

Correspondance numérique-symbolique : ontologie et complexité système

B. Hoeltzener, C. Osswald et A. Martin
ENSIETA-E³I²-EA3876, 2, rue François Verny 29806 Brest cedex 9,
Brigitte.Hoeltzener, Christophe.Osswald, Arnaud.Martin@ensieta.fr
<http://www.ensieta.fr/e3i2/>

ABSTRACT

The main objective of this work deals with the design of information systems, taking into account various notions of complexity. Complexity is presented as concept of context, and its definitions depend on the effective application, but relies also on mathematical models. This paper suggests to question the concept of complexity when extracting knowledge from an analysis carrying multiple non-trivial semantics, such as system complexity.

General Terms

Measurement

Categories and Subject Descriptors

H.1 [Information Systems]: Model and principles; M.2 [Knowledge Management]: Knowledge Life Cycles; M.4 [Knowledge Management]: Knowledge Modeling

Keywords

Complexity, Contexts, Ontologies, Risk, Similarity

1. PROBLÉMATIQUE

Le concept qui fera l'objet d'une illustration est celui de la *complexité* issue d'une étude en *mesure de la complexité* soutenue par la Délégation Générale de l'Armement, publiée par [3]. La complexité, pour ce cas, relève de la définition de limites quantitatives pouvant indiquer un risque de perte de maîtrise quant aux délais et à la gestion des ressources sur l'ensemble du cycle de vie des systèmes.

La partie consacrée aux indicateurs de concepts (section 2) modélise les propriétés des différents contextes d'application qui composent les concepts de l'ontologies, ainsi que de ses relations. Les relations dites indicateurs de concepts, qui les lient aux contexte général constituent la section 2.2.

La mise en correspondance de concepts est traitée dans les sections 3 et 4 et illustrée en section 5. La section 6 conclut

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, to republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

JFO 2009 December 3-4, 2009, Poitiers, France
Copyright 2009 ACM 978-1-60558-842-1 ...\$5.00.

et ouvre des perspectives, en termes de formalisation et de conception de systèmes d'information collaboratifs.

L'étude [3] était en partie liée à la mise en place d'un observatoire de la complexité sur les grands systèmes et programmes d'armement. Il s'agissait d'aider à allouer des ressources, à gérer les risques, à améliorer la prévision et la prospective sur l'évolution des systèmes. Les résultats ont donné lieu à la définition de plus de 130 indicateurs de complexité. Le choix des experts scientifiques s'est porté en outre sur l'utilisation d'une forme de correspondance entre indicateurs de complexité et cycle de vie du système.

2. INDICATEURS ET RÈGLES D'INTERPRÉTATION

Les notions sur la *complexité* émanent de différents contextes applicatifs et de l'expression de mots clés qui sont génériques et indicateur du concept.

Passer par des indicateurs quantifiés permet de mieux cerner le contexte d'interprétation du concept en liant sa qualification à son estimation (quantification) pour un contexte applicatif donné (ex. : bruit et complexité de l'exploitation des signaux - estimation du rapport signal sur bruit). Cette démarche fige ainsi la relation *indicateur de concept* entre contexte des données (\mathcal{E}_d) et le contexte applicatif (\mathcal{S}_a).

2.1 Relations entre contexte des données et contexte applicatif

Sur le plan applicatif, le contexte des données esr représenté par un ensemble de données \mathcal{E}_d de cardinalité n défini par :

$$\forall i \in \{1, \dots, n\}, e_i \in \mathcal{E}_d, \quad (1)$$

où \mathcal{E}_d est un ensemble de données à valeurs dans \mathbb{R} . \mathcal{E}_d peut être un contexte exprimé dans un système de mesure physique ou informatique pour lesquels il existe des unités de mesure identifiables (ex. : GHz, Goctets). Le contexte applicatif est représenté par un ensemble de symboles \mathcal{S}_a de cardinalité m . Il est défini par :

$$\forall j \in \{1, \dots, m\}, s_j \in \mathcal{S}_a, \quad (2)$$

où \mathcal{S}_a est un ensemble de symboles à valeurs dans \mathcal{S} (ensemble plus global de symboles) et relatifs à l'application.

