

L'analyse du domaine de travail et les cartes cognitives pour évaluer une IHM - Application à un Logiciel de Finances

Abstraction Hierarchy and Cognitive Map to evaluate an user interface – Application to a financial software

Thierry MORINEAU, Hélène BILLET

Université de Bretagne-Sud, France
thierry.morineau@univ-ubs.fr

Résumé. L'approche écologique en IHM vise à décrire le domaine de travail pour concevoir des interfaces dites « écologiques ». Ces interfaces ont pour objectif de rendre les fonctions du domaine directement accessibles, afin de guider au mieux l'adaptation de l'opérateur confronté aux exigences du travail. Si différents travaux ont montré qu'un opérateur « navigue » mentalement dans le réseau hiérarchisé d'objets composant le domaine de travail (Hiérarchie d'Abstraction), aucune analyse systématique de cette navigation n'a encore été réalisée dans le but d'évaluer le caractère écologique d'une interface. Dans cet article, nous montrons à travers l'exemple d'un expert en finance comment il est possible de suivre un cheminement cognitif sur la base d'une carte cognitive et d'une Hiérarchie d'Abstraction. Cette démarche nous permettra à terme d'évaluer le caractère écologique d'une nouvelle interface en cours de conception.

Mots-clefs. Evaluation, Hiérarchie d'Abstraction, Carte cognitive, approche écologique, Expert, Finance.

Abstract. The ecological approach in Human-Machine Interaction aims to describe the domain of work in order to design ecological interface. Such interface provides with a direct access of objects coming from the domain for guiding the adaptation of operators. Even though several works showed that operator mentally navigates through a hierarchical network of domain objects (Abstraction Hierarchy), no systematic analysis of this navigation was made to evaluate the ecological aspect of an interface. In this article, we show how it is possible to track cognitive path on the base of Cognitive Map and Abstraction Hierarchy. This approach shall allow us for evaluating the ecological character of a new interface that is currently in design.

Keywords. Evaluation, Abstraction Hierarchy, Cognitive Map, Ecological approach, Expert, Finance.

1 Introduction

Les méthodes d'évaluation d'Interfaces Homme-Machine (IHM) sont multiples. Elles sont habituellement réparties en trois classes (Senach, 1990 ; Grislin et Kolski, 1996) : les méthodes centrées sur l'utilisateur et son activité, les méthodes centrées sur une modélisation de l'interface et/ou de l'interaction homme-machine et les méthodes centrées sur l'expertise en ergonomie de l'évaluateur. Selon les cas, celles-ci sont plus ou moins centrées sur l'un des termes du système composé de l'humain et de la machine. Toutefois, un certains nombres de travaux récents revendiquant une approche « écologique » du travail ont proposé que la variable critique pour concevoir une interface relevait d'un terme extérieur à l'interaction Homme-Machine : le domaine de travail. L'approche écologique analyse prioritairement les contraintes provenant du domaine de travail pour concevoir des interfaces ergonomiques. Le domaine de travail est composé des objets plus ou moins concrets sur lesquels les opérateurs réalisent des transformations, transformations effectuées à l'aide notamment de machines. Le qualificatif « écologique » renvoie à la nécessité pour l'opérateur de s'adapter à ces objets et à leurs propriétés, de manière à réaliser une activité efficiente. En décrivant ces objets en termes fonctionnels, l'approche écologique vise à concevoir des interfaces dites « écologiques », c'est-à-dire présentant d'une manière directement accessible les objets et leurs propriétés (Burns et Hajdukiewicz, 2004 ; Vicente, 1999 ; Vicente, 2002). Cette perception directe du domaine de travail permettrait alors de mettre à la disposition des opérateurs des affordances (Vicente et Rasmussen, 1990) ; une affordance pouvant se définir comme une sollicitation de l'environnement déclenchant une action efficiente pour l'adaptation de l'individu, sans la nécessité de mettre en œuvre un raisonnement symbolique (Gibson, 1979).

L'approche écologique a été développée dans le cadre d'une ingénierie de la conception d'interface (Ecological Interface Design). Si cette approche propose un objectif général consistant à concevoir des interfaces « affordantes », elle n'a pas encore élaboré des procédures d'évaluation ergonomique des interfaces. Le seul critère d'évaluation disponible est celui de la bonne mise en relief des contraintes du domaine de travail à travers la présentation de l'information sur l'interface. Dans le champ des outils financiers, Achonu et Jamieson (2003) analysent ainsi un outil de gestion de portefeuille boursier sur la base d'une description du domaine de travail. Moïse (2006) utilise également une description du domaine de travail du courtage en épargne collective pour évaluer plusieurs logiciels. Dans le champ de l'expérimentation, les recherches menées par l'équipe de Vicente sur le micro-monde DURESS, simulant un système de refroidissement dans une centrale nucléaire, ont permis de mettre en évidence un certain nombre d'indicateurs de performance. Les participants étaient confrontés soit à une interface classique, soit à une interface écologique. Les résultats indiquent que l'interface écologique permet une meilleure performance, notamment en résolution de problème lorsque la situation de travail se dégrade (Terrier et Cellier, 1999 ; Vicente, 1992 ; Vicente et Rasmussen, 1992). D'autre part, les auteurs montrent que la performance globale, le niveau de diagnostic et de compréhension du processus sont corrélés positivement avec des cheminements cognitifs débutant par les fonctions abstraites du domaine et descendant vers les fonctions concrètes. A contrario, les cheminements débutant par une description concrète des objets du domaine (fonctions physiques) sont corrélés négativement avec le degré de compréhension du processus (Vicente *et al.*, 1995). Ces travaux expérimentaux confirment un ensemble de travaux antérieurs sur la résolution de problème qui indiquent l'importance d'un traitement hiérarchisé descendant chez l'expert (de Groot, 1965 ; Dunker, 1945 ; Vessey, 1985 ;

Rasmussen, 1985 et 1986 ; Chase et Ericsson, 1981 ; Glaser et Chi, 1988 ; Moray, 1990 ; Hoc 1987).

Dans le cadre d'une approche écologique de l'évaluation d'IHM, nous proposons donc de prendre en considération à la fois une description du domaine de travail et une description du cheminement cognitif de l'opérateur. Une interface écologique doit faciliter non seulement l'accès aux objets composants le domaine, mais également un cheminement de type « descendant » activant un comportement expert chez l'opérateur. Dans cet article, nous présentons deux outils conceptuels pour appréhender le domaine de travail et le cheminement cognitif de l'opérateur : la Hiérarchie d'Abstraction et les Cartes Cognitives. Puis, nous présentons l'application de ces outils conceptuels à l'évaluation d'une interface pour un logiciel financier. Enfin, nous discutons les apports, limites et perspectives de cette approche dans le cadre de l'évaluation d'une interface écologique en cours de conception.

