

# Revue des Interactions Humaines Médiatisées

Journal of Human Mediated Interactions

## Rédacteurs en chef

Sylvie Leleu-Merviel & Khaldoun Zreik

Vol 16 - N° 2 / 2015



© europia, 2015  
15, avenue de Ségur,  
75007 Paris - France  
Tel 33 1 45 51 26 07  
<http://europia.org/RIHM>  
[rihm@europia.org](mailto:rihm@europia.org)

# Revue des Interactions Humaines Médiatisées

*Journal of Human Mediated Interactions*

## Rédacteurs en chef / *Editors in chief*

- Sylvie Leleu-Merviel, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, Laboratoire DeVisu
- Khaldoun Zreik, Université Paris 8, Laboratoire Paragraphe

## Comité éditorial / *Editorial Board*

- Thierry Baccino (Université Paris8, LUTIN - UMS-CNRS 2809, France)
- Karine Berthelot-Guiet (CELSA- Paris-Sorbonne GRIPIC, France)
- Pierre Boulanger (University of Alberta, Advanced Man-Machine Interface Laboratory, Canada)
- Jean-Jacques Boutaud (Université de Dijon, CIMEOS, France )
- Aline Chevalier (Université Paris Ouest Nanterre La Défense, CLLE-LTC, France)
- Yves Chevalier (Université de Bretagne Sud, CERSIC -ERELLIF, France)
- Didier Courbet (Université de la Méditerranée Aix-Marseille II, Mediasic, France)
- Viviane Couzinet (Université de Toulouse3, LERASS, France)
- Milad Doueïhi (Université de Laval - Chaire de recherche en Cultures numériques, Canada)
- Pierre Fastrez (Université Catholique de Louvain, GReMS, Belgique)
- Pascal Francq (Université Catholique de Louvain, ISU, Belgique)
- Bertrand Gervais (UQAM, Centre de Recherche sur le texte et l'imaginaire, Canada)
- Yves Jeanneret (CELSA- Paris-Sorbonne GRIPIC, France)
- Patrizia Laudati (Université de Valenciennes, DeVisu, France)
- Catherine Loneux (Université de Rennes, CERSIC -ERELLIF, France)
- Marion G. Müller (Jacobs University Bremen, PIAV, Allemagne)
- Marcel O'Gormann (University of Waterloo, Critical Média Lab, Canada)
- Serge Proulx (UQAM, LabCMO, Canada)
- Jean-Marc Robert (Ecole Polytechnique de Montréal, Canada)
- Imad Saleh (Université Paris 8, CITU-Paragraphe, France)
- André Tricot (Université de Toulouse 2, CLLE - Lab. Travail & Cognition, France)
- Jean Vanderdonckt (Université Catholique de Louvain, LSM, Belgique)
- Alain Trognon (Université Nancy2, Laboratoire InterPsy, France)

# Revue des Interactions Humaines Médiatisées

Journal of Human Mediated Interactions

Vol 16 - N° 2 / 2015

## Sommaire

### Editorial

Sylvie LELEU-MERVIEL, Khaldoun ZREIK (Rédacteurs en chef) 1

### Un Évaluation de la compatibilité structurelle entre la hiérarchie d'abstraction et de décomposition et l'interface écologique

*Structural compatibility assessment between the abstraction-decomposition hierarchy and the ecological interface*

Alexandre MOÏSE, Jean-Marc ROBERT 3

### L'usage du web par les collectivités territoriales : un état des lieux en région PACA

*Use of web by the local authority: a current situation in PACA*

Paul DEPREZ 35

### Eduquer à l'information par l'audiovisuel et le journalisme

*Teaching information through audiovisual techniques and journalism*

Camille DUWEZ, Willy YVART 61

### L'enseignement à distance ou le corps enseignant mis à distance ? Lecture communicationnelle de pratiques audiovisuelles

*"Distance learning" or "distanced faculty"? Communicative reading of audiovisual practices*

Barbara SZAFRAJZEN, Anne-Marie KOSMICKI EndFragment 85

## Editorial

R.I.H.M., *Revue des Interactions Humaines Médiatisées*, qualifiante en sciences de l'information et de la communication, continue à creuser le sillon de l'interdisciplinarité en croisant les regards disciplinaires sur des objets partagés. Ainsi ce numéro propose-t-il une fois encore une variété d'objets scientifiques, de la conception des interfaces écologiques aux pédagogies innovantes, en passant par le recours aux TIC dans les échanges des collectivités avec leurs administrés.

Le premier article nous vient en effet de l'Université de Sherbrooke et développe une recherche approfondie concernant les interfaces écologiques. Il interroge la pertinence, tenue pour acquise dans la littérature, de l'utilisation de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition comme technique de représentation du domaine de travail à des fins de conception d'interfaces écologiques. Les résultats de l'évaluation effectuée confirment une incompatibilité structurelle qui disparaît, toutefois, en ajoutant une liste de variables et une liste d'équations à la hiérarchie d'abstraction et de décomposition.

Le deuxième article analyse l'usage du web par les collectivités territoriales. Le dépouillement des données recueillies auprès de 116 collectivités de la région PACA met en évidence des difficultés à s'approprier les potentialités offertes par le web 2.0. Aussi, *a contrario* des discours répandus qui affirment que le recours à la communication numérique est désormais généralisé, l'analyse rigoureuse montre la persistance d'un web dit informationnel, de nature documentaire, cantonné dans une offre producteur, sans appui sur les réseaux sociaux et sans réelle interactivité avec le citoyen.

Le troisième article présente un cas concret d'éducation à l'information et aux médias par la pratique journalistique audiovisuelle. Dans la lignée des démarches de pédagogie du réel et par le faire (fablab, Main à la Pâte, ...), il montre l'intérêt soulevé par ce type de démarche pour la question médiatique auprès d'une population au départ hétérogène, et analyse les résultats obtenus tant sur les projets d'orientation que sur la sensibilisation à l'audiovisuel.

Enfin, le dernier article effectue une lecture communicationnelle des dispositifs d'enseignement à distance, et plus précisément des diverses pratiques audiovisuelles liées aux produits pédagogiques numériques mis en place au sein d'une école supérieure de commerce. Cette étude questionne la place de la présence physique de l'enseignant dans des produits pédagogiques numériques utilisés en réponse aux besoins de l'enseignement à distance.

Nous vous souhaitons à toutes et à tous une très bonne lecture et nous vous remercions de votre fidélité.

Sylvie **LELEU-MERVIEL** et Khaldoun **ZREIK**  
Rédacteurs en chef

# Évaluation de la compatibilité structurelle entre la hiérarchie d'abstraction et de décomposition et l'interface écologique

*Structural compatibility assessment between the abstraction-decomposition hierarchy and the ecological interface*

Alexandre MOÏSE (1), Jean-Marc ROBERT (2)

(1) Département de systèmes d'information et méthodes quantitatives de gestion, Faculté d'administration, Université de Sherbrooke  
alexandre.moise@usherbrooke.ca

(2) Département de mathématiques et de génie industriel, École Polytechnique de Montréal  
jean-marc.robert@polymtl.ca

**Résumé.** Une interface écologique est un type particulier d'interface utilisateur permettant de soutenir l'adaptation de son utilisateur lors d'événements imprévus. La conception d'interfaces écologiques s'appuie sur une analyse du domaine de travail. La littérature présente la hiérarchie d'abstraction et de décomposition comme étant la seule technique de représentation de ce type d'analyse dans une perspective de conception d'interfaces écologiques. Or, il s'avère que la transformation d'une hiérarchie d'abstraction et de décomposition en une interface écologique est loin d'être triviale. Conséquemment, cet article se questionne sur la pertinence, tenue pour acquise dans la littérature, de l'utilisation de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition comme technique de représentation du domaine de travail à des fins de conception d'interfaces écologiques. Plus spécifiquement, cet article présente une évaluation de la compatibilité entre la structure de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition et celle de l'interface écologique. À cette fin, deux méta-modèles sont élaborés : celui de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition et celui de l'interface écologique. Les résultats de l'évaluation confirment l'incompatibilité structurelle qui disparaît, toutefois, en ajoutant une liste de variables et une liste d'équations à la hiérarchie d'abstraction et de décomposition.

**Mots-clés.** Conception d'interfaces écologiques, hiérarchie d'abstraction et de décomposition, analyse du domaine de travail, compatibilité structurelle, méta-modélisation.

**Abstract.** An ecological interface is a particular type of user interface that supports the adaptation of its user during unforeseen events. Ecological interfaces design is based on work domain analysis. The literature presents the abstraction decomposition hierarchy as the only representation technique for this type of analysis in regards to ecological interface design. However, it seems that the

transformation of an abstraction decomposition hierarchy into an ecological interface is not trivial. Therefore, this article questions the relevance, taken for granted in the literature, of using the abstraction decomposition hierarchy as a representation technique for work domain analysis for the purpose of ecological interface design. More specifically, this paper presents an assessment of the compatibility between the structure of the abstraction decomposition hierarchy and the structure of the ecological interface. To this end, two meta-models are developed: one of the abstraction decomposition hierarchy and another of the ecological interface. The assessment results confirm the structural incompatibility that disappears, however, by adding a list of variables and a list of equations to the abstraction decomposition hierarchy.

**Keywords.** Ecological interface design, abstraction and decomposition hierarchy, work domain analysis, structural compatibility, metamodeling.

## 1 Introduction

La conception d'interfaces écologiques est un cadre de travail théorique permettant de créer des interfaces utilisateur soutenant, entre autres, l'adaptation de son utilisateur lors d'événements imprévus (Vicente & Rasmussen, 1992 ; Vicente, 1999 ; Burns & Hajdukiewicz, 2004). Cette approche de conception d'interfaces utilisateur a fait l'objet de plus de 150 publications (Burns & Hajdukiewicz, 2004 : xxvi), intéresse toujours la communauté scientifique même après 25 ans (Borst *et al.*, 2015 ; McIlroy & Stanton, 2015) et a été appliquée à plusieurs domaines, notamment le contrôle de processus industriel, l'aviation, la gestion de réseaux informatiques et la médecine (Vicente, 2002 ; Burns & Hajdukiewicz, 2004 ; Borst *et al.*, 2015 ; McIlroy & Stanton, 2015).

Concrètement, une interface écologique rend explicite la structure de contraintes inter-reliées, appelée la hiérarchie fonctionnelle, d'un domaine de travail. Chaque contrainte est représentée par un composant visuel constitué d'un agencement particulier de formes géométriques dont certaines pourront être directement manipulées par l'utilisateur (Burns & Hajdukiewicz, 2004).

Bien que l'approche centrée sur l'opérateur humain comme définie par la norme ISO 9241-210 (Comité Européen de Normalisation, 2010) favorise l'analyse de l'utilisateur ou de la tâche, le point de départ de la conception d'interfaces écologiques est l'analyse du domaine du travail (Morineau & Billet, 2007)<sup>1</sup>. À cette fin, la littérature propose la hiérarchie d'abstraction et de décomposition comme étant la seule technique de représentation du domaine de travail dans une perspective de conception d'interfaces écologiques (Vicente & Rasmussen, 1992 ; Vicente, 1999 ; Burns & Hajdukiewicz, 2004).

Vicente (1999) ainsi que Burns et Hajdukiewicz (2004) présentent Rasmussen (1979 ; 1985) comme étant les premières publications portant sur la hiérarchie d'abstraction et de décomposition. D'autre part, les premiers écrits sur la conception d'interfaces écologiques sont apparus quelques années plus tard, notamment dans Rasmussen et Vicente (1989), Vicente (1991) ainsi que Vicente et Rasmussen (1992). Étant donné cette chronologie, force est de constater que la hiérarchie d'abstraction et de décomposition n'a pas été élaborée spécifiquement

---

<sup>1</sup> Il est à noter que l'analyse du domaine de travail n'est pas incompatible avec d'autres types d'analyse. La littérature mentionne qu'il est possible, et même souhaitable, d'enrichir ce type d'analyse avec d'autres types, notamment l'analyse de la tâche (Miller & Vicente, 2001 ; Burns & Hajdukiewicz, 2004 ; Hajdukiewicz & Vicente, 2004 ; Jamieson *et al.*, 2007).

pour la conception d'interfaces écologiques. De ce fait, puisque le recours à la hiérarchie d'abstraction et de décomposition ne semble avoir jamais été remis en question, il semblerait que cette technique de représentation de domaines de travail ait été adoptée pour la conception d'interfaces écologiques à défaut d'en avoir une meilleure.