La réunion des ensembles \mathcal{E}_d et \mathcal{S}_a constitue l'ensemble des concepts élémentaires de l'ontologie du domaine de connaissance analysé. Les éléments de \mathcal{S}_a sont liés à un concept général par une relation de spécialisation – ce sont les 9 *référentiels de complexité* de la section 4, liés au concept

Accessibilité	Mesures directes objectives	Mesures scientifiques	Référentiels de complexité							tome d'annexes 1.6.B								
			RCP: Problème	RCI: Solutions	RC1: Validation	RC2: Réalisation	RC3: missionisation	RC4: MCO	RC5: évolutivité	RC6: gestion de projet	RC7: utilisation	4 EXPLOITATION DE SYSTEMES	5 DEVELOPPEMENT	5.1 organisation industrielle	5.2 conduite de programme	5.3 Organigramme des tâches	5.4 Organisation temporelle	
?	X		EXPLOITATION DES SYSTEMES															
?								XX	X				X					
X	X												X	*				
X	X												X	*				
			PROJET															
			Organisation industrielle															
XX	XX			X	X	XX											X	
	X			X	X	XX											X	
?				X	X	XX											X	
			Conduite de programme															
?	X			XX	XX												X	
XX	XX					XX											X	
XX	XX																X	
			Organigramme des tâches															
XX	XX																X	
X																	X	
			Organisation temporelle du projet															
XX	X	X				XX											X	
XX	XX	X				XX											X	

Table 1: Exemple des indicateurs de complexité en fonction des du cycle de vie du système

général de complexité. Les indicateurs issus du contexte des données, \mathcal{S}_a sont liés aux processus industriels *via* des relations de catégorisation et d'ordonnement temporel. Ces liens apparaissent dans la figure 1, mais n'interviennent pas dans les traitements explicités dans cet article.

La relation *indicateur de concept* entre contexte des données \mathcal{E}_d (*i.e.* ensemble numérique) et contexte applicatif \mathcal{S}_a (*i.e.* ensemble de symboles) peut se formaliser de manière non-ambigüe. Pour cela, la relation *indicateur de concept* R s'exprime – dans un premier temps – comme la mise en relation d'une donnée $e_i \in \mathcal{E}_d$ et d'un symbole $s_j \in \mathcal{S}_a$ par une relation R :

$$R(e_i, s_j) \in \mathcal{R}_I \quad (3)$$

où \mathcal{R}_I est l'ensemble de ces relations indicateurs, dont la sémantique s'interprète par "l'indicateur de la donnée e_i contribue à la pertinence du contexte applicatif s_j ". L'ensemble formé par les relations de ce type et leurs extrémités forme donc un graphe biparti orienté, sans circuit mais pas nécessairement sans cycle, un contexte de données pouvant contribuer à plusieurs contextes applicatifs, et réciproquement un contexte applicatif peut recevoir des contributions de plusieurs contextes de données.

La notation $R(e_i)$ désigne l'ensemble $\{s \mid s \in \mathcal{S}_a, R(e_i, s)\}$. On a donc $R(e_i) \subset \mathcal{S}_a$.

Le contexte des données peut inclure à sa source une numération générique sur les *objets* ou *choses* de l'application tel que le nombre d'interactions des composantes internes du système. Pour cela, il est utile de passer par une relation *indicateur de concept* tenant compte de ces notions. Le contexte des données est initialement de nature purement numérique mais nous allons pour des besoins de généralité parler en terme de modèles de données à valeur dans \mathbb{R}^N où N représente le nombre des valeurs du plus grand des modèles de données inclus dans \mathcal{E}_d :

$$\forall i \in \{1, \dots, n\}, e_i \in \mathcal{E}_d, \quad (4)$$

où n est le nombre des modèles de données et \mathcal{E}_d est l'ensemble

de données à valeurs dans \mathbb{R}^N .

À partir d'images sonar[5], on cherche à caractériser le type de sédiment marin $\mathcal{S}_a = \{\text{sable, roche, vase, rides de sable, etc}\}$, à l'aide d'une description numérique $e_i \in \mathbb{R}^N$, de N paramètres de description de la texture. La relation R résulte ici, de la codification des différentes sorties possibles de classifieurs et qui initialisera \mathcal{S}_a .

2.2 Indicateurs de concept

Les modèles de données peuvent alors inclure : une valeur, un objet informatiquement manipulable comme une liste ou un tableau de valeurs numériques ou d'objets, plus généralement, de structures de données...