2 L'analyse du domaine de travail par la Hiérarchie d'Abstraction

La Hiérarchie d'Abstraction (HA) est une méthode d'analyse fonctionnelle proposée à l'origine par J. Rasmussen (1985). L'objectif d'une HA est de décrire un domaine de travail sous la forme d'un ensemble de fonctions hiérarchisées correspondant à différents niveaux d'abstraction et organisées selon des relations de type « fins-moyens ». Une fonction à un niveau inférieur dans la hiérarchie sert de moyen pour atteindre une fonction située à un niveau hiérarchique supérieur. On définira le niveau le plus abstrait comme étant le premier. Il décrit les buts généraux du système. Ces buts rendent compte d'objectifs justifiant la présence du système de travail. Le second niveau correspond aux « fonctions abstraites », *i.e.* aux lois et principes dirigeant le comportement des objets du domaine. Le troisième niveau relève de « fonctions généralisées ». Il décrit les processus sur lesquels l'opérateur intervient. Le quatrième niveau est celui des fonctions physiques et décrit les fonctions sous l'angle des différentes variables manipulables pour opérer sur le domaine. Enfin, le cinquième et dernier niveau décrit les objets physiques et espaces auxquels se confronte concrètement un opérateur dans sa relation avec le domaine de travail. Chaque niveau de la HA constitue un point de vue particulier sur les objets du domaine.

Prenons l'exemple dans une maison d'un radiateur électrique standard disposant d'une résistance chauffante. Le but général du système correspond au maintien d'une température donnée dans la pièce. Les fonctions abstraites résident dans les lois de la conduction électrique et de l'énergie calorifique qui en résulte, mais aussi dans la théorie du contrôle à travers la notion de système asservi. Le système est régulé par une consigne de température. Une fois que la sonde détecte cette température, une rétroaction négative arrête le chauffage. Notons également comme autre fonction abstraite, le fait qu'une résistance chauffe à une vitesse constante quelle que soit la consigne de température demandée. Les fonctions généralisées sont ici les fonctions de mise en marche, d'arrêt du système, d'alimentation en électricité, de définition d'une consigne de chauffage, de détection de la température, de rétroaction pour arrêter le chauffage. On notera à ce niveau que certaines fonctions sont du ressort de l'utilisateur, tandis que d'autres fonctions sont automatisées. Les fonctions physiques sont les variables d'état du système comme « on/off », le branchement électrique, le type de consigne (une température ou une valeur sur une échelle relative), la position de la sonde détectant la

température,... Enfin, les formes physiques ou apparences sont les objets permettant les fonctions physiques, notamment le type de bouton ou de manette, le type d'indicateur rendant compte de l'état fonctionnel du radiateur (en marche ou non), etc. Le tableau 1 résume les différents niveaux pris dans cet exemple.

Niveau	Dénomination	Contenu du niveau
1	Buts du domaine	Maintien d'une température donnée dans la pièce.
2	Fonctions abstraites	Conduction électrique, conservation de l'énergie, Théorie du contrôle.
3	Fonctions généralisées	Mise en marche, arrêt du système, alimentation en électricité, définition d'une consigne de chauffage, détection de la température, rétroaction pour arrêter le chauffage.
4	Fonctions physiques	Branchement électrique, type de consigne (température ou valeur sur une échelle relative), position de la sonde détectant la température.
5	Formes physiques	Bouton ou manette, indicateur rendant compte de l'état fonctionnel du radiateur...

Tableau 1. *Hierarchie d'abstraction d'un radiateur électrique*

Habituellement, l'interface d'un radiateur électrique se limite à une diode qui s'allume lorsque la résistance chauffe et de quelques boutons de commande. Une diode n'est pas une interface très écologique, car elle rend très peu compte du domaine de travail du radiateur. Le fait que la résistance chauffe à une vitesse constante, quelle que soit la consigne de température demandée par l'utilisateur relève d'une fonction abstraite qui n'est pas inscrite dans l'interface homme-machine. Norman (2002) relate le cas d'utilisateurs donnant une consigne de température très élevée pour accélérer la vitesse de chauffage, alors que dans les faits cette action n'a aucun impact sur la vitesse. En partant de cet exemple, on pourrait proposer une interface « écologique » rendant directement perceptible la constance dans la vitesse de chauffage du radiateur. Le cheminement cognitif de l'utilisateur serait alors en mesure de partir de ce principe abstrait pour en arriver à une action optimale à l'égard de la consigne de chauffage (traitement descendant). Toutefois pour s'en assurer, il est nécessaire de pouvoir décrire ce cheminement cognitif.

3 Les cartes cognitives pour analyser les cheminements cognitifs

La notion de carte cognitive se rattache aux travaux de Axelrod (1976) sur la modélisation de la prise de décision chez les politiciens. Dans ce contexte, une carte cognitive ou « carte conceptuelle » décrit un ensemble de variables (concepts) sous la forme de nœuds reliés par des arcs de type « causal ». Le cheminement à travers ces concepts correspond aux inférences amenant à la décision. Les propriétés formelles d'une carte cognitive sont les suivantes :

- A chaque nœud du graphe est associée une variable (ou concept) ;
- A chaque arc (lien) reliant deux variables est associée une valeur qui se transfère d'un nœud à l'autre ;
- Un lien peut lier un nœud avec lui-même (boucle d'itération) ;
- La valeur associée à un lien est habituellement une mesure du niveau d'influence causale du nœud émetteur sur le nœud récepteur. Cette influence peut être positive. Le nœud émetteur facilite l'occurrence du nœud récepteur. Elle peut

également être négative. Le nœud émetteur inhibe l'occurrence du nœud récepteur. La figure 1 présente un exemple de carte cognitive illustrant ces caractéristiques.

