UNIVERSITÉ DE LORRAINE

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10
http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php
http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm

S.C.D. - U.H.P. NANCY 1
BIBLIOTHÈQUE DES SCIENCES
Rue du Jardin Botanique
54600 VILLERS-LES-NANCY

Faculté des Sciences
UFR Sciences Techniques Mathématiques Informatique Automatique
Ecole Doctorale IAE+M Lorraine
DFD Automatique et Production Automatisée

CNRS ESA 7039

THESE

présentée en vue de l'obtention du titre de

Docteur de l'Université Henri Poincaré, Nancy I

Spécialité Production Automatisée

par

Jean-Christophe BLAISE
Ingénieur ESIAL

Apport d'une modélisation de l'information normative à l'intégration des règles de sécurité des machines en conception.

Soutenue publiquement le 10/11/2000 devant la commission d'examen composée de :

Président :	Jean-François AUBRY	Professeur à l'Institut National Polytechnique de Lorraine
Rapporteurs :	Jean-Pierre BOUREY	Professeur à l'Ecole Centrale de Lille
	Patrick MILLOT	Professeur à l'Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis
Examinateur :	Alain BERNARD	Professeur à l'Université Henri Poincaré de Nancy
Directeurs de Thèse :	Joseph CICCOTELLI	Institut National de Recherche et de Sécurité, Directeur de Recherche Associé Centre National de la Recherche Scientifique
	Pascal LHOSTE	Maître de Conférences HDR à l'Université Henri Poincaré de Nancy

CENTRE DE RECHERCHE EN AUTOMATIQUE DE NANCY
Faculté des Sciences – 54506 Vandœuvre-lès-Nancy

INTRODUCTION GENERALE **11**

CHAPITRE 1 PROBLEMATIQUE **17**

1.1 Problématique et contexte du dispositif normatif en Sécurité des machines **19**
1.1.1 La sécurité et son environnement 19
1.1.1.1 Contexte global 19
1.1.1.2 Normalisation en sécurité des machines 22
1.1.2 La normalisation en sécurité des machines et son environnement 24
1.1.2.1 La notion de norme : définition que se sont donnés les normalisateurs dans la norme [NF EN 45020, 1998], tirée de [Lacore, 1993b]. 24
1.1.2.2 Caractéristiques du Dispositif Normatif 24
1.1.2.3 Environnement du Dispositif Normatif : les Acteurs 26
1.1.2.3.1 Normalisateurs 27
1.1.2.3.2 Formateurs 28
1.1.2.3.3 Certificateurs et Evaluateurs 29
1.1.2.3.4 Concepteurs et Constructeurs de Machines 29
1.1.3 Vers une numérisation de la connaissance normative 30

1.2 Problématique d'intégration des prescriptions normatives de sécurité en conception **31**
1.2.1 La normalisation : émergence d'une relation concepteur, utilisateur 31
1.2.1.1 Notions de conception et de conception sûre 32
1.2.1.2 Relation Conception / Exploitation pour une intégration des contraintes d'exploitation en conception 34
1.2.1.2.1 Contraintes de la conception propagées en exploitation 34
1.2.1.2.2 Des utilisateurs en conception 35
1.2.1.2.3 Notion de retour d'expérience 36
1.2.1.2.4 Notion de législation en matière de sécurité des machines 37
1.2.1.2.5 Notion de normes en matière de sécurité des machines 38
1.2.2 Quelle approche d'intégration de la normalisation en conception ? 40
1.2.2.1 Intégration par une fonction de « Spécialiste sécurité des machines » 40
1.2.2.2 Intégration par une relation entre acteurs 43
1.2.2.3 Intégration par une activité d'intégration des prescriptions en conception de machine 44
1.2.2.4 Intégration des vues normatives et techniques d'une machine 45

CHAPITRE 2 ETAT DE L'ART EN INGÉNIERIE DE LA CONNAISSANCE 49

2.1 Contexte d'Ingénierie de la connaissance 51

2.1.1 Introduction 51

2.1.2 Relation Expert / Utilisateur 52

2.1.3 Relation Expert / Cogniticien 53

2.1.4 Modélisation, formalisation de la connaissance 53

2.1.5 Exploitation de la connaissance 55

2.1.6 Synthèse 55

2.2 De la connaissance exprimée en langage naturel à son exploitation informatisée 56

2.2.1 Du langage naturel au langage naturel … 57

2.2.1.1 Connaissance et communication 57

2.2.1.2 Un savoir commun à tous : le langage naturel 59

2.2.1.2.1 Langage naturel ou langage formel ? 60

2.2.1.2.2 Inconvénients du langage naturel 60

2.2.1.2.3 Synthèse sur le langage naturel 61

2.2.2 … du langage naturel à la nécessité d'un modèle de la connaissance … 61

2.2.2.1 Les méthodes d'aide à l'extraction de la connaissance 61

2.2.2.2 Les formalismes de modélisation de la connaissance 64

2.2.3 … du modèle de la connaissance au langage naturel … 68

2.2.4 … et du modèle de la connaissance à l'exploitation informatisée de la connaissance formalisée. 69

2.2.5 Synthèse 71

2.3 Conclusion 71

S.C.D. - U.H.P. NANCY 1
BIBLIOTHÈQUE DES SCIENCES
Rue du Jardin Botanique
54600 VILLERS-LES-NANCY

CHAPITRE 3 DEMARCHE METHODOLOGIQUE ET APPLICATION AUX NORMES DE SÉCURITÉ **75**

3.1 Introduction 77

3.2 Formalisation de normes de Sécurité machine 79

3.2.1 Méthode NIAM (Nijssen Information Analysis Method) 79

3.2.2 La méthode et ses intérêts 80

3.2.3 Extraction et Formalisation de la connaissance 83

3.2.3.1 Extraction et formalisation 84

3.2.3.1.1 Analyser 84

3.2.3.1.2 Formaliser 84

3.2.3.1.3 Vérifier 85

3.2.3.2 Transposer 85

3.2.3.3 Comparer 86

3.2.3.4 Conclusion 86

3.3 Application de la démarche de formalisation aux normes de sécurité 89

3.3.1 Comment appliquer NIAM aux normes de sécurité ? 89

3.3.2 Quelles normes formaliser ? 91

3.3.3 Formalisation de la norme NF EN 292 91

3.3.4 Formalisation de la norme NF EN 692 93

3.3.5 Conclusion 102

3.4 Exploitation de la connaissance normative en conception 104

3.4.1 Identification des vues machines et des vues des normes de sécurité 105

3.4.1.1 Vues « conception » ou « génétiques » 105

3.4.1.2 Vues « ontologiques » 106

3.4.1.3 Vues « normatives » 107

3.4.1.4 Synthèse partielle 108

3.5 Application de l'approche multipoints de vue à la norme NF EN 692 109

3.5.1 Vues ontologiques dans la norme « presse » 109

3.5.2 Vues génétiques dans la norme « presse » : les types de presses 111

3.5.3 Relations normatives de la norme « presse » 112

3.6 Conclusion 114

CHAPITRE 4 RESULTATS ET APPLICATIONS : Vers un Prototype d'Assistance à la COnception de MAchines Sûres. (ACOMAS) 117

4.1 "Marché actuel" en outil d'ACOMAS 119

4.1.1 Un exemple d'outil : LOGINORME 120

4.1.2 Aide à la configuration de la démarche d'ingénierie propre au concepteur 121

4.2 Développement d'un prototype ACOMAS 122

4.2.1 Contexte 122

4.2.2 Moyens de développement 123

4.2.2.1 Elaboration d'un modèle NIAM/ORM 123

4.2.2.2 Production d'un schéma de base de données 124

4.2.2.3 Architecture 125

4.2.2.4 Développement d'une maquette 126

4.2.3 Application au développement d'un prototype ACOMAS 127

4.2.3.1 Spécifications de la maquette 127

4.2.3.2 Exemples de prescriptions formalisées et d'écrans associés 129

4.2.3.3 Forme de la maquette 137

4.3 Conclusion 137

CHAPITRE 5 CONCLUSION ET PERSPECTIVES **139**

5.1 Conclusion Générale **141**

5.2 Perspectives **145**

5.2.1 Aide à la conception et à la révision des directives et normes 145

5.2.2 Valorisation des travaux 145

5.2.3 Extensions de l'application de nos travaux 148

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES **149**

Bibliographie Générale **151**

Bibliographie « Technique » **169**

ANNEXES **I**

Principales caractéristiques du formalisme NIAM/ORM **II**

Lettre de Monsieur Gaston MICHAUD du CEN **VIII**

Modèles NIAM/ORM de la norme NF EN 692 (réalisés sur InfoModeler) **X**

Modèles NIAM/ORM de la norme NF EN 292 (réalisés sur InfoModeler) **XVI**

REMERCIEMENTS

Les travaux de recherche présentés dans ce mémoire ont été développés dans le cadre d'une Bourse de Docteur Ingénieur (B.D.I.) tripartite entre le Centre de recherche en Automatique de Nancy (C.R.A.N.), l'Institut National de recherche et de Sécurité (I.N.R.S.) et la Région Lorraine.

Au terme de ces trois années de travail, je tiens à remercier Monsieur Jean-Pierre BOUREY, Professeur à l'Ecole Centrale de Lille, et Monsieur Patrick MILLOT, Professeur à l'Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, pour avoir accepté d'évaluer ce travail en qualité de rapporteurs.

Je remercie également Monsieur Alain BERNARD, Professeur à l'Ecole Supérieure d'Informatique et Applications de Lorraine, et MONSIEUR Jean-François AUBRY, Professeur à l'INPL, d'avoir accepté de participer à ce jury en tant qu'examinateurs.

J'exprime ma sincère reconnaissance à Monsieur Pascal LHOSTE et à Monsieur Joseph CICCOTELLI, pour leur co-encadrement durant ces années de thèse. Leurs conseils et leur intérêt pour mes travaux ont été déterminants. Qu'ils soient tous deux remerciés tant pour leurs apports scientifiques que pour leur soutien. Ces années passées sous leur direction ont été très enrichissantes tant d'un point de vue scientifique que personnel.

Que tous les membres du CRAN soient ici remerciés, en particulier Monsieur Gérard MOREL, responsable du thème « Productique et Automatisation des Procédés Discrets » et Monsieur Francis LEPAGE, directeur du CRAN, pour m'avoir accueilli dans leur laboratoire. Que Patrick LAMBOLEY soit tout particulièrement remercié pour son soutien et sa constante bonne humeur.

Que l'ensemble du personnel du département IET de l'INRS soit également remercié. Que Jean-Pierre LACORE de l'INRS Paris soit assuré de ma sincère reconnaissance pour avoir suivi, toujours avec intérêt, l'évolution des travaux de thèse.

Que Monsieur François CALCAGNINI et Madame Roselyne LIENARD de la Société Information Technology & Services de Bruxelles soit remerciés pour leur soutien et leur implication dans les différentes actions de valorisation des travaux de thèse.

Enfin, merci à toute ma famille et particulièrement à Sophie et à Lucille pour leur soutien indispensable durant ces années.

INTRODUCTION GENERALE

Depuis 30 ans, force est de constater que les techniques de l'ingénieur ont formidablement contribué à l'amélioration de la sûreté et de la sécurité des systèmes de production, aidées en cela par le développement de l'automatisation, en divisant par quatre l'indice de gravité (en quelque sorte le niveau de dangerosité) relatif aux machines. Mais qu'en sera t-il demain ? A- t-on désormais atteint une asymptote ? Faudra-t-il cinq à dix ans pour obtenir de nouveaux gains substantiels ? Une chose est sûre, face à la complexité croissante des systèmes, seules de nouvelles approches permettront de poursuivre ce fléchissement.

Nos travaux réalisés au Centre de Recherche en Automatique de Nancy (CRAN) en collaboration avec le département Ingénierie des Equipements de Travail (IET) de l'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) contribuent à la proposition d'une nouvelle approche visant à intégrer les prescriptions normatives de sécurité en conception de machines par l'apport d'une modélisation de la connaissance normative. Ces travaux s'inscrivent dans le thème de recherche « Conception de Systèmes Sûrs de Fonctionnement » du CRAN.

Le but de nos travaux consiste en l'amélioration du niveau de sécurité de la situation de travail par le rapprochement de ses composantes techniques et normatives en matière de sécurité. En ce sens, nos travaux concernent la bonne application des normes de sécurité en conception, dans le champ plus global des problèmes de sécurité des machines en conception et en exploitation.

Dans le premier chapitre, intitulé ***Problématique***, nous exposons la problématique de nos travaux en présentant, dans un premier temps, le contexte de ces travaux : l'ensemble du dispositif normatif en matière de sécurité des machines. Après avoir exposé le contexte global de la sécurité des hommes au travail, nous développons plus particulièrement la normalisation en sécurité des machines, à savoir la définition d'une norme, les caractéristiques de l'ensemble du dispositif et les acteurs qui y sont confrontés (les normalisateurs, les formateurs, les certificateurs et/ou évaluateurs de conformité des machines et enfin les concepteurs et/ou constructeurs de machines) et nous abordons la mise à disposition de l'ensemble de cette connaissance normative à travers sa « numérisation ».

Ensuite, de manière plus formelle, nous démontrons les possibilités d'intégration des normes de sécurité en conception des machines en exposant les diverses relations entre la conception et l'exploitation des machines, ainsi qu'entre leurs acteurs.
Enfin, après avoir proposé diverses approches d'intégration de la normalisation en conception nous concluons sur la nécessité d'intégrer les vues normatives et les vues techniques d'une machine.

Dans le deuxième chapitre, intitulé ***Etat de l'art***, nous proposons, dans un premier temps, de préciser le contexte général d'ingénierie de la connaissance dans lequel se situent nos travaux afin d'orienter la recherche de moyens (méthodes, modèles, ...) de modélisation de la connaissance satisfaisant nos besoins. Plutôt que de décrire ce contexte sous une forme purement textuelle, nous appliquons à cette présentation la démarche de formalisation que nous préconisons dans nos travaux. Ainsi, nous proposons un modèle des domaines concernés par la connaissance permettant de faire apparaître différents acteurs (expert, cogniticien, utilisateur) et leurs relations. Ces relations montrent, de manière formelle, les divers processus mis en œuvre pour supporter la communication, ou, plus largement, le traitement d'une connaissance. Sur la base de ce modèle, nous identifions alors deux démarches principales permettant un partage de la connaissance :

- la communication « directe » en langage naturel,
- la formalisation de la connaissance et l'exploitation du modèle résultant.

Dans un deuxième temps, nous présentons un état de l'art des travaux contribuant à la mise en œuvre de ces deux démarches. Ainsi, après avoir montré les avantages et les limites du langage naturel, nous dressons un panorama de divers outils-méthodes permettant de supporter tout ou partie des processus d'extraction, de formalisation et d'exploitation de la connaissance. Une analyse comparative de ces moyens, au regard de nos besoins, nous amène à retenir la méthode NIAM (Natural language Information Analysis Method) pour supporter la formalisation et l'exploitation de la connaissance normative concernée par nos travaux.

Après un rapide exposé sur la problématique globale de l'analyse de la connaissance et de son intégration en conception, nous détaillons, dans le troisième chapitre intitulé ***Démarche méthodologique et Application aux normes de sécurité***, la méthode NIAM. Ensuite, nous proposons d'appliquer cette démarche de formalisation à deux normes de sécurité des machines, la norme NF EN 292 et la norme NF EN 692.
Dans la deuxième partie de ce chapitre, constatant l'absence de cycle de vie et de processus de

conception génériques pouvant servir de base à l'intégration visée, nous proposons de nous intéresser, non pas au processus de conception, mais plutôt aux caractéristiques du système à concevoir au regard des propriétés, liées à la sécurité, qu'il doit satisfaire. C'est pourquoi nous proposons une approche multipoints de vue, qui consiste en l'identification des vues caractéristiques d'une machine (d'un point de vue ontologique et d'un point de vue génétique) que nous rapprochons des vues normatives associées. Cette approche est ensuite appliquée à une machine de type Presse et à sa norme associée, la norme NF EN 692, dans le but d'intégrer, en conception d'une machine de type presse, les prescriptions qui lui sont relatives. Enfin, en montrant cette faisabilité d'intégration, nous proposons de démontrer son applicabilité à travers l'élaboration d'une base de connaissances et le prototypage d'une maquette informatique supportant son exploitation.

Dans le quatrième chapitre, intitulé ***Résultats et Applications : vers un Prototype d'Assistance à la COnception de MAchines Sûres (ACOMAS)***, nous exposons les résultats de l'application de nos travaux à une machine de type presse et montrons les bases de développement d'un outil ACOMAS en présentant succinctement le prototype développé.
Après avoir fait le point sur « le marché » actuel dans ce domaine, nous définissons les techniques nécessaires à l'élaboration d'un modèle NIAM et à la production d'un schéma de base de données, basées sur une architecture applicative à trois niveaux, et permettant d'envisager le développement d'un prototype à travers l'établissement de la base de connaissances et de ses mécanismes de consultation.
Nous proposons ensuite les possibilités d'exploitation de la connaissance normative en fonction des utilisateurs cibles. Après avoir présenté rapidement un exemple d'approche métier, proposée par le logiciel LOGINORME, nous expliquons les avantages d'une aide à la configuration de l'approche métier afin de garantir la cohérence avec la démarche d'ingénierie propre au concepteur.
Enfin, nous illustrons ces propositions par des exemples de prescriptions formalisées et de leurs présentations associées à travers un exemple concret de conception d'une machine de type presse.

Nos travaux se basent essentiellement sur l'utilisation de la méthode NIAM comme nous le décrivons dans le troisième chapitre. Toutefois, nous utiliserons le formalisme ORM (Object Role Modeling) comme support de description formelle et pour la modélisation proposée des normes. En fait, les différences entre NIAM et ORM (version américaine de NIAM) sont

minimes. Pour plus d'informations à ce sujet, nous renvoyons le lecteur aux divers ouvrages cités au § 3.2.2, et nous lui fournissons en Annexe (page II), une présentation du formalisme que nous utiliserons dans ce document. La raison principale, nous conduisant à faire référence conjointement à NIAM et ORM, n'est liée qu'à la différence de coût d'acquisition des outils informatiques actuels supportant ces formalismes. Ayant donc utilisé la **méthode** NIAM et le **formalisme** ORM, nous ferons référence dans la suite du document à NIAM/ORM pour les désigner.

CHAPITRE 1 PROBLEMATIQUE

Avant Propos :

Ce chapitre est composé de deux parties principales : la première vise à présenter la problématique et le contexte de la sécurité, tandis que la deuxième partie vise à expliquer cette problématique en la formalisant afin d'aboutir à des éléments de solution pour l'intégration de la sécurité en conception de machines.

Dans un premier temps, nous postulons que les normes sont un outil indispensable dans l'ingénierie des machines en terme d'intégration des aspects sécurité d'une machine. C'est pourquoi, nous présentons, dans une première partie, l'ensemble du dispositif normatif ainsi que ses caractéristiques et ses acteurs. Ensuite, dans une deuxième partie, nous démontrons, de façon plus formelle, l'importance des normes de sécurité en tant que vecteur de rapprochement entre la conception et l'exploitation des machines.

1.1 Problématique et contexte du dispositif normatif en Sécurité des machines

1.1.1 La sécurité et son environnement

1.1.1.1 Contexte global

Dans la suite, on utilisera le terme « machine » pour définir un ensemble d'éléments matériels capable de transformer (usiner, traiter, plier, conditionner, déplacer,...) de la matière [NF EN 292, 1991]. C'est un constat, depuis aussi longtemps que les machines existent, elles opèrent certes une transformation sur la matière (c'est leur raison d'être, elles ont été conçues pour cela), mais également une transformation sur elles-mêmes, à la fois au niveau de leur composante technique (usure, vieillissement, destruction des éléments techniques matériels) mais aussi au niveau de la composante humaine environnante (génération d'accidents et de maladies professionnelles, atteintes à la santé de l'Homme). Ce sont ces conséquences de la transformation opérée sur la composante humaine qui sont au centre des études et des préoccupations du spécialiste en prévention (préventeur). En ce sens, dans le domaine de la

prévention, la notion de système « Homme-machine »[1] est utilisée pour mieux mettre en évidence, dans cette transformation, la nécessaire interrelation entre les deux sous-systèmes, humains et techniques [Lhote, 1995], dans une situation globale de travail. Cette situation de travail et l'activité qui y est associée, dépendent à la fois de facteurs économiques, technologiques, socio-politiques, écologiques ou encore juridiques, ce qui rend cette notion difficile à appréhender et à étudier du fait du réseau complexe de relations existant entre les différents facteurs qui la composent (Figure 1).

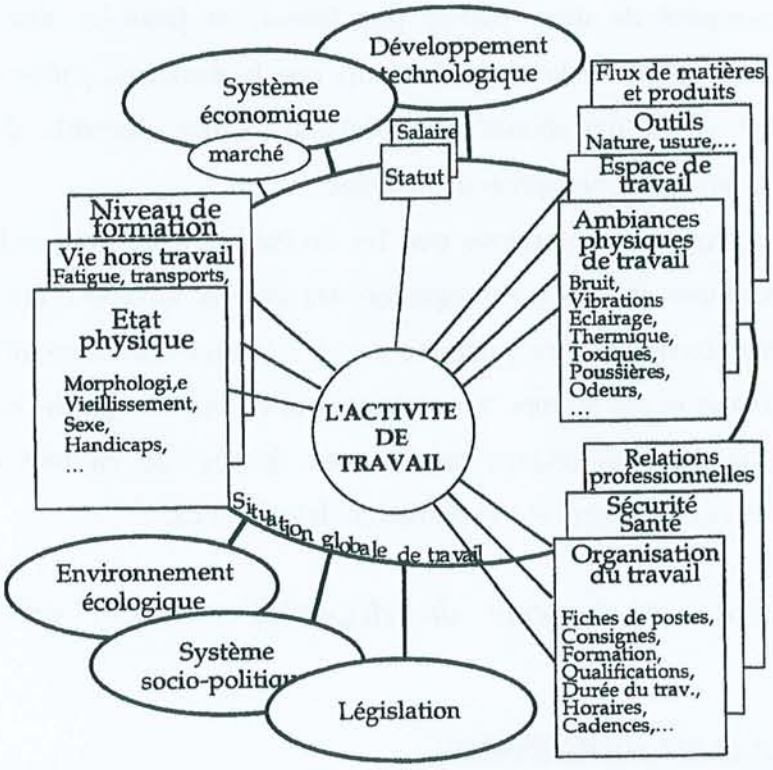


Figure 1 : La situation globale de travail et son environnement [Pomian et al., 1997].

Dans ce cadre, notre contribution sera limitée à l'amélioration du niveau de sécurité de la situation de travail par le rapprochement de ses composantes techniques et normatives en matière de sécurité.

En fait, depuis 30 ans, force est de constater que les techniques de l'ingénieur ont formidablement contribué à l'amélioration de la sûreté et de la sécurité des systèmes de production, aidées en cela par le développement de l'automatisation, en divisant par quatre l'indice de gravité[2] (en quelque sorte le niveau de dangerosité) relatif aux machines (Figure 2). Mais qu'en sera t-il demain ? A-t-on désormais atteint une asymptote ? Faudra-t-il cinq à

[1] L'ergonome préférera parler de système de travail qui évoque de plus la composante organisationnelle du système.

[2] L'indice de gravité des incapacités permanentes est le rapport (multiplié par 10^6) entre la somme des taux d'incapacité permanentes et les heures travaillées [CNAMTS, 1997].

dix ans pour obtenir de nouveaux gains substantiels ? Une chose est sûre, face à la complexité croissante des systèmes, seules de nouvelles approches permettront de poursuivre ce fléchissement, notamment par la coopération et la communication entre acteurs pluri-métiers [Jouffroy et al., 1998], le développement d'objets intermédiaires exploitables par tous [Mer et al, 1995], ou encore de référentiels communs d'usage [Roussel, 1996]. Dans le domaine de la sécurité des machines, de tels référentiels existent, ce sont les normes de sécurité des machines, qui, même si on en perçoit les limites [Didelot et al., 2000], constituent néanmoins une base, non suffisamment exploitée, pour contribuer à ces nouvelles approches.

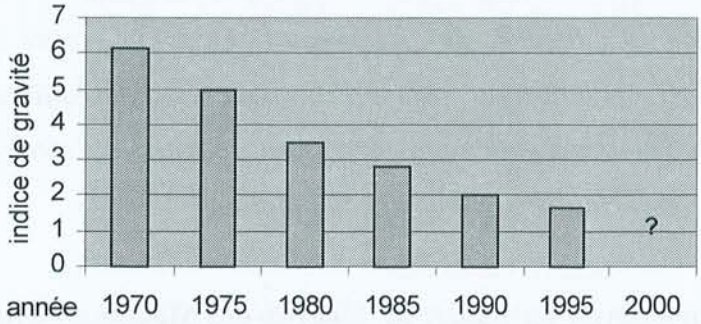


Figure 2 : Evolution de l'indice de gravité des incapacités permanentes « machines » d'après [CNAMTS, 1997].

En effet, les concepteurs faisant face actuellement à des obligations législatives relatives à la sécurité venant s'ajouter à tous les autres impératifs (coûts, délais, production, ...), la sécurité n'est prise en compte que de manière secondaire et tardivement dans la conception. Ce constat s'explique par le fait que le domaine de la sécurité est un domaine transversal de la conception et ne constitue donc pas un point de passage obligé mais une activité à considérer tout au long de la conception (Figure 3).

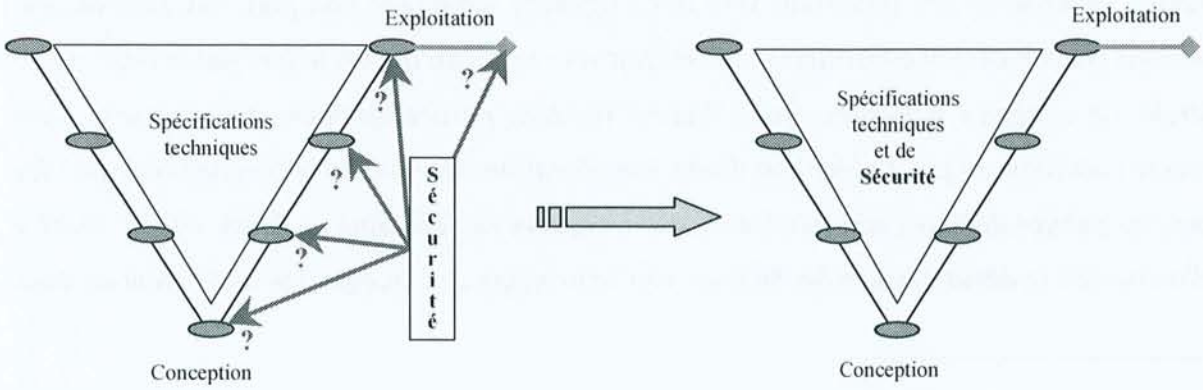


Figure 3 : Sécurité et cycle de vie machine.

Cette problématique montre le but à atteindre en termes d'intégration de la sécurité. Il ne

s'agit pas de réfléchir sur « Quand vais-je intégrer la sécurité ? » et de définir à un moment donné de la conception une activité de prise en compte de la sécurité, mais bien d'accentuer les efforts sur « Comment vais-je intégrer la sécurité ? » sachant que cette intégration doit se faire à tout moment du cycle de développement de la machine et que les normes sont un réel vecteur d'intégration. Mais, elles comportent toutefois quelques limites que nous allons mettre en évidence par la présentation du dispositif normatif.

1.1.1.2 Normalisation en sécurité des machines

« ... Dans le nouveau contexte réglementaire, le fabricant doit apporter une attention toute particulière à la commercialisation de son produit. En effet, mettre sur le marché un équipement qui va s'avérer dangereux risque d'entraîner des conséquences économiques et sociales dramatiques. Tomber dans l'excès inverse en poussant à l'extrême l'application de certaines règles peut aussi constituer un handicap inutile ... »[3]

L'évolution de la normalisation en matière de **Sécurité des Machines**, telle que présentée par [Lacore[4], 1993a] dans un exposé lors de journées CETIM, montre clairement qu'il s'agit d'un domaine en pleine expansion, justifiant les besoins actuels auxquels notre recherche tente de répondre :

« ... Si l'on en juge par les formes successives prises par la réglementation, en France et ailleurs, il semble bien que les mesures prises par les Etats en vue d'assurer la Sécurité des personnes travaillant à l'aide de machines aient d'abord, et pendant une assez longue période, fait principalement appel à des adjonctions, à des améliorations devant être apportées par l'utilisateur à du matériel parfois très dangereux dans son état de livraison. En France, un premier pas important vers des exigences adressées non plus aux utilisateurs, mais aux concepteurs et constructeurs, a été fait vers le milieu du siècle lorsque la mise sur le marché de quelques machines (qui s'étaient révélées particulièrement dangereuses) s'est trouvée conditionnée par l'obtention d'une homologation, marque de reconnaissance par les pouvoirs publics de leur conformité avec des exigences réglementaires. Mais, on sait qu'il a fallu attendre le ***début des années 80*** *pour voir le principe de l'intégration de la sécurité dans*

[3] Citation du Centre Technique des Industries Mécaniques (CETIM) dans l'attestation de conformité « CETIM-SÉCURITÉ ».