Ainsi l'indicateur de concept qui dans notre cas, est pour partie fondée sur une information quantitative (ex. : fonctions de décision dans [5]), va être exprimé à partir de critères numériques-symboliques appliqués sur l'ensemble des sources, qualitatives comme quantitatives, données comme applications. Il combine les résultats de quantifications appliquées aux modèles de données et les résultats de l'expression des symboles portés par l'application (\mathcal{S}_a).

Pour cela, la relation indicateur de concept va être définie à partir d'un *contexte des données* (l'ensemble \mathcal{E}_d des modèles de données e_i), d'un *contexte applicatif* (l'ensemble \mathcal{S}_a des symboles, par exemple *signal, système, ...*) s_j , de *fonctions de quantification* définies sur \mathcal{E}_d à valeurs dans \mathbb{R} , formant un ensemble \mathcal{F} de N_φ , et de *fonctions de qualification* définies sur $\mathbb{R} \times \mathcal{S}_a$ à valeurs dans \mathcal{S} , ensemble de symboles liés au concept général, formant un ensemble \mathcal{C}_r de N_χ .

Ces éléments de \mathcal{S} sont les concepts permettant l'interprétation du concept général, et apparaissent comme ses attributs dans l'ontologie du domaine de connaissance analysé.

On définit la *relation indicateur de concept* par :

$$I_{\varphi, \chi, i, j} = \chi(\varphi(e_i), s_j) \in \mathcal{S}, \quad (5)$$

avec $\varphi \in \mathcal{F}$, $e_i \in \mathcal{E}_d$, $\chi \in \mathcal{C}_r$ et $s_j \in \mathcal{S}_a$, sous la condition

que $R(e_i, s_j)$ soit vraie. Les fonctions φ et χ vérifient :

$$\varphi : \mathcal{E} \rightarrow \mathbb{R} \quad (6)$$

$$\chi : \mathbb{R} \times \mathcal{S}_a \rightarrow \mathcal{S} \quad (7)$$

La composition de ces fonctions χ et φ met en relation un contexte des données, un contexte applicatif, et un attribut interprétatif du contexte général. Elle ne peut se modéliser par une arête de l'ontologie, et impose donc de considérer ses sous-graphes à trois éléments.

En exemple nous pouvons citer :

$$\chi_{\text{complexité}}(\varphi_{\text{complexité}}(e_i), \text{système}) \quad (8)$$

Pour ce cas $\chi_{\text{complexité}}$ est un critère permettant d'indiquer que le concept *complexité* relativement au contexte applicatif *système* peut être particularisé à un certain domaine d'appartenance de $\varphi_{\text{complexité}}$ appliqué à un modèle numérique e_i associé au système (exemple : architecture fonctionnelle) dans un domaine permettant une certaine catégorisation du concept *complexité*. Exemple : complexité et critères appliqués au nombre des fonctions comptées à partir de l'architecture fonctionnelle du système soit (*i.e.* $\varphi_{\text{complexité}}$) et $\chi_{\text{complexité}} : \varphi_{\text{complexité}}(e_i) > 200$ alors *système-non-gérable* est un indicateur du concept *complexité*. Ainsi nous obtenons :

$$\chi_{\text{complexité}}(\varphi_{\text{complexité}}(e_i), \text{système}) = \begin{cases} \text{système-non-gérable} & \text{si } \varphi_{\text{complexité}}(e_i) > 200. \\ \text{nul} & \text{sinon.} \end{cases} \quad (9)$$

3. CONCEPTS ET SIMILARITÉ

Afin de recenser les indicateurs de concept, quantifiés autant que possible, des contextes d'interprétation du concept très généraux peuvent être utilisés tels que : informatique, biologie, ingénierie système, avant d'être eux-mêmes particularisés suivant une logique de hiérarchisation des contextes d'interprétation du concept. Ceci peut conduire à la définition d'une arborescence des sous-contextes d'interprétation, à une chronologie des différents contextes d'interprétation, ou à une structure de graphe plus libre.

Le cadre des processus peut amener à une chronologie ; les concepts généraux – comme la complexité ou le risque – se prêtent mieux à une catégorisation hiérarchique. La relation entre les indicateurs et les sous-concepts de ces concepts généraux relève d'un graphe plus libre, dont la seule propriété est d'être biparti (cf. table 1). Il peut s'utiliser comme un treillis de Galois.