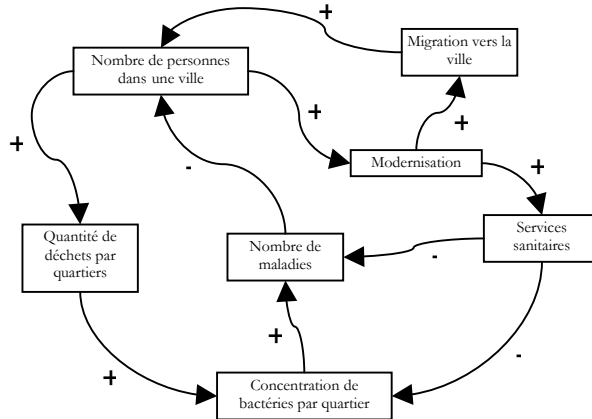


Figure 1. Exemple de carte cognitive tirée de Axelrod (1976)

Dans le cas d'une carte cognitive floue (Kosko, 1986), l'influence causale disposera d'une valeur numérique comprise dans l'intervalle $[-1,1]$. En général, l'expert évalue le poids selon qu'il est faible, moyen, fort ou très fort, ce qui respectivement permet d'allouer les valeurs suivantes : 0.25, 0.50, 0.75 et 1.00 au lien évalué ;

- Une carte cognitive peut être représentée sous la forme d'une matrice, avec en ligne les nœuds émetteurs de liens et en colonne les nœuds récepteurs de ces liens. Chaque cellule pourra donner la force du lien (valeur associée au lien) ou bien comptabiliser le nombre d'occurrences des liens entre les deux nœuds considérés.

- Si l'on présente dans une matrice (voir figure 2), le nombre d'occurrences pour chaque lien entre chaque nœud, on peut alors disposer à travers les totaux de chaque ligne, le nombre de liens de sortie pour chaque nœud (nœud comme émetteur de liens) et à travers les totaux en colonne, le nombre de liens d'entrées vers chaque nœud (nœud comme récepteur de lien). Soit :

$$TLE(i) = \sum_{j=1}^n |v_{ij}|$$

$$TLS(i) = \sum_{j=1}^n |v_{ji}|$$

avec :

i et j : concepts de la carte cognitive

$TLE(i)$: total des liens entrants pour le concept i

$TLS(i)$: total des liens sortants pour le concept i

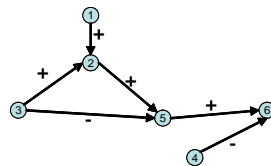
v_{ij} : valeur de la relation entre i et j

- Sur la base d'une matrice comptabilisant le nombre d'occurrences, on peut calculer un indicateur de centralité cognitive d'un nœud dans la carte cognitive en additionnant son niveau d'émission et de réception de liens (Axelrod, 1976).

$$\text{Soit : } TL(i) = TLE(i) + TLS(i)$$

- Un chemin au sein d'une carte cognitive peut être évalué sur la base du calcul de la propagation des valeurs associées à chaque lien composant le chemin en question. Sur un chemin, la propagation des valeurs se calcule par le produit des signes dans le cas d'un graphe ayant des liens évalués comme positif, négatif ou neutre ou par le produit des valeurs dans le cas d'un graphe cognitif flou.

- Une fois que l'on dispose de la matrice des poids liés à chaque lien de la carte cognitive, une simulation de la dynamique de la carte peut être envisagée de manière automatique sur la base d'une activation des nœuds du réseau, sous la forme d'un vecteur dont les valeurs de départ sont posées *a priori* (voir Parenthoën *et al.*, 2002 ; Stach *et al.*, 2005 pour plus de détails sur la modélisation dynamique).



	1	2	3	4	5	6	TLS
1	0	1	0	0	0	0	1
2	0	0	0	0	1	0	1
3	0	1	0	0	-1	0	2
4	0	0	0	0	0	-1	1
5	0	0	0	0	0	1	1
6	0	0	0	0	0	0	0
TLE	0	2	0	0	2	2	6

Figure 2. Exemple de carte cognitive et matrice correspondante

Notons qu'une carte cognitive dispose de propriétés très similaires à celles d'un graphe de fluence, comme l'on montré Styblinski et Meyer (1988). Les graphes de fluence ont été utilisés en ergonomie pour rendre compte de l'activité d'opérateurs au travail (Leplat et Cuny, 1984). Mais à la différence d'une carte cognitive, un graphe de fluence vise à résoudre des systèmes d'équations présentés de manière graphique. On peut également rapprocher les cartes cognitives des réseaux bayésiens, si l'on considère les liens comme pondérés par leur probabilité d'occurrence. Toutefois, les réseaux bayésiens ont la spécificité de ne pas pouvoir disposer d'itérations (graphe orienté).

4 Application des cartes cognitives au cheminement dans une HA

La démarche que nous proposons pour articuler HA et carte cognitive est la suivante. Tout d'abord, il est nécessaire de disposer d'une Hiérarchie d'Abstraction décrivant le domaine étudié. Cette analyse se réalise classiquement par l'intermédiaire de l'étude de documents décrivant le domaine et par des interviews individuelles ou de groupe menées auprès d'experts du domaine. En adoptant une démarche itérative, on tente d'obtenir une hiérarchie de fonctions, la plus précise et la plus exhaustive possible compte tenu de l'objectif de l'étude. La qualité de cette description du domaine est essentielle, car c'est elle qui va servir de grille de lecture pour coder le cheminement cognitif d'un expert.

La seconde étape consiste à proposer à des opérateurs la réalisation d'une tâche de résolution de problème telle que le diagnostic d'une situation particulière. Les informations manipulées par ces opérateurs durant leur activité seront alors enregistrées et codées en fonction des niveaux auxquels elles font référence dans la Hiérarchie d'Abstraction. Notons qu'il est possible de coder des éléments propres aux formes physiques, comme les problèmes d'interaction avec les interfaces de contrôle-commande.

Une fois ce codage effectué, nous proposons de construire une matrice comptabilisant les fréquences de passage d'un niveau de la HA à un autre (transition « inter-niveau ») ou d'un niveau vers lui-même (transition « intra-niveau »). Dans cette matrice, nous conviendrons de représenter en ligne, les niveaux « sources » d'une transition et en colonne, les niveaux de destination de cette transition. Nous obtenons ainsi une matrice présentant les fréquences absolues de passage d'un nœud à un autre (tableau 2). Sur la base de cette matrice, nous allons pouvoir faire émerger un ensemble d'indicateurs.

Niv. de destination Niv. source	Niv. 1 Buts généraux	Niv. 2 F. abstraites	Niv. 3 F. généralisées	Niv.4 F. physiques	Totaux « Liens sortants »
Niv. 1 Buts généraux	Transition Intra-niveau	LS (1,2)			TLS (1)
Niv. 2 F. abstraites		Transition Intra-niveau			
Niv. 3 F. généralisées			Transition Intra-niveau		
Niv. 4 F. Physiques				Transition Intra-niveau	
Totaux Liens « entrants »					

Abréviations : F : fonction ; LS(1,2) : Nombre de liens sortant du Niveau 1 vers le Niveau 2 ; TLS(1) : Nombre total de liens sortants du Niveau 1.