La hiérarchie d'abstraction et de décomposition et l'interface écologique semblent présenter certaines incompatibilités. Notamment, pour concevoir une interface écologique, la hiérarchie d'abstraction et de décomposition doit être accompagnée de techniques de représentation supplémentaires comme une liste de variables et une liste d'équations (Bisantz & Vicente, 1994 ; Burns & Hajdukiewicz, 2004). Conséquemment, cet article se questionne sur la pertinence, tenue pour acquise dans la littérature, de l'utilisation de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition comme technique de représentation du domaine de travail à des fins de conception d'interfaces écologiques. Plus spécifiquement, cet article présente une évaluation de la compatibilité entre la structure de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition et celle de l'interface écologique.

Selon Odell et Ramackers (1997), l'analyse consiste en la transformation d'une perception du monde réel en une représentation de celui-ci. Il s'agit de décrire le problème. D'autre part, toujours selon eux, la conception consiste en la transformation du résultat de l'analyse en une représentation de l'artéfact à créer qui solutionne le problème. Dans le cas qui nous intéresse, l'artéfact à créer est l'interface écologique implémentée. Sa technique de représentation lors de la conception est habituellement une maquette (ou un prototype) de cette interface utilisateur. Finalement, la technique utilisée pour représenter le monde réel lors de l'analyse est la hiérarchie d'abstraction et de décomposition. Cet article ne s'intéresse pas à l'artéfact final, mais plutôt à la transformation de la hiérarchie d'abstraction en une maquette d'interface écologique. Nous postulons que la transformation de la maquette en une interface implémentée ne pose pas de problème dans la mesure où les techniques et méthodes de développement de logiciels sont généralement bien maîtrisées et que la maquette représente fidèlement et sans ambiguïté ce qui est à développer.

Étant donné qu'elles visent à réaliser des représentations simplifiées, les occurrences de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition ainsi que les occurrences de la maquette d'une interface écologique sont considérées comme étant des modèles. Ces deux techniques de représentation sont donc considérées comme étant des langages de modélisation.

Afin de pouvoir les interpréter correctement, les modèles s'appuient sur un ensemble de règles préalablement défini qui impose une structure et une sémantique. Un méta-modèle permet d'atteindre cet objectif en spécifiant les concepts du langage employés pour modéliser les relations entre les instances de ceux-ci (Seidewitz, 2003 ; Mellor *et al.*, 2004). En d'autres mots, un méta-modèle est un modèle du langage de modélisation.

L'évaluation de la compatibilité entre deux langages de modélisation est réalisée en établissant des correspondances entre les éléments de la structure d'un langage (méta-modèle source) et les éléments de la structure d'un autre langage (méta-modèle cible). Dans ce cas, le méta-modèle source est le méta-modèle de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition et le méta-modèle cible est le méta-modèle de l'interface écologique.

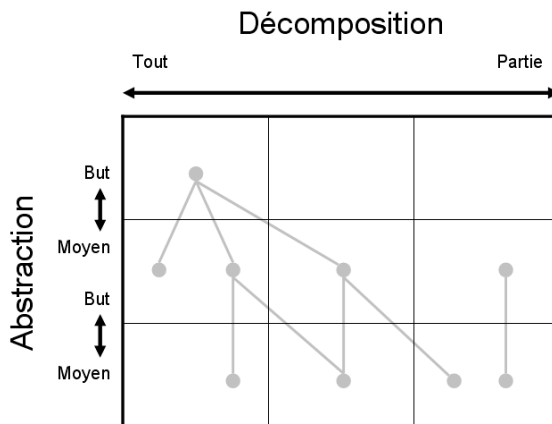
Les méta-modèles dans cet article sont réalisés à l'aide du diagramme de classe du langage UML (Object Management Group, 2015) accompagné, dans certaines circonstances qui demandent plus de précisions, du langage OCL (Object

Management Group, 2014). Les instances de ces méta-modèles sont réalisées avec le diagramme objet. Le choix de ces langages repose sur la grande quantité de publications qui les privilégient pour la modélisation et la méta-modélisation. D'autre part, ces langages s'appuient sur le paradigme orienté objet qui est largement accepté et maîtrisé en informatique et sur lequel on s'appuie généralement pour développer des logiciels de modélisation.

La section 2 présente une analyse détaillée de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition basée sur une revue de la littérature. Cette analyse permet d'en dégager les éléments pour élaborer un méta-modèle. La section 3 présente la même procédure, mais pour l'interface écologique. La section 4 présente la méthode de transformation d'une hiérarchie d'abstraction et de décomposition en une interface écologique. La section 5 présente l'évaluation de la compatibilité entre la structure de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition et la structure de l'interface écologique.

## 2 La hiérarchie d'abstraction et de décomposition

La hiérarchie d'abstraction et de décomposition ne se préoccupe pas des tâches ou des outils, mais seulement des buts et informations (variables et liens) nécessaires à la compréhension de la dynamique du domaine de travail. Elle consiste à structurer les informations portant autant sur les aspects physiques que fonctionnels du domaine de travail, et ce, à travers différents niveaux d'abstraction et de décomposition. La figure 1 illustre le cadre générique de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition.



**Figure 1.** Cadre générique d'une hiérarchie d'abstraction et de décomposition

Une analogie s'impose afin de mieux comprendre la notion de domaine de travail : le domaine de travail est aux stratégies ce que les cartes routières sont aux directions. En effet, quelle que soit la source de perturbations du domaine de travail (ex. : une rue bloquée), il est possible de trouver un nouvel ensemble de directions (stratégies) pour atteindre la destination (le but fixé) si la carte routière (représentation du domaine de travail) constitue la principale source d'informations. Toutefois, si la principale source d'informations est composée de directions (stratégies), celles-ci peuvent devenir caduques devant certains événements imprévus (ex. : un accident) entraînant une perturbation du domaine de travail (ex. :



une rue bloquée). Conséquemment, le domaine de travail impose un ensemble de contraintes qui exclut les actions qui ne peuvent être réalisées pour atteindre un but.

À partir d'une revue de la littérature, quatre thèmes centraux à la hiérarchie d'abstraction et de décomposition sont détaillés dans cette section : nœud, abstraction, décomposition et relations. Chaque thème est abordé dans une sous-section distincte. En se basant sur le contenu de cette revue de la littérature, la dernière sous-section présente le méta-modèle de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition.

## **2.1 Nœud**

Chaque case d'une hiérarchie d'abstraction et de décomposition contient des nœuds. Un nœud représente un objet, une fonction ou une valeur du domaine de travail qui correspond à une intersection particulière de niveau d'abstraction et de niveau de décomposition (Skilton, Cameron & Sanderson, 1998).

## **2.2 Abstraction**

Un niveau d'abstraction regroupe des nœuds qui portent sur une perspective particulière du domaine de travail. Comme illustré à la figure 1, les nœuds des différents niveaux d'abstraction s'appuient sur des relations « buts-moyens », ce qui signifie que pour toute paire verticale de niveau d'abstraction, l'élément du niveau supérieur décrit le but à atteindre (le « pourquoi ? ») et les éléments associés du niveau inférieur décrivent les moyens utilisés (le « comment ? ») pour atteindre ce but. De cette façon, le niveau d'abstraction le plus élevé décrit les buts du système, c'est-à-dire sa raison d'être, et le niveau d'abstraction le plus bas décrit généralement les aspects physiques de celui-ci, c'est-à-dire ceux qui peuvent être manipulés pour atteindre les buts. Les niveaux d'abstraction intermédiaires portent sur les aspects fonctionnels entre ces deux niveaux d'abstraction. En d'autres mots, le passage d'un niveau d'abstraction à un autre implique un changement dans les concepts et la structure de représentation ainsi que dans les informations utilisées pour caractériser le système à ce niveau d'abstraction (Rasmussen, 1983).

À la suite d'interventions dans le domaine du contrôle de processus industriels, Rasmussen (1983) a défini la structure de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition comme ayant les cinq niveaux d'abstraction suivants, du plus élevé au plus bas : buts fonctionnels, fonctions abstraites, fonctions généralisées, fonctions physiques et forme physique. Toutefois, Vicente et Rasmussen (1992) mentionnent que le nombre de niveaux et leur nom peuvent varier d'un domaine à l'autre.

Bisantz et Vicente (1994) présentent la hiérarchie d'abstraction et de décomposition d'un processus thermo-hydraulique qui s'appuie sur ces cinq niveaux. La raison d'être du système est définie au niveau supérieur. Pour ce système, les buts fonctionnels sont (a) de préserver une température spécifique de l'eau dans chaque réservoir et (b) de préserver assez d'eau dans chaque réservoir pour répondre à la demande externe. Pour ce faire, le domaine de travail est constitué de pompes, de valves, de réservoirs et de brûleurs. Tous ces éléments sont présentés au niveau d'abstraction inférieur représentant la forme physique de ces éléments.

L'objectif de scinder la représentation d'un domaine de travail particulier en différents niveaux d'abstraction est d'en dégager une hiérarchie fonctionnelle. Celle-ci est une structure mettant en relation, à différents niveaux d'abstraction, les éléments qui composent un domaine de travail particulier. La hiérarchie fonctionnelle est obtenue en plaçant ces éléments dans les différentes cases de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition, c'est-à-dire aux intersections entre un

niveau d'abstraction particulier et un niveau de décomposition particulier. Comme illustré à la figure 1, ces éléments sont représentés sous forme de nœuds et la hiérarchie fonctionnelle est la structure créée par les relations entre ces nœuds.

Ham et Yoon (2001) apportent une justification expérimentale à la pertinence de la hiérarchie fonctionnelle consistant en une comparaison de différents prototypes d'interfaces écologiques. Certains comportaient des variables associées à des niveaux spécifiques d'une hiérarchie d'abstraction et de décomposition, mais sans rendre explicites les relations entre celles-ci. D'autres présentaient les relations fonctionnelles entre les variables principalement par des regroupements. Ces derniers prototypes ont permis aux utilisateurs d'obtenir de meilleures performances notamment pour des tâches de diagnostic. Ham et Yoon (2001) concluent donc en spécifiant que pour tirer les bénéfices d'une interface écologique, il est nécessaire, entre autres, de représenter la hiérarchie fonctionnelle, c'est-à-dire les relations « buts-moyens », entre les variables ; il ne s'agit donc pas de simplement représenter les informations appartenant aux différents niveaux d'abstraction.

### 2.3 Décomposition

Quant à elle, la dimension de décomposition permet de scinder le système en sous-ensembles de composants qui sont responsables du bon fonctionnement de celui-ci. En somme, elle sert à décomposer le tout en ses parties. Conséquemment, un élément représenté à une colonne particulière est composé d'éléments représentés à la colonne immédiatement à sa droite. Inversement, un élément représenté à une colonne particulière est une partie d'un élément représenté à la colonne immédiatement à sa gauche. Par exemple, Hajdukiewicz *et al.* (2001) décomposent le corps humain en système, organe, tissu et cellule ; chacun de ces cinq éléments correspond à une colonne dans cet ordre. Dans ce cas, la hiérarchie d'abstraction et de décomposition permet de déterminer le champ de compétence de l'anesthésiste et celui du chirurgien.

### 2.4 Relations

Les relations entre les nœuds peuvent être de différents types. Bisantz et Vicente (1994), Skilton, Cameron et Sanderson (1998) ainsi que Burns et Hajdukiewicz (200 : 27) présentent trois types de relations : causale, fonctionnelle et topologique.