L'ensemble des contextes d'interprétation constitue ainsi un système d'interprétation. Dans un premier temps, la démarche consiste à associer des symboles référençant des contextes d'interprétation plus généraux du concept (ex. : problème), composant l'ensemble \mathcal{S}_a à des indicateurs plus applicatifs, composant l'ensemble \mathcal{E}_d .

3.1 Mise en relation de concepts

Des relations entre un ensemble d'indicateurs et des contextes d'interprétation de deux concepts (*i.e.* système d'interprétation), peuvent permettre une mise en relation de ces deux concepts. L'exemple ici concerne les relations entre les concepts *complexité* et *risque*. Ces mises en correspondance sont associées à un principe de *fusion d'informations* ayant pour résultat de compléter les définitions et implications de connaissances produites lors de ces mises en correspondance.

L'étude de [3] a ainsi permis de mettre en évidence des correspondances entre *complexité* et *risques* et les conclusions ont conduit à établir l'intérêt de l'utilisation du concept *complexité* en particulier, pour ce qui est de l'aide à l'identification des *risques*.

3.2 Similarité

Dans ce qui suit, les notions de contextes d'interprétation mais aussi de systèmes d'interprétation sont illustrées par l'exemple du concept *complexité* élaboré dans le contexte particulier de l'ingénierie système [3].

Pour cela, 9 concepts ont été utilisés faisant référence respectivement : au problème (RCP), à la solution (au travers des architectures et des algorithmes)(RC0), à la validation (RC1), à la réalisation (RC2), à la missionisation (RC3), à la maintenabilité (RC4), à l'évolutivité (RC5), à l'utilisation (RC7), à la gestion du projet (RC6) (cf. table 1, section 4).

Au cours de leur étude 26 dimensions d'indicateurs de concepts pour la *complexité système* ont été identifiées. Cela constitue un exemple de l'ensemble \mathcal{S}_a .

Par rapport aux différents indicateurs liés aux catégories de RCP, RC0 à RC7, ces 26 dimensions d'interprétation applicative du concept *complexité* montrent que plus de 14 de ces dimensions interviennent pour la plupart des catégories ci-dessus mentionnées. Par contre, certaines catégories – utilisation, missionisation, évolutivité et maintenabilité – n'ont qu'un faible nombre de dimensions d'interprétation applicative du concept *complexité*. Ceci est le signe d'un risque d'incomplétude au sens des contextes d'application définis pour l'interprétation initiale du concept *complexité*. De plus, pour 26 dimensions identifiées environ 6 indicateurs de concepts (ensemble des $I_{\varphi, \chi, i, j} \in \mathcal{S}$) doivent en moyenne les référencer ceci pour environ 130 indicateurs répertoriés. Ceci n'est pas le cas pour tous ; la seuls deux indicateurs sont référencés pour la dimension "système de systèmes".

3.3 Illustrations : relation R et fonctions φ

L'analyse des résultats de l'étude [3] fournit des premiers résultats par rapport à la relation R (entre \mathcal{E}_d et l'ensemble \mathcal{S}_a) et les fonctions φ appliquées à l'ensemble des modèles de données : \mathcal{E}_d . Ainsi, des illustrations peuvent être données telles que :

$$\forall e_i \in \mathcal{E}_d, R(e_i) = \text{environnement fonctionnel} \subset \mathcal{S}_a \quad (10)$$

alors

$$\exists \varphi \in \mathcal{F}, \chi \in \mathcal{C}_r \quad (11)$$

tels que :

$$\chi(\varphi(e_i), \text{environnement fonctionnel}) \in \mathcal{S} \quad (12)$$

Nous donnons dans ce qui suit l'ensemble des fonctions φ appliquées à un ensemble de modèles de données et qui référencent le contexte d'interprétation applicative *Environnement fonctionnel* : {nombre de systèmes externes dans les scénarios et situations d'emploi, complexité de la matrice des relations avec tous autres acteurs externes dans tous les domaines techniques/physiques, évolutivité des systèmes externes, autonomie du système}.

D'autres illustrations de fonctions φ et de contextes applicatifs peuvent être données : projet, développement.