Tableau 2. Matrice type de comptabilisation des transitions entre niveaux de la Hiérarchie d'Abstraction pour la construction d'une carte cognitive

La cohérence du cheminement cognitif

A partir des fréquences des liens entre niveaux, on peut apprécier la cohérence du cheminement cognitif de l'expert au regard des différents niveaux de la HA. Un lien cohérent sera défini comme un lien parcouru entre deux niveaux adjacents (Vicente *et al.*, 1995). Un nombre trop élevé de liens incohérents avec la HA peut signifier que cette dernière est inadaptée à retranscrire le cheminement cognitif de l'opérateur.

La centralité cognitive d'un nœud

Par ailleurs, Axelrod (1976) a montré que l'observation du nombre de liens entrants et sortants permettait de dégager le degré de centralité cognitive d'un nœud dans le graphe. Les totaux en ligne et en colonne pour chaque niveau, nous permettent de comptabiliser le nombre d'occurrences de liens sortant d'un niveau (total en ligne) et le nombre d'occurrences de liens allant vers un niveau (total en colonne). La somme de ces totaux pour un niveau donné, nous donne ainsi sa centralité cognitive.

Les proportions de liens descendants et ascendants

Comme nous l'avons vu auparavant, le mode de cheminement dans la HA d'un opérateur est un révélateur de l'expertise. Les cheminements descendants sont privilégiés par les experts lors de résolution de problème. Notre comptabilisation des transitions entre niveaux de la HA nous permet de calculer respectivement les proportions de liens descendants et ascendants et donc de mettre à jour des stratégies « expertes ».

Les fréquences relatives de liens sortants d'un niveau de la HA

Enfin, il est possible d'envisager le cheminement vers un noeud sous l'angle de sa probabilité locale d'occurrence. Pour cela, on peut calculer les fréquences relatives de liens émis par un niveau vers un autre niveau. Par exemple, le tableau 2 présente une matrice de liens avec un nombre de liens sortants entre le niveau 1 et le niveau 2 de la HA appelé $LS(1,2)$ et un nombre total de liens sortants du niveau 1 appelé $TLS(1)$. La fréquence relative (ou probabilité) de liens sortant du niveau 1 et atteignant le niveau 2 est appelée $FLS(1,2)$ et sera égal à :

$$FLS(1,2) = LS(1,2)/TLS(1)$$

5 Le cheminement cognitif d'un expert financier durant une activité de diagnostic

Cette étude s'intègre dans une recherche menée en collaboration avec l'entreprise MGDIS concevant et commercialisant des logiciels notamment dédiés à la gestion financière des hôpitaux. L'outil actuellement proposé par l'entreprise est composé de tableurs pré-formatés (logiciel SOFI). On distingue dans cette application deux parties essentielles. La première permet de saisir la situation initiale de l'établissement et de voir le plan de financement. La seconde partie permet de saisir les projets prévus ainsi que leurs caractéristiques (figure 3).

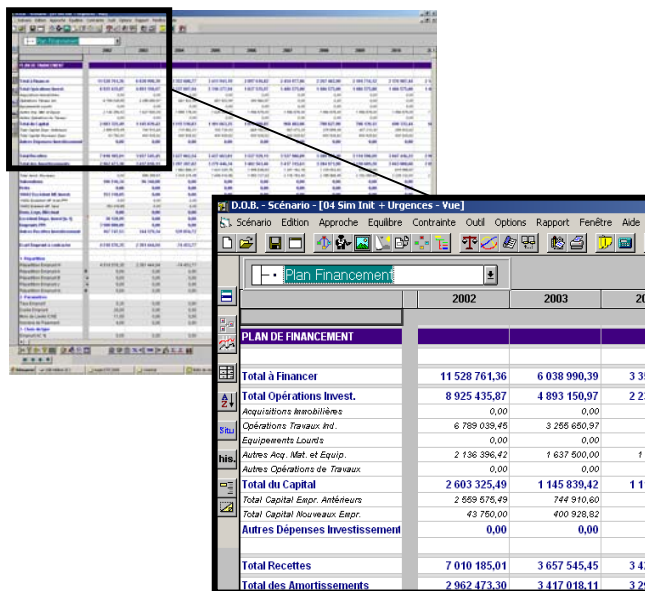


Figure 3. Capture d'écran du logiciel SOFI. Exemple de tableau et vue zoomée.

Le logiciel comporte une profusion de lignes de chiffres à lire. On compte au minimum une trentaine de tableaux dans ce logiciel. On peut également souligner la taille parfois conséquente de ces tableaux qui peut dépasser deux écrans, forçant l'utilisateur à manipuler fréquemment les ascenseurs. En plus de ces problèmes d'utilisabilité, les clients ont indiqué que certaines fonctions du logiciel ne sont pas utiles à leur travail. La plupart des outils proposés aux financiers actuellement sont basés sur ce type de format. Dans ces outils la boucle « perception-action » n'est pas favorisée. Lorsque l'utilisateur modifie la valeur d'une variable, la conséquence de cette modification n'est pas immédiatement visible.

5.1 Le domaine de la finance hospitalière : le plan pluriannuel d'investissement

Le domaine financier sur lequel nous nous penchons concerne la stratégie financière en hôpital. Plus précisément, nous nous intéressons à l'élaboration d'un Plan Pluriannuel d'Investissement (PPI). Ce plan permet de prévoir les dépenses à plus ou moins long terme pour envisager les besoins en financement sur une certaine période et notamment planifier le recours à des financements extérieurs. Au sein des établissements hospitaliers, la tâche d'élaboration d'un PPI revient au service financier de l'établissement et les décisions concernant les projets ainsi que les financements à utiliser sont prises par le directeur financier. Cette tâche correspond à une résolution de problème avec trois phases. La première consiste à effectuer une analyse de la situation financière de l'établissement sur la base de multiples variables et indicateurs. Dans un second temps, le financier va définir les stratégies à adopter pour la période à venir. Enfin, le financier peut passer à l'étape de planification pluriannuelle où il va introduire de nouveaux projets et rechercher l'équilibre des sections d'exploitation et d'investissement par des moyens de financements comme l'emprunt.

L'examen des documents de l'entreprise décrivant les principes financiers sur lesquels repose l'élaboration d'un PPI, les supports documentaires utilisés par les formateurs au logiciel ainsi que des interviews non structurées nous ont permis de définir les différents niveaux de la Hiérarchie d'Abstraction. La démarche a consisté à construire une première ébauche de HA sur la base des documents du domaine, puis nous avons utilisé la technique des protocoles verbaux (Bisseret *et al.*, 1999) en vue de déterminer les éléments de cette HA. On pourra se référer à la description du protocole dans (Billet, 2006) pour plus de détails. L'ensemble a ensuite été soumis à 4 experts en leur expliquant la technique de modélisation. La confrontation avec les experts a permis de valider cette première version de HA.

