactivation temporairement des affichages inutiles, de configuration des entrées par défaut…).
Prise en compte de l'expérience utilisateur (12)	Moyens mis en œuvre pour permettre au système de respecter le niveau d'expertise de l'utilisateur. Des utilisateurs expérimentés ont besoin de dialogues moins explicites que les novices (prévoir des raccourcis, des choix d'entrées simples ou multiples selon l'expérience, autoriser différents modes de dialogue…).

La gestion des erreurs : moyens permettant d'éviter ou de réduire les erreurs et de les corriger. Les interruptions provoquées par celles-ci ont des conséquences sur l'activité de l'utilisateur et peuvent causer des accidents graves.

Protection (13)	Moyens mis en place pour détecter les erreurs d'entrées de données ou de commandes (demande de confirmation avant de quitter une session, protection des labels de champs, accès impossibles aux aires non nécessaires à l'utilisateur…).
Qualité des messages (14)	Pertinence et exactitude de l'information fournie à l'utilisateur sur la nature des erreurs commises et sur les actions à entreprendre pour corriger (aucune action ne doit suivre une action invalide, fournir des messages d'erreurs orientés tâches…).
Correction (15)	Moyens mis à la disposition de l'utilisateur pour corriger les erreurs. La facilité de correction diminue les perturbations dues aux erreurs (retour arrière ou annulation d'une action possible).

Homogénéité et Consistance (16) : Conservation des choix d'objets de l'interface (codes, procédures) pour des contextes identiques et non-conservation pour des contextes différents (standardisation et homogénéité des codes, procédures, dénominations, moyens,

localisation, format d'écran, procédure, similaire…).

Signification des codes (17) : Adéquation entre l'objet ou l'information affichée ou demandée et son référent. Des codes et dénominations “signifiants” disposent d'une relation sémantique forte avec leur référent (titre représentatif, règles de contraction ou d'abréviation explicitées, distinction des labels…).

Compatibilité (18) : Accord existant entre les caractéristiques de l'utilisateur (mémoire, perception, habitudes...) et l'organisation de l'interface (E/S, dialogue, architecture) : procédures et tâches respectant les attentes ou habitudes de l'utilisateur, traductions, transpositions, références à la documentation minimisée (informations directement utilisables, écrans compatibles avec le support papier, organisation des données affichées conforme à l'organisation des données à entrer...).

Une version de cet article a été publiée dans : *Journal Européen des Systèmes Automatisés (RAIRO-APII-JESA)*, 31 (7), pp. 1111-1154, 1997.