Ce groupement correspond à un autre niveau de conceptualisation par rapport aux contextes applicatifs initialement définis. Ainsi, de nouveaux regroupements d'indicateurs

de complexité pourraient être réalisés. La cardinalité de chacun de ces regroupements donnerait alors une indication quant à la complexité liée au nombre des indicateurs dont on doit tenir compte pour chacun des regroupements (ex. : réalisation technologique).

L'ensemble des fonctions \mathcal{F} et l'ensemble des critères \mathcal{C}_r définis au cours de l'étude sont recensés en terme de la définition des indicateurs de complexité quantifiés et en terme de la justification de ces indicateurs. À hauteur de plus de 30% l'ensemble \mathcal{F} résulte de fonctions de comptage et de système de numération (voir [6]). D'autres indicateurs révèlent des indicateurs de complexité de nature physique, de nature combinatoire et structurelle mais aussi d'ordre plus subjectif.

4. CONTEXTE DE L'ANALYSE DE LA COMPLEXITÉ

La section suivante va s'attacher à mettre en correspondance *complexité* et *risque* en tant qu'exemple de mise en correspondance de concept.

La table 1 présente une cartographie des indicateurs de complexité référencés selon les référentiels (catalogues) de RCP, RC0 à RC7, puis en fonction des différentes étapes du processus de la GAMT17 (DGA). De plus un système de cotation permet de caractériser chacun des indicateurs par rapport à leur accessibilité, leur généralité, etc.. Cette organisation permet de définir des contextes d'interprétation moins applicatifs et plus généraux sur les systèmes et leur *complexité*. À partir de ces contextes moins applicatifs il est possible de définir des intersections d'ensembles entre l'ensemble des contextes applicatifs pointés par les indicateurs de complexité et l'ensemble de ces contextes applicatifs pointés par les contextes plus généraux.

L'exemple suivant explore certains référentiels de RCP, RC0 à RC7, *via* les intersections entre les ensembles des contextes applicatifs \mathcal{S}_a pointés par les différents éléments de \mathcal{E}_d , résumés en table 1. L' \mathcal{E}_d *Projet* comporte ainsi 10 indicateurs de données.

- *RC1* (4 dimensions par rapport aux contextes applicatifs \mathcal{S}_a); E_a *Validation* : {Nombre de participants industriels, Organisation industrielle, Structure interne de chaque industriel, Structure du client}.
- *RC2* (6 dimensions par rapport aux contextes applicatifs \mathcal{S}_a); E_a *Réalisation* : {Nombre de participants industriels, Organisation industrielle, Structure interne de chaque industriel, Nombre de réponses/propositions au problème, Séquencement des tâches, Densité du planning}.
- L'intersection de *RC1* et *RC2* contient donc les trois dimensions inscrites sous le label "Organisation industrielle", ce qui montre une articulation assez forte entre les contextes de validation et de réalisation.

Cette intersection montre une cardinalité très proche de celle des E_a *Problème* et *Solution*. La distinction peut se faire à partir des indicateurs de complexité qui référencent les différents contextes applicatifs. Ceci montre une très forte dépendance entre les complexités définies du point de vue validation et de celles définies dans le cadre de la réalisation.

5. MISE EN CORRESPONDANCE DE CONCEPTS : COMPLEXITÉ ET RISQUE

Les risques relèvent d'un concept général, relatif au *danger*, à la perte d'autonomie, des ressources et des moyens permettant la survie, etc. Ainsi, tout ce qui a trait à l'environnement et à la gestion des ressources est primordial.

Pour les *systèmes* les risques sont davantage relatifs aux coûts qui sont la conséquence des pertes en terme de ressources et de moyens dans les secteurs clés de la société qu'elle soit nationale, européenne, internationale. L'identification des risques résulte alors du savoir-faire et des expériences passées ayant permis aux entreprises de catégoriser un certain nombre de cas critiques ou de facteurs intervenant dans la prise de risque. La gestion des risques est un travail collectif, faisant intervenir de nombreuses étapes de *reporting* à gérer dans leur intégralité. Les technologies de l'information et la mise en réseau permettent de ce fait, un travail collaboratif adapté. En ce sens, si *complexité* et *risque* ne sont pas des concepts duaux, il n'en reste pas moins qu'une étude a démontré l'intérêt de l'exploitation de la *complexité* dans l'identification des *risques* centrée analyse de documents (voir [3]).