[4] J.P. LACORE, Ingénieur chargé de mission Normalisation à l'INRS et Animateur, au niveau européen, du groupe consultatif «CEN TC 114 CAG» portant sur la normalisation en matière de « Sécurité des Machines ».

S.C.D. - U.H.P. NANCY 1
BIBLIOTHÈQUE DES SCIENCES
Rue du Jardin Botanique
54600 VILLERS-LES-NANCY

*la conception de toutes les machines, consacré par des mesures législatives et réglementaires. Moins de 10 ans plus tard, en **juin 1989**, la **directive européenne** relative à la **conception des machines**, reflet assez fidèle de la réglementation française, offrait aux 12 Etats de la Communauté Européenne un solide modèle pour la révision ou l'élaboration de leurs règles nationales en cette matière ...* »

« *... Dans le même temps, c'est pour aider les bureaux d'études à bien appliquer les exigences de la directive " Machines " qu'a été lancé le **programme actuel de normalisation européenne** en matière de conception des machines, sans précédent dans l'histoire mondiale de la normalisation technique ....* »

Le concepteur de machines dispose désormais de cadres de référence (plusieurs directives, de nombreuses normes), mais se trouve confronté à des **difficultés techniques de mise en application** : comment exploiter cette **énorme quantité d'informations**, retenir ce qui est **applicable**, en tenir compte le plus tôt possible **en conception**, sans pour cela pénaliser en **temps** et en **coût** le développement, et finalement, réussir à **mettre en œuvre** une solution acceptable ? Comme le souligne [Van Gheluwe[5], 1993] dans une communication aux journées CETIM déjà citées :

« *... La Directive européenne Machines précise que la machine doit être conçue et construite en intégrant la sécurité et cela, dès la conception. Cela demandera de la réflexion, la remise en cause des techniques utilisées depuis longtemps ...* » d'autant que « *... la Directive **énonce les objectifs sans donner les moyens** de les atteindre...* » cependant « *... pas de défaitisme, **il y a des solutions, mais il faut les trouver** ...* ».

Les travaux actuels ont pour objectif de **contribuer à l'élaboration de telles solutions** en proposant une exploitation plus performante du dispositif normatif en matière de « Sécurité des Machines ». Dans l'environnement de ce dispositif normatif, d'autres intervenants que les seuls concepteurs de machines sont également concernés. Ils doivent aussi faire face à des problèmes d'interprétation des règles et de maîtrise du volume de cette connaissance créant un réel besoin d'outils d'assistance :

- les **normalisateurs**, rédacteurs des normes au sein du Comité Européen de Normalisation (CEN),
- les **formateurs** s'appuyant sur ce dispositif pour l'enseignement de la Sécurité au sein de l'Institut Prévention, de l'Education Nationale et de l'Enseignement Supérieur,

- les **certificateurs** et les **évaluateurs** de machines (notamment les organismes de contrôles).

1.1.2 La normalisation en sécurité des machines et son environnement

1.1.2.1 La notion de norme : définition que se sont donnés les normalisateurs dans la norme [NF EN 45020, 1998], tirée de [Lacore, 1993b].

Norme : *document établi par consensus et approuvé par un organisme reconnu qui fournit, pour des usages communs et répétés, des règles, des lignes directrices ou des caractéristiques, pour des activités ou leurs résultats, garantissant un niveau d'ordre optimal dans un contexte donné.*

En fait, les dispositions contenues dans une norme peuvent prendre la forme d'un énoncé, d'une instruction, d'une recommandation ou d'une exigence[6]. Effectivement, les normes n'ont aucun caractère obligatoire, elles indiquent uniquement des **prescriptions**. Dans le cadre de la nouvelle approche [NF_E_09-000, 1993], elles viennent en appui à la prise en compte des directives européennes.

1.1.2.2 Caractéristiques du Dispositif Normatif

Parallèlement à l'entrée en application des directives européennes, en particulier, de la directive codifiée 98/37/CE [Dir_98/37/CE] « Machines », les instances de normalisation formulent les spécifications techniques au travers de multiples textes. Il en résulte alors des normes d'ensemble (type B) et des normes produits (type C). Ces normes sont élaborées à partir de normes dites de base (type A) telle que la norme [NF EN 292, 1991]. Ainsi, le CEN introduit les notions de normes **horizontales** (ou d'ensemble) et normes **verticales** (ou produits) dont le cadre et leur organisation sont donnés Figure 4. Les normes horizontales traitent des aspects techniques, méthodologiques ou terminologiques liés à la sécurité pouvant être appliqués à toutes les machines (ou à de nombreuses machines), ainsi qu'aux dispositifs relatifs à la sécurité qui peuvent être communément utilisés dans la conception des machines, c'est pourquoi elles sont appelées « normes d'ensemble ». Les normes verticales déterminent, quant à elles, les dispositions spécifiques d'une catégorie particulière de machines, faisant dans toute la mesure du possible référence aux dispositions des normes horizontales.

[5] Administrateur Principal à la Commission des Communautés Européennes – DG III.

[6] Les instructions sont généralement exprimées à l'infinitif, parfois à l'impératif ; les recommandations s'accompagnent généralement de la formule « devrait », tandis que les exigences utilisent plutôt la formule « doit » ; d'après l'annexe H de la norme [NF_E_09-000, 1993].

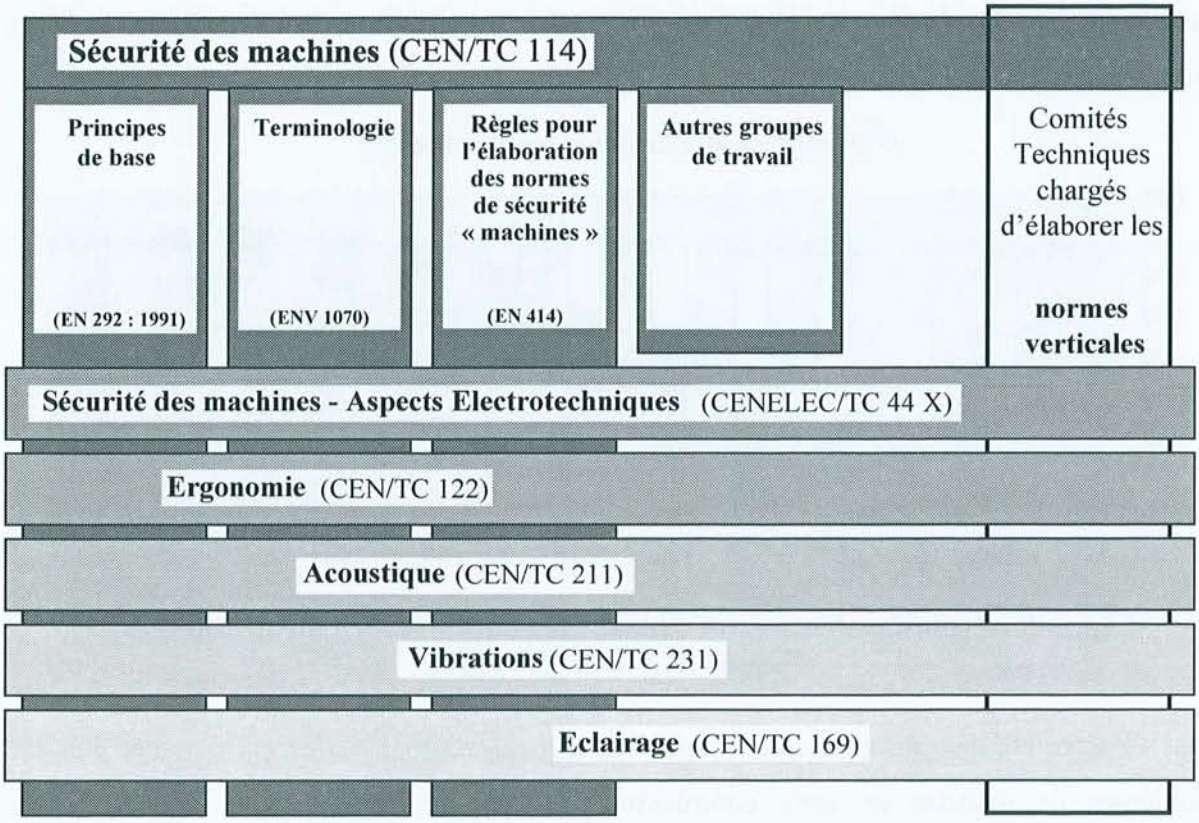


Figure 4 : La place des normes horizontales dans les comités du CEN et du CENELEC.

Cette représentation du dispositif normatif témoigne de la **complexité de l'interaction** existant entre les différentes normes tout en soulignant la nécessité d'une grande rigueur des divers groupes de travail du Comité Européen de Normalisation (CEN).

Outre cette complexité, une autre caractéristique du dispositif normatif est son **volume**. En 1998, **100 normes horizontales** et **177 normes verticales** étaient recensées [AFNOR, 1998] au sein des différents TC (Technical Committee) selon la répartition suivante :

- 30 normes sur *la sécurité des machines* en général,
- 3 normes sur *les aspects électrotechniques*,
- 1 norme sur *l'éclairage*,
- 16 normes sur *les vibrations*,
- 26 normes sur *le bruit*,
- 15 normes sur *l'ergonomie*,
- 9 normes sur *les atmosphères explosibles*,

Par ailleurs, **77 projets de normes horizontales** et **523 projets de normes verticales** étaient également recensés. Le CEN précisait dans son rapport annuel 1997-1998 [CEN, 1998] que 80 % des normes, sur un programme de travail total de 840, seraient publiées en 1999, alors qu'en 1997 seulement 164 étaient citées au Journal Officiel. Par ailleurs, la commission

allemande pour la sécurité et santé au travail et la normalisation (KAN[7],) dresse le bilan suivant sur la période 1992 à 2004 :

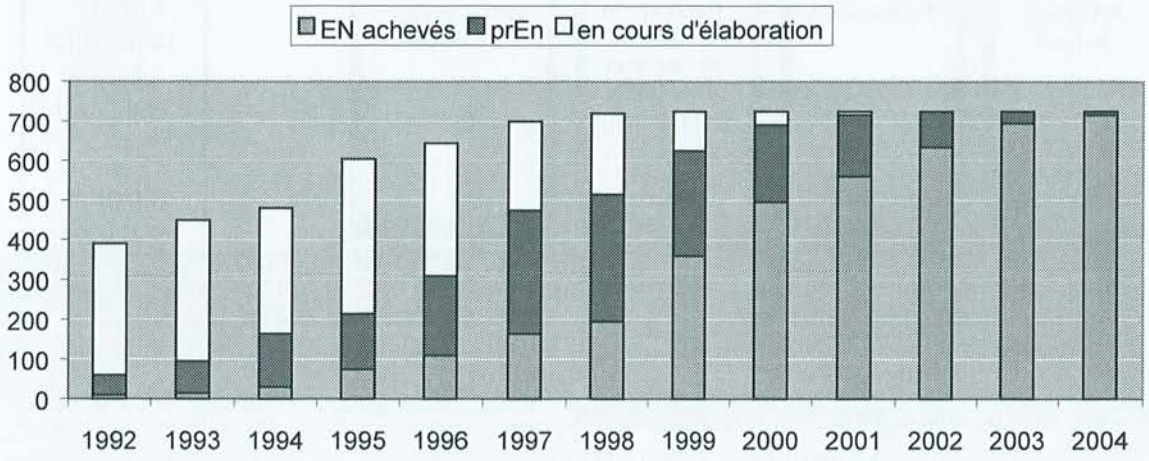
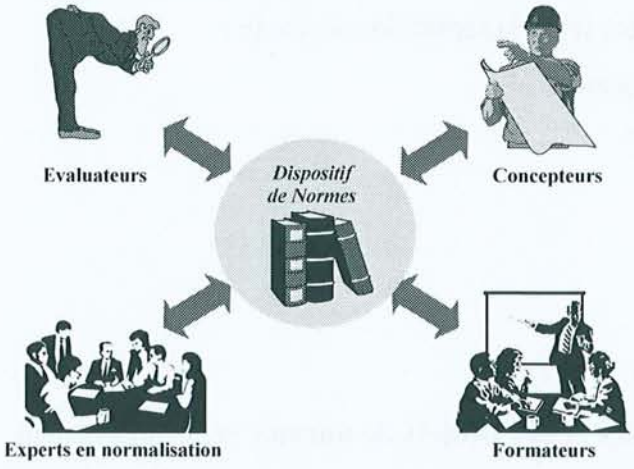


Figure 5 : Evolution des normes dans le domaine de la sécurité des machines d'après [KANBRIEF, 1999].

Ainsi, l'accroissement du nombre de normes et leur mise à jour renforcent d'autant plus les problèmes de maîtrise de cette complexité pour les différents acteurs concernés par l'application du contenu normatif.

1.1.2.3 Environnement du Dispositif Normatif : les Acteurs

Le dispositif normatif est environné par un certain nombre d'**acteurs humains** concernés par la connaissance contenue dans les normes :



- les **Concepteurs et Constructeurs** de machines qui utilisent ce dispositif en conception, réalisation avant la mise sur le marché de machines,
- les **Certificateurs et Evaluateurs** qui sont amenés à se prononcer sur la conformité des machines,
- les **Formateurs** qui contribuent à la diffusion du dispositif normatif auprès des futurs ingénieurs et techniciens de conception,
- les **Normalisateurs** qui conçoivent le dispositif normatif.

Figure 6 : Les acteurs du dispositif normatif.

[7] Kommission Arbeitsschutz und Normung (http://www.kan.de)

1.1.2.3.1 Normalisateurs

Afin de mettre en évidence la complexité que nécessite l'élaboration d'une norme, nous énumérons ci-après ses différentes phases :

- **Identification des besoins**, généralement par les instituts les plus proches du monde du travail (CNAMTS[8]) ou par le législateur (Ministères chargés du travail et des affaires sociales, Parlement européen).
- **Programmation collective**, menée par l'ensemble des instituts de prévention européens (INRS et ses homologues européens).
- **Elaboration** par les experts (comités de normalisation constitués de constructeurs/fabricants, les utilisateurs, les « préventeurs »), formation de **comités** et de **groupes de travail**.
- **Consensus** des experts sur le projet.
- **Validation** (enquête probatoire).
- **Approbation** européenne, mise en application au niveau national, avec le statut de norme nationale.

Chacune de ces étapes dure plus ou moins longtemps, il faut compter en moyenne **5 ans** entre l'identification des besoins et la mise en application de la norme répondant à ces besoins !

Par ailleurs, les travaux d'élaboration d'une norme sont toujours basés sur des **discussions informelles** entre les partenaires concernés (Figure 7) et une confrontation de leurs intérêts, parfois divergents. Cependant, le résultat doit être un texte consensuel, exempt d'incohérences et de contradictions (dans l'ensemble du texte et par rapport aux autres textes de norme).

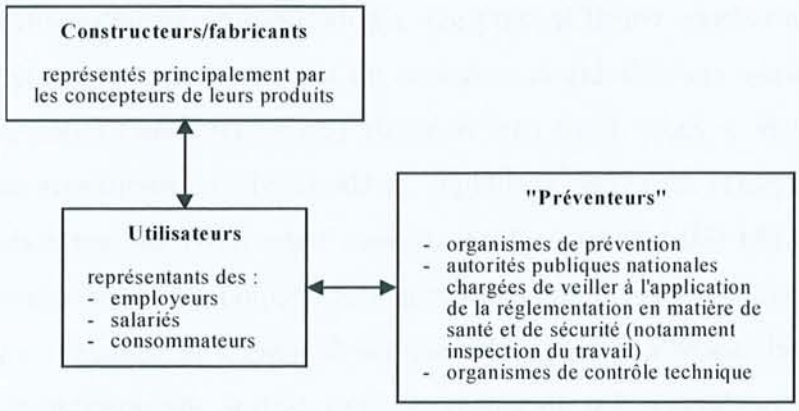


Figure 7 : Les acteurs de la normalisation d'après [Lacore, 1993b].

En ce sens, l'expression informelle du langage naturel ne permet pas de démontrer la cohérence ou l'incohérence de ces textes normatifs. L'accroissement de ces textes laisse envisager une augmentation du temps nécessaire à leur élaboration, tout en provoquant une baisse de la qualité de leur contenu, d'autant que les normalisateurs ne disposent d'aucune assistance dans le processus de conception des normes.

[8] Caisse Nationale d'Assurance Maladie des Travailleurs Salariés

1.1.2.3.2 Formateurs

Dans son exposé, [Lacore, 1993a] fait le constat suivant :

« *A mesure que se constitue la collection des normes relatives à la conception des machines, il apparaît de plus en plus clairement que la bonne assimilation de leur contenu technique implique une disponibilité d'esprit qu'il est malheureusement peu courant de trouver chez les ingénieurs et techniciens de bureau d'études en plein exercice de leurs fonctions dans l'industrie. Tout naturellement, tend donc à s'imposer l'idée que l'enseignement technique a un rôle à jouer en cette matière. Cette idée est si simple et si naturelle que tout développement ayant pour but d'en démontrer le bien-fondé et l'utilité serait d'une insupportable platitude ! ... En même temps qu'elle fournit aux bureaux d'études les spécifications techniques dont ils ont besoin pour répondre aux exigences conjointes de suppression des entraves techniques aux échanges et de maintien d'un niveau élevé de sécurité, la normalisation construit les bases largement reconnues sur lesquelles sera fondée la formation des ingénieurs et techniciens de demain et, bien sûr, sur lesquelles doit s'appuyer le perfectionnement de ceux d'aujourd'hui ...* »

Néanmoins, les moyens mis à la disposition des formateurs ne sont pas plus importants que ceux dont disposent les concepteurs de machines. C'est pourquoi des **expériences à but pédagogique**, menées par des formateurs, voient le jour pour se doter des moyens nécessaires à une diffusion efficace de la masse considérable et complexe de la connaissance véhiculée par les normes. En particulier, dans le cadre d'une convention de partenariat entre l'INRS et l'Education Nationale, des professeurs du Lycée Technique de Rambouillet, enseignants en classes de préparation du BTS MAI (Mécanique et Automatismes Industriels), ont entrepris de décrire dans une brochure comment ils ont appliqué les principes, méthodes et dispositions techniques de conception des machines préconisés par des normes de « Sécurité Machines » à une petite unité automatique de production. Ce document, d'abord destiné aux enseignants français, a ensuite rejoint la collection des brochures INRS [INRS, 1994]. Il est à noter que, comme le souligne J.P. LACORE : « ... *Son élaboration a été suivie avec intérêt chez plusieurs de nos voisins européens ...* ».

Malgré l'apport pédagogique résultant de ce type d'action, l'application de cette brochure à la conception d'une machine particulière ne permet pas d'aborder complètement le champ couvert par le dispositif des normes « Sécurité Machines » et, de plus, elle met en œuvre une démarche simplifiée et spécifique aux objectifs pédagogiques visés supportée par le logiciel LOGINORME. Un cadre d'assistance pédagogique plus générique permettant d'exploiter toute la connaissance contenue dans le dispositif de ces normes et aidant à la **construction de**

formations ciblées serait donc d'un apport certain, tant en **enseignement initial** qu'en **formation continue**.

1.1.2.3.3 Certificateurs et Evaluateurs

Le constructeur/concepteur qui, tout au long du cycle de développement de sa machine aura à satisfaire les exigences essentielles de sécurité applicables à la nouvelle machine qu'il conçoit, doit attester de cette conformité et élabore un document officiel dit « déclaration CE de conformité » qui engage complètement sa responsabilité, c'est **l'auto-certification** [Lupin & Desmoulins, 1996].

On comprend dès lors qu'il se retrouve en position d'évaluateur : « Ai-je correctement satisfait aux exigences ? », avec toutes les questions et interprétations que ce type de situation pose (quelles sont les règles de l'art, quel est l'état de la technique[9] , la part du jugement subjectif dans l'évaluation ?, ...). Pour la catégorie des machines soumises à certification obligatoire par tierce partie[10] [Trivin, 1993], les organismes de certification se trouvent confrontés aux mêmes questions. Afin d'harmoniser et de partager leurs points de vue, ils ont créé au niveau européen des groupes dits de « Coordination Européenne des Organismes Notifiés » chargés d'élaborer des fiches d'interprétations visant à adopter les positions communes à des interrogations relatives aux normes ou aux directives.

Les **évaluateurs** (concepteurs, organismes de contrôle et de certification) sont donc également concernés par l'accroissement du nombre de normes et sont confrontés à une réelle difficulté d'évaluation du respect des prescriptions normatives.

1.1.2.3.4 Concepteurs et Constructeurs de Machines

Dans leur ouvrage, [Boudillon & Sourisse, 1996] du Groupe SCHNEIDER soulignent que :

« *... Nous assistons depuis quelques années à un mouvement profond de remise en cause de la sécurité des équipements. Mis en œuvre dans tous les pays de l'Union Européenne, ce mouvement est accompagné par l'élaboration de nouvelles normes, dont la plupart sont très innovantes. Mais il est surtout amplifié par la publication de directives européennes et de lois nouvelles contraignant les divers acteurs de la production industrielle à prendre toutes les mesures indispensables à la prévention des accidents professionnels et à la protection des travailleurs ...* ».

[9] Etat qui procure aux utilisateurs le niveau de sécurité le plus élevé que permettent d'atteindre les connaissances scientifiques, les possibilités techniques et les contraintes économiques du moment.

[10] c'est-à-dire les machines listées à l'Annexe IV de la directive 98/37/CE.

En effet, de plus en plus, le monde industriel se trouve confronté à des problèmes de mise en conformité de ses installations, aussi bien d'un point de vue **sanitaire**, **social** qu'**environnemental**. Face à cette expansion de contraintes législatives et normatives, les PME/PMI se trouvent submergées tandis que les grands groupes industriels développent dans leurs bureaux d'études de nouvelles démarches pour tenter d'appliquer ces contraintes. Le Groupe SCHNEIDER propose dans l'ouvrage précédemment cité une triple démarche pour présenter les techniques pratiques de conception et d'exploitation des machines sûres :

- « *Développer une logique basée sur la réglementation actuelle et sur les normes existantes en matière de sécurité,*
- *proposer une synthèse des techniques actuelles disponibles en matière de sécurité, et des méthodes applicables aux divers cas industriels,*
- *analyser les fonctions et les technologies des constituants et outils de sécurité mis à la disposition des concepteurs et utilisateurs de machines, ..., et montrer ensuite comment des équipements sûrs peuvent être réalisés avec ces moyens.* »

Ainsi seuls de grands groupes tentent de réagir et de développer des **démarches propres à leurs bureaux d'études** d'intégration de la Sécurité à la conception, tandis que les PME/PMI subissent sans pouvoir anticiper cette recrudescence de textes législatifs.

C'est pourquoi, nous proposerons une démarche cohérente à travers la **formalisation** et la prise en compte des textes relatifs au dispositif réglementaire et normatif. De plus, nous insisterons sur la nécessité de fournir un **outil indépendant de toute méthode spécifique d'ingénierie**, afin de ne pas imposer telle ou telle méthode à des PME/PMI qui ne pourraient les appliquer. Il ne s'agit pas, en effet, de créer une nouvelle « norme » sur le processus de conception de machines.

1.1.3 Vers une numérisation de la connaissance normative

La tendance actuelle, grâce au développement des nouvelles technologies et en particulier de l'Internet, est à l'accroissement des possibilités de mise à disposition des normes. Nous citerons en particulier l'AFNOR (Association Française de NORmalisation) qui, par son site Web[11] et l'outil Périnorme, développé en partenariat avec les autres instituts de normalisations européens, permet un meilleur accès à l'ensemble des normes françaises, européennes mais aussi internationales. Dans le même esprit, un site web, qui vient de voir le jour (sous l'égide

[11] http://normesenligne.afnor.fr/cgi-bin/normesenligne.storefront

du CEN, du CENELEC, de l'EFTA[12] et de l'ETSI[13]) référence les différentes législations et normes dans le cadre de la nouvelle approche[14]. Parallèlement, et dans un même souci d'accessibilité et de partage de l'information, le CEN développe actuellement le réseau INES[15] (Internet Network for European Standardization) commun à tous ses membres travaillant en normalisation [Downe et Chaves, 1999]. Le DIN[16], institut de normalisation allemand, et plus particulièrement le Beuth[17], a développé un CD-ROM, intitulé « Leitfaden Maschinenesicherheit in Europa [18]», disponible en version allemande et en version anglaise, qui délivre sous forme hypertexte l'ensemble du dispositif législatif et normatif relatif à la sécurité des machines. Ces différents outils montrent que le champ de la normalisation, et plus particulièrement celui de la sécurité des machines, est en pleine évolution. Néanmoins, ces avancées ne contribuent pas à une assistance à la prise en compte de la connaissance normative, mais uniquement à une meilleure accessibilités de ces textes.

1.2 Problématique d'intégration des prescriptions normatives de sécurité en conception

Suite à la présentation du contexte de la sécurité des machines, nous nous attachons dans cette partie à formaliser, dans un premier temps, à travers l'étude des relations entretenues entre les différents acteurs concernés par une conception sûre, l'objectif de notre contribution. Ces diverses relations permettent d'aboutir à un modèle montrant les liens possibles entre la normalisation en sécurité des machines et la conception des machines. Sur la base de ce modèle, nous justifierons, dans un second temps, les orientations retenues dans nos travaux pour contribuer à l'intégration de la sécurité en conception.

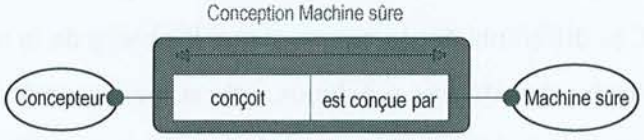
1.2.1 La normalisation : émergence d'une relation concepteur, utilisateur

Le but de ces travaux est de contribuer à la conception de machines sûres. Une telle conception n'est envisageable que si le concepteur prend bien en compte les aspects liés à la sécurité de la machine qu'il est en train de concevoir.

[12] European Free Trade Association (http://www.efta.int)
[13] European Telecommunications Standards Institute (http://www.etsi.org)
[14] http://www.newapproach.org/
[15] http://wwwines.afnor.fr/
[16] Deutsches Institut für Normung, http://www.din.de/
[17] http://www.beuth.de/
[18] Guide de la sécurité des machines en Europe

1.2.1.1 Notions de conception et de conception sûre

Il est nécessaire de bien faire la distinction entre la conception d'une machine sûre et la conception sûre d'une machine, le but n'étant pas le même. En effet dans le premier cas, le résultat de la conception doit être la réalisation d'une machine sûre et pour cela le concepteur doit connaître les notions relatives à la sécurité de la machine qu'il est en train de concevoir, tandis que dans le cas d'une conception sûre, le concepteur n'a pas forcément à se soucier du résultat mais plus de la façon dont il y parvient.

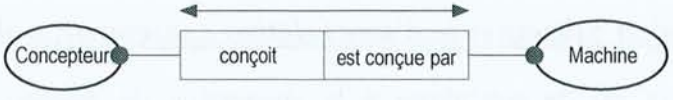


Chaque Concepteur conçoit une ou plusieurs Machines sûres, chaque Machine sûre est conçue par un ou plusieurs Concepteurs, une Conception de machine sûre est définie de manière unique par le couple (Concepteur, Machine sûre).

Figure 8 : Emergence de la notion de « Conception de Machine Sûre » par la relation entre « Concepteur » et « Machine sûre ».

L'énoncé de ce simple fait montre que le but est difficile à atteindre directement. Cette relation doit être découpée en une problématique plus fine afin de rendre la connaissance et le savoir-faire à mettre en œuvre plus explicites [Vink, 1995].