Sur la base de cette analyse, nous avons défini les niveaux suivants (figure 4) :

- Le premier niveau décrit les Buts du domaine. Pour élaborer correctement leur PPI, les financiers doivent chercher à équilibrer conjointement leur section d'investissement et d'exploitation et à financer totalement leur projet.

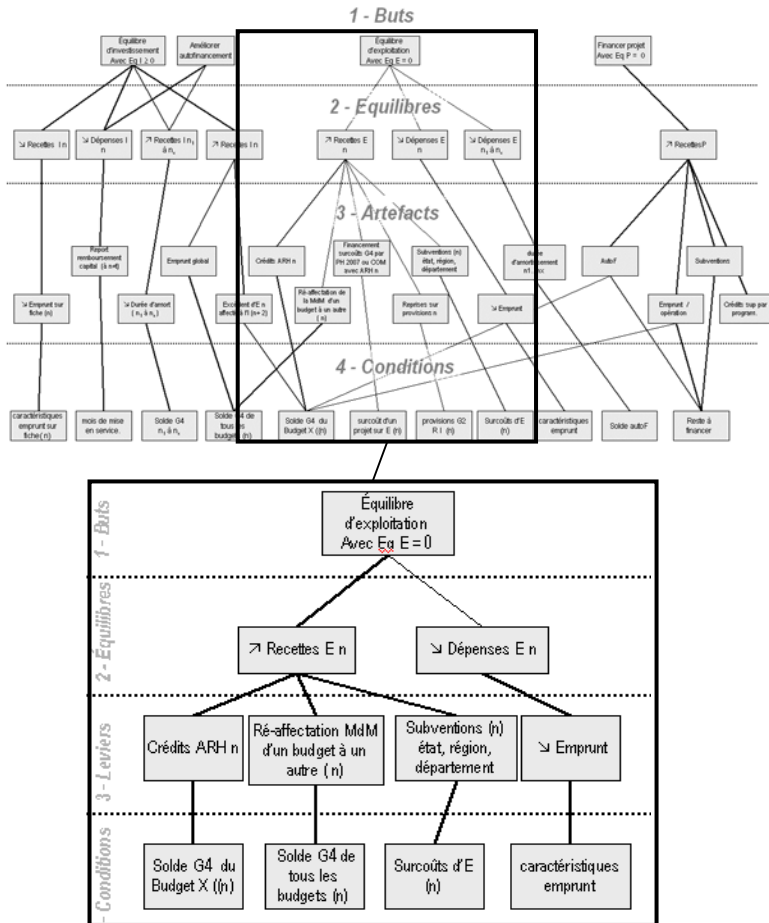
- Le second niveau des Fonctions abstraites correspond aux règles financières et montre le jeu des recettes et des dépenses permettant d'atteindre les équilibres de section d'investissement et d'exploitation et le financement des projets en niveau 1.

- Le troisième niveau appelé ici Leviers décrit les divers moyens financiers qui permettent de mettre en œuvre le jeu des recettes et des dépenses comme par exemple les amortissements, les emprunts ciblés ou globaux, les crédits.

- Le dernier niveau appelé ici Conditions décrit les variables qui conditionnent la possibilité d'utilisation ou non d'un des leviers financiers

répertoriés dans le niveau 3. Enfin, le niveau des formes physiques relèvera des modalités de la présentation des informations financières.

Notons que des analyses antérieures du domaine financier produisent un découpage similaire : Achonu et Jamieson (2003) pour la gestion de portefeuilles boursier et Dainoff *et al.* (2004) pour l'analyse financière en entreprise.



Abbréviations : n : année, E ou G4 : Exploitation, MdM : Marge de Manœuvre.

Figure 4. Hiérarchie d'abstraction de la planification annuelle d'investissement. Vue globale et extrait simplifié montrant les nœuds de la HLA relatifs au but d'équilibre de la section d'investissement.

5.2 Protocole d'observation du cheminement cognitif

Un expert disposant d'une bonne connaissance du domaine a participé à cette expérience (9 années de pratique du domaine financier, 3 années de pratiques de la finance hospitalière et du logiciel utilisé durant les observations – SOFI). L'expert a été confronté successivement à 5 bases de données rendant compte de l'état financier de 5 hôpitaux différents via le logiciel SOFI. Ces bases de données ont été sélectionnées comme représentatives de la palette d'hôpitaux que l'on peut trouver

en France (nombre de projets financiers entre 10 et 45, nombres de lits entre 351 et 1128). L'expert avait pour consigne de poser un diagnostic financier sur chacune de ces bases de données et de présenter les moyens pour améliorer la situation. Le logiciel SOFI présente les différentes variables financières principalement sur le plan des fonctions physiques. La capacité à accéder aux fonctions plus abstraites du domaine relève donc entièrement de l'expertise propre à l'expert. On notera enfin que l'activité de verbalisation demandée à travers le diagnostic constitue un outil psychologique habituellement utilisé par cet expert dans son travail auprès des financiers en hôpital, ou dans son travail de formation des clients de l'entreprise. Cette situation n'implique donc pas de charge mentale supplémentaire.

Verbalisations	Niveau de la HA
/Donc l'année 2003 est plutôt simple parce que l'équilibre d'exploitation est bon/	1
/et l'investissement génère de l'autofinancement... /	2
/Donc là, c'est pas compliqué. Par contre 2004 ça devient plus compliqué parce que l'on a déjà un (ne poursuit pas).../	...
/Bon au niveau de l'équilibre d'investissement bon ça va.../	1
/ça veut dire qu'il y a suffisamment de ressources ,/	3
/mais le problème c'est le G4 de chaque budget à partir de 2004, il est vraiment plombé hein.../	1

Tableau 3. Exemple de codage des verbalisations faisant référence aux niveaux de la HA

Le tableau 3 présente un exemple de découpage des verbalisations, codées en épisodes composés d'une ou plusieurs phrases rattachées à un même thème fonctionnel. Chaque unité codée est associée à un niveau dans la HA.

5.3 Résultats

Notons au préalable que l'on observe une grande homogénéité dans le nombre d'occurrences entre les différentes bases de données étudiées par l'expert, excepté pour la base de données C. Les verbalisations au sujet de cette dernière ont conduit au codage de 7 transitions entre niveaux distincts de la HA, tandis que les 4 autres bases de données font émerger à chaque fois 17 transitions. L'explication de ce nombre faible d'occurrences pour la base de données C se trouve dans les verbalisations même de l'expert qui fait remarquer qu'il s'agit d'un cas simple. Malgré la particularité de cette base, nous avons choisi de la conserver dans le calcul global des cheminements, car il s'agit d'un cas qu'un expert financier peut tout de même rencontrer.