#### *Relation causale*

La relation causale représente une relation « tout-parties ». Les deux nœuds sont au même niveau d'abstraction, mais appartiennent à des niveaux de décomposition contigus. Cette relation entre deux nœuds indique que le nœud de l'extrémité gauche représente la partie du nœud de l'extrémité droite. Inversement, le nœud de l'extrémité droite représente la partie du nœud de l'extrémité gauche. Par exemple, Bisantz et Vicente (1994) présentent le système de rétention d'eau (*Water Holding System*) au niveau d'abstraction « fonction généralisée » et au niveau de décomposition « sous-système » et le réservoir de rétention d'eau (*Water Holding Tank*) au niveau d'abstraction « fonction généralisée » et au niveau de décomposition « composante ». Le réservoir est une partie du tout qu'est le système de rétention d'eau.

#### *Relation fonctionnelle*

La relation fonctionnelle représente une relation « but-moyens ». Les deux nœuds appartiennent à des niveaux d'abstraction contigus, qu'ils appartiennent ou non au même niveau de décomposition. Cette relation entre deux nœuds indique que le nœud de l'extrémité supérieure représente le but recherché par le nœud de

l'extrémité inférieure. Inversement, le nœud de l'extrémité inférieure représente le moyen pour atteindre le but représenté par le nœud de l'extrémité supérieure. Le réseau de relations fonctionnelles d'une hiérarchie d'abstraction et de décomposition constitue la hiérarchie fonctionnelle du domaine de travail. Par exemple, Bisantz et Vicente (1994) présentent le transfert de chaleur (*Heat Transfer*) au niveau d'abstraction « fonction généralisée » et au niveau de décomposition « composante » et le réchauffeur (*Heater*) au niveau d'abstraction « fonction physique » et au niveau de décomposition « composante ». Le réchauffer est un moyen pour atteindre le but de transfert de chaleur.

### Relation topologique

La relation topologique peut représenter soit une proximité spatiale entre deux nœuds ou une connexion physique entre eux dépendamment du niveau d'abstraction. Les deux nœuds sont au même niveau d'abstraction et au même niveau de décomposition. Par exemple, Bisantz et Vicente (1994) présentent la pompe (*pump*), la valve (*valve*) et le réservoir (*Reservoir*) au niveau d'abstraction « fonction physique » et au niveau de décomposition « composante ». Le sens des flèches entre ces éléments indique le sens des interactions entre eux.

## 2.5 Méta-modèle de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition

Cette section présente le méta-modèle de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition. Un méta-modèle de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition consiste à mettre en relation d'une manière rigoureuse tous les éléments manipulés par l'analyste de domaines de travail qui sont identifiés à la section précédente. Les éléments principaux du méta-modèle sont les suivants : nœud, niveau d'abstraction, niveau de décomposition et relation.

Le méta-modèle est scindé en deux parties. La première partie, illustrée à la figure 2 sous forme d'un diagramme de classe du langage UML (Object Management Group, 2015), présente la structure de base. Toutefois, le diagramme de classe ne permet pas de représenter toutes les règles structurelles. La deuxième partie, illustrée à la figure 3 en langage OCL (Object Management Group, 2014), permet de préciser les six règles. Le langage UML et le langage OCL s'appuient sur le paradigme orienté objet.

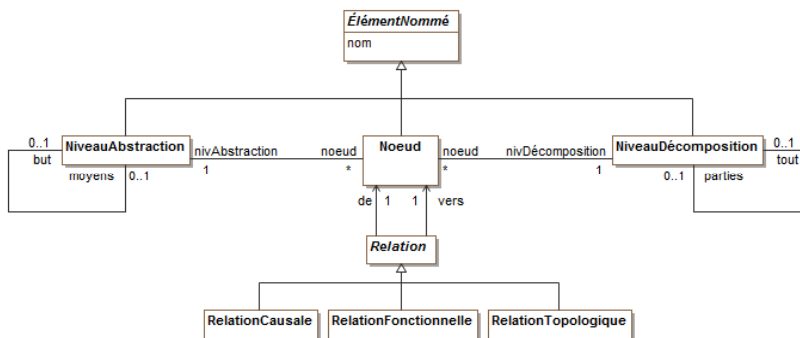


Figure 2. Méta-modèle de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition

La figure 4 illustre les instances du méta-modèle de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition pour un sous-ensemble de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition du processus thermo-hydraulique présenté par Bisantz et Vicente

(1994). Ce sous-ensemble comprend les cinq niveaux d'abstraction (*Functional Purpose, Abstract Function, Generalized Function, Physical Function, Physical Form*), les trois niveaux de décomposition (*System, Subsystem, Component*), trois nœuds (*Supply Temp 1, Mass Source 1, Energy Source 1*) et deux relations fonctionnelles (entre *Supply Temp 1* et *Mass Source 1* ainsi qu'entre *Supply Temp 1* et *Energy Source 1*). Les règles d'association présentées à la figure 3 sont respectées. Par exemple, selon la règle 1, aucun niveau d'abstraction n'est associé au même niveau d'abstraction pour représenter à la fois son but et ses moyens ; il s'agit toujours de deux niveaux d'abstraction différents. Également, selon la règle 5, les deux relations fonctionnelles sont liées à des nœuds qui sont liés à des niveaux d'abstraction contigus.

```
-- Règle 1 :
-- Pour un niveau d'abstraction, le niveau qui représente son "but"
-- ne peut en même temps représenter ses "moyens" et vice versa
context NiveauAbstraction
inv: but <> moyens

-- Règle 2 :
-- Pour un niveau de décomposition, le niveau qui représente son "tout"
-- ne peut en même temps représenter ses "parties" et vice versa
context NiveauDécomposition
inv: self.tout <> self.parties

-- Règle 3 :
-- Les deux extrémités d'une relation ne peuvent pas
-- être associées au même nœud
context Relation
inv: de <> vers

-- Règle 4 :
-- Les deux nœuds impliqués dans une relation causale
-- doivent être associés au même niveau d'abstraction
-- et à deux niveaux de décomposition contigus
context RelationCausale
inv: de.nivAbstraction = vers.nivAbstraction and
      (de.nivDécomposition = vers.nivDécomposition.tout or
       de.nivDécomposition = vers.nivDécomposition.parties)

-- Règle 5 :
-- Les deux nœuds impliqués dans une relation fonctionnelle
-- doivent être associés à des niveaux d'abstraction contigus
context RelationFonctionnelle
inv: de.nivAbstraction = vers.nivAbstraction.but or
      de.nivAbstraction = vers.nivAbstraction.moyens

-- Règle 6 :
-- Les deux nœuds impliqués dans une relation topologique
-- doivent être associés au même niveau d'abstraction
-- et au même niveau de décomposition
context RelationTopologique
inv: de.nivAbstraction = vers.nivAbstraction and
      de.nivDécomposition = vers.nivDécomposition
```

Figure 3. Règles d'association du méta-modèle de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition<sup>2</sup>

<sup>2</sup> En langage OCL, « <> » signifie « n'est pas égal à ».

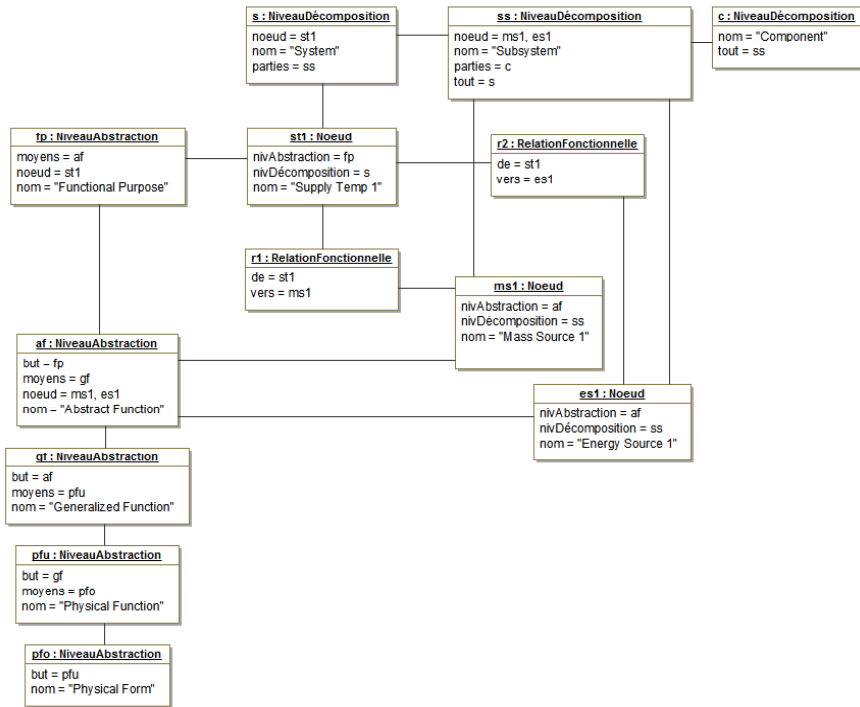


Figure 4. Instances du méta-modèle de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition pour un sous-ensemble de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition du processus thermo-hydraulique présenté par Bisantz et Vicente (1994)

### 3 L'interface écologique

Une interface écologique permet de soutenir le processus de résolution de problèmes de l'utilisateur en rendant explicite la structure du domaine de travail. Contrairement aux interfaces utilisateur traditionnelles qui, afin de représenter l'état d'un environnement spécifique, mettent l'accent sur la présentation d'informations, une interface écologique met plutôt l'accent sur les relations entre ces informations tout en présentant celles-ci.

La conception d'interfaces écologiques s'appuie sur un cadre théorique qui tire ses origines de la psychologie écologique. Cette école de pensée en psychologie postule, entre autres, qu'il n'est pas possible de comprendre le comportement de l'être humain sans comprendre au préalable l'environnement, défini en termes de contraintes, dans lequel celui-ci agit. Selon Gibson (1979), le raisonnement de tout être vivant est façonné par les propriétés de l'environnement dans lequel celui-ci doit agir. Sa perception de l'environnement est constituée de contraintes qui circonscrivent les actions pouvant être réalisées pour atteindre un but. En s'appuyant sur cette prémisse, Vicente et Rasmussen (1992) ont posé les fondations de la conception d'interfaces écologiques.

En s'appuyant sur la littérature, les sous-sections 3.1 à 3.5 décrivent en détail les notions fondamentales derrière les interfaces écologiques. En se basant sur le

contenu de ces sous-sections, la sous-section 3.6 présente le méta-modèle de l'interface écologique.

### 3.1 Types d'événements

Selon Vicente et Rasmussen (1992), un individu peut faire face à trois types d'événements dans son travail :

- Les événements familiers font partie de la routine de l'individu ; ils sont fréquemment rencontrés. Par conséquent, l'individu peut, en principe, faire face à ces événements sans problème.
- Les événements occasionnels, mais anticipés surviennent peu fréquemment. Toutefois, comme ils ont été anticipés par les concepteurs, une panoplie d'aides est disponible à l'individu pour faire face à ces événements.
- Les événements imprévus surviennent en général peu fréquemment, mais n'ont pas été prévus par les concepteurs. Par conséquent, ils requièrent une certaine improvisation de la part de l'individu. Celui-ci est donc en situation de résolution de problème.

Vicente (2002) mentionne qu'un individu peut faire face aux deux premières catégories d'événements à l'aide d'une séquence d'actions bien définies qui, dans bien des cas, peut être exprimée sous la forme d'un ensemble de règles ou d'algorithmes. Toujours selon lui, ces actions sont réalisées de plus en plus par des systèmes informatiques. Pour certains types d'environnements, appelés systèmes sociotechniques complexes par Vicente (1999), les événements imprévus ne peuvent être évités et peuvent être accompagnés de conséquences désastreuses lorsqu'ils surviennent (Vicente & Rasmussen, 1992). Une interface écologique vise donc à soutenir le raisonnement d'un individu lorsque celui-ci fait face à des événements imprévus qui amènent l'environnement dans un état indésirable. L'objectif de l'individu à ce moment est d'improviser une séquence d'actions pour ramener l'environnement à un état convenable. En d'autres mots, le rôle de l'individu passe d'un agent d'exécution à un agent d'adaptation.