Mais revenons pour l'instant à la problématique initiale qui est la conception de machines sûres, c'est-à-dire plus précisément de concevoir des machines pour leurs futurs utilisateurs potentiels en tenant compte, dès la conception, des risques éventuels encourus par ces utilisateurs. La base du problème est bien évidemment la conception, et en l'occurrence de machine, donc de la relation entre un concepteur et une machine :

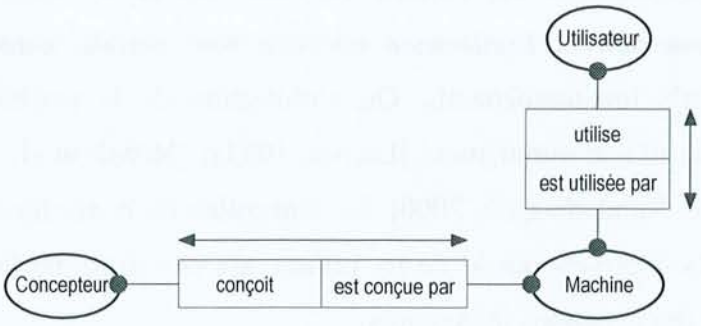


Chaque Concepteur conçoit une ou plusieurs Machines, chaque Machine est conçue par un ou plusieurs Concepteurs.

Figure 9 : Relation entre « Concepteur » et « Machine ».

Posons-nous la question : « Que devient une machine après sa conception ? ». Comme tout objet, une machine est conçue pour être exploitée par un ou plusieurs utilisateurs (a priori pas forcément identifiés !). La machine est principalement exploitée durant sa vie par divers opérateurs pour remplir sa fonction de production (pour transformer de la matière), mais divers autres cas peuvent se produire et ceci pour différentes raisons que nous ne développons

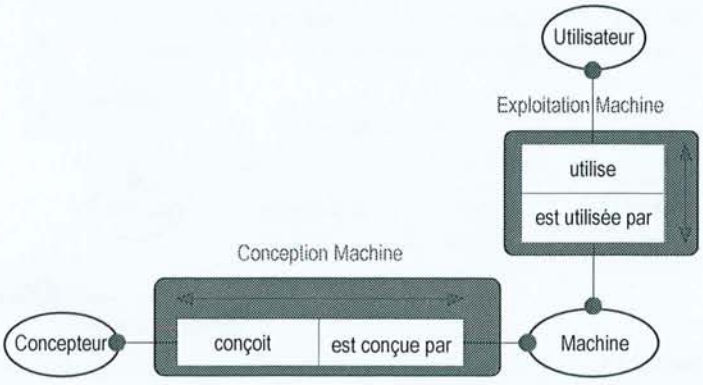
pas ici. Nous généralisons ces phases d'utilisation par la relation que joue la machine, après sa conception, avec les différentes personnes susceptibles d'être en relation ou à proximité de la machine : globalement une machine est « utilisée » par différents utilisateurs.



Chaque Concepteur conçoit une ou plusieurs Machines, chaque Machine est conçue par un ou plusieurs Concepteurs. Chaque Machine est utilisée par un ou plusieurs Utilisateurs, chaque Utilisateur utilise une ou plusieurs Machines.

Figure 10 : Positionnement des notions « d'Utilisateur » et « de Concepteur » d'une machine.

Cette double relation que joue la notion de machine met en exergue deux domaines qui sont la conception de cette machine et son utilisation, ou plus largement son exploitation. Le mécanisme de substantivation[19] de NIAM (Annexe page II) permet de faire émerger ces deux domaines :



Chaque Concepteur conçoit une ou plusieurs Machines, chaque Machine est conçue par un ou plusieurs Concepteurs. Chaque Machine est utilisée par un ou plusieurs Utilisateurs, chaque Utilisateur utilise une ou plusieurs Machines. Une Conception de machine est définie de manière unique par le couple (Concepteur, Machine), Une Exploitation de machine est définie de manière unique par le couple (Utilisateur, Machine).

Figure 11 : Emergence des notions de « Conception de Machine » et de « Exploitation de Machine ».

[19] *Emploi comme substantif d'un mot d'une autre catégorie grammaticale* (Définition du Dictionnaire de la langue française, Encyclopédie Bordas), également appelée Nominalisation [Habrias, 1997].

L'émergence de ces deux domaines permet de montrer que, bien qu'ils soient liés par un même objet (la machine dans notre cas), ils ne sont pas forcément en relation directe. Ainsi, pendant de nombreuses années, ces domaines n'étaient liés que par le fait que la conception imposait plus ou moins ses contraintes en exploitation. En effet, lors de la conception, bien souvent seul le *bon fonctionnement* et *l'utilisation normale* sont pensés, contraignant ainsi les utilisateurs à ces seuls fonctionnements. Or, l'utilisation de la machine *in situ* diffère fréquemment de celle prévue initialement [Lacore, 1993a] [Neboit et al., 1999] [Didelot & Fadier, 2000] [Polet & Vanderhaegen, 2000]. La conception de la machine apporte donc une réponse à des besoins exprimés par le ou les utilisateurs en termes de fonctions mais peut également provoquer des situations inattendues.

1.2.1.2 Relation Conception / Exploitation pour une intégration des contraintes d'exploitation en conception

1.2.1.2.1 Contraintes de la conception propagées en exploitation

La conception contraint l'exploitation de la machine aux seuls critères qu'elle a pris en compte et, de plus, les contraintes d'exploitation de la machine ne sont pas forcément prises en considération dès la conception.

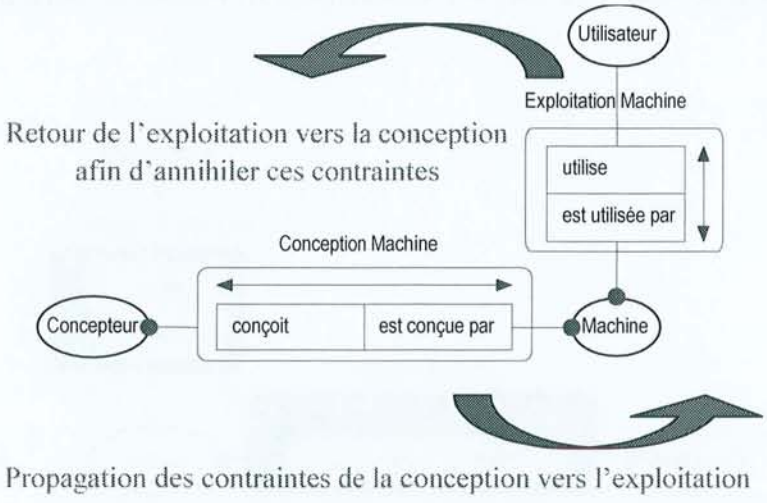


Figure 12 : Mise en évidence des contraintes liées à la conception en exploitation des machines.

Une des premières réponses à apporter concerne l'intégration des besoins de l'utilisateur en conception. De façon à contraindre le moins possible l'exploitation de la machine en fonction de la conception qui en a été faite, il est nécessaire d'envisager une participation des utilisateurs en conception, ou plus exactement un retour de l'exploitation vers la conception [Neboit et al., 1993].

Ce retour est bien souvent ultérieur à la conception et nécessite des modifications voire une re-conception comme schématisée sur le cycle de vie suivant.

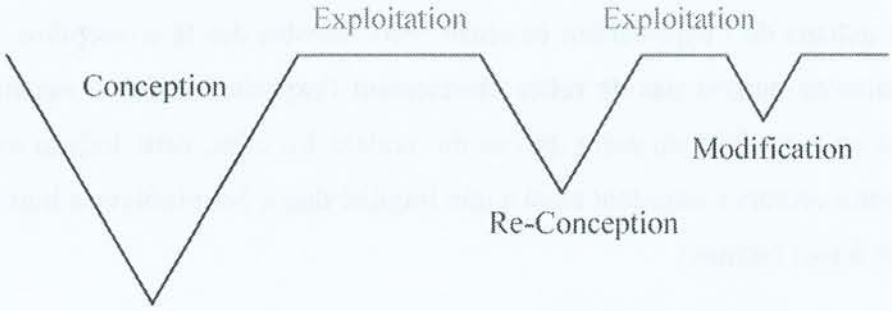
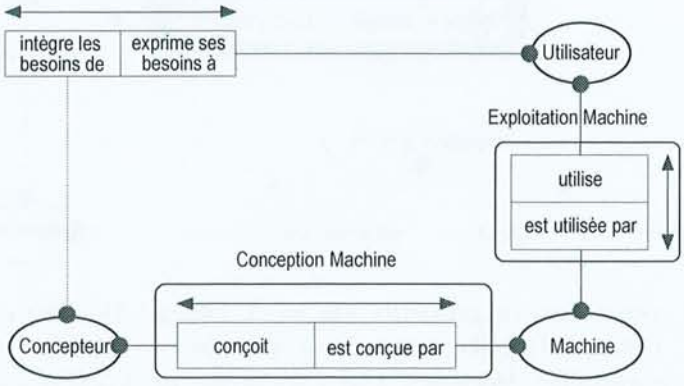


Figure 13 : Exemple de cycle de vie d'une machine.

L'exploitation peut mettre ainsi en évidence des problèmes de conception, ce qui nécessite une re-conception au moins partielle de la machine. Le but est d'intégrer dès la *1ère conception* les besoins des utilisateurs.

1.2.1.2.2 Des utilisateurs en conception

Les concepteurs ont souhaité de plus en plus intégrer les besoins de leurs clients par leur collaboration à la rédaction d'un cahier des charges [Malhotra et al., 1980] et dans les premières phases de spécification et de conception. Ainsi s'est instaurée une relation plus directe « Concepteur / Utilisateur ».



Chaque Concepteur conçoit une ou plusieurs Machines, chaque Machine est conçue par un ou plusieurs Concepteurs. Chaque Machine est utilisée par un ou plusieurs Utilisateurs, chaque Utilisateur utilise une ou plusieurs Machines. Une Conception de machine est définie de manière unique par le couple (Concepteur, Machine), Une Exploitation de machine est définie de manière unique par le couple (Utilisateur, Machine). Chaque Concepteur intègre les besoins d'un ou plusieurs Utilisateurs, chaque Utilisateur exprime ses besoins à un ou plusieurs Concepteurs.

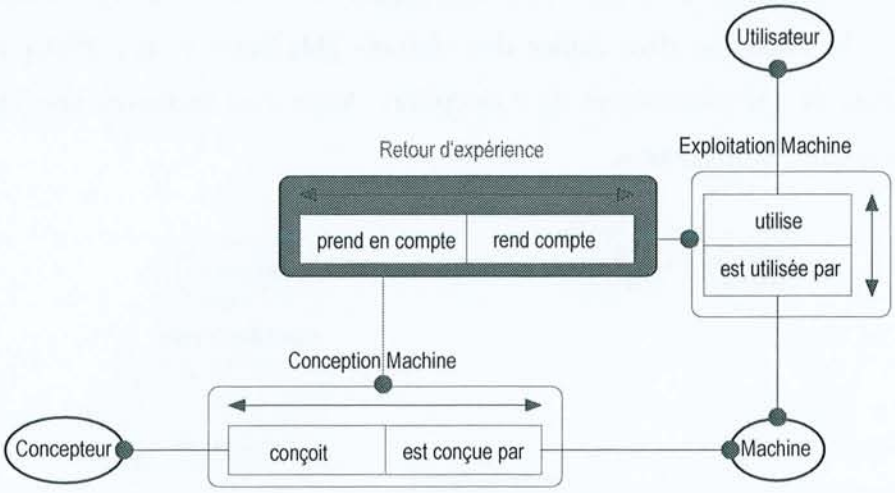
Figure 14 : Relation « Concepteur / Utilisateur ».

Cette relation entre ces deux acteurs, par le biais de la rédaction d'un cahier des charges,

permet ainsi d'améliorer la prise en compte en conception de certains aspects attendus en exploitation, tels que les divers comportements et les divers modes de production. Cette rédaction commune en amont de la conception permet de diminuer les erreurs potentielles car les principaux acteurs de l'exploitation émettent leurs attentes dès la conception. Cependant, une telle relation ne permet pas de relier directement l'exploitation de la machine avec la conception qui en a été faite du point de vue du modèle. En effet, cette liaison est basée sur des relations entre acteurs s'exposant ainsi à une fragilité due à des problèmes humains, et elle peut être brisée à tout moment.

1.2.1.2.3 Notion de retour d'expérience

La notion de cahier des charges n'étant pas suffisante, les bureaux d'études ont développé le principe de retour d'expérience direct afin de mieux comprendre comment une machine est exploitée. Ce retour d'expérience permet de déceler quelles sont les erreurs à ne plus commettre et de prendre en compte, tout au long de la conception, les attentes en exploitation [Corbel, 1995].



Chaque Concepteur conçoit une ou plusieurs Machines, chaque Machine est conçue par un ou plusieurs Concepteurs. Chaque Machine est utilisée par un ou plusieurs Utilisateurs, chaque Utilisateur utilise une ou plusieurs Machines. Une Conception de machine est définie de manière unique par le couple (Concepteur, Machine), Une Exploitation de machine est définie de manière unique par le couple (Utilisateur, Machine). Chaque Conception de machine prend en compte une ou plusieurs Exploitation de machine, chaque Exploitation de machine rend compte d'une ou plusieurs Conception de machine. Un retour d'expérience est défini de manière unique par le couple (Conception de machine, Exploitation de machine)

Figure 15 : Emergence d'une relation « Conception machine / Exploitation machine » via la notion de « Retour d'expérience ».

Cette activité permet donc de prendre en compte les erreurs répétables, ainsi que les oublis, dans le but de capitaliser [Hasan et al., 2000] les corrections afin de les prendre en compte à

chaque nouvelle conception de machine. En ce sens, [Caulier, 1997] montre l'intérêt de la capitalisation de la connaissance dans un but de réutilisation et illustre sa proposition pour l'aide à la supervision des procédés automatisés complexes. Toutefois, ce domaine du retour d'expérience n'est pas clairement identifiable car, bien souvent, il fait parti intégrante du domaine de la conception donc réalisé par l'équipe de conception.

Toutes ces activités, intégration des besoins utilisateurs, rédaction commune de cahier des charges et retour d'expérience, démontrent une volonté d'intégrer au plus tôt dans la conception les contraintes mises en évidence par l'exploitation [Cantin, 1995].

1.2.1.2.4 Notion de législation en matière de sécurité des machines

Cette nécessité de connaître les contraintes d'exploitation dès la conception s'applique à tous les domaines et en particulier à celui de la sécurité. Dans ce domaine, il apparaît que la législation a formalisé cette liaison entre concepteurs et utilisateurs par l'instauration de directives. Suite au Traité de Rome (1957), l'Europe a désiré mener une politique de santé et de sécurité des travailleurs. Pour mener à bien cette politique, elle a établi des dispositions législatives contenues dans des textes législatifs. Ceux qui nous concernent en premier lieu sont les directives « santé et sécurité des travailleurs ». Elles sont de deux types, les directives, issues de l'article 100 A du traité de Rome, relatives à la **conception et à la mise sur le marché** des produits et les directives, issues de l'article 118 A du traité de Rome, relatives à la sécurité et à la santé des travailleurs pour **l'utilisation des produits**.

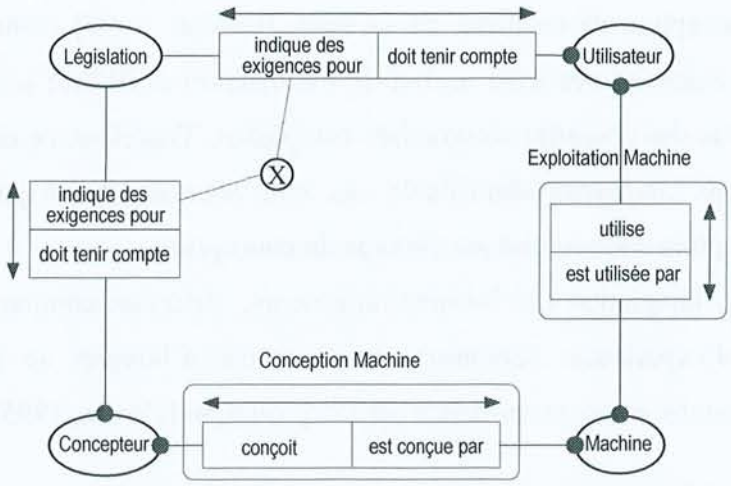
Nous avons vu qu'auparavant les exigences de sécurité étaient majoritairement adressées aux utilisateurs, ceux-ci pratiquaient sur site des rectifications ou des ajouts sur le matériel qu'ils avaient à utiliser. La directive concernant le rapprochement des législations des états membres relatives aux machines, codifiée récemment en directive 98/37/CE, est en application dans tous les états membres de l'AELE[20] et de l'UE[21]. C'est celle qui concerne directement nos travaux car elle oblige les concepteurs à satisfaire les exigences essentielles en matière de sécurité qu'elle édicte. Ainsi, en respectant ces exigences, les concepteurs peuvent vendre librement leurs machines au sein de l'Espace Economique Européen[22] (EEE).

---

[20] AELE : Association Européenne de Libre Echange, qui regroupe l'Islande, le Lichtenstein, la Norvège et la Suisse.

[21] UE : Union Européenne, qui regroupe l'Allemagne, l'Autriche, la Belgique, le Danemark, l'Espagne, la Finlande, la France, la Grèce, l'Irlande, l'Italie, le Luxembourg, les Pays-Bas, le Portugal, le Royaume-Uni et la Suède.

[22] Le 2 Mai 1992, le traité sur l'EEE a été signé entre les états membres de l'UE et de l'AELE (mise à part la Suisse). (http://www.geneve.ch/DicoTrans/LettreE/espace.asp)



Chaque Concepteur conçoit une ou plusieurs Machines, chaque Machine est conçue par un ou plusieurs Concepteurs. Chaque Machine est utilisée par un ou plusieurs Utilisateurs, chaque Utilisateur utilise une ou plusieurs machines. Une Conception de machine est définie de manière unique par le couple (Concepteur, Machine), Une Exploitation de machine est définie de manière unique par le couple (Utilisateur, Machine). Chaque Concepteur doit tenir compte d'une ou plusieurs Législations, chaque Législation indique des exigences pour un ou plusieurs Concepteurs, Chaque Utilisateur doit tenir compte d'une ou plusieurs Législations, chaque Législation indique des exigences pour un ou plusieurs Utilisateurs, une Législation indique des exigences soit pour un ou plusieurs Concepteurs soit pour un ou plusieurs Utilisateurs

Figure 16 : Une relation « Concepteur / Utilisateur »via le domaine de la « Législation ».

Ce domaine, régi par des directives, permet de définir un cadre législatif entre ce que doit produire le concepteur et ce qu'attend l'utilisateur, il permet en fait d'établir des contraintes de sécurité sur l'objet produit. L'existence de ce domaine permet ainsi de relier formellement les deux domaines relatifs à la machine, la conception d'une part et l'utilisation d'autre part.

Pourtant, l'existence de deux types de directives (les directives 100A et 118 A) amènerait-elle à séparer utilisation et conception ? En fait, un risque en exploitation peut avoir des origines diverses : celles dues à des omissions ou erreurs en conception, c'est bien le domaine des directives liées à la conception (les directives 100A), celles dues à de mauvaises conditions d'utilisation et d'exploitation, ce sont les deuxièmes types de directives (les directives 118A) qui couvrent ce domaine.

1.2.1.2.5 Notion de normes en matière de sécurité des machines

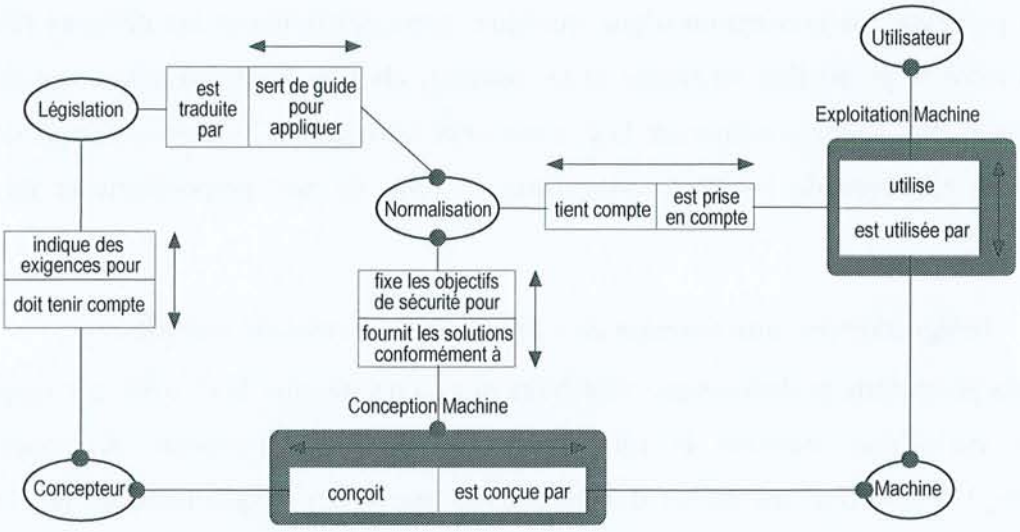
Malgré l'émergence de ce « nouveau » concept qui est nommé « la nouvelle approche », les concepteurs ont actuellement encore des soucis pour intégrer les exigences édictées par les directives dans leurs activités de conception des machines car ces directives énoncent des objectifs globaux de résultat sans donner les moyens de les atteindre.

C'est pourquoi, dès 1980, les instituts de normalisation ont décidé de favoriser la prise en compte des exigences législatives par la rédaction de normes dans le cadre de la nouvelle

approche [NF_E_09-000, 1993] [New approach, 2000].

Ainsi, nous nous intéressons plus particulièrement à ce domaine qu'est la normalisation et à ses produits : les normes. Ces normes constituent une sorte de cahier des charges complémentaire au cahier des charges technique que les concepteurs doivent respecter. Mais, encore une fois, cet effort est insuffisant et ne permet toujours pas une intégration aisée de ces prescriptions qui, bien qu'énonçant des objectifs un peu plus spécifiques que dans les directives, ne donnent toujours pas les moyens de les atteindre. En effet, c'est la conception qui a pour but de trouver les solutions techniques conformément aux prescriptions données par les normes.

L'exposé de ce contexte met en exergue trois domaines proches de la normalisation qui sont : la conception, l'exploitation et la législation.



Chaque Concepteur conçoit une ou plusieurs Machines, chaque Machine est conçue par un ou plusieurs Concepteurs. Chaque Machine est utilisée par un ou plusieurs Utilisateurs, chaque Utilisateur utilise une ou plusieurs Machines. Une Conception de machine est définie de manière unique par le couple (Concepteur, Machine). Une Exploitation de machine est définie de manière unique par le couple (Utilisateur, Machine). Chaque Concepteur doit tenir compte d'une ou plusieurs Législations, chaque Législation indique des exigences pour un ou plusieurs Concepteurs. Une Législation peut être traduite par une ou plusieurs Normalisations, chaque Normalisation sert de guide pour appliquer une et une seule Législation. Chaque Normalisation fixe les objectifs de sécurité pour une ou plusieurs Conceptions de machine, chaque Conception de machine fournit les solutions conformément à une ou plusieurs Normalisations. Une Normalisation peut tenir compte d'une ou plusieurs Exploitations de machine, une Exploitation de machine peut être prise en compte par une ou plusieurs Normalisations.

Figure 17 : Positionnement du contexte législatif et normatif par rapport à la conception.

Il est à noter que dans ce schéma NIAM/ORM les notions de Législation et de Normalisation désignent respectivement l'ensemble des lois et l'ensemble des normes, et comme les concepteurs sont tenus de respecter la législation (ensemble des lois), la normalisation

(ensemble des normes) leur fixe les objectifs à respecter lors de leur activité de conception. En ce sens, le schéma NIAM/ORM montre qu'à un certain niveau d'abstraction, la Normalisation est bien en relation avec la Conception Machine (et l'Exploitation Machine), la mise en œuvre d'une conception (resp. d'une exploitation) particulière de machine se traduit à un niveau d'abstraction plus fin par une relation Concepteur / Machine (resp. Utilisateur / Machine) devant respecter les propriétés relatives à la normalisation. Le mécanisme de substantivation est volontairement utilisée, ici, pour représenter cette différence de niveaux d'abstraction à l'instar de [Mayer, 1995].

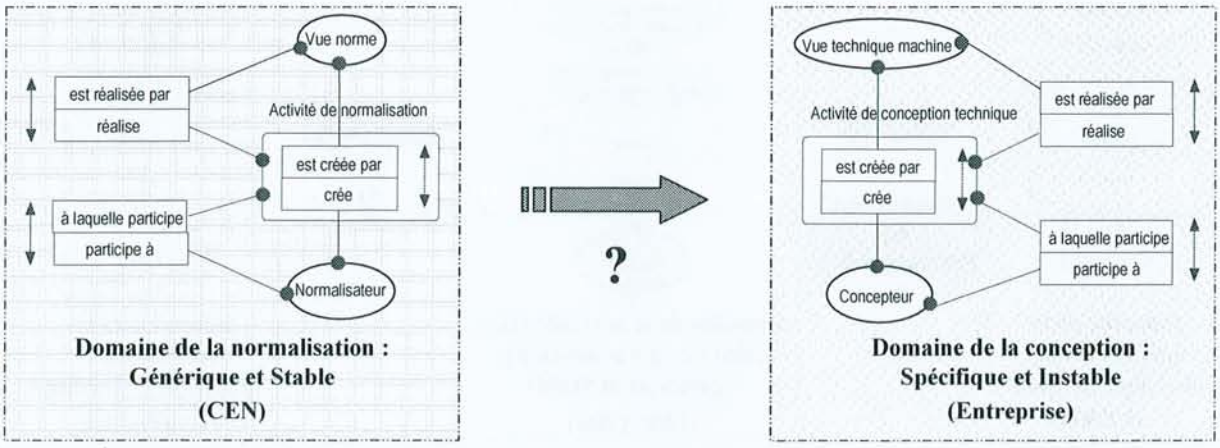
1.2.2 Quelle approche d'intégration de la normalisation en conception ?

Notre objectif étant de prendre en compte le plus tôt possible les aspects relatifs à la sécurité durant le processus de conception d'une machine, nous positionnons les diverses relations possibles entre la production technique et les normes, cherchant ainsi à démontrer dans ce cadre l'apport d'un modèle supportant la connaissance normative. Cet exposé permet de faire émerger des éléments de solutions constituant la base de nos propositions et de notre contribution.

1.2.2.1 Intégration par une fonction de « Spécialiste sécurité des machines »

Pour mieux poser cette problématique, attachons-nous à positionner la sécurité par rapport au cycle de vie d'une machine et plus particulièrement au processus de conception. [Meinadier, 1998] définit les cycles de vie comme une vision séquentielle de la vie d'un projet, ou d'un système, alors que les processus correspondent à une vision plus concourante, sachant que, dans une phase d'un cycle de vie, plusieurs processus peuvent être déroulés. Il souligne également que la tendance actuelle est à la normalisation de processus [IEEE 1220, 1998] [EIA 632, 1994], et au développement de modèles de maturité [SECAM, 1996] [SE-CMM, 1995] [SECM, 1997] permettant l'évaluation de l'aptitude de l'entreprise à maîtriser ces processus. Toutefois, de par la diversité des entreprises et donc des cycles de vie, le domaine de la conception, ou plus précisément celui de l'Ingénierie des machines, peut être qualifié de variable contrairement au domaine de la normalisation en sécurité des machines qui représente une partie stable de la connaissance relative aux machines d'un point de vue de la sécurité.

Positionnons et comparons ces deux domaines, dans un premier temps, en montrant une analogie entre le domaine de la Normalisation, domaine du CEN et de ses différents Comités Techniques, et la Conception de Machine, domaine de l'Entreprise (Figure 18).