A partir de l'analyse globale des cheminements de l'expert au sein des 5 bases de données financières, nous avons pu établir la matrice présentant la fréquence des liens entre chaque niveau de la HA (tableau 4). Nous avons réalisé une agrégation des données provenant des différentes bases. Cette méthode implique que l'on considère l'expert comme ayant un style particulier de cheminement dans les bases de données, qu'il reproduit régulièrement durant ses différents diagnostics et que

l'on souhaite faire émerger à partir des données collectées. Pour chaque proportion observée, nous donnons son intervalle de confiance (I.C.).

	<i>Niv.1</i>	<i>Niv.2</i>	<i>Niv.3</i>	<i>Niv.4</i>	<i>TOTAL</i>
<i>Niv.1</i>	9	11	12	2	34
<i>Niv.2</i>	3	5	10	2	20
<i>Niv.3</i>	6	8	11	10	35
<i>Niv.4</i>	1	0	10	1	12
<i>TOTAL</i>	19	24	43	15	101

Tableau 4. Matrice globale des fréquences de lien entre les niveaux de la HA

Centralité cognitive des niveaux de la HA en finance

Le calcul du nombre d'occurrences de liens « entrants et sortants » pour chaque niveau de la HA permet de montrer que le niveau 3 des Leviers dispose de la plus grande centralité cognitive (78 liens), suivi du niveau 1 des Buts généraux (53 liens), du niveau 2 des Fonctions abstraites (44 liens) et enfin du niveau 4 des Conditions (27 liens).

Les proportions de liens cohérents et incohérents avec la HA en finance

La figure 5 nous indique que majoritairement les liens cohérents avec la HA prédominent avec 51% (IC +/- 9,7% ; p=0,05) du nombre global de liens, tandis que les cheminements incohérents avec les strates de la HA représentent seulement 23% (IC +/- 8,2% ; p=0,05).

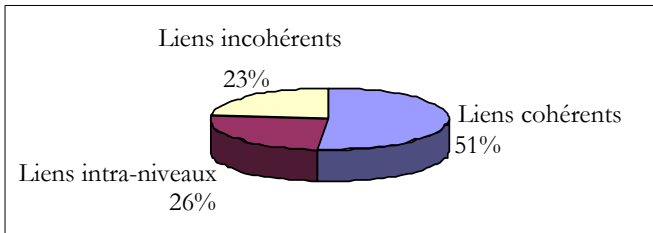


Figure 5. Répartition en pourcentages des liens selon leurs types (cohérent, intra-niveau, incohérent)

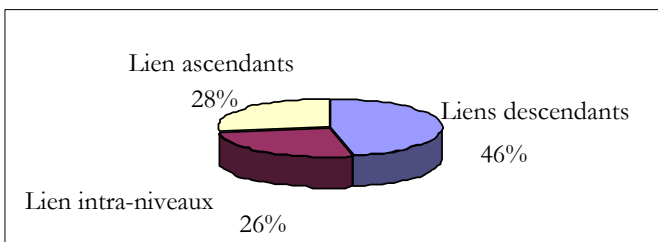


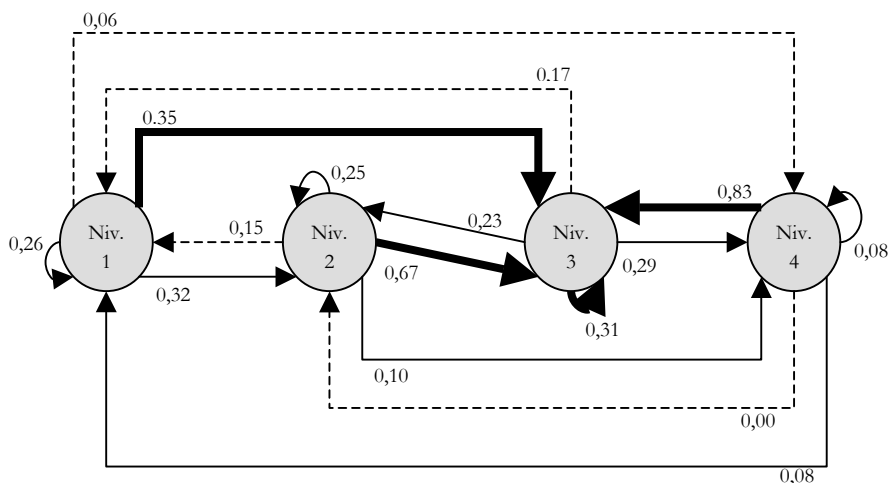
Figure 6. Répartition en pourcentages des liens selon leur trajectoire (descendant, intra-niveau, ascendant)

Les proportions de liens descendants et ascendants dans la HA finance

La figure 6 montre que les liens descendants sont relativement majoritaires avec 46% (IC +/- 9,8% ; $p=0,05$) du total des liens, par rapport au pourcentage de liens ascendants : 28% (IC +/- 8,8 % ; $p=0,05$). D'autre part, on notera que 30,7% (IC +/- 9,0% ; $p=0,05$) des liens sont descendants et cohérents, contre 20,8% (IC +/- 7,9 % ; $p=0,05$) de liens ascendants et cohérents. Les relations descendantes entre les niveaux de la HA dans le cheminement cognitif de l'expert prédominent.

Les fréquences relatives de liens sortants d'un niveau de la HA en finance

Le calcul pour chaque niveau des probabilités locales de passer à un autre niveau permet de construire un graphe avec des probabilités associées à chaque lien.



Légende : En gras, les liens « sortants » pour chaque niveau de la HA ayant localement les plus fortes probabilités. En pointillés, les liens « sortants » pour chaque niveau de la HA ayant localement les plus faibles probabilités.

Figure 7. Carte cognitive de l'expert avec les valeurs de probabilités locales associées à chaque lien

La figure 7 nous indique ainsi que pour chaque niveau atteint par l'expert dans son activité cognitive, le chemin le plus probable à ce moment-là est systématiquement celui allant vers le niveau 3 des fonctions généralisées, même lorsque l'expert est déjà situé au niveau de ces fonctions généralisées.

6 Discussion

L'évaluation d'une IHM est classiquement envisagée à travers des démarches privilégiant une composante du système : l'humain, la machine ou l'interaction des deux. L'approche écologique propose de manière originale d'aborder le problème à travers une analyse du domaine de travail, i.e. à travers ce pour quoi le système Homme-Machine est conçu. Dans le cadre de cette approche, nous proposons un suivi du cheminement cognitif au sein du réseau liant les fonctions du domaine de travail. La Hiérarchie d'Abstraction et les Cartes Cognitives nous permettent la mise en place d'indicateurs cognitifs dont les valeurs pourront dépendre de la qualité de l'interface à bien refléter le domaine de travail.