### 3.2 Les niveaux de contrôle cognitif

Comment soutenir l'individu lors d'événements imprévus ? Afin de répondre à cette question, il importe de décrire les niveaux de contrôle cognitif, c'est-à-dire les différentes manières dont l'individu traite l'information perçue de son environnement afin d'atteindre un but désiré. À cet effet, le cadre théorique derrière les interfaces écologiques s'appuie sur la taxonomie SRK de Rasmussen (1983). Celle-ci consiste en un modèle qualitatif représentant trois niveaux inter-reliés de contrôle cognitif. Chaque niveau correspond à un type particulier de représentation interne de l'environnement : comportement fondé sur les habiletés (*Skill-Based Behaviour*, SBB), comportement fondé sur les règles (*Rule-Based Behaviour*, RBB) et comportement fondé sur les connaissances (*Knowledge-Based Behaviour*, KBB). Le recours à un niveau plutôt qu'à un autre est déterminé par la manière dont un individu interprète une information perçue. La même information peut être interprétée comme étant un signal, un signe ou un symbole.

Les signaux, associés au niveau SBB, consistent en des variables spatio-temporelles physiques représentant le comportement de l'environnement. Ce sont, en d'autres mots, des données sensorielles perçues permettant l'activation de schémas sensorimoteurs automatisés. À ce niveau, le travail réalisé s'appuie sur un contrôle par action directe se rapportant à la coordination de mouvements rapides du corps. Quel que soit le niveau de contrôle cognitif activé (SBB, RBB ou KBB),

c'est toujours au niveau SBB que les actions sont réalisées sur l'environnement par l'individu.

Lorsque l'information ne permet pas une action directe sur l'environnement, celle-ci peut être interprétée comme étant un signe. Les signes, propres au niveau RBB, sont associés à certaines caractéristiques de l'environnement suggérant un ensemble de tâches prédéfinies. Ils ne représentent en aucun cas des propriétés fonctionnelles de l'environnement ; leur seule utilité est la sélection des règles contrôlant la séquence de sous-routines mises en application au niveau SBB. À ce niveau de contrôle cognitif, l'individu n'a pas besoin de s'appuyer sur une compréhension de l'environnement. Il ne fait qu'appliquer les tâches prescrites dans des situations précises.

Si l'information n'est ni interprétée comme un signal ou un signe, il s'agit donc d'un symbole. Les symboles sont utilisés au niveau KBB dans un processus de raisonnement analytique permettant de prédire ou d'expliquer un comportement de l'environnement. Contrairement aux signaux et aux signes qui portent sur une description physique des caractéristiques de l'environnement, les symboles font appel au sens de l'information perçue. Concrètement, le contrôle cognitif exercé au niveau KBB permet de créer un ensemble de règles et de tâches, en fonction d'un but à atteindre, permettant de faire face à la situation actuelle pour laquelle il n'existe présentement aucune règle d'exécution stockée. Le résultat de ce processus sera envoyé au niveau RBB pour y être stocké et ensuite réalisé au niveau SBB.

Généralement, un individu a recours aux niveaux SBB et RBB lorsqu'il fait face à des événements familiers ou occasionnels et a recours au niveau KBB lorsqu'il se retrouve devant des événements imprévus. Toutefois, Vicente (1999 : 288) mentionne qu'un individu peut recourir au niveau KBB même devant un événement prévu. De plus, il mentionne qu'une tâche ne peut être associée à un niveau de contrôle cognitif spécifique. Selon lui, trois facteurs déterminent le niveau de contrôle cognitif utilisé par un individu : (a) son niveau d'expertise, (b) la manière dont les informations sont présentées à travers l'interface utilisateur et (c) le degré de réflexion de l'individu sur son travail.

### **3.3 Principes de conception**

Selon Vicente et Rasmussen (1992), une interface écologique ne doit pas imposer un niveau de contrôle cognitif supérieur à celui requis par la tâche tout en soutenant les trois niveaux de contrôle cognitif à la fois. Afin d'atteindre cet objectif, chaque niveau de contrôle cognitif est associé à un principe de conception spécifique (Vicente & Rasmussen, 1992 ; Vicente, 1999 : 295-296, 317-326).

Au niveau SBB, les informations perçues sont interprétées comme des signaux nécessaires à la manipulation des différents objets du domaine de travail. En s'appuyant sur le paradigme d'interface à manipulation directe (Schneiderman 1982), **l'individu doit pouvoir manipuler les objets du domaine de travail directement sur l'interface utilisateur.** Celle-ci utilise donc un mode de présentation plutôt graphique qu'alphanumérique. La présentation graphique s'appuie sur une représentation des objets du domaine de travail à l'aide de formes géométriques inter-reliées. Ceci n'exclut pas complètement le texte de l'interface utilisateur, mais sa présence est limitée au minimum nécessaire. Cette forme de présentation favorise une visualisation de la dynamique de l'environnement à travers une représentation des informations sous forme de signaux spatio-temporels, impliquant ainsi un traitement cognitif perceptuel plutôt qu'analytique.

Au niveau RBB, les informations perçues sont interprétées comme des signes permettant de déclencher la procédure appropriée. **Une correspondance un-à-un doit exister entre les contraintes du domaine de travail et les informations présentées par l'interface utilisateur.** Une contrainte correspond à une règle devant être respectée pour assurer le bon fonctionnement de l'environnement. Ainsi, le bris d'une contrainte signifie que l'environnement n'est pas dans un état souhaitable. Pour corriger la situation, une procédure spécifique doit être réalisée. L'interface utilisateur doit donc rendre explicite l'état de chaque contrainte sous-jacente au fonctionnement de l'environnement. Pour ce faire, Burns et Hajdukiewicz (2004) proposent un thésaurus visuel, c'est-à-dire un catalogue de composants visuels réutilisables. Chaque composant représente un type de contrainte en s'appuyant sur une structure particulière de relations entre des termes et des opérateurs mathématiques.

Au niveau KBB, les informations perçues sont interprétées comme des symboles nécessaires à la résolution de problèmes. Pour soutenir l'individu à ce niveau de contrôle cognitif, **l'interface utilisateur doit présenter la hiérarchie fonctionnelle du domaine de travail**, c'est-à-dire sa structure à travers différents niveaux d'abstraction. Selon Vicente et Rasmussen (1992), cette représentation externe est psychologiquement compatible avec la représentation interne du domaine de travail d'un individu puisqu'elle fait le lien entre les buts recherchés (niveau supérieur de la hiérarchie) et l'environnement qui doit être manipulé (niveau inférieur de la hiérarchie).

Ces trois principes de conception s'imbriquent les uns dans les autres. En effet, l'interface à manipulation directe doit représenter tous les objets du domaine de travail et les relations entre celles-ci. Des ensembles spécifiques de relations entre les termes du domaine de travail constituent les contraintes de celui-ci. Ces contraintes s'appuient sur une structure du domaine de travail qui, lorsque hiérarchisée par niveau d'abstraction, constitue la hiérarchie fonctionnelle du domaine de travail.

Pawlak et Vicente (1996) comparent une interface utilisateur traditionnelle (représentation des éléments physiques du système) et une interface écologique (représentation des éléments physiques et fonctionnels du système) qui applique ces principes de conception pour soutenir le contrôle d'un processus thermo-hydraulique. L'objectif de ce système est, d'une part, de répondre à la demande externe de quantité d'eau de chaque réservoir et, d'autre part, de garder la température de l'eau à 40°C pour le réservoir 1 et à 20°C pour le réservoir 2. Il est à noter que la demande externe d'eau peut varier à tout moment (événements imprévus). Pour atteindre cet objectif, deux circuits redondants d'écoulement d'eau permettent d'acheminer l'eau à un ou aux deux réservoirs. L'opérateur contrôle huit valves ( $VA, VA1, VA2, VO1, VB, VB1, VB2$  et  $VO2$ ), deux pompes ( $PA$  et  $PB$ ) et deux brûleurs ( $HTR1$  et  $HTR2$ ).

Ce qui distingue les deux interfaces présentées par Pawlak et Vicente (1996) est l'ensemble des informations affichées portant sur ce domaine de travail. Dans le cas de l'interface utilisateur traditionnelle, les informations portent uniquement sur l'état des composants physiques. Il s'agit de la température de l'eau à l'entrée du système ( $T0$ ), de la température de l'eau à la sortie des réservoirs ( $T1$  et  $T2$ ) et du volume de chaque réservoir ( $V1$  et  $V2$ ). Quant à l'interface écologique, celle-ci présente, en plus des informations de l'interface utilisateur traditionnelle, des informations fonctionnelles, c'est-à-dire qui portent sur l'état des fonctions que tente d'atteindre l'opérateur à l'aide des composants physiques. Ces informations fonctionnelles portent sur les flux d'eau ( $FVA, FVB, FA1, FA2, FB1, FB2$ ), sur la masse et



l'énergie entrantes et sortantes des réservoirs ( $MI1$ ,  $MO1$ ,  $EI1$ ,  $EO1$ ,  $MI2$ ,  $MO2$ ,  $EI1$  et  $EO2$ ) et sur la relation entre le volume, l'énergie et la température.

Jusqu'à quel degré les deux interfaces utilisateur présentées par Pawlak et Vicente (1996) soutiennent-elles les trois niveaux de contrôle cognitif ? Premièrement, les deux interfaces utilisateur sont à manipulation directe ; l'utilisateur peut directement manipuler les objets du domaine de travail, par exemple, activer ou désactiver une valve ou une pompe ou régler la température d'un brûleur. Elles soutiennent donc le niveau SBB. En ce qui concerne le niveau RBB, les contraintes se manifestent par des indicateurs d'écart. Seule l'interface écologique comporte de tels indicateurs. Ces derniers se trouvent à l'intérieur des rectangles entourant chacun des deux réservoirs. Des lignes indiquent la valeur cible à atteindre pour la température et le volume d'eau. Quant au niveau KBB, seule l'interface écologique le soutient. En effet, l'interface utilisateur traditionnelle présente des informations portant uniquement sur les aspects physiques du domaine de travail et l'interface écologique présente des informations portant non seulement sur les aspects physiques, mais également fonctionnels. Par exemple, si les valves  $V_{A}$  et  $V_{A1}$  sont ouvertes au maximum et que le flux  $FVA$  est à pleine capacité, mais que le flux  $F_{A1}$  est à mi-capacité, l'opérateur peut clairement voir qu'il y a un problème avec la valve  $V_{A1}$ . L'opérateur ne peut tirer directement cette conclusion avec l'interface utilisateur traditionnelle. En somme, toutes les informations de la hiérarchie fonctionnelle sont présentées dans l'interface écologique.

Puisque l'interface écologique doit présenter toutes les informations pertinentes à la représentation de la structure et des contraintes du domaine de travail, celle-ci contient un nombre plus élevé d'informations que l'interface utilisateur traditionnelle. Néanmoins, lors d'une étude expérimentale, l'interface écologique a contribué à une détection plus rapide d'anomalies et un diagnostic plus précis par rapport à l'interface utilisateur traditionnelle (Pawlak & Vicente, 1996). Vicente *et al.* (1995) apportent une explication au succès de cette interface écologique. Les résultats d'une de leurs études expérimentales démontrent que les sujets ayant obtenu les meilleures performances pour le diagnostic avaient tendance à commencer leur recherche du problème à un niveau d'abstraction élevé et procéder graduellement vers les niveaux inférieurs qui contiennent plus de détails. En somme, pour soutenir la résolution de problèmes, c'est-à-dire le niveau KBB de contrôle cognitif, il est essentiel d'afficher autant les informations qui portent sur les aspects physiques que fonctionnels du domaine de travail. Toutefois, Burns (2000) apporte une précision à cette conclusion en commentant les résultats de son étude expérimentale. Elle indique qu'il ne s'agit pas simplement de présenter plus d'informations (physiques et fonctionnelles), mais de le faire de manière à ce que les relations entre celles-ci soient explicites.