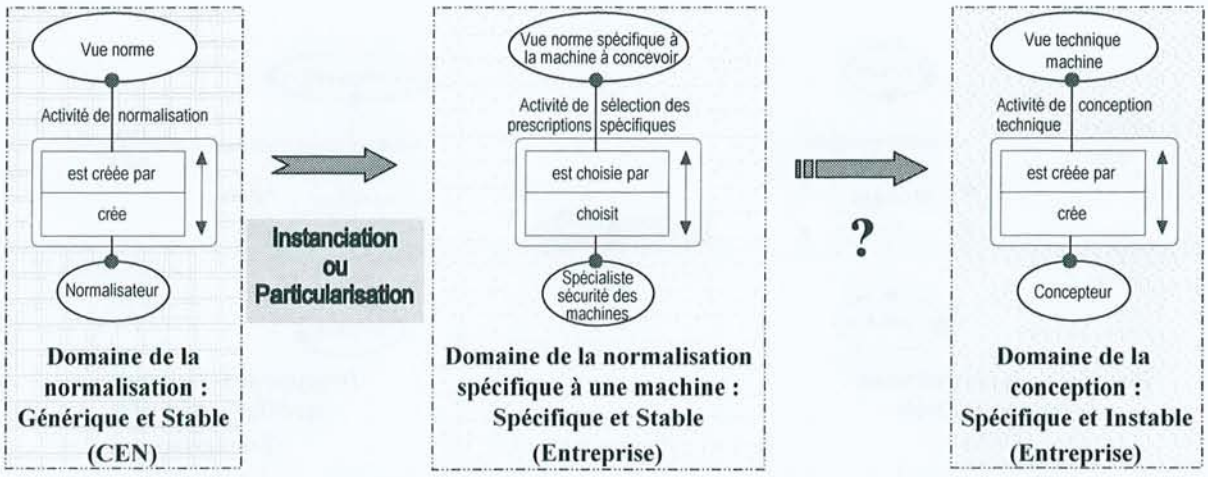


Chaque Normalisateur crée une ou plusieurs Vues de norme, chaque Vue de norme est créée par un ou plusieurs Normalisateurs. Une Activité de normalisation est définie de manière unique par le couple (Normalisateur, Vue de norme). Chaque Normalisateur participe à une ou plusieurs Activités de normalisation, chaque Activité de normalisation à laquelle participe un ou plusieurs Normalisateurs. Chaque Vue de norme est réalisée par une ou plusieurs Activités de normalisation, chaque Activité de normalisation réalise une ou plusieurs Vues de norme.

Chaque Concepteur crée une ou plusieurs Vues technique machine, chaque Vue technique machine est créée par un ou plusieurs Concepteurs. Une Activité de conception technique est définie de manière unique par le couple (Concepteur, Vue technique machine). Chaque Concepteur participe à une ou plusieurs Activités de conception technique, chaque Activité de conception technique à laquelle participe un ou plusieurs Concepteurs. Chaque Vue technique machine est réalisée par une ou plusieurs Activités de conception technique, chaque Activité de conception technique réalise une ou plusieurs Vues technique machine.

Figure 18 : Analogie entre le domaine de la « Normalisation » et celui de la « Conception technique ».

Des concepts analogues semblent se dégager : l'acteur (concepteur de machine et concepteur de normes appelé normalisateur), l'activité (de conception dite technique et de normalisation) et le produit de ses activités (la machine et les normes). Les normes de sécurité sont élaborées dans le but d'intégrer leurs prescriptions en conception. Comment y parvenir ? Les trois types de concepts permettent de mettre en évidence trois possibilités de rattacher ces deux domaines. Pourtant, un des domaines est **générique** (les normes sont valables pour toutes les machines), l'autre est **spécifique** (la conception est relative à une machine ou un type de machine). Ainsi, il est difficilement envisageable de relier directement ces deux domaines puisqu'il s'agit de la pratique actuelle peu satisfaisante. En fait, il s'avérerait déjà nécessaire de particulariser le domaine générique des normes au cas spécifique de la conception d'une machine afin de relier des domaines compatibles entre eux (Remarque : c'est le cas des normes de type C introduites précédemment).



Chaque Normalisateur crée une ou plusieurs Vues norme, chaque Vue norme est créée par un ou plusieurs Normalisateurs. Une Activité de normalisation est définie de manière unique par le couple (Normalisateur, Vue norme).

Chaque Spécialiste sécurité des machines choisit une ou plusieurs Vues normes spécifiques à la machine à concevoir, chaque Vue norme spécifique à la machine à concevoir est choisie par un ou plusieurs Spécialistes sécurité des machines. Une Activité de sélection des prescriptions spécifiques est définie de manière unique par le couple (Spécialiste sécurité des machines, Vue norme spécifique à la machine à concevoir).

Chaque Concepteur crée une ou plusieurs Vues technique machine, chaque Vue technique machine est créée par un ou plusieurs Concepteurs. Une Activité de conception technique est définie de manière unique par le couple (Concepteur, Vue technique machine)

Figure 19 : Mise en évidence du domaine de « Normalisation spécifique à un type de machine ».

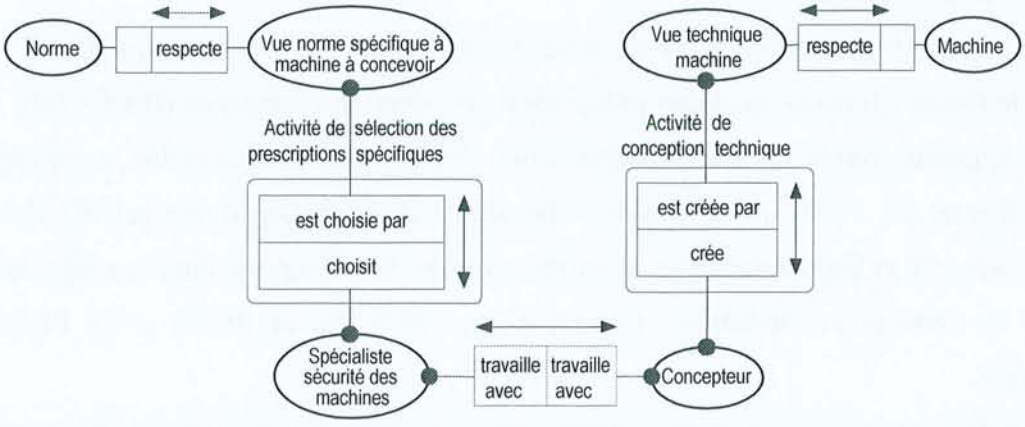
Ainsi, l'instanciation de la relation générique « Normalisateur / Vue Norme (dite générique) » permet d'étudier la mise en relation de deux domaines homogènes. Ce mécanisme d'instanciation correspond à une sélection dans le domaine normatif global des normes relatives aux aspects sécurité de la machine technique à concevoir. La notion de « vue norme spécifique à la machine à concevoir » correspond à l'ensemble des aspects normatifs relatifs à la machine considérée en conception technique. Cet ensemble regroupe la norme de type C, si elle existe pour un type de machine donné, ainsi que les références normatives données par cette norme. Sinon, il s'agit d'appliquer l'ensemble du dispositif normatif au problème particulier traité, en d'autres termes d'instancier les normes génériques (type A et B) à la machine particulière étudiée, ce qui reste aujourd'hui à la charge du concepteur de machines.

Considérons désormais le concept appelé « Spécialiste sécurité des machines » qui a en charge de sélectionner, dans l'ensemble du dispositif normatif, les prescriptions qui concernent la machine à concevoir. C'est cette activité que nous définissons comme « Activité de sélection des prescriptions spécifiques (à une machine) ».

Attachons-nous à établir des relations entre ces trois nouveaux concepts et les concepts analogues en conception technique.

1.2.2.2 Intégration par une relation entre acteurs

Dans un premier temps, nous tentons de rattacher les notions de « Spécialiste sécurité des machines » et de « Concepteur » et de mieux les identifier. La notion de concepteur est difficilement identifiable de manière générique car, comme nous l'avons déjà noté, le domaine de la conception est très spécifique et varie selon chaque entreprise. Par contre, nous pouvons définir son rôle globalement comme responsable d'une ou plusieurs des activités de conception. Par ailleurs, il est plus aisé de positionner le rôle du spécialiste sécurité des machines comme garant de l'application des normes au sein du processus de conception. Il travaille en collaboration avec le ou les autres concepteurs et peut ainsi s'inscrire parfaitement dans le cadre d'une ingénierie concourante. La mise en relation de ces acteurs de conception nous donnerait alors la configuration suivante (Figure 20) :



Chaque Spécialiste sécurité des machines choisit une ou plusieurs Vues normes spécifiques à la machine à concevoir, chaque Vue norme spécifique à la machine à concevoir est choisie par un ou plusieurs Spécialistes sécurité des machines. Une Activité de sélection des prescriptions spécifiques est définie de manière unique par le couple (Spécialiste sécurité des machines, Vue norme spécifique à la machine à concevoir). Chaque Concepteur crée une ou plusieurs Vues technique machine, chaque Vue technique machine est créée par un ou plusieurs Concepteurs. Une Activité de conception technique est définie de manière unique par le couple (Concepteur, Vue technique machine). Chaque Normalisateur machine travaille avec un ou plusieurs Concepteurs, Chaque Concepteur travaille avec un ou plusieurs Normalisateurs machine.

Figure 20 : Liaison des domaines de normalisation et de conception par la relation « Spécialiste sécurité des machines / Concepteur ».

Pourtant, cette mise en relation est difficilement envisageable en pratique car elle imposerait à chaque entreprise conceptrice de décliner une fonction « spécialiste sécurité des machines ». Si cela peut être le cas de groupes industriels disposant de Bureaux d'Etudes structurés et comprenant d'importantes ressources, nous ne pouvons décemment pas imposer un tel choix qui à l'évidence se trouverait être contraignant et inapproprié en PME/PMI ! Nous pouvons toutefois imager la plausibilité de son existence en faisant l'analogie avec les métiers de la Qualité et en particulier l'existence de Responsables Qualité.

1.2.2.3 Intégration par une activité d'intégration des prescriptions en conception de machine

La deuxième proposition consiste, cette fois, à envisager une relation par les activités. Cette possibilité implique d'intégrer l'activité de sélection des prescriptions spécifiques au sein du processus de conception et de proposer une activité d'intégration de ces prescriptions sélectionnées suivant la machine. Pour cela, l'hypothèse est faite que le processus de conception est composé de différentes activités de conception et ceci sans considérer l'organisation de ces activités. Cette hypothèse est nécessaire pour relier des activités de nature différente, particulièrement si on cherche à relier le processus de prise en compte de la sécurité et le processus de conception technique. Il est donc nécessaire de décomposer ces deux processus en activités afin de mieux comprendre comment lier les différentes activités ou encore les deux processus.

Mais, encore une fois, cette tentative de mise en relation est très délicate à justifier de façon universelle même s'il existe quelques processus de conception normalisés [IEEE 1220, 1998]. Une telle approche, basée sur une (ré)organisation des activités de conception, a été exploitée par [Jouffroy et al., 1998] qui a montré la faisabilité d'intégration d'une activité dite HSE (Hygiène Sécurité et Ergonomie) avec d'autres activités de conception dans le cadre du MCD (Modèle de Conception Distribuée) [Garro et al., 1995] [Salau, 1995] et de l'Ingénierie concourante.

Cherchant dans nos travaux à ne pas imposer une organisation particulière de la conception, nous ne retiendrons et ne développerons pas à nouveau cette possibilité ; la décomposition des deux processus n'est donc pas nécessaire.

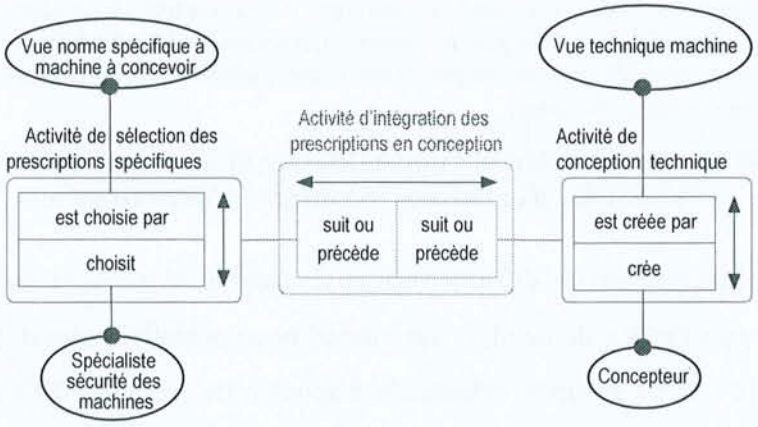


Figure 21 : Liaison des domaines de normalisation et de conception par l' « Activité d'intégration des prescriptions en conception ».

1.2.2.4 Intégration des vues normatives et techniques d'une machine

Les différentes relations développées précédemment n'étant pas retenues, nous tentons désormais de relier les différentes vues entre elles ce qui évite de créer un domaine complet avec une activité d'intégration et un spécialiste sécurité (Figure 22) :

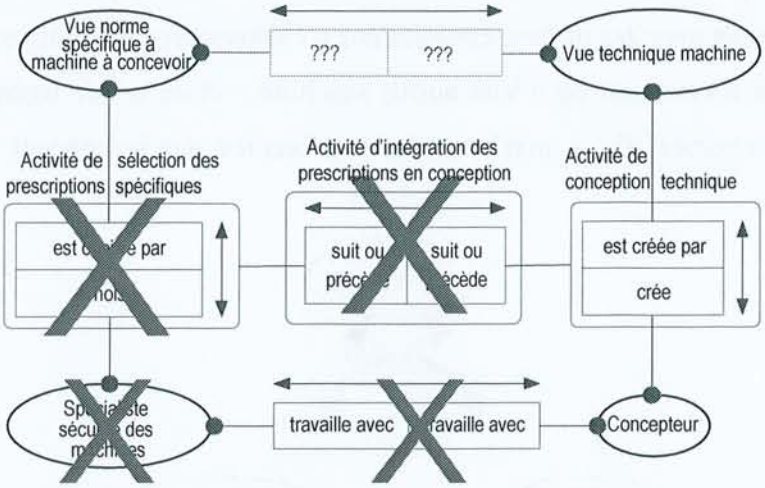


Figure 22 : Liaison des domaines de normalisation et de conception par la relation « Vue norme spécifique machine à concevoir / Vue technique machine ».

Ainsi, sans faire apparaître un tel domaine nous garderons néanmoins ce qu'il devrait produire : le concept de « Vue norme spécifique machine à concevoir ». Cet objet intermédiaire semble incontournable pour relier les deux domaines initialement identifiés : la conception technique et la normalisation dite générique. Notre nouvelle problématique consiste donc à faire émerger cette notion dont nous simplifions l'intitulé en « Vue norme machine » à partir des notions de « Vue technique machine » et « Vue norme générique » et d'identifier les relations entre ces concepts si elles existent.

Cette problématique consiste donc à postuler l'existence d'un nouveau concept, il s'agit toutefois de démontrer ce postulat à l'aide d'éventuelles relations entre les deux concepts analogues provenant de la conception et de la normalisation générique.

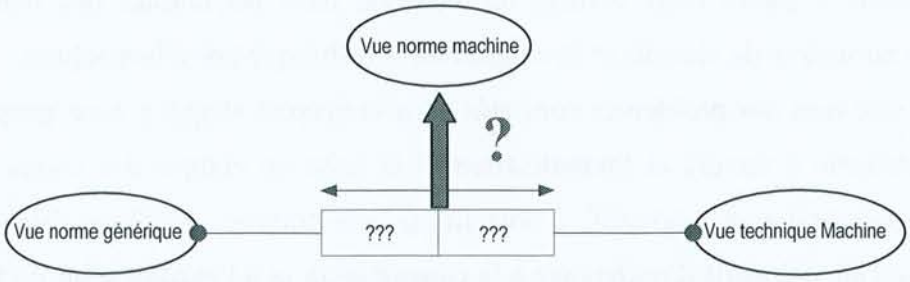


Figure 23 : Nécessité de l'émergence du concept de « Vue norme machine ».

L'émergence de cette notion de « Vue norme machine » (qui est en quelque sorte la vue « Sécurité » de la machine) permet d'envisager l'émergence de la notion de « Vue Machine Sûre ». En se basant sur le principe de matérialité [Frachet, 1987] qui postule qu'***un objet du monde réel est porteur de l'ensemble de ses vues et en assure la cohérence***, ou encore sur son dérivé, le principe de matérialisation, énoncé par [Boitard, 1998] : ***toutes vues, élaborées en cohérence les unes avec les autres, contribuent à l'émergence d'un objet du monde réel***, nous postulons que les notions de « Vue norme machine » et de « Vue technique machine » contribuent à l'émergence d'une machine sûre représentée par le concept « Vue Machine Sûre ».

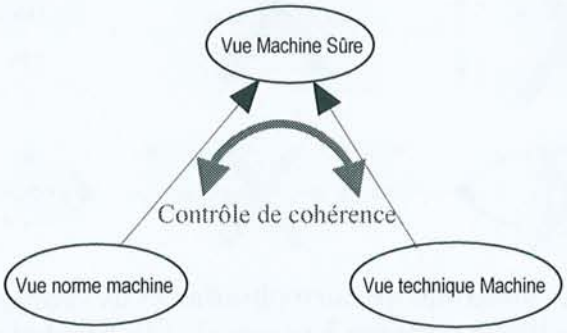


Figure 24 : Application du principe de matérialisation à l'objet « Machine sûre » et à son concept de « Vue Machine Sûre ».

Notre contribution se basera donc sur la nécessité de faire émerger la notion intermédiaire de « Vue norme machine ». D'autre part, par le biais de la formalisation de ces normes de sécurité, nous proposerons de capitaliser cette connaissance générique afin de faciliter son application à des problèmes spécifiques de conception. Dans une deuxième partie, nous proposerons de rattacher les notions de « Vue norme machine » et de « Vue technique machine » par l'émergence de concepts communs et, en particulier, de concepts relatifs aux aspects techniques de la machine. En effet, il ne faut pas oublier que ce domaine de la normalisation est né d'une nécessité de retour de l'utilisation à destination de la conception. De plus, certains concepteurs, eux-mêmes normalisateurs, participent aux groupes de travail en normalisation. Il paraît donc évident de retrouver dans les normes des liens entre la connaissance normative de sécurité et la connaissance technique liée à la machine.

Auparavant, aux vues des problèmes constatés dans le présent chapitre, nous proposons une démarche cohérente à travers la **formalisation** et la prise en compte des textes relatifs au dispositif réglementaire et normatif. L'objectif de nos travaux implique l'élaboration de spécifications d'un réel **outil d'assistance** à la **consultation** et à **l'exploitation** de **l'ensemble des normes** relatives à la **Sécurité des Machines** afin d'en faciliter l'accès, la compréhension

et l'application de leur contenu. En ce sens, il ne s'agit pas de fournir une simple numérisation de l'information normative, mais plutôt **d'en extraire toute la connaissance** qui y est contenue et **de la mettre à disposition des utilisateurs** sous une forme correspondant à leurs besoins (Figure 25). Notons que nous distinguerons les termes « information » et « connaissance » en se référant aux définitions données par [Habrias, 1997] : une information est une formule écrite susceptible d'apporter une connaissance, en ce sens, elle est distincte de cette connaissance. Ainsi, l'action d'informer désigne l'action de donner une forme à une connaissance pour en permettre la communication ou la manipulation. Dans la suite du présent document, nous utiliserons le terme « connaissance », au singulier, pour désigner la connaissance en général et le terme « information » pour désigner la communication de cette connaissance. Il est à noter que l'un des objectifs premiers de nos travaux est de passer d'une information (les textes de normes) à une formalisation de la connaissance qu'elle contient (les prescriptions normatives). De plus, nous insisterons sur la nécessité de fournir un **outil indépendant de toute méthode spécifique d'ingénierie** afin de ne pas imposer telle ou telle méthode à des PME/PMI qui ne pourraient les appliquer. Il ne s'agit pas en effet de créer une nouvelle « norme » sur le processus de conception de machines.

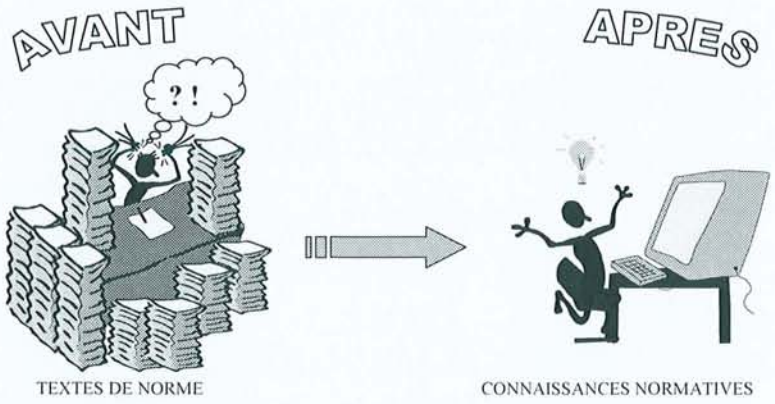


Figure 25 : Objectif général.

Afin d'atteindre l'objectif fixé, nous présentons, dans le chapitre suivant, un état de l'art des méthodes, modèles et outils permettant d'extraire la connaissance, de la formaliser et d'en faciliter son exploitation.

CHAPITRE 2 ETAT DE L'ART EN INGENIERIE DE LA CONNAISSANCE

S.C.D. - U.H.P. NANCY 1
BIBLIOTHÈQUE DES SCIENCES
Rue du Jardin Botanique
54600 VILLERS-LES-NANCY

Avant Propos :

L'objectif de ce chapitre est de recenser les principaux moyens existants ou les travaux portant sur l'analyse, la formalisation et l'exploitation de la connaissance à partir d'une expression en langage naturel (oral ou écrit). L'exhaustivité dans ce domaine est difficile à assurer du fait du nombre de disciplines concernées, cette problématique concerne aussi bien les domaines de l'Intelligence Artificielle (nouvellement renommé Ingénierie de la Connaissance) et la conception de Systèmes Experts (nouvellement renommés Systèmes à Base de Connaissances), le Génie Logiciel et la conception de Systèmes d'Information (aussi bien d'Entreprise ce qui rejoint plus le Génie Productique), l'approche Orientée Objet, ou encore, le Génie Productique dans son ensemble, et plus particulièrement la conception de produits comme de systèmes de production.

2.1 Contexte d'Ingénierie de la connaissance

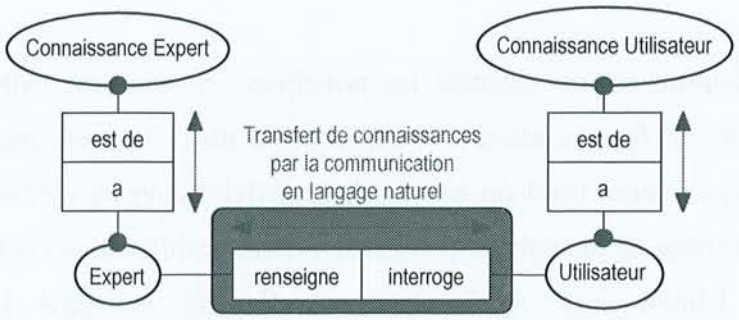
2.1.1 Introduction

Toute activité créative nécessite la mise en œuvre de connaissances. Lors d'une activité de conception d'un système complexe, la connaissance globale est dispersée entre différents experts du fait de la nature même de la complexité du système. Afin de concourir à l'objectif de réalisation du système, la connaissance s'y rapportant doit être mise en commun et surtout être intégrée par ses utilisateurs.

Plusieurs critères entrent en ligne de compte dans la réalisation de cet objectif car des besoins d'intégration impliquent une nécessité de communication de la connaissance [Rösner et al., 1997] [Beeckman, 1993] impliquant la manipulation d'une connaissance explicite sous une forme universelle, compréhensible par tous les acteurs c'est-à-dire : l'expert, l'utilisateur et le cogniticien [Firlej, 1990]. La première partie de ce chapitre tente de définir plus précisément les liens généraux entre ces acteurs et l'objet commun qu'ils manipulent (la connaissance) et ceci de manière plus formelle, afin de mettre en évidence le contexte d'ingénierie de la connaissance dans lequel évoluent nos travaux.

2.1.2 Relation Expert / Utilisateur

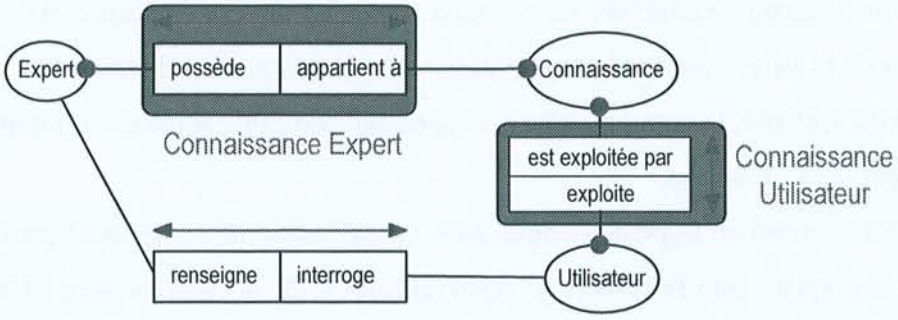
En conception, le concepteur doit faire appel à une connaissance relative à un domaine dont il n'est, a priori, pas forcément expert. En ce sens, le concepteur est utilisateur d'une connaissance qui doit être cherchée auprès d'experts du domaine. On distingue ainsi deux types de connaissance, celle experte et celle de l'utilisateur.



Chaque Expert a une ou plusieurs Connaissances Expert, chaque Connaissance Expert est de un ou plusieurs Experts. Un Expert peut renseigner un ou plusieurs Utilisateurs, un Utilisateur peut interroger un ou plusieurs Experts. Chaque Utilisateur a une ou plusieurs Connaissances Utilisateur, chaque Connaissance Utilisateur est de un ou plusieurs Utilisateurs. Un Transfert de connaissance par la communication en langage naturel est défini de manière unique par le couple (Expert / Utilisateur).

Figure 26 : Modèle NIAM/ORM partiel de la relation Expert/Utilisateur et de leur connaissance respective.

La relation Expert/Utilisateur permet donc de faire émerger la notion de transfert de connaissances par la communication en langage naturel dont l'objectif est d'atteindre une connaissance commune aux deux acteurs.



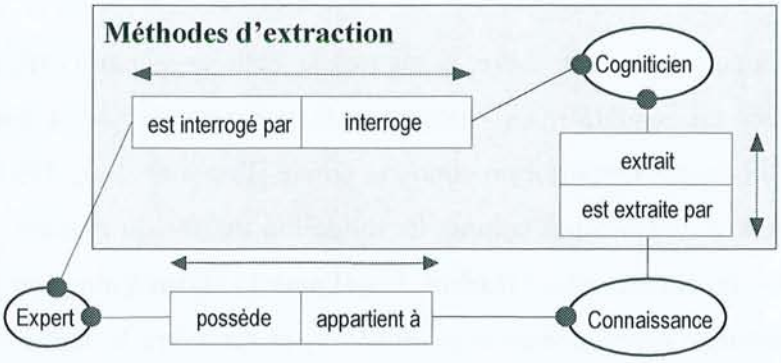
Chaque Expert possède une ou plusieurs Connaissances, chaque Connaissance appartient à un ou plusieurs Experts. Un Expert peut renseigner un ou plusieurs Utilisateurs, un Utilisateur peut interroger un ou plusieurs Experts. Chaque Utilisateur exploite une ou plusieurs Connaissances, chaque Connaissance est exploitée par un ou plusieurs Utilisateurs. Une connaissance Expert est définie de manière unique par le couple (Expert / Connaissance). Une connaissance Utilisateur est définie de manière unique par le couple (Utilisateur / Connaissance).

Figure 27 : Modèle NIAM/ORM partiel des relations entre l'expert, l'utilisateur et la connaissance.

Pourtant, l'expert et l'utilisateur n'ont pas forcément un savoir commun ce qui peut poser des problèmes de **communication**, sachant que la communication peut, elle-même, mener à des écarts d'interprétation de l'information entre celui qui l'émet et celui qui la reçoit. Ces problèmes impliquent de rendre la connaissance explicite, limitant ainsi les erreurs d'interprétation de sa formulation : l'aide du cogniticien s'avère alors utile, afin de s'assurer que l'utilisateur a à disposition toute la connaissance dont il a besoin et telle qu'elle est exprimée par l'expert.

2.1.3 Relation Expert / Cogniticien

Le cogniticien n'est pas un expert du domaine, ce qui lui permet de ne pas avoir d'a priori sur la connaissance qu'il manipule, la restituant ainsi sans aucune interprétation personnelle [Sharp, 1998]. Pour cela, il a des besoins en méthodes d'acquisition et d'extraction de la connaissance.



Chaque Expert possède une ou plusieurs Connaissances, chaque Connaissance appartient à un ou plusieurs Experts. Chaque Expert est interrogé par un ou plusieurs Cogniticiens, chaque Cogniticien interroge un ou plusieurs Experts. Chaque Cogniticien extrait une ou plusieurs Connaissances, une Connaissance est extraite par un ou plusieurs Cogniticiens.

Figure 28 : Modèle NIAM/ORM partiel de l'extraction de la connaissance.