Cette première étude menée auprès d'un expert en finance hospitalière avec une interface classique de type « tableur » montre que l'expert dispose d'un

cheminement cohérent avec le réseau « fins-moyens » de la HA décrivant le domaine de travail. De plus, ce cheminement est descendant, confirmant ainsi des travaux précédents (Vicente *et al.*, 1995). Par ailleurs, on observe de manière originale que l'expert focalise son cheminement sur un niveau particulier dans la HA, celui des fonctions généralisées qui retracent les processus financiers à gérer (appelés leviers). Ce résultat peut s'expliquer par le caractère central des fonctions généralisées pour diriger les actions des opérateurs (Lin et Zhang, 2004). D'après Potter *et al.* (2002), elles correspondent à des « concepts abstraits » élaborés par les opérateurs de manière à pouvoir synthétiser de manière opérationnelle une multitude de variables à manipuler (les fonctions physiques de la HA). Les auteurs montrent ainsi l'exemple du concept de « force de feu d'une unité militaire » que les stratégies manipulent et qui sous-tend un ensemble de caractéristiques définissant l'état matériel, géographique, fonctionnel, humain, etc., d'une unité de combat. L'étude de la centralité cognitive des niveaux de la HA permet ainsi de quantifier le poids de ces différents niveaux dans le cheminement cognitif d'un expert.

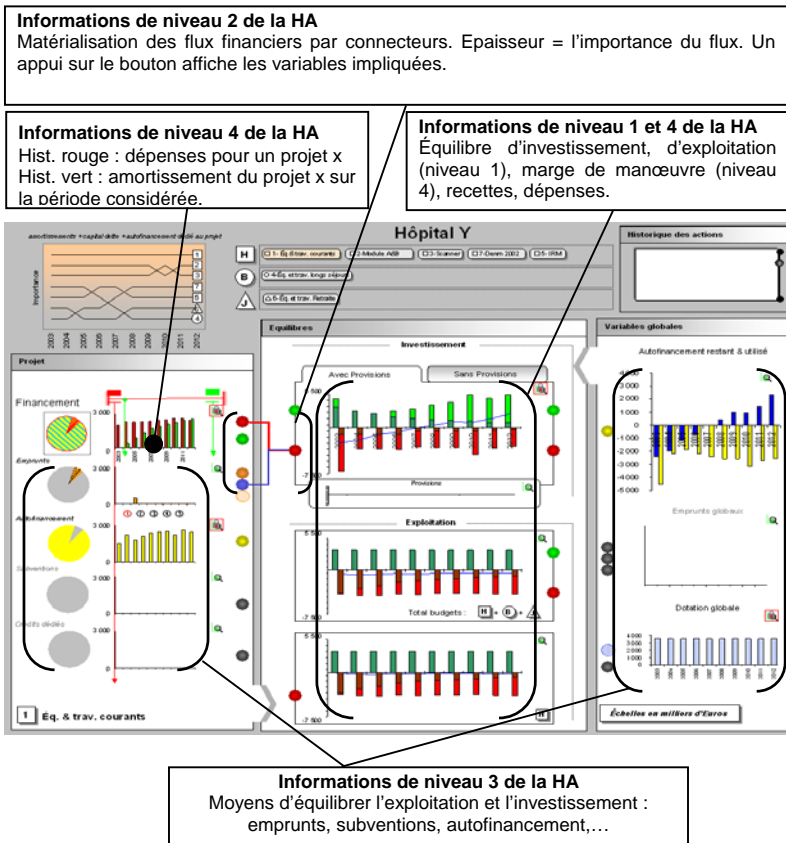


Figure 8. Capture d'écran de l'interface écologique conçue sur la base de la HA du PPI

D'un point de vue méthodologique, ce travail aborde les cartes cognitives d'une nouvelle manière. L'utilisation de la HA comme trame sur laquelle se met en œuvre la carte cognitive conduit à une dissociation entre le sens des relations causales et le sens du cheminement cognitif au sein de ces relations. Classiquement,

les cartes cognitives supposent que le cheminement cognitif suit le sens des relations causales (Karel, 2004). L'usage de la HA comme trame conduit à rendre indépendant le raisonnement, du sens des relations causales inscrites dans le domaine. Reprenons l'exemple du radiateur électrique, le domaine dispose d'une relation causale où la rotation d'une manette d'un cran (forme physique) conduit à amplifier d'une unité la consigne de température (fonction physique), ce qui permet d'amplifier la température requise (fonction généralisée), de modifier la dynamique du chauffage de la résistance (fonctions abstraites), afin in fine d'accroître la température dans la pièce (but général). Cet enchaînement causal est lié au domaine. Le raisonnement guidant l'utilisateur ne suit pas forcément l'enchaînement causal dans ce cheminement. Notamment dans cet exemple, le raisonnement d'un utilisateur débutera classiquement par le but général (chauffer la pièce).

Maintenant que l'on dispose d'un cadre d'évaluation à travers des indicateurs cognitifs articulés à une description du domaine de travail, nous sommes en mesure d'évaluer l'impact d'une nouvelle interface écologique sur le raisonnement de financiers experts ou débutants (voir figure 8). L'intérêt d'une interface écologique est de pouvoir rendre visible directement à l'utilisateur les niveaux les plus élevés de la HA et donc de faciliter leur manipulation intellectuelle. En employant un protocole expérimental similaire à celui que nous venons d'exposer et compte tenu des vertus attendues de la part d'une interface écologique, nous devrions obtenir de plus amples fréquentations des niveaux fonctionnels les plus abstraits dans la HA (notamment le niveau des fonctions abstraites), comparativement à une interface classique comme SOFI, basée principalement sur l'affichage des variables de base liées aux fonctions physiques (Billet et Morineau, 2005).

Il n'en reste pas moins que comme pour toute méthode de codage de protocoles verbaux, celle-ci se confronte à des difficultés méthodologiques. Tout particulièrement ici, le codage des fonctions abstraites est difficile. Ce niveau qui décrit les lois et grands principes du domaine de travail est souvent représenté de manière tacite dans les connaissances des experts et donc peu exprimé par ceux-ci (Reber *et al.*, 1980). Une de nos perspectives de recherche visera donc à affiner la définition des indicateurs pour éviter cet écueil.