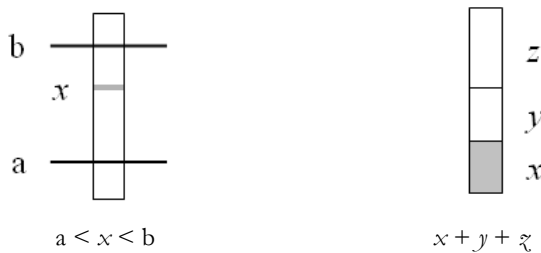
### 3.4 Éléments visuels de l'interface écologique

D'après les trois principes de conception présentés à la section précédente, afin de soutenir les trois niveaux de contrôle cognitif, une interface écologique doit présenter les *objets* du domaine de travail qui est sous le contrôle de l'utilisateur, les *contraintes* de ce domaine de travail et la *hiérarchie fonctionnelle* sous-jacente. Toutefois, ces trois principes restent vagues dans la mesure où ils n'indiquent pas précisément les éléments que le concepteur doit manipuler pour créer une interface écologique. À ce sujet, Burns et Hajdukiewicz (2004) présentent un thésaurus visuel qui offre un catalogue de composants visuels réutilisables, c'est-à-dire des agencements particuliers de formes géométriques s'appliquant à des types spécifiques de relations entre des termes. En d'autres mots, il s'agit de patrons visuels de présentation de

relations entre des termes. Cette sous-section vise à présenter ce thésaurus visuel et comprendre comment il s'applique à la représentation des objets, des contraintes et de la hiérarchie fonctionnelle.

### *Thésaurus visuel*

Le thésaurus visuel de Burns et Hajdukiewicz (2004) fait état de termes et de relations représentant presque exclusivement des équations mathématiques. Les relations entre les termes représentent donc des opérateurs mathématiques. En somme, une interface écologique consiste à représenter, d'une manière graphique selon le premier principe de conception, des *expressions* mathématiques associant des *termes* et des *opérateurs* comme illustrés à la figure 5. Un terme peut être une variable, c'est-à-dire pouvant prendre plusieurs valeurs numériques, ou une constante, c'est-à-dire pouvant prendre qu'une seule valeur numérique. À la figure 5, les termes  $a$  et  $b$  sont des constantes et les termes  $x$ ,  $y$  et  $z$  sont des variables.



**Figure 5.** Représentations graphiques de relations mathématiques (adaptée de Burns et Hajdukiewicz, 2004)

Burns et Hajdukiewicz (2004) présentent un cas où ces agencements sont utilisés pour représenter une voiture. La pression, le débit d'injection et la température sont des variables associées au moteur. Des contraintes telles le temps limite pour arriver à la destination, la distance maximale pouvant être parcourue considérant la quantité restante de carburant ou le nombre de places disponibles sont représentées graphiquement.

### *Représenter les objets du domaine de travail*

Le premier principe de conception d'interface écologique fait référence à la manipulation directe des objets du domaine de travail. La description d'un objet est réalisée par un *concept* qui représente un regroupement logique de termes ou d'autres concepts. Par exemple, dans le cas d'un portefeuille d'actifs financiers, le portefeuille est un concept qui regroupe des variables telles le rendement et le risque. De plus, le portefeuille contient des actifs financiers qui constituent un autre concept regroupant également des variables telles le rendement, le risque, la valeur et la quantité. Le portefeuille est associé à un client, un autre concept qui regroupe des variables telles son nom, son objectif de rendement et son seuil de tolérance au risque. Il est possible d'assigner une valeur à une variable, mais pas à un concept.

L'état d'un objet particulier est représenté par la valeur de chaque terme associé à cet objet à tout moment. Par exemple, un portefeuille a une valeur associée au rendement et au risque à un moment précis. Ces valeurs constituent l'état du portefeuille à ce moment précis.

La manipulation des objets du domaine de travail passe donc par la manipulation de la valeur des variables qui leur sont associées. Par exemple, pour modifier le rendement d'un actif financier, il faut en modifier sa quantité. Pour ce faire, il faut procéder à l'achat et la vente de cet actif financier. L'objet (actif financier) en tant que tel n'est pas manipulé, mais plutôt une partie de celui-ci l'est (quantité). Par conséquent, les variables associées aux concepts peuvent être de deux types : celles dont la valeur peut être modifiée suite à une manipulation par l'opérateur ou un changement dans l'environnement et celles qui subissent l'effet des variables du premier type.

### ***Représenter des contraintes du domaine de travail***

Le deuxième principe de conception d'interfaces écologiques fait référence aux contraintes du domaine de travail. Une contrainte permet de savoir si le système sous le contrôle de l'opérateur est dans un état normal ou pas. Elles sont généralement représentées sous forme d'écart avec une valeur cible définie par une constante ou une variable. Si la valeur actuelle correspond à la valeur cible, la contrainte est respectée. Dans le cas contraire, il y a bris de contrainte se traduisant en une anomalie du système. Par conséquent, une contrainte peut donc être considérée comme étant une association entre différents termes sous la forme d'une expression de relation, c'est-à-dire reliées à l'aide d'un opérateur de relation. À la figure 5, la représentation géométrique de gauche correspond à une contrainte. Dans le cas du portefeuille d'actifs financiers, le rendement du portefeuille qui doit être supérieur ou égal à l'objectif de placement du client et le risque du portefeuille qui doit être inférieur au seuil de tolérance au risque du client sont deux contraintes.

### ***Représenter la hiérarchie fonctionnelle du domaine de travail***

Le troisième principe de conception fait référence à la hiérarchie fonctionnelle. Celle-ci consiste à représenter le domaine de travail à travers différents niveaux d'abstraction. Le niveau le plus élevé est associé aux buts à atteindre et le niveau le moins élevé est associé à l'environnement. Des termes particuliers sont associés à chacun de ces niveaux d'abstraction. De plus, il existe un réseau de termes intermédiaires entre les termes de ces deux niveaux. Chaque concept regroupe donc des termes à différents niveaux d'abstraction. Ce réseau de termes entre différents niveaux constitue la hiérarchie fonctionnelle. Il s'agit de la structure de « buts-moyens » de l'environnement. Pour deux niveaux consécutifs, les termes du niveau supérieur représentent le « pourquoi ? » du niveau inférieur, c'est-à-dire le but, et les termes du niveau inférieur représentent le « comment ? » du niveau supérieur, c'est-à-dire les moyens.

En ce qui concerne le cas du portefeuille d'actifs financiers, la valeur du rendement d'un actif financier peut être obtenue par la division de la variation de sa valeur (valeur actuelle soustraite de la valeur initiale) par sa valeur initiale. Les variables de cette règle peuvent être associées à trois des cinq niveaux d'abstraction définis par Moise et Noisoux (2007) pour la gestion de portefeuille d'actifs financiers, du plus élevé au moins élevé : effets (rendement), variations (différence entre valeur actuelle et valeur initiale), indicateurs (valeur initiale et valeur actuelle). Les variables associées à un de ces niveaux représentent les buts du niveau inférieur et les moyens du niveau supérieur. Même si elles sont réparties dans différents niveaux d'abstraction, les variables sont toutes rattachées au même concept, celui d'actif financier.

En somme, la hiérarchie fonctionnelle peut se traduire par un ensemble d'équations mathématiques dont les relations sont représentées par différents

opérateurs mathématiques tels des opérateurs d'agrégation (p. ex. : somme, nombre) ou des opérateurs arithmétiques (p. ex. : addition, multiplication).

### 3.5 Performance de l'interface écologique

Les interfaces écologiques ont été appliquées à différents domaines (Vicente, 2002 ; Burns & Hajdukiewicz, 2004 ; McIlroy & Stanton, 2015). Jusqu'à présent, les recherches ont démontré la supériorité des interfaces écologiques par rapport à des interfaces utilisateur traditionnelles (Vicente, 2002), et ce, autant pour des domaines causaux, c'est-à-dire régis par les lois de la nature, qu'intentionnels, c'est-à-dire régis par l'activité humaine (Billet & Morineau, 2005). Cette performance se manifeste par une détection plus rapide d'anomalies, un diagnostic plus précis, des stratégies d'action plus sophistiquées ainsi qu'une diminution du temps nécessaire pour accomplir une tâche.

La valeur de l'interface écologique réside dans les situations où un utilisateur non-expert doit s'adapter au contexte changeant d'un domaine de travail complexe. Pour les autres situations, la lourdeur de l'interface écologique, en termes de quantité d'informations présentées, ne constitue pas un obstacle à la performance de l'utilisateur. Vicente (2002) attribue ces avantages aux facteurs suivants :

- La différence de performance n'est pas attribuée à la forme visuelle de l'interface écologique, mais à son contenu informationnel qui diffère de celui d'une interface utilisateur traditionnelle.
- La présentation d'informations d'une interface écologique s'appuie sur une hiérarchie fonctionnelle de l'environnement.
- Une interface écologique capitalise sur les ressources spatiales plutôt que verbales.
- Une interface écologique permet un contrôle du domaine de travail à un niveau d'abstraction plus élevé.

### 3.6 Méta-modèle de l'interface écologique

Cette section présente le méta-modèle de l'interface écologique. Il s'agit d'une manière rigoureuse de mettre en relation tous les éléments manipulés par le concepteur d'interface écologique qui sont présentés précédemment. Les éléments principaux sont les suivants : concept, terme, expression, contrainte et hiérarchie fonctionnelle. Le méta-modèle est divisé en paquetages selon ces éléments.

#### *Concept et terme*

La figure 6 illustre la section du méta-modèle qui décrit l'association entre les concepts et les termes. Les méta-classes *Concept* et *Terme* sont des éléments nommés, c'est-à-dire que chaque instance porte un nom. La méta-classe *Terme* est abstraite. Ces instances sont du type *Constante* ou *Variable*. Ces méta-classes héritent des propriétés de la méta-classe *Terme*. En plus d'hériter de l'attribut nom, elles héritent de l'association propriété de la méta-classe *Concept*. L'association entre les méta-classes *Concept* et *Terme* représentent une association de propriété. Une instance de la méta-classe *Concept* est propriétaire d'autres instances de cette méta-classe ou d'instances de la méta-classe *Terme*. Inversement, une instance de la méta-classe *Concept* peut être la propriété d'une autre instance de cette même méta-classe et une instance de la méta-classe *Terme* doit obligatoirement être la propriété d'une instance de la méta-classe *Concept*.

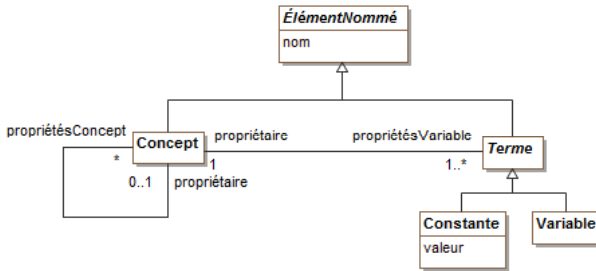


Figure 6. Paquetage des concepts et des termes

Pour reprendre le cas de Pawlak et Vicente (1996) décrit à la section 3.3, chaque réservoir est un concept auquel sont rattachées des variables comme la température de l'eau, le volume d'eau, la masse entrante et la masse sortante ainsi que l'énergie entrante et l'énergie sortante. La figure 7 illustre quelques instances de ces méta-classes et leur lien avec leur concept propriétaire.

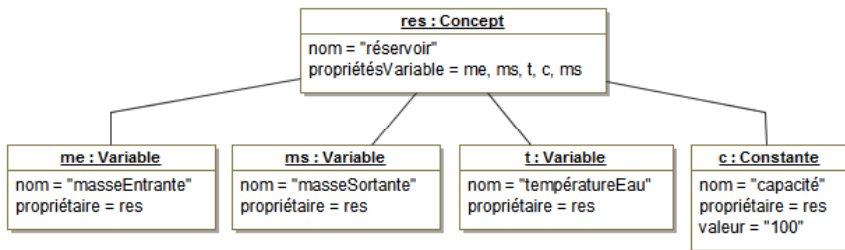


Figure 7. Instances des méta-classes Concept et Terme

### Expression

La figure 8 présente le paquetage des expressions. Une expression consiste en un regroupement de termes et d'opérateurs mathématiques. Les opérateurs sont unaires, c'est-à-dire ayant qu'un seul opérande, ou binaires, c'est-à-dire ayant deux opérandes. Un opérateur peut être lui-même un opérande en ce sens que son résultant est considéré comme une variable, donc un terme. C'est pour cette raison que les méta-classes *Terme* et *Opérateur* héritent de la méta-classe abstraite *Opérande*. Pour certains opérateurs binaires comme la division et la soustraction, le sens des opérandes est important. C'est pour cette raison que deux associations obligatoires, nommées respectivement *opérandeGauche* et *opérandeDroite*, vont de la méta-classe *Binaire* vers la méta-classe *Opérande*.