La formalisation d'une relation établie sur un même ensemble de contextes d'interprétation de deux concepts (*i.e.* système d'interprétation), peut permettre une mise en relation entre indicateurs de ces deux concepts. L'exemple ici concerne les relations entre les concepts *complexité* et *risque*. Ces mises en correspondance sont associées à un principe de *fusion d'informations* ayant pour résultat de compléter les définitions et implications de connaissances produites lors de ces mises en correspondance.

L'étude de [3] a ainsi permis de mettre en évidence des correspondances entre *complexité* et *risques* et les conclusions ont conduit à établir l'intérêt de l'utilisation du concept *complexité* en particulier, pour ce qui est de l'aide à l'identification des *risques*.

L'un des objectifs de ce travail est de permettre la réalisation d'un système permettant la validation et l'aide à l'initialisation de nouveaux contextes d'interprétation et leur mise en relation. En fonction des travaux précédents, la démarche suivie concerne la définition des relations entre indicateurs de différents concepts à partir de la mise en correspondance des différents contextes d'interprétation des concepts. C'est ainsi, que dans l'étude de [3] la relation complexité-*risque* a consisté à mettre en relation le processus liés à l'ensemble E_p : {préparation, faisabilité, définition, utilisation du système technologique}. Notons ici, que les aspects production n'ont pas été traités ici.

C'est ainsi que l'étude [3] a permis de définir après regroupement et sélection, 90 facteurs de *risque* en forte liaison avec les indicateurs de complexité. Il s'agit majoritairement de l'expression du besoin, de conception, définition et justification de la solution ainsi que de la conduite de programme. Il a été établi que 20 groupes de facteurs de *risques* peuvent être gérés par les indicateurs de complexité.

La table 2 donne un exemple de cartographie obtenue entre indicateurs de complexité et facteurs de *risque* définie par la GAMT17. En la synthétisant, on constate :

- Que la fonction φ correspondant à l'estimation du taux de complétude du besoin (informations explicites/in-

PROCESSUS ET GROUPES DE RISQUES		Nombre de liens mesures groupes et risques	Processus : Conduite de programme	Processus : Dépendance entre elles des tâches de l'OT	Processus : Difficultés de gestion de l'organisation industrielle	Processus : Mauvais management de l'OT, du planning	Processus : Mauvais management de projets / programmes	Processus : Défis	Processus : Contrat, négociation	Processus : Allées	Processus : Problèmes de gestion de la documentation	Processus : Qualité - risques - reuses	Processus : Problèmes de conformité des et aux données d'entrée	Processus : Mauvaise gestion du projet	Processus : Ingénierie système - Expression de besoin	Processus : Besoin incomplètement défini	Processus : Instabilité du besoin	Processus : Difficultés liées au partage en sous-ensembles	Processus : Incohérence de sous-ensembles	Processus : Solution non conforme au besoin	Processus : Mauvaise définition de la solution	Processus : Fournisseurs trop nombreux	Processus : Marques trop faibles	Processus : Interactions inadéquates solution / besoin	Processus : Fiabilité non acquise ou non possible	Processus : Difficultés de justification	Processus : Quantification	Processus : Insatisfaction des exigences	Processus : Investissement moyens d'infrastructure	Processus : Inadéquation entre moyens et programme	Processus : Recrutement - Formation - Compétences	Processus : Processus : Approvisionnement	Processus : Besoin mal défini	Processus : Faible vie du produit ou fournisseur	Processus : Complexité organisationnelle	
BESOINS																																				
Expressions de besoin																																				
Taux de complétude du besoin : information explicite / informations nécessaires	12																																			
Complexité documentaire de l'expression de besoin	4																																			
Distance du besoin par rapport aux limites technologiques connues	6																																			
Distance du besoin par rapport aux limites faisables	6																																			
Situation des performances demandées sur une courbe prospective																																				
Mesure tirée de l'analyse de la valeur sur niveaux de performances																																				
Nombre de besoins antagonistes	10																																			
Nombre d'exigences non vérifiables	6																																			
Pondération de l'expression de besoin																																				
Volumétrie du besoin fonctionnel																																				
Nombre de mission et tâches	4																																			
Nombre de fonctions externes	4																																			
Nombre de cas fonctions externes x situations	3																																			
Nombre de critères de satisfaction	10																																			
Nombre de critères quantifiés	9																																			
Nombre d'exigences vérifiables sous DOORS	8																																			
Nombre d'exigences élémentaires à suivre en traçabilité	6																																			
Nombre d'exigences de sécurité de la FEROS	3																																			
Niveau de protection du secret	1																																			
Nombre d'exigences d'interopérabilité de la FEROI	4																																			