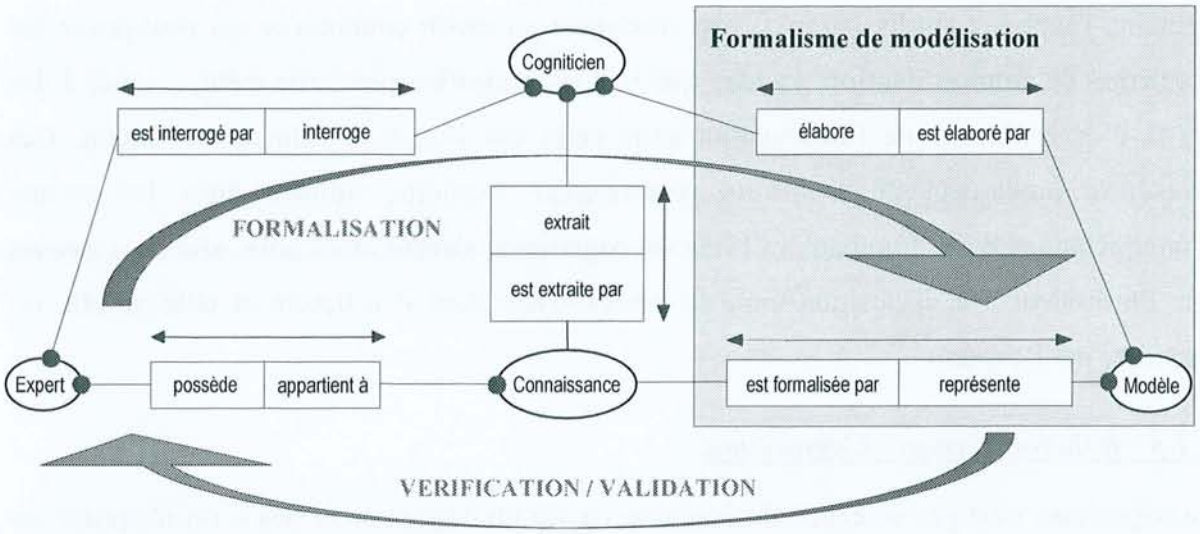
L'extraction de la connaissance par le cogniticien avec l'aide de l'expert permet d'affiner l'ensemble de la connaissance en vue de sa mise à disposition à l'utilisateur.

2.1.4 Modélisation, formalisation de la connaissance

Le cogniticien a besoin de vérifier la cohérence[23] et la complétude[24] de la connaissance [Sabah, 1988] qu'il extrait, d'où la nécessité d'une modélisation de cette connaissance [Yunker, 1993].

[23] Tout ce qui est représenté correspond à une situation vraie dans l'univers de référence [Sabah, 1988].

[24] Tout ce qui est vrai dans l'univers de référence est représentable [Sabah, 1988].



Chaque Modèle représente une ou plusieurs Connaissances, une Connaissance est formalisée par un ou plusieurs Modèles. Chaque Modèle est élaboré par un ou plusieurs Cogniticiens, chaque Cogniticien élabore un ou plusieurs Modèles.

Figure 29 : Modèle NIAM/ORM partiel de la formalisation de la connaissance.

Le but de ce processus est, entre autre, d'assurer la cohérence par l'utilisation de règles formelles appliquées au modèle mais également de pouvoir vérifier la complétude de la connaissance modélisée par rapport à un contexte donné [Bommel et al., 1991] -[Schreiber et al., 2000] définissent la vérification comme la validation interne du modèle : « *est-ce que le modèle est juste ?* », ou encore selon [Boehm, 1984] pour la vérification d'un produit : « *Suis-je en train de construire correctement le produit ?* », et réservent le terme de validation au regard des spécifications : « *est-ce que c'est le bon modèle ?* », « *Suis-je en train de construire le bon produit ?* » [Boehm, 1984]. Donc, si l'on considère un univers du discours bien défini et l'ensemble de la connaissance qui s'y rapporte, le schéma NIAM/ORM précédent peut être « complété » comme suit :

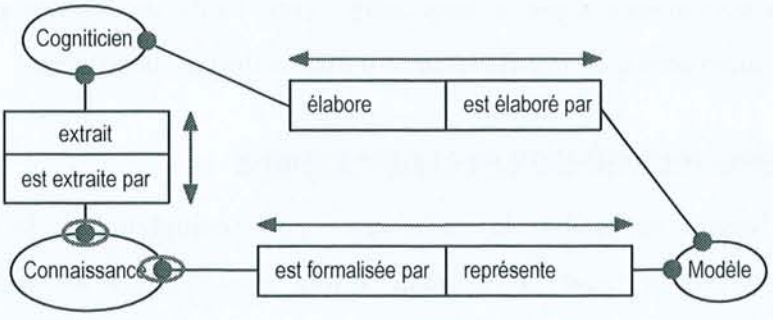
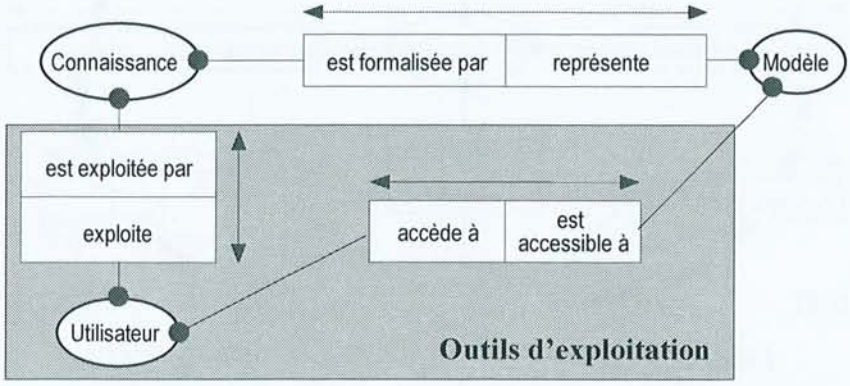


Figure 30 : Raffinement du modèle NIAM/ORM de formalisation de la connaissance.

Ce modèle partiel montre que **toute** la connaissance et **seulement toute** la connaissance doit faire l'objet d'une modélisation.

2.1.5 Exploitation de la connaissance

L'utilisateur dispose alors potentiellement de toute la connaissance nécessaire à la réalisation de son activité et peut donc l'exploiter par l'intermédiaire du ou des modèles de cette connaissance.



Chaque Modèle représente une ou plusieurs Connaissances, chaque Connaissance est formalisée par un ou plusieurs Modèles. Chaque Modèle est accessible à un ou plusieurs Utilisateurs, chaque Utilisateur accède à un ou plusieurs Modèles.

Figure 31 : Modèle NIAM/ORM partiel de l'exploitation de la connaissance.

2.1.6 Synthèse

L'exposé de ce contexte nous amène donc à définir trois processus principaux liés à la manipulation de la connaissance : l'extraction (ou encore l'acquisition) de la connaissance, la formalisation de la connaissance extraite et l'exploitation de la connaissance formalisée. Le but de ces trois processus est de passer d'une connaissance implicite informelle et d'un échange Expert / Utilisateur (Figure 27 et Figure 28) à une connaissance explicite formelle et un échange Utilisateur / Modèle (Figure 30 et Figure 31).

Le passage d'une connaissance implicite informelle (la connaissance appartenant à l'expert) à une connaissance explicite informelle (la connaissance extraite par le cogniticien) nécessite la mise en œuvre de **méthodes** permettant **d'extraire** la connaissance exprimée initialement en langage naturel. Le passage d'une connaissance explicite informelle à une connaissance explicite formelle (la connaissance formalisée par un modèle) nécessite la mise en œuvre de **méthodes** permettant de **formaliser** la connaissance extraite tout en permettant une vérification et une validation de cette connaissance. Enfin, l'accès de l'utilisateur à la connaissance formelle nécessite la mise en œuvre de **méthodes** permettant de faciliter **l'exploitation** du modèle de la connaissance.

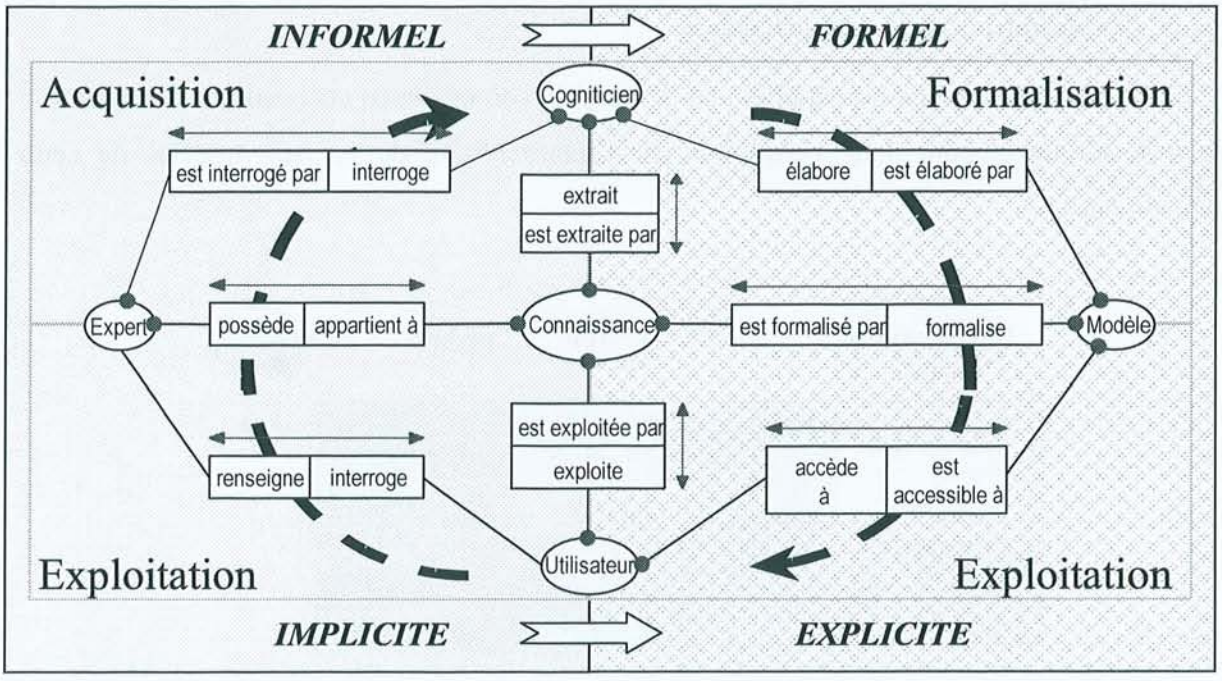


Figure 32 : Modèle NIAM/ORM du contexte d'ingénierie de la connaissance.

2.2 De la connaissance exprimée en langage naturel à son exploitation informatisée

Afin de capitaliser et d'exploiter la connaissance, il est nécessaire de trouver un support permettant au moins de la stocker. Un texte écrit (tel qu'une norme dans notre cas) constitue un de ces supports. Cependant, les évolutions de l'informatique permettent aujourd'hui d'envisager des supports plus « modernes » et plus interactifs avec des fonctions de traitement beaucoup plus évoluées et plus efficaces d'exploitation (recherche de mots ou d'expressions, navigation, communications, ...). La réalisation d'un tel système peut être envisagée sous la forme d'une simple numérisation des textes, mais qui ne pourrait se prévaloir ni d'une assistance à l'exploitation, ni d'un contrôle de cohérence de la connaissance qu'il contient du fait des inconvénients du langage naturel, nécessitant alors l'élaboration d'un modèle de cette connaissance. Cette problématique rejoint ainsi celle des domaines de **l'Intelligence Artificielle** (nouvellement renommé **Ingénierie de la Connaissance**) et la conception de **Systèmes Experts** (nouvellement renommés **Systèmes à Base de Connaissances**), le **Génie Logiciel** et la conception de **Systèmes d'Information**, les **approches Orientées Objet**, le **Génie Productique** dans son ensemble et plus particulièrement la conception de produits comme de systèmes de production ou encore le **Traitement Automatique du Langage Naturel** qui a lui seul renferme un champ considérable de problématiques relatives aux expressions en langage naturel.

La deuxième partie de ce chapitre consiste en la recherche de **méthodes, modèles et outils** répondant à notre objectif de transformation de la relation Expert / Utilisateur en une relation Utilisateur / Modèle, ou encore de passage d'une connaissance souvent exprimée en langage naturel à l'élaboration d'un modèle transformable en support informatique permettant une meilleure exploitation de cette connaissance. Le schéma de synthèse précédent représentant le contexte d'ingénierie de la connaissance (Figure 32) montre clairement les divers types de relations à mettre en œuvre pour aboutir à cet objectif. Chacune de ces relations définit un domaine particulier supporté par des moyens propres (méthodes, modèles et outils). Ainsi, les relations entre l'expert et le cogniticien mettent principalement en œuvre des **méthodes d'extraction** de la connaissance, dans le but d'élaborer un **modèle** de cette connaissance, par le biais de **formalismes de modélisation**, puis de rendre la connaissance exploitable par l'utilisation **d'outils** d'exploitation. Ainsi, l'extraction met en jeu principalement des **méthodes**, la modélisation des **formalismes** de modélisation et l'utilisation des **outils**. Ce sont ces méthodes, formalismes et outils qui font l'objet de l'état de l'art suivant devant nous permettre de sélectionner l'ensemble (méthode, formalisme, outil) répondant le mieux à nos besoins.

2.2.1 Du langage naturel au langage naturel ...

La première étape consiste à rendre explicite la connaissance. Cette problématique rejoint celles du **management de la connaissance** -qui désigne la gestion de l'ensemble des savoirs et savoir-faire mobilisés par les acteurs de l'entreprise pour lui permettre d'atteindre ses objectifs (produire des biens ou des services) [Barthès et al., 1999] -et de la **capitalisation de la connaissance** dont l'objectif est de parvenir à expliciter la connaissance jusque-là tacite dans l'entreprise pour mieux la capitaliser et l'enrichir [Simon, 1996].

Une connaissance n'a réellement de valeur que si elle est communiquée et donc partagée entre différentes personnes, autrement dit, une connaissance détenue par un seul individu qui ne désire pas la partager n'a finalement aucune valeur. C'est pourquoi, de tout temps, les hommes ont cherché à mieux communiquer entre eux. Une connaissance que l'on désire posséder, et très certainement conserver afin de la **réutiliser**, doit donc être **mémorisée** (capitalisation de la connaissance).

2.2.1.1 Connaissance et communication

Le partage de connaissance nécessite une transmission d'informations entre un émetteur et un récepteur. L'objet de cette transmission doit être forcément représenté dans un langage

commun à l'émetteur et au récepteur, et représenté par une liste de symboles connus permettant un Codage / Décodage aisé comme l'illustre la Figure 33 basée sur la Théorie de l'Information [Weaver & Shannon, 1975].

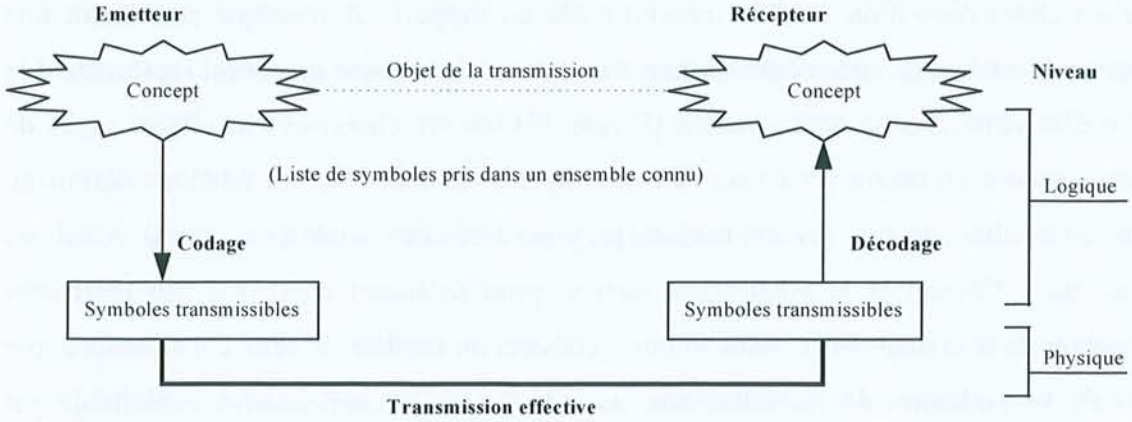


Figure 33 : Théorie de l'information par C. Shannon [Weaver & Shannon, 1975].

La transmission en elle-même est un problème de communication (mais c'est un sujet que nous n'aborderons pas, nos réflexions étant indépendantes du support de transmission c'est-à-dire que ce médium peut être aussi bien la parole, le papier ou encore un réseau informatique). Par contre, nous nous attacherons davantage à la représentation de l'objet à transmettre et plus particulièrement aux phases de « codage » et de « décodage ». Ces phases nous intéressent non pas pour leurs processus de mise en œuvre, mais pour les possibles interprétations qui peuvent en découler. Tant que la transmission se contente d'être d'ordre syntaxique, cette théorie s'applique sans problème. Par contre, dès que l'objet que l'on désire transmettre est d'ordre sémantique, il faut faire appel à un véritable savoir (ou référentiel) commun.

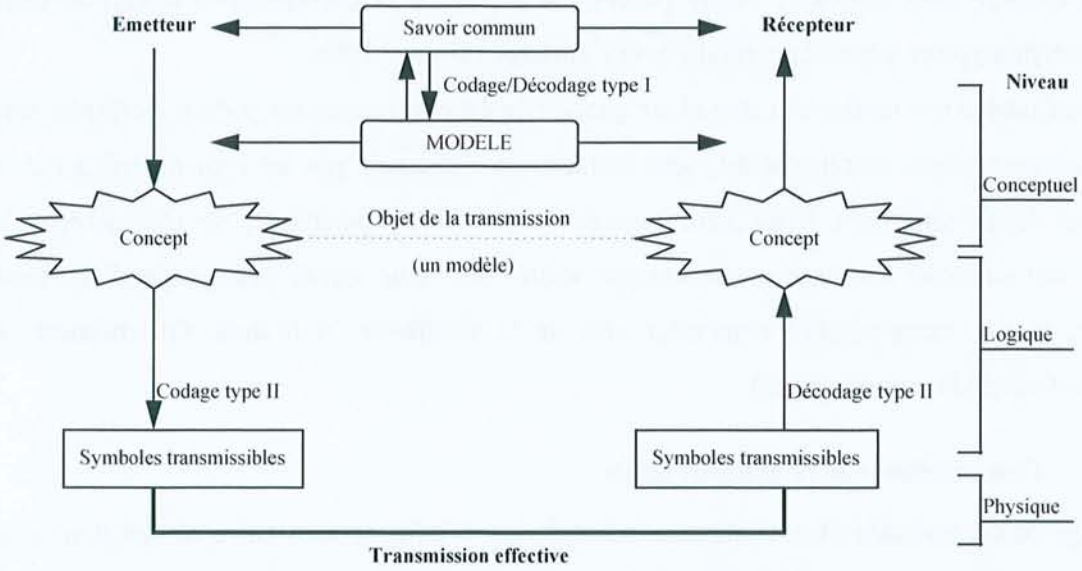


Figure 34 : Communication à deux niveaux selon [Frachet, 1995].

Ainsi, la représentation de la connaissance à transmettre est élaborée dans un langage représentatif d'un savoir commun. Ce dernier est défini comme l'ensemble des éléments nécessaires pour décrire le modèle, il est également appelé « Méta-modèle » et souvent se trouve être le langage naturel. Celui-ci est composé de mots et contient des règles d'associations entre ces mots. Cette structure du langage naturel, dont l'enseignement est une des bases fondamentales préliminaire à l'acquisition de la connaissance commune, est généralement bien comprise par chacun des interlocuteurs. Par contre, ces mots ont un sens, voire même plusieurs en fonction de leur contexte d'utilisation, et la façon de les associer peut fréquemment ouvrir la voie à des confusions. Cette diversité d'association des mots, entraînant une grande diversité de signification, fait du langage naturel un langage « informel » permettant un grand nombre d'interprétations différentes, même si la notion de dialogue peut, à elle seule, permettre de résoudre rapidement la plupart des problèmes d'incompréhension.

2.2.1.2 Un savoir commun à tous : le langage naturel

L'utilisation du langage naturel et le recours aux méthodes linguistiques sont bien souvent nécessaires pour différencier les catégories de langages dits naturels et leurs diverses limites de représentations sémantiques [Nef, 1988] [Sabah, 1988] [Trigano, 1994] [Kayser, 1997]. Cependant, nous n'aborderons ici les méthodes d'analyse développées par les linguistes que dans le cadre d'applications opérationnelles éprouvées correspondant à nos objectifs. En fait, les méthodes les plus matures issues de cette communauté font le plus souvent l'objet de développements informatiques. Nous les retrouverons donc dans les différentes disciplines citées précédemment qui nous servent de référence. Par exemple, en ce qui concerne l'analyse de textes par les linguistes en vue d'en faire ressortir les aspects sémantiques, on pourra citer les travaux de [Grusenmeyer, 1995] sur l'analyse des communications et de leurs représentations fonctionnelles afin d'améliorer l'activité d'exploitation d'une machine ou plus généralement d'un poste de travail. Tandis que pour l'utilisation du langage naturel comme aide à la spécification, [Toussaint, 1992] peut être cité pour l'établissement d'un lien entre le Génie Logiciel et l'informatique linguistique dans le but d'élaborer les spécifications d'un produit à concevoir. En effet, ce projet, intitulé LESD (Linguistic Engineering for Software Design), n'avait pas pour but de traduire automatiquement des spécifications naturelles en spécifications formelles mais de corriger certaines irrégularités des textes, d'en extraire le contenu informationnel et d'en proposer une représentation formelle à un ingénieur logiciel [Borillo et al., 1991].

Notons également les travaux de [Jouis, 1993] qui se base sur une étude sur KOD

(Knowledge Oriented Design) [Vogel, 1988], KADS (Knowledge Acquisition Data/Design Structuring) [Breuker et al., 1987] [Decitre, 1990] [de Hoog et al., 1992] et METODAC (METhODe d'ACquisition et de modélisation des connaissances) [EDIAT, 1992], tout en rappelant les principes de la GAC (Grammaire Applicative et Cognitive) [Desclés, 1990], pour fournir les bases de développement du système SEEK (Système Expert d'Exploration Contextuelle). Ce système permet le traitement automatique du langage naturel par le biais d'un formalisme étendu des graphes conceptuels de Sowa [Sowa, 1984].

2.2.1.2.1 Langage naturel ou langage formel ?

Les langages dits formels [Bowen & Hinchey, 1994] sont conçus pour un certain type de problème et, malgré la grande diversité de ces langages, il existe de très nombreuses situations où il est difficile de commencer un travail de conception ou de modélisation sans recourir à la rédaction de textes de spécification en langage naturel. De tels documents permettent un dialogue immédiat (à la différence des langages formels) entre les différents intervenants d'un projet. Le travail de spécification, qui requiert souvent une bonne expérience, trouve une expression plus directe en langage naturel. Malgré un nombre important de facteurs difficiles à évaluer, la rédaction sera facile à formuler sans les contraintes liées au formalisme d'une modélisation formelle.

Le langage naturel offre donc une grande souplesse dans l'expression de besoins, un mode de communication plus aisé, et demeure préconisé pour l'élaboration de spécifications [IEEE 830, 1984]. Cependant, cette facilité présente une contrepartie regrettable si elle n'est pas accompagnée d'une grande rigueur, celle-là même qui est imposée par l'utilisation de langages formels, lors d'une expression en langage naturel. En effet, une spécification en langage naturel ne doit pas être synonyme d'une spécification rapide mais plutôt d'une spécification précise.

2.2.1.2.2 Inconvénients du langage naturel

[Toussaint, 1992] souligne quelques irrégularités fréquemment rencontrées et liées au langage naturel :

- Le bruit, il correspond à une connaissance qui n'est pas nécessaire. Il rend un texte plus difficile à analyser et noie la connaissance essentielle. Il peut prendre la forme d'une information nouvelle, mais inutile, ou au contraire se trouver sous la forme de synonymes.

- Le silence, il correspond à une non identification d'une notion existante. Ou tout simplement, il peut être un oubli d'une notion à part entière.

- La contradiction, ce genre d'irrégularité n'est pas toujours triviale à découvrir. En effet, deux faits contradictoires sont rarement explicites. Et même explicites, ils se situent rarement l'un à côté de l'autre.

- La sur-spécification, comme son nom l'indique, elle correspond à un débordement de l'univers d'intérêt.

- L'ambiguïté, un énoncé est dit ambigu quand il n'est pas interprétable de manière unique.

Pour éviter toutes ces irrégularités, la spécification en langage naturel possède également des contraintes de construction, non pas des règles au sens entendu par les modèles formels, mais plutôt des prescriptions. Elles concernent la construction des groupes nominaux, des verbes et des phrases. Les premiers ne doivent pas être composés de plus de trois noms les uns à la suite des autres, les seuls temps verbaux reconnus sont le présent, le passé simple et le futur, et enfin, les phrases doivent être construites à la forme active, excepté dans le cas des procédures où les instructions doivent être écrites en utilisant le mode impératif.

2.2.1.2.3 Synthèse sur le langage naturel

Ainsi, l'utilisation du langage naturel peut être assimilée à une première phase de formalisation à un problème posé. D'une part, par son processus de formulation de la connaissance « sur papier », qui est une sorte de formalisation d'une connaissance cognitive détenue par un expert, et, d'autre part, par les contraintes qui guident cette formulation et qui, si elles sont appliquées correctement, contribuent à un texte relativement cohérent.

Pourtant, le langage naturel fournit uniquement une description formulée de la connaissance alors qu'un modèle dit formel utilise une démarche mathématique en utilisant un codage symbolique et des propriétés rigoureusement définies. Demeurant malgré tout un langage universel (pour les personnes parlant la même langue), le langage naturel reste un mode d'expression efficace souvent pris en considération lors de l'utilisation d'outils de modélisation.

2.2.2 ... du langage naturel à la nécessité d'un modèle de la connaissance ...

2.2.2.1 Les méthodes d'aide à l'extraction de la connaissance

Deux types de connaissance peuvent être distingués : la connaissance **explicite** (explicitée, sans ambiguïté, reconnue de tous, ...) qui est à la disposition de tous et celle **implicite** (non explicitée, comportant des ambiguïtés, non connue de tous, ...) qui est souvent détenue par l'expert mais que l'utilisateur n'a pas à disposition. Il est alors important de pouvoir extraire

cette dernière. Comme nous l'avons vu précédemment, le dialogue via le langage naturel est une façon d'y recourir, cette extraction se fait alors soit directement entre l'expert et l'utilisateur soit par le recours d'un cogniticien qui met en œuvre des techniques spécifiques qu'il mène de façon plus expérimentée. Les différentes techniques parmi les plus usitées sont les interviews, les questionnaires, les observations directes, les réunions de « brainstorming », de « brainwriting », etc. Parmi ces nombreuses techniques aucune n'est totalement idéale, selon [Gallouin[25], 1988] il faudrait les utiliser toutes ! [Firlej, 1990] décrit le processus de transmission de la connaissance comme suit :

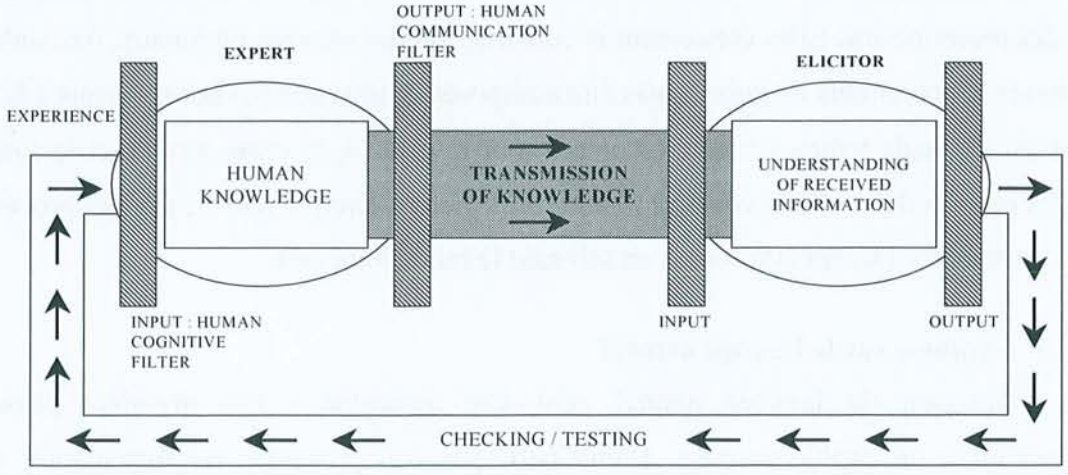


Figure 35 : Processus de transmission de la connaissance.

Le but des différentes méthodes d'interviews consiste ainsi à limiter l'effet déformant des différents filtres représentés en Figure 35. Le langage naturel, permettant de limiter les effets des filtres de communication, semble être le meilleur langage d'extraction de la connaissance, et de plus en plus les méthodes associées se basent sur son utilisation.