Il est à noter que la figure 8 se veut une représentation incomplète du paquetage des expressions pour des raisons de simplicité. Même si des opérateurs comme la moyenne ou la variance n'y apparaissent pas, ils font partie du méta-modèle. L'accent de la figure 8 est plutôt mis sur la présentation des trois types d'opérateurs (agrégation, arithmétique, relation) sans présenter tous les opérateurs de ces types.

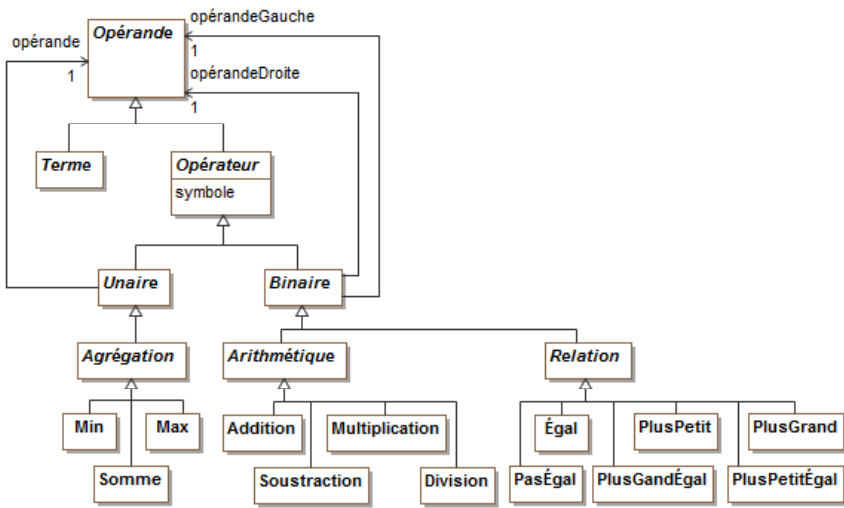
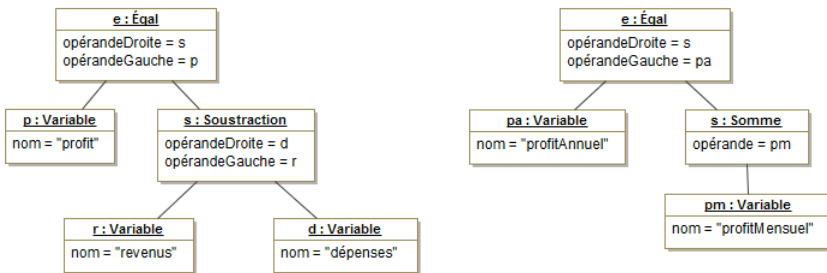


Figure 8. *Paquetage des expressions*

La figure 9 présente des expressions mathématiques et leurs instances correspondantes du méta-modèle. Les instances de la méta-classe *Binaire* (Égal, Soustraction, Multiplication) contiennent deux associations, chacune vers un opérande, tandis que l'instance de la méta-classe *Unaire* (Somme) ne contient qu'une seule association vers un opérande.



$$\text{profit} = \text{revenus} - \text{dépenses}$$

$$\text{profitAnnuel} = \text{SOMME}(\text{profitMensuel})$$

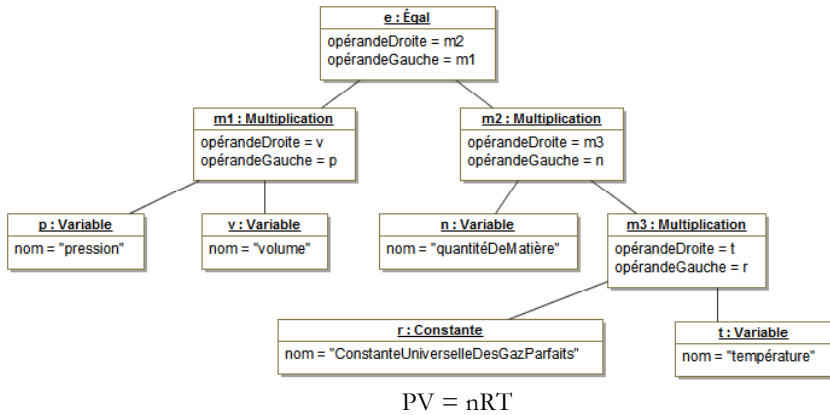


Figure 9. Expressions mathématiques et leurs instances correspondantes du méta-modèle

### Contrainte

Comme mentionné précédemment, une contrainte est représentée par une expression mathématique contenant un opérateur de relation. Les trois expressions de la figure 9 sont des contraintes ; la valeur de la partie de gauche doit être égale à la valeur de la partie de droite, sans quoi la contrainte est brisée. La figure 10 présente le méta-modèle des contraintes.

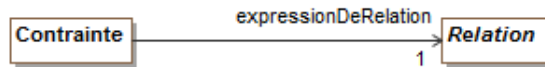


Figure 10. Paquetage des contraintes

### Hiérarchie fonctionnelle

La hiérarchie fonctionnelle est créée par l'utilisation de mêmes termes dans différentes expressions mathématiques. La figure 11 présente un ensemble de contraintes et la hiérarchie fonctionnelle sous-jacente. On remarque que la plupart des variables sont associées à plus d'une contrainte. Également, la hiérarchie fonctionnelle impose des niveaux pour chaque contrainte. Par exemple, la contrainte qui porte sur le calcul des revenus et celle qui porte sur le calcul des dépenses sont au même niveau ; une n'a pas d'effet sur l'autre. Ces niveaux représentent la structure de « buts-moyens ». Par exemple, si on désire savoir comment faire pour atteindre l'objectif de profitabilité, on voit qu'il faut faire varier les revenus ou les dépenses. Si on désire savoir pourquoi on doit faire varier les revenus et les dépenses, on voit que c'est pour atteindre l'objectif de profitabilité.

```

objectif < profits
profits = revenus - dépenses
revenus = prixUnitaire * qtéVendue
dépenses = fraisFixes + fraisVariables
fraisVariables = fraisUnitaire * nbUnitésProduites
    
```

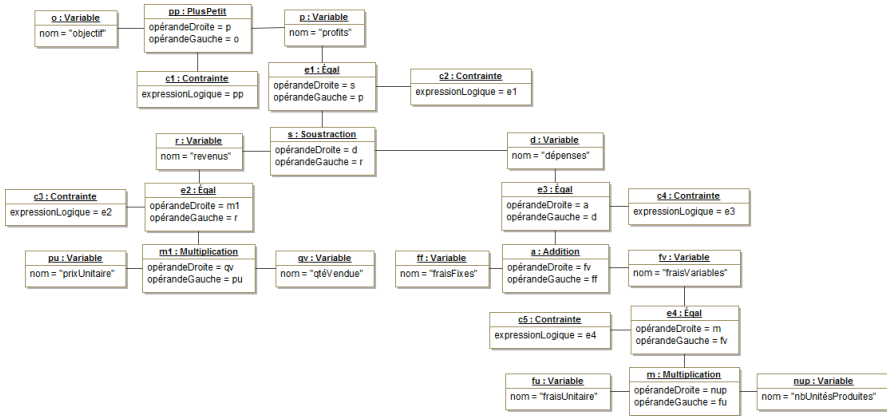


Figure 11. Hiérarchie fonctionnelle sous-jacente à un ensemble de contraintes

#### 4 Transformation d’une hiérarchie d’abstraction et de décomposition en une interface écologique

Vicente (2002) affirme que la transformation d’une hiérarchie d’abstraction et de décomposition en une interface écologique exige une grande part de créativité. En effet, la tâche de concevoir la forme visuelle des éléments de la hiérarchie d’abstraction et de décomposition comporte plusieurs degrés de liberté. Burns et Hajdukiewicz (2004) présentent un ouvrage portant sur le sujet. Toutefois, implicitement selon les auteurs, cette transformation nécessite plus de détails que ce qui est présenté par les éléments de la hiérarchie d’abstraction et de décomposition. Selon eux, deux étapes sont nécessaires pour permettre l’utilisation de la hiérarchie d’abstraction et de décomposition, une fois celle-ci élaborée, dans la conception d’une interface écologique.

La première étape consiste à dresser une liste de variables à partir de la hiérarchie d’abstraction et de décomposition. Comme il est indispensable de pouvoir afficher l’état des différents objets du domaine de travail, il est nécessaire d’aller vers un niveau de détail plus fin que l’identification de concepts représentés par des nœuds comme illustré à la figure 1 et dans Bisantz et Vicente (1994). L’état d’un objet est caractérisé par la valeur des attributs qui le composent. Puisque ces attributs doivent être reliés ensemble sous la forme d’équations mathématiques afin de constituer la structure du domaine de travail, ils sont considérés comme étant des termes (variables ou constantes).

La deuxième étape consiste en la description de la nature des relations entre ces termes. À ce sujet, Lind (2003) affirme que de représenter les relations entre les concepts par des lignes les reliant les uns aux autres comme c’est le cas avec la hiérarchie d’abstraction et de décomposition contribue à une sémantique vague. Afin de préciser la nature des relations, une liste d’équations, représentant la structure du domaine de travail, doit généralement être dressée à partir de la liste de



variables selon Burns et Hajdukiewicz (2004). Comme mentionné précédemment, les expressions de relation représentent les contraintes du domaine de travail.

Le tableau 1 présente différents exemples de contraintes multivariées présentées par Burns et Hajdukiewicz (2004 : 94). Pour une expression utilisant un opérateur d'égalité, le résultat du côté droit de l'expression doit être le même que le résultat du côté gauche de l'expression. Dans le cas contraire, il y a un écart et donc une anomalie. Les termes utilisés dans ces expressions sont associés à différents niveaux d'abstraction. La structure qui relie ces termes à différents niveaux d'abstraction constitue la hiérarchie fonctionnelle. Les contraintes, termes et hiérarchie fonctionnelle sont des éléments indispensables pour la conception d'interfaces écologiques, mais ne sont pas explicites dans la hiérarchie d'abstraction et de décomposition.

Équation	Fonction abstraite	Fonction généralisée	Fonction physique	Forme physique
Transfert thermique $Q = m * C_p * \Delta T$	m, Q	dT	Cp	
Quantité de mouvement $\mu = mv$	Mu, m	v		
Force $F = ma$	F, m	a		
Couple = $F * d$	F	d		
Loi des gaz parfaits $pV = nRT$		p, V, T	R	n
Décroissance nucléaire $N = N_0 e^{-(0,693t/T_{1/2})}$	N, N <sub>0</sub>	t	T <sub>1/2</sub>	
$E = mc^2$	E, m		C, medium	

**Tableau 1.** Exemples de contraintes multivariées par niveau d'abstraction  
[adapté et traduit de Burns et Hajdukiewicz (2004 : 94)]

En somme, la hiérarchie d'abstraction et de décomposition ne permet pas de représenter la structure du domaine de travail à un niveau de détail assez précis pour la conception d'interface écologique. Afin de pallier ce problème, il est nécessaire d'élaborer une liste de variables et une liste d'équations comme on peut le voir dans Bisantz et Vicente (1994). D'après Burns et Hajdukiewicz (2004), la hiérarchie d'abstraction et de décomposition et ces deux listes sont essentielles à la conception d'interfaces écologiques.