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier les experts anonymes pour la précision de leurs conseils. Nous remercions également le personnel de la Société MGDIS qui a bien voulu participer à ces travaux. Ces travaux sont en partie financés par un contrat CIFRE.

7 Références

- Achonu, J., Jamieson, G. A. (2003). Work domain analysis of a financial system: An abstraction hierarchy of portfolio management. In *Proceedings of the 22nd European Annual Conference on Human Decision Making and Control*, Linköping, Sweden.
- Axelrod, R. (1976). *Structure of Decision: The cognitive maps of political elites*. University Press, Princeton.
- Billet, H., Morineau, T. (2005). Application du cadre des interfaces écologiques au domaine de la stratégie financière. In *Actes de Manifestation des Jeunes Chercheurs francophones dans les domaines des STIC*, MajecSTIC2006, Rennes, Novembre.

- Billet, H. (2006). *Modélisation de la planification pluriannuelle d'investissement au moyen d'une hiérarchie d'abstraction en vue de concevoir une interface écologique*. 12^{ème} Journée d'Etude sur le Traitement Cognitif des Systèmes d'Information Complexes. Disponible à : <http://netx.u-paris10.fr/psycognitive/jetcsic2006/billet.pdf>.
- Bisseret, A., Sébillotte, S., Falzon, P. (1999). *Techniques pratiques pour l'étude des activités expertes*. Octarès, Toulouse.
- Burns, C. M., Hajdukiewicz, J. R., (2004). *Ecological Interface Design*. Boca Raton : CRC Press.
- Chase, W.G., Ericsson, K.A. (1981). Skilled memory. In *Cognitive skills and their acquisition*, J.R. Anderson, (Ed.), NJ : Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, 141-189.
- Dainoff, M. J., Dainoff, C. A., McFeeters, L. (2004). On the application of cognitive work analysis to the development of a commercial investment software tool. In *Proceedings of the 48th Human Factors and Ergonomics Society*, Santa Monica, CA, 2004.
- Dunker, K. (1945). On problem solving. *Psychological Monographs*, vol. 58, num.5, (Whole num. 270).
- Gibson, E. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Boston: Houghton Mifflin.
- Glaser, R., Chi, M.T.H. (1988). Overview. In *The nature of expertise*, M.T.H Chi, R. Glaser & M.J. Farr (Eds.), NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, xv-xxviii.
- Grislin, M., Kolski, C. (1996). Evaluation des interfaces homme-machine lors du développement de système interactif. *Technique et Science Informatiques (TSI)*, 3, 265-296.
- Groot de, A.D. (1965). *Thought and Choice in chess*. Mouton, The Hague.
- Hoc, J. M. (1987). *Psychologie cognitive de la planification*. PUG, Grenoble.
- Karel, M. (2004). From concept mapping to qualitative modelling in cognitive research. In *Proceedings of the First International Conference on Concept Mapping*, Pamplona Spain, September.
- Kosko, B. (1986). Fuzzy Cognitive Maps. *International Journal of Man-Machine Studies*, vol. 24, 65-75.
- Leplat, J., Cuny, X. (1984). *Introduction à la psychologie du travail*. PUF, Paris.
- Lin, Y., Zhang, W. J. (2004). Towards a novel interface design framework: function-behavior-state paradigm. *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 61, 259-297.
- Moise, A. (2006). Analyse des logiciels d'application spécialisée pour le courtage en épargne collective. *18th International Conference on Association Francophone d'Interaction Homme-Machine (IHM'06)*, New York, NY: ACM Press, 141-144.
- Moray, N. (1990). A lattice theory approach to the structure of mental models. *Philosophical Trans. R. Soc. London*, vol. 327, num. 1241, 577-583.
- Norman, D. A. (2002). *Psychology of Everyday Things*. Basic Books, New York.

- Parenthoën, M., Tisseau, J., Morineau, T. (2002). Believable Decision for Virtual Actors. In *Proceedings IEEE, International Conference on Systems, Man and Cybernetics*. IEEE SMC'02, Hammamet, Tunisia, October.
- Potter, S.S., Elm, W. C., Roth, E. M., Gualtieri, J.W., Easter, J. R. (2002). Using intermediate design artefacts to bridge the gap between cognitive analysis and effective decision making. In *State of the art report (SOA): Cognitive systems engineering in military aviation environments*, M.D. McNeese & M.A. Viderlich (Eds.), Wright-Patterson AFB, OH: Human Systems Information Analysis Center, 137-168.
- Rasmussen, J. (1985). The role of hierarchical knowledge representation in decision making and system management. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 15, 234-243.
- Rasmussen, J. (1986). *Information processing and human-machine interaction: An approach to cognitive engineering*. North-Holland, New York.
- Reber, A. S., Kassin, S. M., Lewis, S., Cantor, G. (1980). On the relationship between implicit and explicit modes of learning a complex rule structure. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, vol. 6, 492-502.
- Senach, B. (1990). Evaluation ergonomique des interfaces Homme-Machine : une revue de la littérature. *Rapport de recherche, INRLA*, Sophia Antipolis, n°1180.
- Stach, W., Kurgan, L., Pedrycz W., Reformat, M. (2005). Genetic learning of fuzzy cognitive maps. *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 153, num. 3, 371-401.
- Styblinski, M.A., Meyer, B. D. (1988). Fuzzy cognitive maps, signal flow graphs, and qualitative circuit analysis. In *Proceedings IEEE International Conference on Neural Networks*, San Diego, USA, juillet 1988.
- Terrier, P., Cellier, J.M. (1999). Depth of processing and design-assessment of ecological interfaces: task analysis. *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 50, 287-307.
- Vessey, I. (1985). Expertise in debugging computer programs: A process analysis. *International Journal of Man-Machine Studies*, vol. 23, 459-494.
- Vicente, K. J. (1992). Memory recall in a process control system: a measure of expertise and display effectiveness. *Memory & Cognition*, vol. 20, 356-373.
- Vicente, K. (1999). *Cognitive Work Analysis, toward safe, productive and healthy computer-based work*. Erlbaum, Mahwah.
- Vicente, K. J. (2002). Ecological interface design: process and challenges. *Human Factors*, vol. 44, 62-78.
- Vicente, K. J., Christoffersen, K., Perekhita, A. (1995). Supporting operator problem solving through Ecological Interface Design. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 25, num.4, 529-545.
- Vicente, K. J., Rasmussen, J. (1990). The ecology of human-machine systems II: Mediating "direct perception" in complex work domains. *Ecological Psychology*, vol. 2, 207-250.

Vicente, K. J., Rasmussen, J. (1992). Ecological Interface Design: Theoretical Foundations. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 22, num. 4, 589-606.