Table 2: Exemple des correspondances complexité et risques

formations nécessaires) et pointant le symbole applicatif “expression de besoin” inclus dans \mathcal{S}_a référence à lui seul 12 facteurs de risque sur les 90 retenus,

- Que la fonction φ correspondant à l'estimation de la complexité documentaire de l'expression de besoin et pointant l'élément symbolique applicatif “expression de besoin” inclus dans \mathcal{S}_a référence quant à lui 4 facteurs de risque,
- Que la fonction φ correspondant à l'estimation du nombre de critères de satisfaction et pointant l'élément symbolique applicatif “volumétrie du besoin” inclus dans \mathcal{S}_a référence quant à lui 10 facteurs de risque.

6. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

L'étude relative à l'estimation des indicateurs de complexité a donné lieu à des travaux de recherche en mesure automatique de la complexité à partir de la méta-modélisation des systèmes [6]. Ces travaux permettent de couvrir ainsi plus de 30% des indicateurs de complexité définis dans l'étude [3].

L'analyse des différents contextes applicatifs d'interprétation de la complexité a permis d'initialiser en particulier, une étude en conception de système centrée utilisateur. En effet, les catégories d'exploitation et d'utilisation – en particulier – montrent une faiblesse quant aux contextes d'interprétation applicatifs possibles de la complexité pour ces différents points de vue.

Les perspectives concernent les aspects de formalisation inter-relations permettant l'aide à la mise en correspondance d'indicateurs de concepts. De plus, la définition des différents contextes d'interprétation applicatifs mais aussi de contextes plus généraux définissant des points de vue des concepts, peut permettre d'envisager la formalisation de différentes dimensions pouvant exprimer suivant leur nombre, une certaine complexité d'interprétation multiples contextes. Nos travaux de recherche futurs concerneront de plus, les mesures de similarité entre différents points de vue du concept *complexité*, afin de construire des classes de concepts.

Nous analyserons les compositions des fonctions de quantification en vue de permettre le passage d'un niveau d'abstraction du concept *complexité* à un autre (plus généralement composition d'indicateurs de concept).

De plus, afin de tendre vers la conception de systèmes d'information collaboratifs, il pourrait être d'intérêt de tenir compte des modélisations sociétales telles que celles étudiées en [1] ainsi que des méthodes relevant de l'analyse morphologique et de celles des impacts croisés. Pour les applications radar et sonar, cette méthodologie devrait conduire à mieux définir ce que pourrait être un système d'information collaboratif fondé complexité et risque et appliqué au domaine de la surveillance et de la sécurité maritime.

7. REFERENCES

- [1] F. Amblard. *Modélisation des réseaux sociaux et des modèles dynamiques d'opinion*. Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal de Clermont Ferrand, 2003.
- [2] H. Briand and F. Guillet. Extraction et gestion des connaissances. *Extraction des Connaissances et Apprentissage (ECA)*, 1, 2001.
- [3] P. Chretienne, A. Jean-Marie, G. Le Lann, and J. Stefani. Programme d'étude amont *Mesure de la complexité*. rapport technique dga, Atos Origin, Dassault Aviation, 2004. Num. marché 00-34-007.
- [4] Frawley, Piatetsky-Shapiro, and Matheus. Knowledge discovery in databases: An overview. *Knowledge Discovery in Databases*, pages 1–30, 1991.
- [5] A. Martin. Fusion de classifieurs pour la classification d'images sonar. *RNTI Extraction des connaissances : Etat et perspectives*, E-5:259–268, Novembre 2005.
- [6] M. Monperrus, J. Jézéquel, J. Champeau, and B. Hoeltzner. *Model-Driven Software Development: Integrating Quality Assurance*, chapter Measuring models and Metamodels. Fraunhofer Institute for Experimental Software Engineering (IESE), 2007.
- [7] D. Zighed and G. Venturini. Entreposage et fouille de données. *Revue des nouvelles technologies de l'information*, 1, 2003.