## 5 Évaluation de la compatibilité structurelle

L'évaluation de la compatibilité entre la hiérarchie d'abstraction et de décomposition et l'interface écologique s'appuie sur les méta-modèles présentés respectivement aux sous-sections 2.5 et 3.6. La section 4 fait ressortir que la transformation d'une hiérarchie d'abstraction et de décomposition en une interface écologique nécessite une liste de variables et une liste d'équations. Conséquemment, deux évaluations seront réalisées à partir d'une méthode inédite décrite à la sous-section 5.1. La première évaluation, présentée à la sous-section 5.2, consiste à

réaliser une évaluation structurelle sans tenir compte de la liste de variables ni la liste d'équations. La seconde évaluation, présentée à la sous-section 5.3, consiste à réaliser une évaluation structurelle en tenant compte de ces deux listes.

### 5.1 Méthode d'évaluation

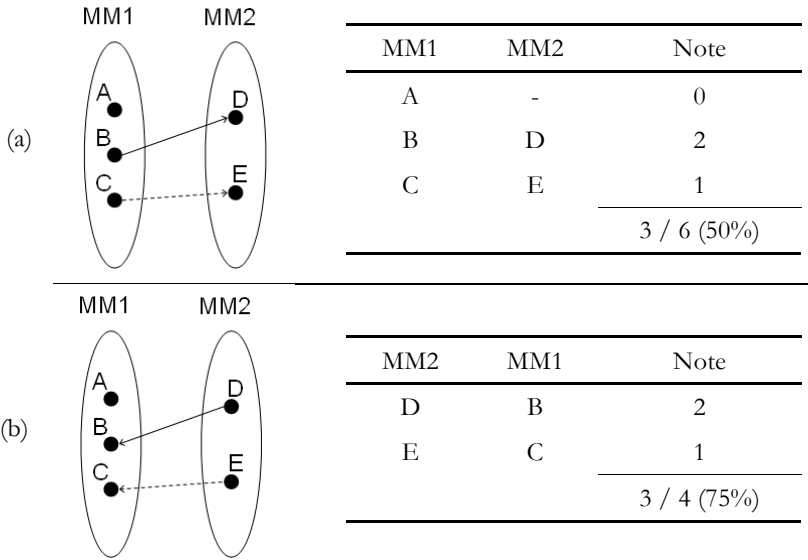
La transformation d'une hiérarchie d'abstraction et de décomposition en une interface écologique nécessite au préalable d'établir des correspondances entre les éléments du méta-modèle de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition et les éléments du méta-modèle de l'interface écologique. Si chaque élément du méta-modèle de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition correspond à un élément du méta-modèle de l'interface écologique, il y a une compatibilité parfaite entre les méta-modèles. Dans le cas contraire, c'est signe qu'une notation secondaire est nécessaire pour compenser. L'évaluation de la compatibilité consiste donc à analyser les correspondances entre ces éléments.

Chaque analyse de correspondance se fait en deux étapes. La première étape consiste à évaluer la correspondance du méta-modèle de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition vers le méta-modèle de l'interface écologique. La deuxième étape consiste à évaluer la correspondance du méta-modèle de l'interface écologique vers le méta-modèle de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition.

Pour chaque élément, une note de 2 signifie une correspondance parfaite, une note de 1 signifie une correspondance partielle et une note de 0 signifie qu'il n'y a aucune correspondance. Les notes sont cumulées et comparées au résultat maximal. Ce dernier est 2 (la note maximale) multiplié par le nombre d'éléments du méta-modèle. Le résultat de la division entre ces deux termes (notes cumulées et résultat maximal) correspond au taux de correspondance, affiché en pourcentage.

La figure 12 présente un exemple d'analyse de correspondance pour les éléments de deux méta-modèles nommés MM1 et MM2. Dans le premier cas, de MM1 vers MM2, le taux de correspondance est de 50%. Le résultat maximal est de 6 et la note cumulée est de 3. L'élément A n'a aucune correspondance, l'élément B a une correspondance parfaite et l'élément C a une correspondance partielle. Par contre, dans le deuxième cas, de MM2 vers MM1, le taux de correspondance est de 75%. Le résultat maximal est de 4 et la note cumulée est de 3. L'élément D a une correspondance parfaite et l'élément E a une correspondance partielle.

Trois constats peuvent être tirés de cet exemple. Le premier constat est que l'élément A du méta-modèle MM1 est superflu puisque le méta-modèle MM2 n'a aucun élément qui lui correspond. Le deuxième constat est que l'élément B du méta-modèle MM1 correspond parfaitement à l'élément D du méta-modèle MM2. Ainsi, chaque élément de type B peut être directement transformé en un élément de type D. Le troisième constat est que l'élément C du méta-modèle MM1 correspond partiellement à l'élément E du méta-modèle MM2, ce qui requiert une intervention humaine pour transformer un élément de type C en un élément de type E.



**Figure 12.** Exemple d'évaluation de la correspondance de MM1 vers MM2 (a) et de MM2 vers MM1 (b)

## 5.2 Évaluation de la compatibilité sans la liste de variables ni la liste d'équations

Puisque le méta-modèle de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition contient six méta-classes concrètes<sup>3</sup>, le résultat maximal est de 12. Le tableau 2 présente les résultats de cette analyse.

Hiérarchie d'abstraction et de décomposition	Interface écologique	Note
Nœud	Concept	2
Niveau d'abstraction	-	0
Niveau de décomposition	Concept (inclusion)	2
Relation causale	Opérateur	1
Relation fonctionnelle	Opérateur	1
Relation topologique	-	0
		6 / 12 (50%)

**Tableau 2.** Correspondance des méta-classes du méta-modèle de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition vers les méta-classes du méta-modèle de l'interface écologique

<sup>3</sup> Les méta-classes ÉlémentNommé et Relation sont abstraites.

Les deux seules méta-classes du méta-modèle de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition qui ont une correspondance parfaite sont le nœud et le niveau de décomposition. Le nœud correspond à un concept du méta-modèle de l'interface écologique. Quant au niveau de décomposition, il correspond également au concept puisque ce dernier peut inclure d'autres concepts. Cette inclusion indique une relation « tout-parties ». Par exemple, l'interface écologique proposée par Pawlak et Vicente (1996) illustre un système qui se décompose en deux sous-systèmes qui incluent des composants comme des pompes, des réservoirs et des brûleurs. Ces trois niveaux de décomposition sont représentés par les trois colonnes de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition proposée par Bisantz et Vicente (1994).

La relation causale et la relation fonctionnelle sont des méta-classes du méta-modèle de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition qui correspondent partiellement aux opérateurs du méta-modèle de l'interface écologique. Selon ce dernier, les opérateurs indiquent une relation entre des termes. Quant aux relations causale et fonctionnelle, elles représentent des relations entre des nœuds. Or, les nœuds correspondent à des concepts qui regroupent des termes selon le méta-modèle de l'interface écologique. En somme, la hiérarchie d'abstraction et de décomposition ne va pas à un niveau de granularité aussi fin que requiert une interface écologique. En effet, le niveau de granularité le plus fin de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition est le nœud. Quant à l'interface écologique, son niveau de granularité le plus fin est le terme. Chaque terme appartient à un concept qui correspond à un nœud de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition.

Il n'existe aucune méta-klasse du méta-modèle de l'interface écologique qui correspond au niveau d'abstraction et à la relation topologique. En ce qui concerne le premier, il s'agit d'une situation surprenante à première vue puisque le scindement d'un domaine de travail par niveaux d'abstraction est le pilier de la philosophie de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition. Néanmoins, cette situation ne semble pas si surprenante en considérant les résultats d'expériences de Ham et Yoon (2001) mentionnés à la section 2.2. Ces derniers indiquent que le regroupement par niveau d'abstraction des informations affichées par une interface écologique n'améliore en rien la performance de l'utilisateur. L'important est que la hiérarchie fonctionnelle soit représentée.

Bien que la hiérarchie fonctionnelle représente la hiérarchie de « but-moyens » autant pour la hiérarchie d'abstraction et de décomposition que pour l'interface écologique, elle s'appuie sur un ensemble différent de méta-classes. Pour la hiérarchie d'abstraction et de décomposition, elle est constituée de la structure de relations fonctionnelles. Pour l'interface écologique, il s'agit de la structure d'opérateurs mathématiques représentés par des agencements de formes géométriques. Encore une fois, le problème de granularité suffisante se manifeste.

Cette évaluation postule que la raison d'être des niveaux d'abstraction de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition n'est autre que pour en dégager la hiérarchie fonctionnelle comme mentionnée à la section 2.2. Cette dernière est obtenue après avoir (1) défini un ensemble de niveaux d'abstraction, (2) assigné des nœuds à chacun de ces niveaux et (3) relié ces nœuds par des relations fonctionnelles.

Le taux de correspondance est de 50% pour cette analyse entre le méta-modèle de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition et le méta-modèle de l'interface écologique. Toutefois, qu'en est-il de la situation inverse ? Obtiendrait-on le même résultat entre le méta-modèle de l'interface écologique et le méta-modèle de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition ? Le tableau 3 présente les résultats de

cette analyse. Puisque le méta-modèle de l'interface écologique contient trois méta-classes, le résultat maximal est 6.

Interface écologique	Hierarchie d'abstraction et de décomposition	Note
Concept	Nœud	2
Terme	-	0
Opérateur	Relation causale Relation fonctionnelle	1
		3 / 6 (50%)

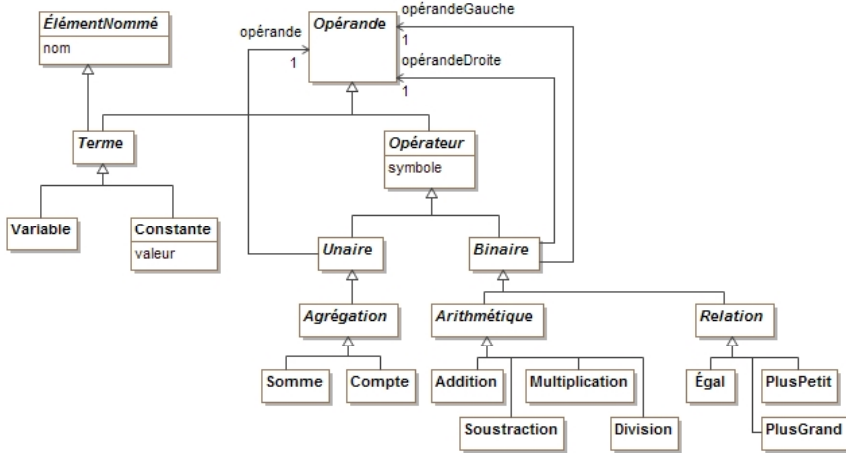
**Tableau 3.** *Correspondance des méta-classes du méta-modèle de l'interface écologique vers les méta-classes du méta-modèle de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition*

Comme observé à l'analyse précédente, le concept correspond parfaitement au nœud et l'opérateur correspond partiellement à la relation causale et à la relation fonctionnelle. Le terme n'a toutefois aucune correspondance avec une méta-classe du méta-modèle de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition. Avec 50%, le taux de correspondance de cette analyse n'est donc pas mieux que celui de l'analyse précédente.

### 5.3 Évaluation de la compatibilité avec la liste de variables et la liste d'équations

Avec une si faible correspondance, comment est-il possible de concevoir une interface écologique à partir d'une hiérarchie d'abstraction et de décomposition ? Comme mentionné à la section 4, la hiérarchie d'abstraction et de décomposition doit être accompagnée d'une liste de variables et d'une liste d'équations.

Qu'arrive-t-il aux résultats de l'analyse de correspondance si les éléments de ces listes sont ajoutés ? Pour répondre à cette question, il faut au préalable définir ces éléments. La liste d'équations est en fait une liste d'expressions mathématiques où chaque expression de relation correspond à une contrainte du domaine de travail. Conséquemment, les éléments de cette liste peuvent être représentés sous forme d'un méta-modèle des expressions mathématiques. La figure 13 illustre une partie de ce méta-modèle. Quant aux éléments de la liste de variables, ils se retrouvent également dans ce méta-modèle puisque chaque variable identifiée dans cette liste est utilisée par une ou plusieurs expressions mathématiques.



**Figure 13.** Méta-modèle partiel d'une expression mathématique

Le tableau 4 présente le résultat de l'analyse de correspondance entre les méta-classes du méta-modèle de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition, auxquels ont été ajoutées les méta-classes du méta-modèle des expressions mathématiques, et les méta-classes du méta-modèle de l'interface écologique.