De plus, les textes (documentation technique, ouvrages, textes d'interviews, etc.) sont reconnus comme étant la source essentielle, voir unique, pour acquérir la connaissance sur un domaine, c'est pourquoi, au début de tout cycle de développement de tout système à base de connaissances (et pas uniquement au sens entendu par l'I.A.), se trouve une phase incontournable d'analyse de textes, donc d'analyse du langage naturel. De nombreux outils d'aide à l'analyse de corpus textuel se sont ainsi développés, TERMINO [David & Plante, 1991] et LEXTER (Logiciel d'EXtraction de TERminologie) [Bourigault, 1994], qui sont des logiciels d'analyse et d'extraction terminologique, et COATIS [Garcia, 1998] qui permet une structuration de connaissance causale. L'utilisation

[25] Président Directeur Général de Métaphora, SCII, spécialisée dans le domaine de la rédaction technique.

conjointe de ces deux derniers outils permet de fournir des éléments pour la construction d'un modèle conceptuel. C'est le cas également de l'outil ZELLIG qui a été appliqué sur le corpus MENELAS représentant la connaissance relative à un domaine particulier, la médecine [Bouaud et al.,2000]. Dans le cadre du projet ACTES (Acquisition des Connaissances à partir de Textes pour un Expert en Spécification) [Chanier, 1989], un prototype a été développé dans le but d'extraire automatiquement la connaissance à partir de textes techniques écrits dans un sous-ensemble du langage naturel. Ce prototype a été destiné à la spécification de déclenchement d'alarmes dans un avion. Un autre outil, en cours d'expérimentation, MANTEX [Frath et al. , 2000], permet de mettre en évidence des regroupements significatifs de mots dans les textes et de faciliter le repérage des relations entre ces regroupements. D'autres outils, par exemple COGITERM [Meyer et al., 1992], permettent de construire une base de connaissances terminologiques. Mais, même si tous ces outils peuvent fournir une aide significative, en particulier pour la construction d'ontologies, le recours à la pratique et à la compétence du cogniticien reste nécessaire, d'autant qu'il s'agit uniquement d'outils spécifiques et non pas de méthodes universelles.

Tous les domaines concernées connaissent les mêmes difficultés quant à l'extraction de la connaissance puis à la formalisation de la connaissance ; c'est pourquoi de nombreux travaux [Duribreux-Cocquebert & Houriez, 2000] [Frath, et al., 2000] préconisent le rapprochement de KOD et KADS, l'une étant une approche « ascendante » (ou « bottom-up »), l'autre étant descendante (ou « top-down »). L'originalité de KOD réside dans l'étude systématique du texte pour en extraire la connaissance. Sur ce point, elle peut être rapprochée de NIAM/ORM [Habrias, 1988] [Wintraecken, 1990] qui consiste à partir du langage naturel et à transformer les phrases en un ensemble de phrases sémantiquement irréductibles, tandis que KADS utilise plus la langue comme justification a priori. Ainsi, KOD propose un modèle cognitif [Vogel, 1988], comprenant des **taxinomies** (description hiérarchique du monde physique), des **actinomies** (schémas mentaux d'actions de types heuristiques) et des **schémas d'interprétation** (type connaissance profonde) permettant de comprendre le monde réel et de savoir quand déclencher les actinomies. En amont se trouve le modèle pratique qui regroupe les manifestations verbales des trois paradigmes énoncés ci-dessus (description, action, déclaration), en aval se situe le modèle informatique, sorte de conception détaillée, également structurée selon les trois paradigmes. A l'instar des méthodes objets, KOD propose une décomposition de type structurale, elle décompose à la fois les objets et les fonctions qui leurs sont associées. KOD associe l'information traitée aux conditions d'énonciation de cette information, le nom de « connaissance » étant donné à une information complétée par le mode

d'interprétation à utiliser pour son décodage. Quant à l'approche KADS, elle se base sur les travaux de [Newell, 1982] qui introduit la notion de « knowledge level » en l'opposant au « symbol level » et préconise la réalisation d'un modèle d'expertise afin de s'assurer de la bonne compréhension du savoir. Ce modèle d'expertise est le plus souvent représenté par un modèle conceptuel, KADS préconise l'utilisation du langage KCML [Schreiber et al., 1994].
D'autres travaux dans le domaine de la modélisation conceptuelle utilisent cette représentation conceptuelle afin de faciliter l'extraction de la connaissance. Nous citerons en particulier [Goan, 1999] qui a développé l'outil IKODA (Intelligent KnOwledge Discovery Assistant) permettant de raffiner la connaissance initiale à l'aide d'un modèle conceptuel.
Enfin, la méthode NIAM/ORM, basée sur une approche d'analyse de textes en langage naturel, permet d'élaborer un modèle conceptuel d'un univers d'intérêt (encore appelé Univers du Discours) à partir d'un énoncé des faits qui s'y produisent. Ce type d'approche, permettant une analyse des données, est énormément répandue pour l'élaboration de Bases de Données. Cette méthode a de particulier qu'elle distingue les objets du monde réel, représentés par des LOTs (Lexical Object Type), des objets abstraits, appelés NOLOTs (Non Lexical Object Type). Les seconds sont en fait une abstraction des objets du monde réel et sont référencés par ceux-ci (voir Annexe page II). Dans le cadre de la conception de Systèmes d'Information, nous pouvons également citer OICSI [Proix, 1989] qui permet, par l'acquisition des faits initiaux énoncés en français, la détermination de classes de faits par un réseau sémantique descriptif, puis la construction d'un schéma conceptuel à partir du réseau descriptif en utilisant des règles de structuration, de validation et de dialogue.
Quelles que soient les différentes approches, une phase d'extraction est nécessaire afin d'identifier la connaissance utile. Cependant, elle produit une connaissance explicite mais toujours informelle car exprimée en langage naturel. Aussi, ces approches préconisent-elles une étape suivante de formalisation.

2.2.2.2 Les formalismes de modélisation de la connaissance

La connaissance extraite risque souvent d'être inexacte, incomplète voire inconsistante [Dieng, 1990], ainsi, de nombreuses techniques de verbalisation et d'aide aux interviews ont été développées pour « extraire » la connaissance subconsciente ou implicite de l'expert [Hoffman, 1989], [Aussenac, 1989]. Pour l'interpréter et l'exploiter, deux philosophies coexistent. La première qui est de moins en moins utilisée est le « **prototypage rapide** » [Hayes-Roth et al., 1983] [Harmon & King, 1985]. Cette méthode d'acquisition est dite dirigée par l'implémentation. La deuxième est **l'acquisition structurée des connaissances**.

Elle préconise l'élaboration d'un modèle conceptuel qui permet de ne pas biaiser la connaissance par la vue de l'implémentation, d'autant que selon [Krivine & David, 1991] aucun des formalismes orientés implémentation connus aujourd'hui ne peut être utilisé pour transcrire l'expertise : de trop bas niveau d'abstraction, ils ne permettent pas de représenter la connaissance profonde de l'expert [Martin, 1994].

Deux grands domaines répondent à ces besoins en modélisation conceptuel, ce sont le Génie Cognitif avec les méthodes dérivées de KADS et le Génie Logiciel avec les méthodes dérivées de Merise [Tabourier, 1986]. On pourra également citer le Génie Productique (GIM [Doumeingts et al., 1994], CIM-OSA [ESPRIT, 1991], OLYMPIOS [Haurat, 1993], par exemple) mais dont les méthodologies se rapportent plus à un domaine spécifique, ainsi que les méthodes dites orientées objet qui ne préconisent, quant à elles, aucune démarche d'aide à la conceptualisation. Le Génie Productique et les approches Orientées Objets empruntent le plus souvent les méthodes et modèles du Génie Logiciel, voire du Génie Cognitif [Monsef, 1996]. Ainsi, les approches de modélisation et d'extraction sont souvent jumelées et tous les domaines, ou presque, préconisent le recours à une modélisation conceptuelle. La norme [AFNOR Z68-901] définit le modèle conceptuel comme : « *une image aussi fidèle et précise que possible du réel perçu, il met en évidence des entités et des liens de nature sémantique entre ces entités, résultat de l'observation et de l'analyse du réel sans aucun souci d'organisation ou de réalisation. A ce niveau, on parle de la perception de l'utilisateur.*

La représentation du modèle conceptuel se fait, par conséquent, dans un formalisme supposé neutre et accessible à un non-informaticien. »

Dans le domaine des Systèmes d'Information (SI), orienté vers la construction de base de données, la modélisation conceptuelle est la partie la plus importante de l'analyse. Un modèle conceptuel doit être une représentation des besoins en connaissance de l'utilisateur. Pour son élaboration, [Monsef, 1996] distingue deux grandes classes de méthodes : les méthodes cartésiennes et les méthodes systémiques. Les premières mettent l'accent sur la démarche de conception qu'elles décomposent en phases, on y trouve principalement les démarches de décomposition fonctionnelle descendantes telles que SADT [Ross & Schoman, 1977] et celles qui utilisent la notion de flot, ou flux, d'informations, telles que [Myers, 1978] et [Yourdon & Constantine, 1979].

Les méthodes systémiques, quant à elles, mettent l'accent sur l'aspect global du SI, sur sa décomposition rigoureuse en éléments et sur la définition des relations entre ces éléments. On y trouve 3 niveaux d'abstraction : conceptuel, interne et externe [ANSI, 1977], supportés respectivement par : un schéma conceptuel, constituant la description centrale et unique des

différents contenus d'information qui peuvent être dans une base de données, un schéma interne, décrivant la structure de stockage physique de la base de données, et un schéma externe, décrivant les moyens d'accès aux données par les programmes d'application et les utilisateurs finaux. Les méthodes systémiques font appel à des modèles, soit relationnels tels que [Codd, 1970] ou sémantiques, sous la forme Entité/Association (ou Objet/Relation), tels que [Abrial, 1974], [Chen, 1976] ou encore [Nijssen, 1977]. Ces modèles se limitent à la représentation des aspects statiques et structurels du monde réel, ils sont inaptes à prendre directement en compte les aspects dynamiques relatifs à l'évolution des données dans le temps. C'est pourquoi des méthodes telles que REMORA [Rolland et al, 1988], MERISE [Tardieu et al., 1983] [Tardieu et al., 1986], ou encore IDA [Bodart & Pigneur, 1989] se sont développées en proposant des concepts traduisant la dynamique des SI.

Les méthodes de réalisation des SI proposent donc la réalisation d'un schéma conceptuel afin de permettre l'acquisition des phénomènes du domaine réel puis de leur validation.

Quant à l'Intelligence Artificielle, c'est le modèle d'expertise qui cherche à représenter au mieux les objets du monde réel. Pour son élaboration, selon [Duribreux-Cocquebert & Houriez, 2000], le cogniticien ne peut pas faire l'économie d'une activité d'abstraction des concepts élicités grâce à KOD pour les apparier avec les méthodes de résolution de problèmes génériques fournies par KADS. En effet, pour une approche ascendante (KOD), il convient de recueillir la connaissance sans être « dirigé » comme lors d'une approche descendante (KADS) qui se focalise rapidement sur la définition du modèle d'expertise en filtrant la connaissance acquise à l'aide de bibliothèques de modèles génériques.

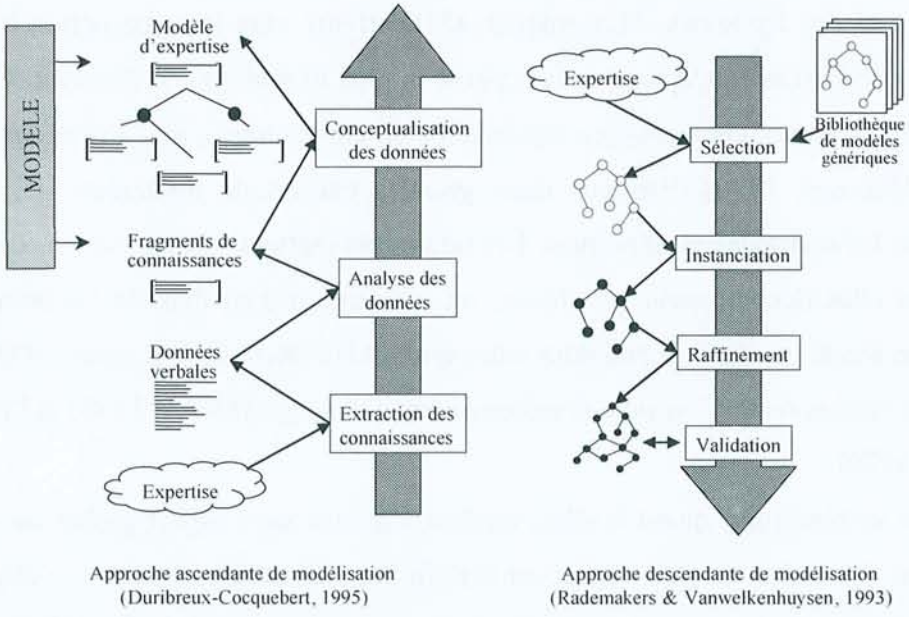


Figure 36 : Deux types d'approche de modélisation de la connaissance [Duribreux-Cocquebert & Houriez, 2000].

L'approche ascendante permet de modéliser un domaine particulier, tandis que l'approche descendante permet de modéliser une tâche particulière. Elle permet donc de réutiliser l'expertise du domaine modélisé pour d'autres applications associées au même domaine, mais manque de généricité. C'est pourquoi une approche mixte est proposée par [Duribreux-Cocquebert, 1995] en se basant sur une première formalisation de la connaissance avec KOD, du fait de l'impossibilité de construire le modèle KADS sans un volume minimal d'informations relatives à la connaissance initiale.

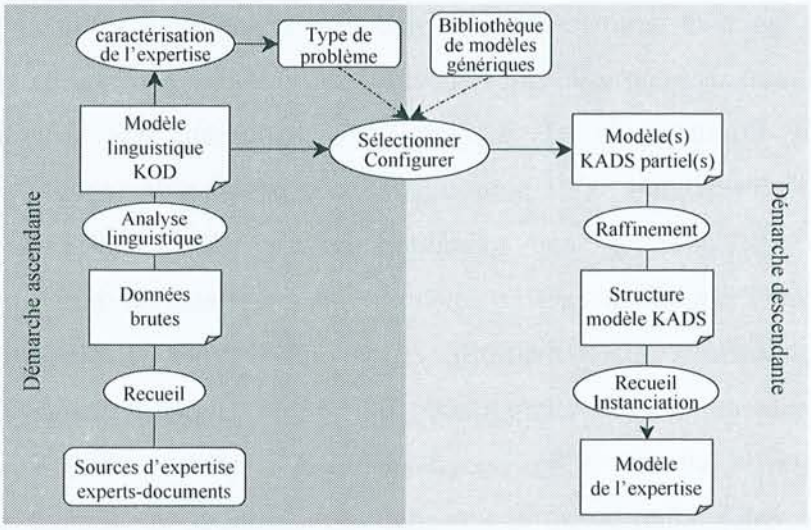


Figure 37 : Etapes de construction du modèle d'expertise [Duribreux-Cocquebert, 1995].

Un autre point de vue sur la modélisation conceptuelle est celui de [Reynaud & Tort, 1997] qui adoptent une solution différente face à ce même problème de réutilisation de méthodes de résolution de problèmes génériques par la construction d'**ontologies**[26] du domaine, spécifiées formellement (une ontologie est définie par [Bouaud et al., 1994] comme l'ensemble des objets reconnus comme existants dans un domaine). Le problème réside dans la description de tâches qui se situent à des niveaux trop abstraits pour pouvoir s'apparier avec la connaissance du domaine. La construction d'ontologies permet de représenter la connaissance à un même niveau d'abstraction que les tâches qui y sont associées. En effet, il est aujourd'hui convenu que l'objet de modélisation est double, qu'il est nécessaire de modéliser, d'une part, le monde réel et d'autre part, des processus de résolution de problèmes. On aboutit ainsi à des modèles de la connaissance composés de « modèles du domaine » et de « modèles de tâche ». Dans notre problématique concernant la connaissance normative, cette distinction apparaît

[26] (*ontos*, être, et *logos*, science) « Qui relève de l'être ». définition du Larousse.

également. Toutefois, nous verrons en conclusion de ce chapitre qu'il est possible de représenter la connaissance relative à des buts et à des méthodes de résolution comme une connaissance stable.

2.2.3 ... du modèle de la connaissance au langage naturel ...

Une fois la connaissance extraite et modélisée, il est nécessaire de la mettre à disposition de ses futurs utilisateurs. Pourtant deux obstacles se dressent encore, d'une part, comment s'assurer de la cohérence globale et de la complétude de la connaissance extraite et, d'autre part, sous quelle forme la connaissance doit-elle être transmise à l'utilisateur ? Pour être communiquée, la connaissance doit être transcrite via un support, la parole et les textes en sont un exemple. Pourtant, de tels supports ne garantissent pas la cohérence de la connaissance qu'ils véhiculent, c'est pourquoi il est nécessaire de recourir à des modèles permettant une vérification et une validation aisées. [Pitts, 1997] se penche plus particulièrement sur l'évaluation dans la démarche de spécifications des informations, IRD (Information Requirements Determination), en vue de valider la conceptualisation des informations et note en ce sens l'importance du comportement du cogniticien : c'est la validation conceptuelle, au sens défini par [Benbasat & Dhaliwal, 1991], consistant en des retours fréquents entre cogniticien et experts. On distingue également la vérification syntaxique, appelée « ***checking*** » [Mengshoel, 1991], qui correspond à une évaluation des propriétés d'un système sans le comparer à aucune spécification ni à aucune source de connaissance externe, seule la cohérence interne du modèle est vérifiée, et enfin la validation fonctionnelle [Cañamero & Geldof, 1993] qui consiste a exécuter l'application par jeux de tests [Waeselynck & Boulanger, 1995]. Dans le cadre de la validation conceptuelle, les modèles conceptuels doivent permettre un dialogue immédiat (à la différence des langages formels) entre les différents intervenants d'un projet en étant a priori accessibles à des non-spécialistes. Cependant, on constate que leur lecture peut être fastidieuse et il est alors souhaitable de recourir au langage d'expression initial de l'expert, à savoir le langage naturel. C'est pourquoi un rapprochement plus étroit entre le langage naturel et la modélisation conceptuelle est l'objet de recherches futures [Chen et al., 1999]. Notons néanmoins que NIAM/ORM a déjà cette aptitude par le processus de transposition directe du modèle conceptuel en Langage Naturel Binaire qui permet à des non-spécialistes du formalisme de pouvoir valider un modèle par évaluation de son expression équivalente en langage naturel. La traduction d'un modèle en langage naturel est appelée « Paraphrasage » par [Attiogbé et al., 1996] qui souligne l'importance de l'utilisation d'un tel procédé pour la validation.

2.2.4 ... et du modèle de la connaissance à l'exploitation informatisée de la connaissance formalisée.

Nous avons vu, au début de ce chapitre, que deux niveaux de modélisation sont d'intérêt pour notre étude : le passage de spécifications informelles (exprimées en langage naturel) à des spécifications formelles ou semi-formelles (souvent représentées à l'aide d'un modèle conceptuel) et le passage du modèle conceptuel à un modèle opérationnel donc implémentable (à l'aide de langages informatiques). Selon [Bachimont & Collinot, 1993], il s'agit de passer d'une caractérisation sémiotique[27] effectuée par un langage de représentation à une modélisation opérationnelle dans un langage de programmation.

Nous avons vu l'importance de l'extraction puis de la semi-formalisation de la connaissance en un modèle conceptuel qui joue le rôle de modèle intermédiaire, facilitant le dialogue entre l'expert et l'ingénieur de la connaissance. Mais, pour être implémentable et exploitable, ce modèle doit ensuite être « opérationalisé ».

[Wielinga et al., 1992] préconise la préservation de la structure du modèle conceptuel, en d'autres termes, le système (logiciel) final doit pouvoir relier les éléments du modèle conceptuel aux structures qui les implantent. C'est également le cas des approches visant à développer des Bases de Données qui permettent de transformer, par application de traitements procéduraux, le modèle conceptuel en un modèle relationnel qui peut ensuite être exploité pour le développement d'applications informatiques de gestion de données, ou plus largement de connaissances tout en supportant et respectant l'ensemble des propriétés cognitives identifiées et formalisées préalablement. Ce passage du modèle conceptuel au modèle relationnel, appelé en NIAM/ORM le schéma regroupé, est généralement assuré par des outils logiciels permettant le respect de « la 5ème Forme Normale » [Kent, 1984] [Habrias, 1987].

Dans le domaine de l'Intelligence Artificielle, il existe de nombreux langages de modélisation de type conceptuel. Ces langages peuvent être informels : MONA [Aussenac-Gilles & Matta, 1994], CML [Schreiber et al., 1994] -qui permettent une première spécification d'un modèle conceptuel- ou formels : ML^2 [Fensel & Van Harmelen, 1994], TFL [Pierret-Golbreich, 1996], FORKADS [Wetter, 1990], etc [van Harmelen et al., 1993] -qui permettent de formaliser le modèle conceptuel afin de réduire les ambiguïtés demeurant dans un modèle informel. L'opérationalisation de tous ces langages nécessite l'utilisation d'un langage informatique et, plutôt que d'utiliser des langages classiques tels que C, C++, LISP,

[27] sémiotique: science des signes, conceptualisation de l'organisation de la signification [Sfalcin, 1992]

etc, [Reinders et al., 1991] propose l'utilisation de langages d'opérationalisation afin de respecter le principe de « correspondance structurelle » évoqué précédemment et permettant ainsi de reporter toute modification du modèle vers le système réalisé et inversement. De nombreux langages permettent cette opérationalisation. Des langages tels que MODEL-K [Karbach et al., 1991], ou encore OCML [Motta, 1998], proposent des primitives d'opérationalisation telles que celles utilisées dans la méthodologie KADS permettant de « prototyper au niveau connaissance », c'est-à-dire permettant une simulation informatique du modèle conceptuel. LISA [Jacob-Delouis & Krivine, 1995], TASK [Pierret-Golbreich, 1996] ou encore L-AIDE [Kassel, 1995], rebaptisé DEF-* [Gréboval-Barry & Kassel, 1998], proposent un ensemble de primitives prédéfinies en codant directement le modèle opérationnel, mais ces structurations prédéfinies contraignent également implicitement la modélisation. Par contre, le langage ZOLA [Istenes, 1997], permet une approche flexible car il ne propose pas directement de primitives de modélisation opérationnelles mais les moyens de construire ces primitives [Tchounikine et al., 2000].

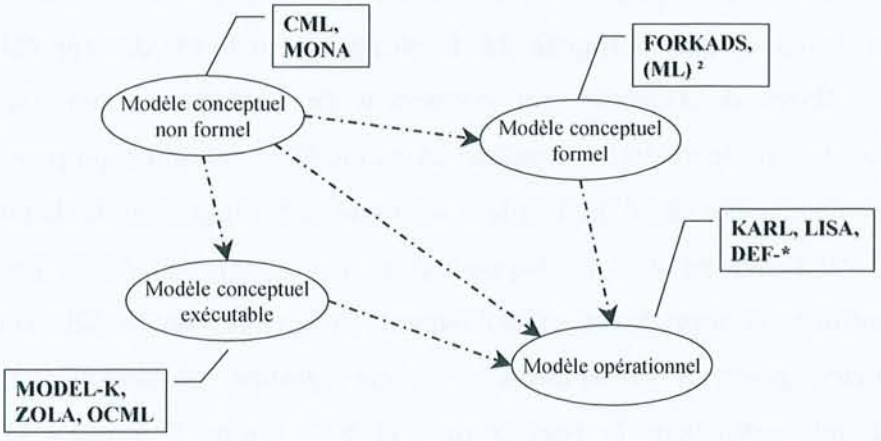


Figure 38 : Des langages pour formaliser et/ou opérationaliser des modèles conceptuels [Kassel et al., 2000].

Enfin, nous citerons, comme dernier exemple, les travaux de [Fougères, 1997] qui fournissent une aide à la spécification formelle en traduisant des graphes conceptuels en langage Z [Spivey, 1993] [Lightfoot, 1994] afin de parvenir à une description précise et complète de l'objet à réaliser, tout en évitant la sur-spécification (détails inutiles et contraignants). De plus l'utilisation d'une méthode de spécification formelle permet d'obtenir la même rigueur au niveau de la spécification qu'au niveau de la réalisation, permettant ainsi de favoriser la phase de validation, voire de l'automatiser partiellement. Une spécification formelle complètement validée pourra ensuite être utilisée comme élément d'une autre spécification plus complexe.

2.2.5 Synthèse

La plupart des travaux évoqués relèvent du domaine de l'Ingénierie de la Connaissance car cette communauté a centré son activité sur les problèmes d'acquisition de la connaissance. D'autres travaux en conception de Systèmes d'Information ont également été cités mais, dans une moindre mesure car leur problématique est sensiblement différente -quoiqu'il nous semble que de nombreux concepts les rapprochent. Enfin, les approches objets ont été passées sous silence car en s'appuyant sur [Dano, 1997], il semble qu'elles ne fournissent aucune démarche rigoureuse d'ingénierie de la connaissance. Toutefois, l'approche objet [Oussalah, 1999] tend actuellement à se normaliser, tout du moins dans sa notation à travers UML (Unified Modeling Language) [Booch et al., 1997]. Pourtant, même si ce regroupement de méthodes orientées objets bien connues (OOSE [Jacobson, 1993], OMT [Rumbaugh et al., 1995], OOD [Booch, 1994], ...) définit un cadre formel de modélisation (métamodélisation) grâce à la standardisation de sa notation, UML n'est pas une réelle méthode capable de fournir à son utilisateur une démarche précise pour sa mise en œuvre. UML se veut être une technique privilégiant le besoin des utilisateurs et préconise une démarche itérative par prototypages successifs et raffinement de ces prototypes.

Dans le cadre de nos travaux, du moins pour la partie exploitation de la connaissance, UML n'apporte aucun élément nouveau, si ce n'est la nécessité de raisonner de façon « objet », raisonnement déjà pris en compte par NIAM/ORM. On notera toutefois les travaux actuels sur le rapprochement d'UML avec KADS [Fingar et al., 1997] et également avec NIAM/ORM [Halpin, 1999].

2.3 Conclusion

[Charlet et al, 2000] définissent l'Ingénierie de la Connaissance (IC) comme *l'étude des concepts, méthodes et techniques permettant de modéliser et/ou d'acquérir les connaissances pour des systèmes réalisant ou aidant des humains à réaliser des tâches se formalisant a priori peu ou pas.* Dans cette acception, un système représente un Système à Base de Connaissances (SBC). Cette définition permet de situer nos travaux par rapport à cette « communauté ». En effet, le but de nos travaux étant d'acquérir et de modéliser la connaissance contenue dans les normes de sécurité des machines, ces textes normatifs doivent servir de base à la prise en compte des prescriptions relatives à la sécurité des machines lors de leur conception, cette tâche se formalisant a priori peu ou pas.

La différence, pour nos besoins exprimés en problématique, se situe au niveau de la typologie

de la connaissance. Selon l'IC et en particulier KADS, il existe deux types de connaissances, la **connaissance statique**, elle exprime le **savoir** de l'expert, et la **connaissance dynamique**, elle exprime le **savoir-faire** de l'expert et plus particulièrement les mécanismes de raisonnement des experts et la manière dont est exploitée la connaissance statique. Le Génie Logiciel, et plus particulièrement les méthodes issues de la conception des Systèmes d'Information, distingue les aspects statiques (données) des aspects dynamiques (traitements). Cette dualité correspond à la différenciation des données décrivant le monde réel des traitements qui précisent les actions effectuées sur les premières.

Tout en respectant la dualité données-traitements dans son application, nos besoins montrent la différence entre une connaissance qui est **stable** (connaissance de sécurité normalisée) et une connaissance plus **difficilement reproductible** (connaissance liée à la conception qui peut faire l'objet de procédures afin de faciliter sa reproductibilité), et de ce fait nous nous rapprochons à la fois des deux domaines cités ci-dessus, dans le sens où nous devons considérer une partie stable d'une part et l'exploitation qui en est faite d'autre part. Ces deux domaines séparent de toute évidence la connaissance, dite statique pour l'un et de type données pour l'autre, de son exploitation. Cette séparation relève de la nécessité **d'extraire la sémantique** du domaine étudié de son utilisation, cette séparation s'avérant être une condition sine qua non pour atteindre une plus grande souplesse d'utilisation et faciliter la réutilisation de la connaissance [Wielinga & Bredeweg, 1988]. Nous noterons également que dans la connaissance que nous qualifions de stable peuvent se trouver des connaissances dynamiques (procédures) relatives à des démarches de sécurité qui sont également stables car normalisées.