Hiérarchie d'abstraction et de décomposition	Interface écologique	Note
Nœud	Concept	2
Niveau d'abstraction	-	0
Niveau de décomposition	Concept (inclusion)	2
Relation causale	Opérateur	1
Relation fonctionnelle	Opérateur	1
Relation topologique	-	0
Terme	Terme	2
Opérateur	Opérateur	2
		10 / 16 (62,5%)

**Tableau 4.** Correspondance des méta-classes du méta-modèle de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition accompagnés des méta-classes du méta-modèle des expressions mathématiques vers les méta-classes du méta-modèle de l'interface écologique

L'absence d'une méta-classes du méta-modèle de l'interface écologique correspondant au niveau d'abstraction de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition peut surprendre. La hiérarchie fonctionnelle provient des relations entre les nœuds qui sont chacun liés explicitement aux différents niveaux

d'abstraction de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition. Or, l'interface écologique traite implicitement la notion de niveau d'abstraction. En effet, la performance d'une interface écologique ne provient pas du regroupement par niveau d'abstraction des informations associées à un domaine de travail, mais par le fait que l'interface écologique rend explicites ces informations et les relations entre elles, quels que soient les niveaux d'abstraction auxquels elles sont liées (Burns, 2000).

L'ajout des méta-classes du méta-modèle des expressions mathématiques aux méta-classes du méta-modèle de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition fait augmenter le taux de correspondance à 62,5%. Bien que le résultat soit plus élevé, la correspondance n'est toujours pas parfaite. Avant de tirer quelque conclusion que ce soit, encore une fois, il faut s'interroger sur la situation inverse.

Le tableau 5 présente les résultats de cette analyse. Le taux de correspondance est de 100%, ce qui veut dire qu'en ajoutant les méta-classes du méta-modèle des expressions mathématiques aux méta-classes du méta-modèle de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition, chaque méta-classes du méta-modèle de l'interface écologique a une correspondance parfaite.

Interface écologique	Hiérarchie d'abstraction et de décomposition	Note
Concept	Nœud	2
Terme	Constante Variable	2
Opérateur	Opérateur	2
		6 / 6 (100%)

**Tableau 5.** *Correspondance des méta-classes du méta-modèle d'une interface écologique vers les méta-classes du méta-modèle de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition accompagnés des méta-classes du méta-modèle des expressions mathématiques*

Deux conclusions peuvent être tirées jusqu'à présent. La première conclusion est que ces résultats démontrent clairement l'insuffisance de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition en conception d'interfaces écologiques ; sans la liste de variables et la liste d'équations, le concepteur d'interfaces écologiques ne possède pas tous les renseignements nécessaires pour faire son travail.

La deuxième conclusion est que des méta-classes du méta-modèle de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition ne correspondent aucunement aux méta-classes du méta-modèle de l'interface écologique. Conséquemment, l'analyste du domaine de travail, dont la tâche est de réaliser une hiérarchie d'abstraction et de décomposition, tient compte de plus d'éléments que nécessaires pour le concepteur d'interfaces écologiques. Un modèle est une simplification. Ainsi, il doit représenter uniquement les éléments pertinents à la préoccupation actuelle, dans ce cas, la conception d'interfaces écologiques. Les éléments qui ne sont pas utilisés par le concepteur d'interfaces écologiques et qui sont modélisés par l'analyste du domaine de travail sont donc superflus et leur représentation vient inutilement alourdir la tâche de ce dernier.

## 6 Conclusion

Cet article présente quatre contributions. La première contribution comporte deux volets. Le premier volet est le résultat de l'analyse détaillée de la structure de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition se soldant par un méta-modèle. L'autre volet est le résultat de l'analyse détaillée de la structure de l'interface écologique se soldant par un méta-modèle. En s'appuyant sur la littérature, ces résultats permettent de formaliser, sous forme de méta-modèles, leurs éléments constitutifs respectifs.

La deuxième contribution est de mettre en évidence la nécessité de recourir à la liste de variables et la liste d'équations lors de la transformation de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition en une interface écologique. Implicitement, la littérature fait référence à ces deux listes essentielles dans la transformation, mais ne semble pas les considérer comme des artefacts de premier rang.

La troisième contribution est le résultat de l'évaluation de la compatibilité structurelle entre la hiérarchie d'abstraction et de décomposition et l'interface écologique à partir de leur méta-modèle respectif. Les résultats indiquent que la structure de la hiérarchie d'abstraction et de décomposition n'est pas compatible avec la structure de l'interface écologique. Pour qu'elle le soit, il est nécessaire d'ajouter la liste de variables et la liste d'équations ; ces deux listes apportent le détail nécessaire à la conception de l'interface écologique. Toutefois, l'ensemble de ces techniques de représentation du domaine de travail contiennent plus d'éléments que nécessaires pour la conception d'interfaces écologiques.

La quatrième contribution, d'ordre méthodologique, est la méthode inédite d'évaluation de la compatibilité entre deux méta-modèles. Cette méthode propose l'utilisation d'un taux de correspondance qui est obtenu suite à une évaluation qualitative de la correspondance entre les méta-classes de chaque méta-modèle.

C'est justement sur la méthode d'évaluation que porte la limite de cette recherche. La méthode proposée s'appuie uniquement sur une évaluation de la correspondance entre les méta-classes des méta-modèles ; les méta-associations entre ces méta-classes ne sont pas considérées. Conséquemment, une évaluation pourrait avoir un taux de compatibilité de 100% avec cette méthode, mais avoir des méta-associations différentes entre les méta-classes des méta-modèles respectifs. Dans ce cas, il est incorrect de conclure que ces méta-modèles sont compatibles. Néanmoins, la méthode proposée a le mérite de permettre la comparaison, bien qu'imparfaite, entre des méta-modèles en se basant sur un taux de compatibilité.

Bien qu'il soit utile de perfectionner la méthode d'évaluation, l'intérêt porte plutôt sur la représentation du domaine de travail dans une perspective de conception d'interfaces écologiques. Ainsi, les recherches futures portent sur la conception d'une nouvelle technique de représentation de domaine de travail dont la structure est compatible avec celle de l'interface écologique. Cette nouvelle technique devra représenter uniquement l'ensemble des éléments pertinents à la conception d'interfaces écologiques tout en représentant la hiérarchie fonctionnelle d'un domaine de travail, et ce, sans nécessiter de techniques de représentation supplémentaires.



## Bibliographie

Billet, H. & Morineau, T. (2005). Application du cadre des interfaces écologiques au domaine de la stratégie financière. In *MajecSTIC 2005 : Manifestation des Jeunes Chercheurs francophones dans les domaines des STIC*, Vautier, A. et Saget, S. (Ed.), INRIA, Rennes, p. 308-315.

Bisantz, A. M. & Vicente, K. J. (1994). Making the abstraction decomposition concrete. *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 40, num. 1 : 93-117.

Borst, C., Flach, J. M. & Ellerbroek, J. (2015). Beyond Ecological Interface Design: Lessons From Concerns and Misconceptions. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, vol. 45, num. 2 : 164-175.

Burns, C. M. (2000). Putting it all together: improving display integration in ecological displays. *Human Factors*, vol. 42, num. 2 : 226-241.

Burns, C. M. & Hajdukiewicz, J. R. (2004). *Ecological Interface Design*. CRC Press, Boca Raton.

Comité Européen de Normalisation (2010). *Ergonomie de l'interaction homme-système – Partie 210 : Conception centrée sur l'opérateur humain pour les systèmes interactifs*. EN ISO 9241-210 :2010 F, Bruxelles, octobre.

Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale.

Hajdukiewicz, J. R. & Vicente, K. J. (2004). A theoretical note on the relationship between work domain analysis and task analysis. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, vol. 5, num. 6 : 527-538.

Hajdukiewicz, J. R., Vicente, K. J., Doyle, D. J., Milgram, P. & Burns, C. M. (2001). Modeling a medical environment: an ontology for integrated medical informatics design. *International Journal of Medical Informatics*, vol. 62, num. 1 : 79-99.

Ham, D.-H. & Yoon, W. C. (2001). Design of information content and layout for process control based on goal-means domain analysis. *Cognition Technology & Work*, vol. 3, num. 4 : 205-223.

Jamieson, G. A., Miller, C. A., Ho, W. H. & Vicente, K. J. (2007). Integrating task-and work domain-based work analyses in ecological interface design: A process control case study. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*, vol. 37, num. 6 : 887-905.

Lind, M. (2003). Making sense of the abstraction hierarchy in the power plant domain. *Cognition, Technology & Work*, vol. 5, num. 2 : 67-81.

McIlroy, R. C. & Stanton, N. A. (2015). Ecological Interface Design Two Decades On: Whatever Happened to the SRK Taxonomy? *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, vol. 45, num. 2 : 145-163.

Mellor, S. J., Scott, K., Uhl, A. & Weise, D. (2004). *MDA distilled: principles of model-driven architecture*. Addison-Wesley Professional, Reading.

Miller, C. A. & Vicente, K. J. (2001). Comparison of display requirements

generated via hierarchical task analysis and abstraction-decomposition space analysis techniques. *International Journal of Cognitive Ergonomics*, vol. 5, num. 3 : 335-355.

Moïse, A. & Noiseux, M. H. (2007). *Un modèle d'informations intégré pour la gestion de portefeuille d'actifs financiers*. Chaire en management des services financiers, École des sciences de la gestion, Université du Québec à Montréal.

Morineau, T. & Billet, H. (2007). L'analyse du domaine de travail et les cartes cognitives pour évaluer une IHM - Application à un Logiciel de Finances. *Revue d'Interaction Homme-Machine*, vol. 8, num. 2 : 99-116.

Object Management Group. (2014). *Object Constraint Language, version 2.4*. formal/2014-02-03.

Object Management Group. (2015). *OMG Unified Modeling Language (OMG UML), version 2.5*. formal/2015-03-01.

Odell, J. & Ramackers, G. J. (1997). Toward a Formalization of OO Analysis. *Journal of Object-Oriented Programming*, vol. 10, num. 4 : 64-68.

Pawlak, W. S. & Vicente, K. J. (1996). Inducing effective operator control through ecological interface design. *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 44, num. 5 : 653-688.

Rasmussen, J. (1979). *On the Structure of Knowledge – a Morphology of Mental Models in a Man-Machine System Context*. Rapport technique, RISØ-M-2192, Risø National Laboratory, novembre.

Rasmussen, J. (1983). Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. smc-13, num. 3 : 257-266.

Rasmussen, J. (1985). The role of hierarchical knowledge representation in decisionmaking and system management. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. smc-15, num. 2 : 234-243.

Rasmussen, J. & Vicente, K. J. (1989). Coping with human errors through system design: implications for ecological interface design. *International Journal of Man-Machine Studies*, vol. 31, num. 5 : 517-534.

Seidewitz, E. (2003). What models mean. *IEEE Software*, vol. 20, num. 5 : 64-69.

Schneiderman, B. (1982). The future of interactive systems and the emergence of direct manipulation. *Behaviour and Information Technology*, vol. 1, num. 3 : 237-256.

Skilton, W., Cameron, S. & Sanderson, P. (1998). Supporting cognitive work analysis with the work domain analysis workbench (WDAW). In *Proceedings of the Australasian Computer Human Interaction Conference (OzCHI'98)*, Calder, P., Thomas, B. (Ed.), IEEE Computer Society, Washington, p. 260-267.

Vicente, K. J. (1991). *Supporting knowledge-based behaviour through ecological interface design*. Thèse de University of Illinois at Urbana-Champaign.

Vicente, K. J. (1999). *Cognitive Work Analysis: Toward Safe, Productive, And Healthy Computer-Based Work*. Laurence Erlbaum Associates, Mahwah.

Vicente, K. J. (2002). Ecological Interface Design: Progress And Challenges.

*Human Factors*, vol. 44, num. 1 : 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. (1992). Ecological Interface Design: Theoretical Foundations. *IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics*, vol. 22, num. 4 : 589-606.