Les champs d'application des différentes méthodologies exposées ci-dessus sont quelques peu différents. En effet, KADS, par exemple, couvre plus les domaines de la modélisation et de l'exploitation de la connaissance, tandis que les méthodes orientées Systèmes d'Information se contentent pour la plupart de guider l'élaboration de Bases de Données. Pourtant, encore une fois, aucune n'est à privilégier et c'est pourquoi, des travaux tels que [Brunet & Dorbes, 1990] tentent de les rapprocher.

A notre avis, seule la méthode NIAM/ORM propose une réelle méthodologie permettant de faciliter l'acquisition et surtout la validation d'une connaissance grâce à sa transposition en langage naturel binaire et permet de couvrir l'ensemble des trois processus recherchés : l'extraction, la formalisation et l'exploitation d'une connaissance. En se référant aux critères de [Chein et al., 1995] (qui définit des critères de qualité d'un modèle) cette méthode apparaît comme le meilleur compromis entre la capacité de formalisation de la connaissance pour le cogniticien et sa compréhension pour l'utilisateur et l'expert.

Malgré l'utilisation des langages les plus formels qui soient, la connaissance de base doit être rendue totalement explicite. C'est pourquoi nous utiliserons NIAM/ORM pour expliciter la connaissance sous forme d'un modèle stable de la connaissance, implémentable pour en permettre l'exploitation pour différents types d'exploitations (enseignement, certification et bien sûr conception) mais également pour différents types d'utilisateurs.

	Langage Naturel	Intelligence Artificielle.	Génie Logiciel	Approches O.O.
Type de connaissance	Tous	Experte	Informations	Tous
Extraction	Oui, car l'extraction est basé sur l'analyse linguistique	Oui, KOD	Oui, NIAM	Aucune Avoir recours à NIAM ou KOD par exemple
Passage extraction / modélisation	aucune	Préconise l'utilisation de Merise (par exemple) pour la création du modèle d'expertise.	Oui par la réalisation d'un modèle conceptuel	Pas directe, avoir recours à un modèle conceptuel
Modélisation	Non	Oui, 4 niveaux pour KADS-I : Stratégie, Tâche, Inférence et Domaine. 6 pour KADS-II : Organisation, Tâche, Agent, Communication, Expertise et Conception.	Oui, 3 niveaux : Puis, Conceptuel Logique (Organisationnel) et Physique (Opérationnel). Basé sur le cycle d'abstraction correspondant au Quoi (concept.) du système, au Qui, Ou, Quand (Organis.) et au Comment (Phys.)	Oui, 3 niveaux : Le quoi : la description de l'objet, le comment : fonctionnel, le Quand : dynamique L'objet intègre les données avec les traitements qui peuvent lui être associés
Passage modélisation / exploitation	Non	Oui (langages formels)	Séparation données traitement Oui, modèle relationnel (5ème Forme Normale)	Oui, directement par une programmation en langages informatiques.
Exploitation	Non, mais résultat idéal.	Oui (SBC)	Oui (SGBD)	Oui (programmation dite objet)

Tableau 1 : Tableau récapitulatif des approches en Ingénierie de la connaissance.

CHAPITRE 3 DEMARCHE METHODOLOGIQUE ET APPLICATION AUX NORMES DE SECURITE

3.1 Introduction

Nous avons vu que l'intégration de la composante « sécurité » est souvent réalisée trop tardivement en phase de conception des machines et par apport de mesures correctrices dû à un souci de conformité réglementaire.

Cette constatation peut avoir une explication principale d'ordre technique concernant **l'interprétation** et l'application des prescriptions techniques et des règles proposées par les normes dites de « Sécurité Machines ». Le problème est de savoir comment, en phase de spécification et de conception, **exploiter au mieux la connaissance** contenue dans des centaines de pages, en tenant compte des « recoupements » possibles, de l'état de la technique et des critères économiques.

L'objectif de notre démarche se porte donc sur cette explication, justifiant deux domaines d'étude et développement complémentaires :

- l'**extraction** et la **formalisation** de la connaissance normative,
- l'**intégration** de cette connaissance formalisée afin de favoriser **le développement futur d'interfaces** adaptées aux besoins des utilisateurs et permettant un accès ciblé à cette connaissance.

Cette séparation en deux domaines cherche à traduire à la fois la **non-dépendance de la connaissance** par rapport à ses **diverses formes d'utilisation** (indépendance du fond par rapport à la forme d'expression ou d'utilisation), mais aussi la possibilité **de déduire**, au moins partiellement, de cette connaissance (le fond) les **utilisations pratiques** (la forme) qu'elle permet de supporter. En ce sens, la modélisation de la connaissance normative constitue le cœur de notre proposition car elle doit servir de base au développement d'interfaces diverses (correspondant aux utilisateurs divers identifiés au § 1.1.2.3) au-delà de la cible privilégiée retenue dans le cadre de nos travaux, les concepteurs de machines. La démarche que nous proposons est globalement schématisée par la Figure 39.

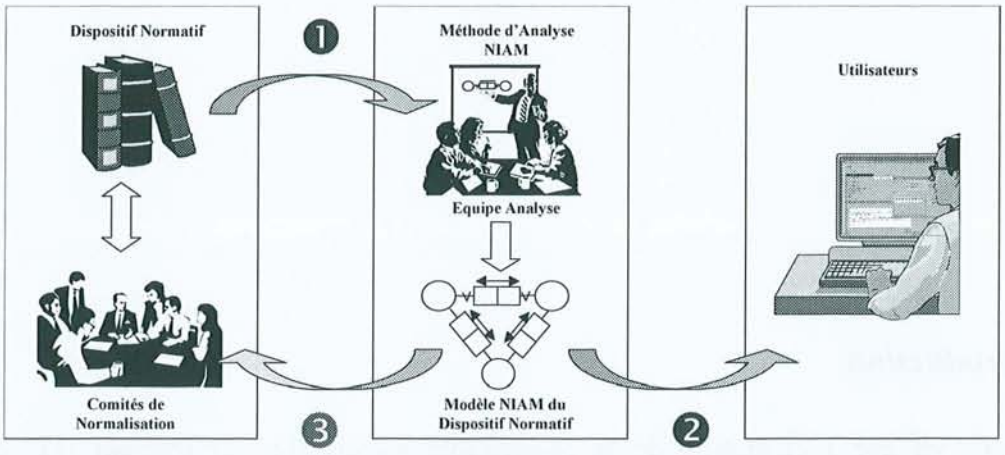


Figure 39 : Démarche globale proposée.

Tout d'abord, la phase de formalisation (❶) est basée sur l'utilisation de la méthode **NIAM/ORM**, méthode **d'analyse** et de **modélisation d'une connaissance** exprimée en **langage naturel** (par exemple, dans des textes écrits), décrite, par exemple, dans les ouvrages sur NIAM de [Habrias, 1993] et [Wintraecken, 1990] ou plus récemment sur ORM [Halpin, 1998]. Cette méthode repose, en effet, sur l'**analyse linguistique** de la **description textuelle en langage naturel** d'un Univers du Discours donné (un sujet délimité). NIAM/ORM propose une approche « basée sur un état » qui consiste à décrire les invariants de l'état d'un système, un invariant étant une propriété qui reste vraie lors d'une transformation. Elle utilise des objets mathématiques que sont les ensembles et la logique des prédicats (ou logique du premier ordre), logique qui a émergé suite aux limites d'expression des propriétés sur des objets des logiques propositionnelles [Sabah, 1988]. L'analyse NIAM/ORM conduit à identifier des phrases élémentaires porteuses d'une partie de la connaissance sur le sujet étudié. La technique de raffinement de ces phrases permet de **compléter la connaissance** exprimée par celle qui ne l'est pas, levant ainsi les éventuelles incomplétudes ou imprécisions de l'expression d'origine. Le résultat de cette analyse peut être directement présenté sous forme d'un **modèle** utilisant le **formalisme graphique NIAM/ORM**. A l'inverse, la sémantique supportée par ce modèle graphique peut à tout moment être exprimée en **Langage Naturel Binaire**. Cette faculté permet ainsi à des non-spécialistes du formalisme de pouvoir néanmoins valider un modèle par évaluation de son expression équivalente en langage naturel, c'est-à-dire dans le langage le plus proche de celui utilisé pour exprimer la connaissance initiale.

Par ailleurs, le modèle ainsi obtenu est transformable, par application d'un certain nombre de traitements procéduraux, en un **modèle relationnel** qui peut ensuite être exploité pour le **développement d'une application informatique** de gestion de données, ou plus largement,

de connaissances, supportant et respectant l'ensemble des propriétés cognitives identifiées et formalisées lors de l'analyse du sujet étudié. Après une introduction à l'exploitation d'une connaissance par l'intégration des vues normatives et techniques, le développement **d'interfaces** (❷) est alors envisagé en fonction des **utilisateurs cibles** (Concepteurs et Constructeurs de Machines, Certificateurs et Evaluateurs, Formateurs). Dans le cadre de nos travaux, une seule interface a été prototypée orientée vers les **Concepteurs et Constructeurs de Machines**, mais avec des fonctionnalités de consultation, d'auto-évaluation, etc, pouvant aussi indirectement intéresser les Certificateurs et Evaluateurs, voire les Formateurs. La démarche d'analyse et de développement informatique est schématisée par la Figure 40.

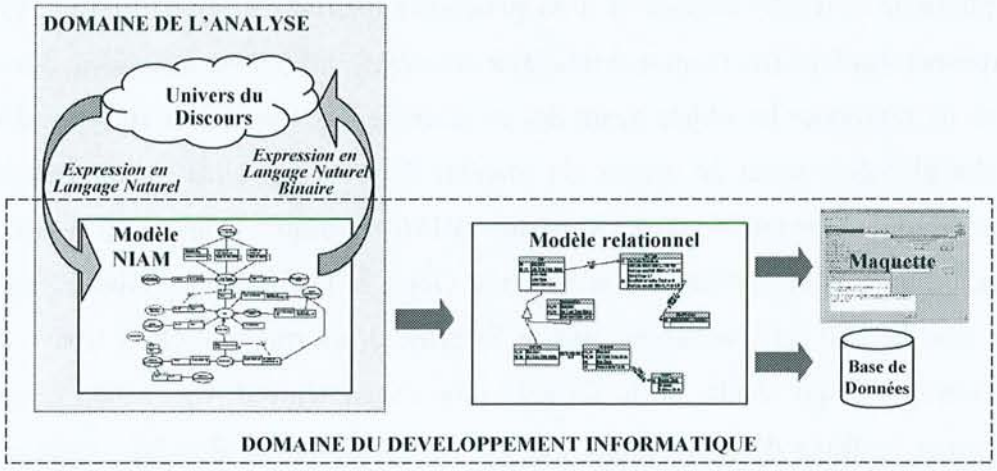


Figure 40 : Démarche d'analyse et de développement informatique.

Enfin, la capacité de la méthode NIAM/ORM d'aider à l'**élaboration de nouvelles connaissances** permet d'envisager, en prolongement éventuel, de fournir aux Normalisateurs (❸) une aide à la conception de nouvelles normes et/ou à l'extension de normes existantes (voir § 5.2.1).

3.2 Formalisation de normes de Sécurité machine

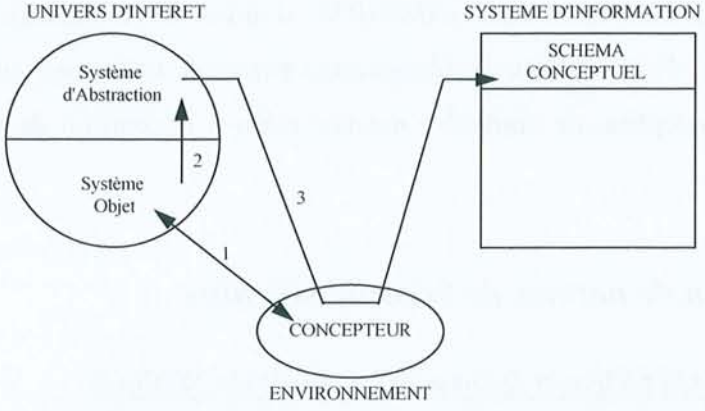
3.2.1 Méthode NIAM (Nijssen Information Analysis Method)

NIAM est une méthode de modélisation ayant pour objectif premier l'analyse de la connaissance relative à un sujet délimité. Elle est habituellement utilisée en modélisation de Systèmes d'Information. Dans le but de formaliser une connaissance, cette méthode préconise une analyse de l'information, le tout supporté par un formalisme particulier. Nous développerons sommairement ici les principales caractéristiques de la méthode NIAM afin de fixer le vocabulaire utilisé et en vue de son utilisation dans les chapitres ultérieurs. Pour plus

de précisions sur le formalisme NIAM (et ORM), nous renvoyons le lecteur en Annexe (page II) ainsi qu'aux ouvrages spécialisés précédemment cités.

3.2.2 La méthode et ses intérêts

La méthode est basée sur l'approche I.A. (Information Analysis) qui se décompose en trois étapes correspondant à trois **niveaux d'abstraction** : **conceptuel**, **fonctionnel** (ou logique), **physique** (ou organique) et perçoit **l'Univers d'Intérêt**[28] à travers deux systèmes, le **Système Objet** dans lequel « vivent » les **objets** et le **Système d'Abstraction** qui comprend l'ensemble des **règles décrivant le comportement des objets**. Ce dernier n'a aucune existence physique et résulte seulement d'un **processus mental de généralisation**. En effet, on peut exprimer des faits (ou relations) relatifs à des objets, mais il est également possible de classifier ou de regrouper les objets ayant des caractéristiques communes en **types d'objets**. La démarche globale permet de décrire de manière formelle un **Univers du Discours**, le modèle en résultant étant nommé **Système d'Information**. Comme il existe deux composantes dans l'univers d'intérêt, le Système Objet et le Système d'Abstraction, il est logique de trouver leur représentation dans le Système d'Information. On y trouve donc le **Schéma Conceptuel** qui résulte de la formalisation du Système d'Abstraction (Figure 41) mais également la **Base d'Information** qui est la représentation des faits réels donc du Système Objet (Figure 42).



1 *Observation (prise de connaissance) : observation directe, interview d'utilisateur, examen de documents existants, ...*
2 *Abstraction : types de faits, règles de cohérence, ...*
3 *Formalisation*

Figure 41 : Démarche de conceptualisation en NIAM.

[28] également appelé Univers du discours, c'est l'ensemble des « **choses** » qui nous intéressent, ou qui sont susceptibles de nous intéresser, et des **faits** qui les mettent en cause.

Pour que le Système d'Information soit une représentation cohérente de l'Univers d'Intérêt, il est nécessaire de s'assurer que tout ajout dans la Base d'Information correspond bien à un fait réel. Il est donc nécessaire de disposer, dans le Système d'Information, d'un autre composant dont le but est de vérifier que toute modification dans la Base d'Information est conforme aux règles formalisées dans le Schéma Conceptuel. C'est le rôle de **l'Applicateur de Règles Conceptuelles** (Figure 42).

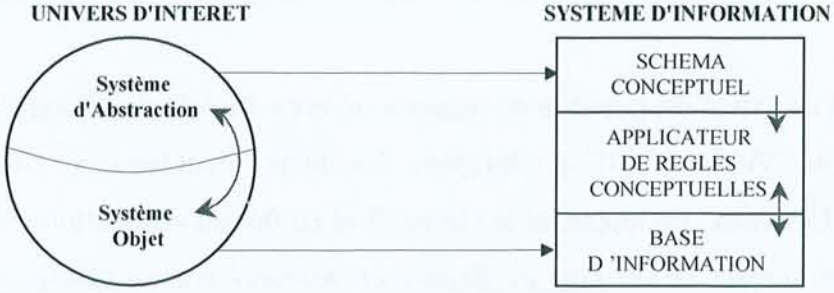


Figure 42 : Correspondance entre l'Univers d'Intérêt (réel) et le Système d'Information (modèle).

Pour concevoir le Système d'Information, la méthode s'appuie sur trois axiomes :

- **AXIOME 1 : Il y a équivalence sémantique entre l'énoncé d'un fait en langage naturel et un ensemble de phrases élémentaires.**

Une phrase élémentaire [Halpin, 1993] est une phrase qu'on ne peut pas décomposer en phrases plus courtes sans perte de sémantique, c'est pourquoi elle représente un et un seul fait. Elle doit comporter un Sujet (cela peut être un simple nom ou une expression plus ou moins complexe), un Verbe (cela peut être un verbe informatif ou une expression verbale également informative) et un Complément (cela peut également être un simple nom ou une expression plus ou moins complexe). Il est à noter que l'utilisation de NIAM/ORM nécessite, non seulement l'analyse d'une phrase, mais également l'analyse de la phrase inverse. Le Sujet devient alors Complément, et vice-versa. L'analyse de la relation inverse amène à compléter les contraintes de la relation entre les objets. Ce mécanisme permet souvent de révéler une connaissance implicite « cachée » dans l'expression d'un fait (nous un donnerons un exemple page 95).

- **AXIOME 2 : L'expression d'une phrase élémentaire dans sa structure la plus profonde met en évidence des idées et des ponts de dénomination.**

La structure la plus profonde d'une phrase consiste en l'énoncé d'une phrase exempte de raccourcis et d'ambiguïtés et doit définir son contexte. Afin d'illustrer nos propos, prenons comme exemple la phrase suivante qui sortie de son contexte présente une ambiguïté : *« J'ai*

choisi une A4. » Dans le contexte d'une papeterie, il s'agit **d'une feuille de papier** de format *A4*, tandis que dans le contexte de véhicule, il s'agit d'une **voiture** de type *A4*. Si on considère une nouvelle phrase (①) : *« Les A4 sont fabriquées par Audi. »*, son sens est évident si on sait qu'il est question de voitures. Afin d'éviter toute nouvelle confusion, avec par exemple un fabricant de papier, il faut présenter la phrase en levant toute ambiguïté : *« Le Type de Voiture désigné par le Nom de type "A4" est fabriqué par le Constructeur désigné par le Nom de marque "Audi". »*. Cette dernière phrase (②) est dénommée la **Structure la plus profonde** de la phrase ①.

Ainsi, à partir d'un **fait** il est possible de passer à un **type de fait** en faisant abstraction des objets linguistiques "A4" et "Audi" qui désignent des objets particuliers de l'Univers d'Intérêt appelés **Objets Lexicaux**. En reprenant la phrase ② et en faisant abstraction des conventions de dénomination, il reste : *« Un Type de Voiture est fabriqué par un Constructeur. »*. Cette phrase est appelée une **Idée**, les Idées sont les véhicules d'information dans le Schéma Conceptuel, et *Type de Voiture* et *Constructeur* sont des Types d'Objets NOn Lexicaux (**NOLOT** en anglais).

Enfin, en reprenant la phrase ② et en faisant cette fois abstraction du prédicat principal, il reste deux phrases : *« Un Type de Voiture est désigné par un Nom de type. »* et *« Un Constructeur est désigné par un Nom de marque. »*. Ces phrases sont appelées **Ponts de Dénomination** et ne portent aucune information mais servent uniquement à garantir la représentation des faits réels dans la base d'information. *Nom de type* et *Nom de marque* représentent, quant à eux, l'ensemble de tous les Objets Lexicaux de même type, ce sont des Types d'Objets Lexicaux (**LOT** en anglais).

NIAM/ORM permet, ainsi, la représentation des objets dans le monde réel par l'intermédiaire de LOTs permettant de caractériser les NOLOTs servant à représenter les concepts qui sont le produit de la seule activité de l'esprit. Toutefois, il est à noter que dans la suite du document, les modèles partiels NIAM/ORM, qui seront présentés, contiendront exclusivement des NOLOTs. En effet, la présentation des modèles a pour but d'illustrer la modélisation des normes à un niveau conceptuel et non pas d'exposer des parties de modèles de la base de données, ils ne seront donc pas surchargés par les LOTs associés aux NOLOTs.

- **AXIOME 3 : On peut déterminer tous les états possibles et toutes les transitions permises dans la base d'information.**

La participation d'un objet à une Idée mettant en cause le type d'objets dont il est issu peut être soumis à quelques restrictions. Il faut donc définir les **contraintes** permettant de limiter la

population de la Base d'Information aux seules valeurs possibles en accord avec les faits.

En reprenant notre exemple, on peut ainsi préciser l'Idée et dire que : *« Un Type de Voiture est fait par **un et un seul** Constructeur. »*. En effet, seul le constructeur "Audi" fabrique des "A4", il y a donc une contrainte **d'Unicité**. De même : *« **Tout** Type de Voiture est fait par un Constructeur. »*. En effet, la connaissance d'un type de voiture implique nécessairement la connaissance de son constructeur, il y a donc une contrainte de **Totalité**.

Il existe trois classes de contraintes : celles d'Etat, de Transition et Procédurales. Nous ne développerons pas plus ici ces diverses contraintes et renvoyons le lecteur aux ouvrages spécialisés déjà cités pour plus de précisions.

La démarche de formalisation consiste donc à suivre la méthode proposée par Nijssen en appliquant successivement les trois axiomes énoncés précédemment. On la trouve schématisée en partie dans [Habrias, 1988] [Collignon & Weide, 1993] et également dans [Halpin, 1998] sous le nom de CSDP (Conceptual Schema Design Procedure). Une des principales autres caractéristiques de NIAM/ORM est l'utilisation du modèle relationnel binaire qui présente l'avantage d'être déduit du langage naturel, langage universel, **évitant ainsi la familiarisation avec un jargon fastidieux**. Un autre avantage important de NIAM/ORM est de permettre la transposition directe du modèle en langage naturel (binaire) autorisant à un non spécialiste de valider le contenu du modèle. Enfin, il est à noter que depuis l'existence de NIAM, un certain nombre d'extensions à la méthode ainsi qu'à son formalisme ont vu le jour et dont des synthèses sont présentées dans [Blaise, 1996c] et [Halpin, 1998].

3.2.3 Extraction et Formalisation de la connaissance

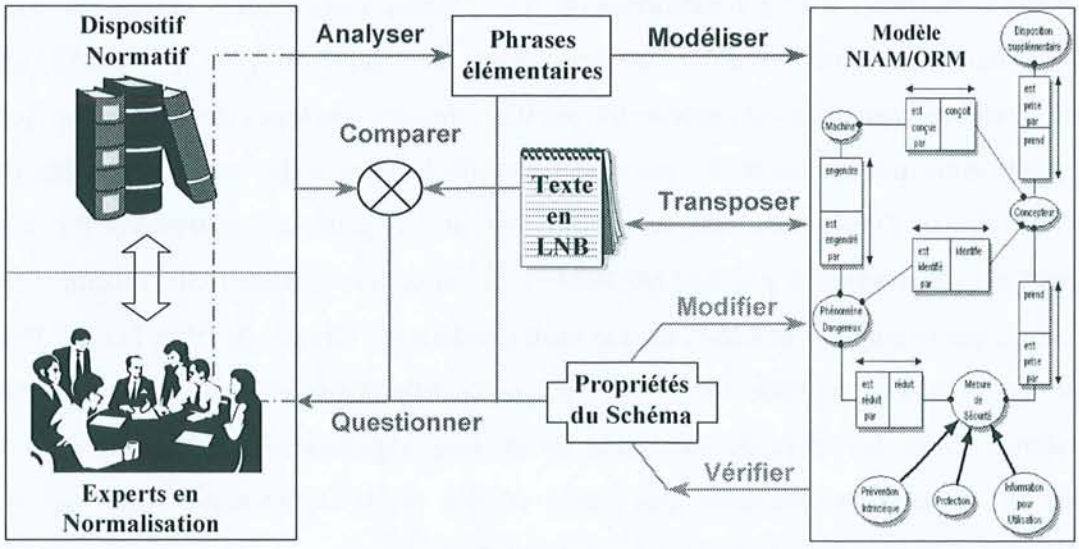


Figure 43 : Méthode NIAM d'extraction et de formalisation de la connaissance.

Ce schéma représente la démarche effective, telle que nous l'avons pratiquée, et se décompose en plusieurs étapes.

L'entrée du processus global est la connaissance initiale à formaliser, tandis que le résultat est la vue formelle de cette connaissance, résultat exploitable de ce travail de formalisation.

3.2.3.1 Extraction et formalisation

3.2.3.1.1 Analyser

La connaissance initiale à modéliser correspond à ce que la méthode NIAM/ORM appelle l'Univers du Discours. Pour ce qui nous concerne, elle regroupe les divers aspects relatifs à la sécurité et ayant un caractère normatif. Dans ce domaine de connaissance, on peut discerner deux catégories : les **textes** normatifs, documents de base à ce travail de formalisation, et les **experts**, les rédacteurs et utilisateurs de normes. Tout ce domaine détient le savoir et le savoir-faire relatifs aux aspects liés à la sécurité qu'il est nécessaire de formaliser et auparavant, dans une première étape, d'analyser.

Cette première étape correspond à une analyse sémantique de texte ou d'information orale, elle est réalisée manuellement en s'appuyant sur la méthode d'analyse de l'information préconisée par Nijssen. L'aboutissement d'une telle analyse est l'élaboration de phrases dites élémentaires support de la **connaissance** recherchée.

Au vu de l'Axiome1, cette étape correspond à un processus ne faisant subir aucune perte sémantique à l'information. Pourtant, cette transformation est homomorphe car il subsiste toujours le doute d'apporter d'éventuelles interprétations induites par la démarche « manuelle » d'analyse.

3.2.3.1.2 Formaliser

Cette étape correspond à une transformation des phrases élémentaires écrites en langage naturel en une représentation dans un formalisme spécifique proposé par NIAM/ORM. Chacune de ces informations est représentée par des concepts (ou types d'objets) ainsi que par des relations entre ces concepts. Ce passage nécessite le respect des règles imposées par le formalisme choisi. Dans notre cas, le formalisme utilisé pour la construction du schéma conceptuel est celui proposé par NIAM/ORM (il pourrait être différent en utilisant d'autres formalismes, par exemple, MERISE, tel que pratiqué dans les travaux de [Bon-Bierel, 1998]).

L'action est, ici encore, réalisée manuellement, quoiqu'elle puisse être automatisée du fait de l'équivalence entre les phrases élémentaires et leur représentation. Par ailleurs, selon l'Axiome 2, la mise en évidence des Idées et des Ponts de Dénomination, se faisant manuellement, peut ouvrir la porte à de nouvelles interprétations.

L'itération de ces processus permet un enrichissement du schéma conceptuel. Cet enrichissement correspond à une augmentation de la connaissance ainsi modélisée, donc à une meilleure **complétude**[24] (page 53) du schéma, mais qui n'assure en rien la **cohérence**[23] (page 53) de ce schéma.

3.2.3.1.3 Vérifier

Cette étape, qui concerne le schéma conceptuel, consiste en une vérification de la bonne application des règles imposées par le formalisme. Ce contrôle concerne la règle d'unicité sémantique -chaque fait n'est représenté qu'une seule fois-, la cohérence syntaxique de la représentation ainsi que la cohérence des contraintes d'un point de vue ensembliste. Le résultat de ce contrôle produit une « liste » d'erreurs, autrement dit de non respect des règles. Ce processus de vérification est le plus souvent automatisé sur les outils logiciels support de NIAM/ORM.

A ce stade de la démarche une correction est obligatoire. Pour chaque erreur identifiée émerge un ou plusieurs problèmes de natures différentes mais ayant essentiellement deux causes : soit une erreur d'ordre syntaxique a été introduite lors des précédentes phases, soit une erreur d'ordre sémantique due à une connaissance initiale trop floue.

La correction d'erreurs de type syntaxique est relativement triviale et est effectuée rapidement grâce à une simple relecture du texte de base comprenant la connaissance concernée. Par contre, les erreurs dues à une connaissance initiale floue, qui a sûrement posé des problèmes de compréhension lors de l'analyse, relèvent d'une interprétation très subjective (ce que le cogniticien ne peut se permettre). Elle nécessite donc le recours à des experts (par le processus « Questionner ») dont la réponse constitue une nouvelle connaissance à modéliser.

Cette démarche est réitérée jusqu'à l'obtention d'un schéma conceptuel cohérent et complet, en formalisme NIAM/ORM, support d'une vue formelle de la connaissance. C'est ce schéma qui est le résultat exploitable de ce processus de formalisation.

3.2.3.2 Transposer

Afin d'accroître son efficacité cette démarche est associée à un autre processus plus orienté vers la validation, qui consiste en une transposition de ce schéma en une vue plus « vulgarisée » de son contenu : on cherche, en effet, à reformuler le contenu sémantique du schéma afin de le rendre compréhensible pour un non-spécialiste du formalisme de représentation. Le résultat de cette transposition est un texte en Langage Naturel Binaire (LNB). Ce processus est cette fois-ci isomorphe, il y a une correspondance sémantique totale entre le schéma et son expression en LNB, seule la représentation change! Ainsi, cette

traduction est automatisable (et automatisée dans les outils qui supportent NIAM/ORM) et permet de garantir l'isomorphisme total en évitant de (toujours !) probables erreurs manuelles.

3.2.3.3 Comparer

On dispose, grâce à l'étape précédente, d'une représentation en langage naturel permettant de confronter le résultat de la modélisation avec la connaissance initiale, elle-même exprimée en langage naturel. On compare donc **deux représentations d'une sémantique sensée être unique dans une même syntaxe** : une étant la connaissance initiale, l'autre étant une reformulation de sa représentation formelle. La comparaison s'en trouve facilitée et la découverte d'éventuelles erreurs est plus aisée.

La comparaison aboutit, à l'instar du processus « Vérifier », à une liste d'erreurs. L'estimation de l'écart entre les deux formes de représentation de la connaissance est totalement arbitraire et subjective : si on estime que la représentation formelle n'est pas suffisamment conforme à la connaissance initiale, alors une nouvelle itération de la démarche est nécessaire (par le processus « Questionner »).

Le recours à la connaissance de l'expert est toujours une solution, pourtant, si aucune réponse provenant de l'univers du discours n'est donnée, donc si un doute subsiste, l'analyste doit faire des hypothèses qui, si elles s'avèrent cohérentes avec le modèle existant, sont intégrées à ce dernier moyennant des explications et une mise en garde de la part du cogniticien [Sharp, 1998].

3.2.3.4 Conclusion

Comme nous l'avons vu, la première partie, d'extraction et de formalisation, permet, à elle seule, d'obtenir le résultat escompté, c'est-à-dire passer de n'importe quelle connaissance en sa représentation formelle. Pourtant l'ajout d'un processus de contrôle s'avère non seulement utile mais également nécessaire. Il permet une analyse plus fine des écarts potentiels mais, en plus, il interdit une éventuelle pollution de la connaissance étant donné qu'il boucle sur la première partie de la démarche. Enfin, il permet d'obtenir une vue formelle mais cette fois-ci compréhensible par des non-spécialistes du formalisme utilisé. Notons, cependant, quelques limites connues de NIAM [Habrias, 1993] liées à ses bases ensemblistes et à l'utilisation d'une logique du premier ordre. La limite de cette logique à exprimer des propriétés sur les relations (en particulier les notions d'implications) a contribué à la création des logiques d'ordre supérieur. Ces logiques posant encore des problèmes de modalité et de raisonnements qualitatifs, les logiques modales ont été introduites dont notamment, la logique temporelle

([Mc Dermott, 1982] décrit une logique temporelle où il distingue des temps, des états, des faits et des événements) et la logique déontique (qui permet de distinguer les faits obligatoires et autorisés). Ces logiques ont été appliquées, par exemple, par [Faiz, 1996] pour l'analyse de corpus de textes de lois. La logique temporelle permettant de modéliser des notions de délais et de dates (notions que nous ne retrouvons pas dans les normes de sécurité des machines), tandis que la logique déontique lui a permis de dissocier les faits obligatoires des faits autorisés. Néanmoins, ces logiques ne possèdent pas les avantages primordiaux de NIAM pour nos travaux, à savoir la capacité de faciliter la validation du modèle auprès des experts et la possibilité de passer d'un modèle conceptuel à un modèle relationnel. Par contre, un rapprochement de telles logiques avec NIAM aurait été un apport certain. Il est évidemment possible d'envisager de tels travaux, dans le futur, comme complément à la méthode NIAM de la même façon qu'un rapprochement entre NIAM et la logique floue (Fuzzy-NIAM) a été tenté [Zgorzelski & Zalewski, 1996], ainsi qu'un rapprochement de NIAM et d'une décomposition fonctionnelle (NIAM-IDEF) [Zgorzelski & Zgorzelska, 1993]. Enfin comme l'affirme [Kayser, 1997] : « Si l'on voit l'univers comme composé d'*entités stables*, sur lesquelles on dispose d'une connaissance *complète*, la logique du premier ordre est un excellent système de représentation. ». C'est donc en postulant qu'une norme est effectivement composée **d'entités stables** et que, par rapport à son domaine d'application, elle met à disposition une connaissance **complète** d'un point de vue de la sécurité, que nous choisissons d'appliquer la méthode NIAM.

De plus, concernant la représentation des obligations et des interdictions, il est à noter que nous représentons les obligations en NIAM/ORM, entre autres, par la contrainte de totalité. Sa présence implique, en effet, une obligation à tous les éléments d'un ensemble à participer à une relation, son absence étant, alors, traduite comme une permission. Concernant la représentation des interdictions, nous discernons deux types principaux :

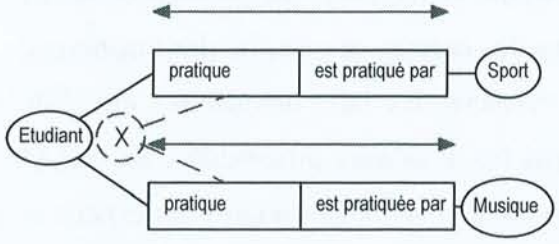
- les interdictions de type « implicite », les faits non représentés n'existent pas.

Une relation, qu'on chercherait à établir, dans un univers donné, et qui ne serait pas représentée par un fait est interdite. Il faut, toutefois, moduler un tel énoncé car, tout ce qui n'est pas dit n'est pas forcément interdit, il peut simplement s'agir de faits implicites. D'où le rôle important du cogniticien qui doit veiller à ne pas sombrer ni dans un monde d'interdiction ni, au contraire, trop laxiste.

- les interdictions de type « explicite », exprimées par des contraintes.

Par exemple, la représentation par une contrainte d'exclusion interdit qu'un élément d'un ensemble, qui participe à une relation, participe à une autre relation. Soit le schéma

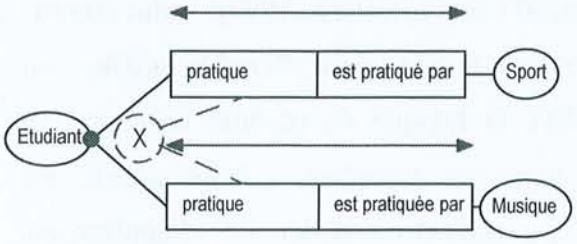
NIAM/ORM suivant qui signifie qu'un étudiant pratique, soit du sport, soit de la musique, il est donc **interdit** qu'il pratique les deux à la fois, par contre il est **possible** qu'un étudiant ne pratique ni l'un ni l'autre.



Un Etudiant peut pratiquer un ou plusieurs Sports, un Sport peut être pratiqué par un ou plusieurs Etudiants. Un Etudiant peut pratiquer une ou plusieurs Musiques, une Musique peut être pratiquée par un ou plusieurs Etudiants. Un étudiant pratique soit du Sport, soit de la Musique.

Figure 44 : Contrainte d'exclusion entre rôles dans un schéma NIAM/ORM.

Rajoutons une contrainte de totalité entre rôles à ce schéma, cela signifie qu'il est **obligatoire** que tout étudiant, dans l'univers considéré, pratique soit un sport, soit de la musique. Il est, de plus, **interdit** qu'il pratique autre chose que du sport ou de la musique.



Un Etudiant peut pratiquer un ou plusieurs Sports, un Sport peut être pratiqué par un ou plusieurs Etudiants. Un Etudiant peut pratiquer une ou plusieurs Musiques, une Musique peut être pratiquée par un ou plusieurs Etudiants. Tout étudiant pratique soit du Sport, soit de la Musique.

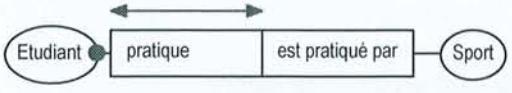
Figure 45 : Contrainte de totalité entre rôles dans un schéma NIAM/ORM.

Considérons, maintenant, la représentation d'une **interdiction** par une contrainte d'unicité sur rôle. Soit le schéma NIAM/ORM suivant qui signifie que si un étudiant pratique un sport, il est **interdit** qu'il en pratique un autre.

Un Etudiant peut pratiquer un et un seul Sport, un Sport peut être pratiqué par un ou plusieurs Etudiants.

Figure 46 : Contrainte d'unicité sur rôle dans un schéma NIAM/ORM.

Comme précédemment, si une contrainte de totalité sur rôle est ajoutée à ce schéma, cela signifie qu'il est **obligatoire** que tout étudiant, dans l'univers considéré, pratique un et un seul sport.

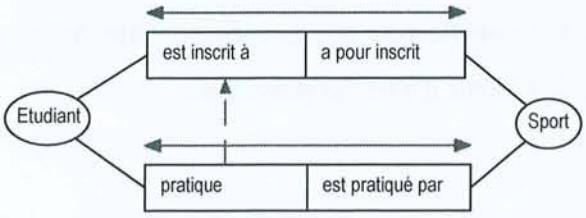


Chaque Etudiant pratique un et un seul Sport, un Sport peut être pratiqué par un ou plusieurs Etudiants.

Figure 47 : Contrainte de totalité sur rôle dans un schéma NIAM/ORM.

S.C.D. - U.H.P. NANCY 1
BIBLIOTHÈQUE DES SCIENCES
Rue du Jardin Botanique
54600 VILLERS-LES-NANCY

Considérons, enfin, la contrainte d'inclusion entre rôles sur le schéma NIAM/ORM suivant.



Un Etudiant peut pratiquer un ou plusieurs Sports, un Sport peut être pratiqué par un ou plusieurs Etudiants. Un Etudiant peut être inscrit à un ou plusieurs Sports, un Sport a pour inscrit un ou plusieurs Etudiants. L'ensemble des Etudiants pratiquant un Sport est un sous ensemble des Etudiants inscrits à ce Sport.

Figure 48 : Contrainte d'inclusion entre rôles dans un schéma NIAM/ORM.

Cette contrainte indique aussi bien une **obligation** : un étudiant qui pratique un sport **doit nécessairement** être inscrit à ce sport, qu'une **interdiction** : il est **interdit** qu'un étudiant, dans l'univers considéré, pratique un sport sans y être inscrit.

Ainsi, les diverses contraintes liées à des relations en NIAM/ORM permettent de limiter par l'interdiction, ou l'obligation, les faits d'un univers considéré. Globalement, si un élément ne respecte pas les contraintes assignées à l'ensemble auquel il appartient, il est interdit qu'il fasse partie de cet ensemble, ou bien, les contraintes de l'ensemble sont erronées.

3.3 Application de la démarche de formalisation aux normes de sécurité

3.3.1 Comment appliquer NIAM aux normes de sécurité ?

Chaque texte normatif doit être analysé **phrase par phrase** pour en dégager les objets du domaine étudié et les rôles qu'ils jouent les uns par rapport aux autres (et qui justifient leur prise en compte).

La représentation graphique de ces relations dans un modèle NIAM/ORM s'accompagne de la formalisation de règles (contraintes d'intégrité) qui toutes, qu'il s'agisse d'obligations ou d'interdictions, contribuent à **limiter les possibilités d'interprétation** du texte.

Différentes parties du texte peuvent évoquer le même concept : la définition NIAM/ORM d'un objet se construit par accumulation des rôles qu'il joue, au fur et à mesure de la progression dans le texte.

Toute introduction d'une relation dans le modèle impose de déterminer les règles de cohérence qui la rattachent aux autres relations déjà identifiées.

Pour l'ensemble du dispositif normatif, il est raisonnable de procéder à une analyse **norme par norme** (puisqu'il s'agit d'un découpage naturel de l'univers étudié). Il faut néanmoins veiller à articuler les différents modèles autour de leurs objets communs, ce qui suppose une **comparaison des modèles** au-delà des barrières que dressent, à première vue, les différences

entre termes pourtant relatifs au même concept.

La démarche adoptée conduit à **balayer systématiquement la totalité d'un texte** : aucun passage ne peut être négligé, ce qui, néanmoins, ne signifie pas que chaque mot trouve sa place dans le modèle, tout mot n'étant pas forcément vecteur d'une connaissance.

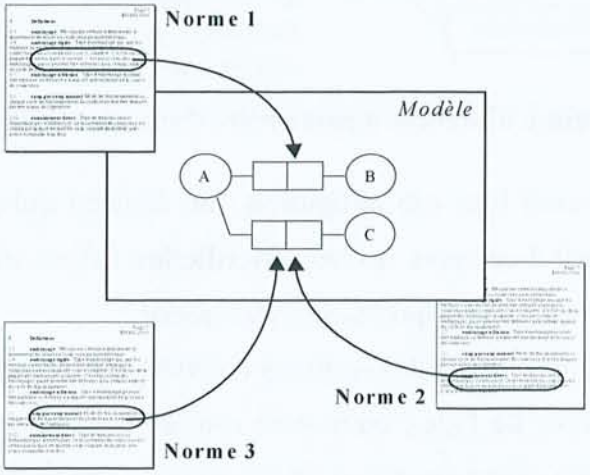


Figure 49 : Formalisation de l'ensemble du dispositif normatif.

En tant que technique d'analyse, NIAM/ORM se prête particulièrement bien à :

- dissocier le fond de la forme : en d'autres termes, retrouver les phrases significatives (la connaissance) sous une multitude d'entités textuelles (l'information),
- trouver que différentes expressions correspondent à un même concept.

Les énoncés qui introduisent des conditions ne se décortiquent pas facilement en relations élémentaires (à cause des dépendances entre les différentes propositions, au sens grammatical du terme, qui les composent) : ils apparaîtront, dans le modèle, sous forme de contraintes particulières, dites **procédurales** (vu le côté algorithmique de leur définition). Il en va de même pour les contraintes relatives à des valeurs.

Pour résumer :

Afin d'extraire et de modéliser le contenu normatif, l'analyste doit respecter l'ensemble des processus identifiés et décrits précédemment. Nous résumons ici les grands principes à mettre en œuvre pour modéliser les normes :

- lecture du texte afin de se familiariser avec le contenu,
- analyse du texte et passage à des phrases élémentaires,
- passage au formalisme graphique et enrichissement du schéma conceptuel,
- validation auprès des experts,
- mise en évidence de redondances, de contradictions, de manques, …,
- vérification globale du texte modélisé, validation auprès des experts.

La formalisation doit se faire dans l'ordre chronologique des paragraphes du texte afin d'éviter tout oubli de texte. Elle conduit à ce que nous appelons une « sur-spécification » par sous-schémas qui est éliminée par le regroupement en un schéma conceptuel complet. Pour la validation, le schéma conceptuel complet « à plat » ne peut être présenté en l'état aux experts, il convient donc de le fractionner par thèmes. Ces thèmes peuvent être des concepts importants regroupant un nombre important de relations, ou ils peuvent simplement correspondrent au découpage initial du texte en paragraphes, mais le regroupement préalable est préférable car il permet de mettre en évidence les contradictions, redondances ou encore oublis.

3.3.2 Quelles normes formaliser ?

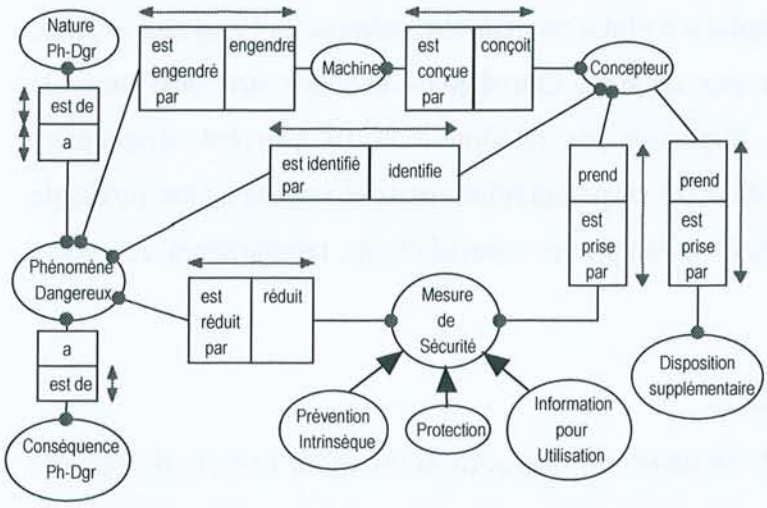
Nous avons présenté, au § 1.1.2.2, la structure du dispositif normatif en matière de sécurité des machines, sans citer en détail tous les textes de norme qui le composent [New Approach, 2000]. Il n'est pas raisonnable de vouloir formaliser l'ensemble de ce dispositif, du moins en une seule fois. Cependant, nous pouvons noter que tout ce dispositif est articulé autour d'une même norme : la norme NF EN 292 [NF_EN_292, 1991], qui est en quelque sorte un « modèle de référence » pour les autres normes de sécurité des machines, et également autour d'une autre norme : la norme NF EN 414 [NF_EN_414, 1992], qui est en quelque sorte le méta-modèle des normes. Afin de mieux comprendre les règles d'élaboration et de présentation d'une norme de Sécurité machine, nous avons analysé dans un premier temps la norme NF EN 414. Cependant, notre but n'étant pas de vérifier les normes par rapport à leur méta-modèle (c'est le rôle des normalisateurs), nous avons finalement modélisé la norme de référence NF EN 292.

3.3.3 Formalisation de la norme NF EN 292

La démarche de formalisation de la connaissance est appliquée ici à la connaissance relative à la sécurité des machines, contenue dans la norme NF EN 292 [Blaise, 1996a] [Blaise, 1996b] [Blaise et al., 1999a]. Cette norme représente le cœur de la normalisation en matière de sécurité des machines, c'est elle qui donne les notions fondamentales et les principes généraux de sécurité en conception des machines. Elle est composée de deux parties, la première présente la terminologie de base et la méthodologie globale de l'intégration de la sécurité en conception, la deuxième présente les principes techniques et les spécifications de cette intégration.

Le modèle NIAM/ORM (voir Annexe p XVI) de la norme NF EN 292, élaboré dans le cadre

de nos travaux, est composé de **172 Objets** et **159 Relations**, nous en présentons ici un schéma synthétique regroupant les concepts primordiaux de cette norme (Figure 50).



Potentiellement, une machine engendre un ou plusieurs phénomène(s) dangereux, chaque phénomène dangereux est engendré par une ou plusieurs machine(s).

Une mesure de sécurité est nécessairement une prévention intrinsèque ou une protection ou une information pour l'utilisation, une mesure de sécurité ne peut être à la fois une prévention intrinsèque, une protection et une information pour l'utilisation.

Chaque phénomène dangereux a une et une seule nature, chaque nature est de un et un seul phénomène dangereux.

Figure 50 : Schéma conceptuel "synthétique" de la norme NF EN 292 en formalisme NIAM/ORM et la transposition en Langage Naturel Binaire de quelques "faits".

Nous renvoyons le lecteur à [Blaise, 1996a] et [Blaise, 1996b] pour une explication détaillée de la modélisation de la norme NF EN 292 en suivant les procédures décrites précédemment. Dans ces références, se trouvent également de nombreux commentaires quant aux hypothèses et choix d'analyse. Nous citerons uniquement, dans le présent document, un exemple caractéristique de redondance et de recours à l'avis d'experts, relativement aux notions de « risque » et de « phénomène dangereux ». Cela provient en fait de l'amalgame qui est fait dans la norme entre ces deux notions. Le § 3.5 de la norme introduit la notion de « risque/phénomène dangereux », alors que le §3.7 introduit la notion de « risque ». La première ayant une connotation physique tandis que la deuxième a une connotation de valeur. Un des problèmes est que, plusieurs fois dans la norme, est réutilisée la notion de « risque » mais sans préciser sa connotation. La réponse à ce problème a été apportée par un expert, rédacteur de cette norme, qui a suggéré une « astuce » consistant à se référer à la traduction en anglais. En effet, la langue française utilise le même mot « risque » pour dénommer aussi bien une notion d'éventualité -de valeur- qu'une notion de situation physique dangereuse -de péril. Par contre, la distinction est effectuée en langue anglaise (comme en langue allemande d'ailleurs) : pour le premier, le mot Risk (Risiko en Allemand) et, pour le deuxième, Hazard (Gefährdung). Ainsi, selon le sens à donner, on sait quel mot utiliser. Dans la modélisation, la nuance est faite par l'utilisation séparée de « risque » et « phénomène dangereux ». De même,

pour tous les mots composés avec le mot risque, la distinction de leur famille d'appartenance a été réalisée à l'aide de l'Annexe B de la norme qui fournit la traduction Français-Anglais-Allemand.

L'application de la démarche de formalisation à la norme NF EN 292 a permis de démontrer la faisabilité de modélisation de textes normatifs en matière de sécurité. Pourtant, cette norme apportant une connaissance trop générale pour être facilement intégrée en conception, nous avons opté pour la modélisation d'une norme de type C, dite norme « produit » contenant des prescriptions plus techniques. Toutefois, ces normes de type C n'existent actuellement que pour les quelques machines qui s'avèrent être les plus dangereuses[29]. Ainsi pour la réalisation de nombreuses autres machines, les concepteurs ne disposent que des normes de type A et B et, dans ce cas, la norme NF EN 292 est incontournable, elle a d'ailleurs déjà fait l'objet de travaux en vue de faciliter son exploitation [INRS, 1994] [Gauthier, 1995].

3.3.4 Formalisation de la norme NF EN 692

La norme NF EN 692 [NF EN 692, 1998] a été retenue car c'est une norme « produit » qui contient des prescriptions précises et complètes relatives aux **presses mécaniques** (elle constitue, au sein du dispositif normatif, une sorte de « norme de référence » en matière de développement de norme de type C). Ce choix a également été motivé par la disponibilité du savoir-faire des experts de l'INRS dans ce domaine et par le fait que la sécurité sur ce type de machine revêt une place importante.

Le modèle NIAM/ORM (voir Annexes p. X) résultant de la norme NF EN 692 est composé de **437 Objets** et **355 Relations**. Nous en présentons ici quelques extraits ainsi que les diverses réflexions engendrées par la modélisation. Ces extraits sont relatifs à diverses contraintes qu'impose, ou propose, la norme aux concepteurs. Ces contraintes sont de différents types :

- **Des passages obligés, forcés par la norme**.

Exemple : l'interdiction de pouvoir déconnecter un poste de commande comportant un dispositif d'arrêt d'urgence).

Texte de la norme :

5.4.8.3 : il doit y avoir au moins un arrêt d'urgence à portée de main de chaque opérateur ... Aucun poste pouvant être déconnecté ne doit comporter d'arrêt d'urgence.

Comme la démarche, présentée Figure 43, le préconise, il est tout d'abord nécessaire

[29] En particulier les machines listées dans l'Annexe IV de la directive 98/37/CE (selon le § 6.3.2.2 de la norme [NF_E_09-000, 1993]).

d'analyser ce texte de la norme : il comprend deux parties qui sont traitées séparément.

① **Il doit y avoir au moins un arrêt d'urgence à portée de main de chaque opérateur.**

L'analyse de ce texte de norme consiste, dans un premier temps, à passer d'une forme impersonnelle (**il doit y avoir**) à une phrase de type Sujet, Verbe et Complément (phrase élémentaire) ayant la même signification :

Chaque Opérateur doit avoir à portée de main au moins un Arrêt d'urgence.

Cette nouvelle formulation de ① comporte bien un sujet (**Opérateur**), un verbe (**avoir à portée de main**) et un complément (**Arrêt d'urgence**). Elle fait aussi apparaître des contraintes :

- « **chaque** » exprime une contrainte de totalité qui signifie qu'il ne peut pas y avoir d'opérateur (dans l'ensemble des opérateurs considérés dans l'univers d'intérêt étudié) qui ne satisfasse pas cette phrase. Il est à noter que « **doit** » ne fait que renforcer cette obligation. En effet, tel que le soulignent [Mayer, 1995] et [Petin, 1995], en s'appuyant sur les propositions de [Coquet, 1989], la contrainte de totalité exprime une modalité que l'on peut traduire par le verbe « devoir » lorsqu'elle est présente et par le verbe « pouvoir » lorsqu'elle est absente. En ce sens dans l'énoncé de la phrase , « **chaque** » et « **doit** » sont redondants. On peut donc simplifier cette expression sans perdre de signification en :

❶ *Chaque Opérateur a à portée de main au moins un Arrêt d'urgence.*

- « **au moins un** » signifie qu'il y a de 1 à n (n appartenant à l'ensemble des entiers naturels, et étant supérieur à 1) arrêts d'urgence satisfaisant la relation avec l'ensemble des opérateurs. Cette cardinalité est, en fait, une composition d'une contrainte de totalité et d'une non contrainte d'unicité. En effet, la contrainte de totalité exprime la cardinalité minimale de la relation. Puisque « **chaque** » opérateur doit être en relation avec un arrêt d'urgence, l'existence de cette relation impose qu'« **au moins un** » arrêt d'urgence soit défini pour tout opérateur. L'absence d'une telle contrainte aurait signifié que, potentiellement, un opérateur pouvait ne pas être en relation avec un arrêt d'urgence ou, autrement dit, que la cardinalité minimale serait ***Zéro***. La non contrainte d'unicité fixe, quant à elle, la cardinalité maximale, signifiant que, pour un opérateur donné, il peut y avoir **plusieurs** (>1) arrêts d'urgence satisfaisant la relation. Si une contrainte d'unicité avait été exprimée dans cette phrase, la cardinalité maximale aurait été de ***Un***, dans ce cas, la contrainte de totalité fixant la contrainte minimale à 1 et la contrainte d'unicité fixant la contrainte maximale à 1, il y aurait eu obligation pour chaque opérateur d'être en relation avec un et un seul Arrêt d'urgence. Nous pouvons donc reformuler la phrase ❶ sans perdre de sémantique en :

❷ *Chaque Opérateur a à portée de main un ou plusieurs Arrêts d'urgence.*

La suite de l'analyse, telle que proposée par la méthode NIAM/ORM, nécessite l'étude de la relation inverse entre les objets en relation, c'est-à-dire en donnant le statut de sujet à l'objet qui apparaît comme complément et le statut de complément à celui qui apparaît comme sujet. Dans notre exemple, l'expression est alors la suivante :

❸ *Un Arrêt d'urgence est à portée de main d'un Opérateur.*

Dans cette phrase, il n'y a pas de contrainte (ni totalité, ni unicité). En fait, elles sont implicites car non énoncées dans le texte de norme étudié. Ce mécanisme d'inversion de phrase est d'ailleurs un des points forts de l'analyse car il permet de révéler une connaissance implicite, qu'il s'agit de rendre explicite pour éviter toute interprétation dans la nature de la relation (injection, surjection, bijection, ... ?) et pour pouvoir la formaliser. C'est ici que le rôle du cogniticien est important pour assurer cette transformation d'une connaissance implicite en une connaissance explicite (comme illustrée en Figure 29). Dans notre cas, le recours à des experts a permis de valider l'absence effective de contraintes (d'unicité et de totalité). En effet, il est possible qu'un Arrêt d'urgence soit à portée de main de plusieurs Opérateurs et, il est également possible, qu'un Arrêt d'urgence ne soit à portée de main d'aucun Opérateur. La phrase ❸ est alors reformulée en :

❹ *Un Arrêt d'urgence est (potentiellement) à portée de main d'un ou plusieurs Opérateurs.*

Les termes « *Un* » et « *potentiellement* » expriment l'absence de totalité et « *un ou plusieurs* » l'absence de contrainte d'unicité. Disposant donc des phrases ❷ et ❹, la formalisation en notation NIAM/ORM est la suivante :

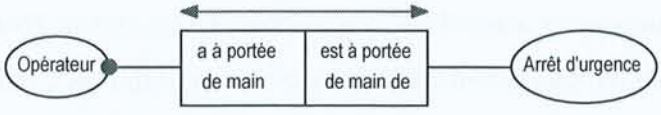


Figure 51 : Modèle NIAM/ORM correspondant au texte de la norme ①.

Il faut ensuite analyser la deuxième partie du texte de la norme proposé dans cet exemple :

② Aucun poste pouvant être déconnecté ne doit comporter d'arrêt d'urgence.

L'analyse de cette partie de texte révèle une ambiguïté introduite par la présence du terme « **aucun** ». Il s'avère qu'il renforce la négation sur le verbe et qu'il peut être remplacé, après avis d'un expert, par « chaque ».

Chaque poste pouvant être déconnecté ne doit pas comporter d'arrêt d'urgence.

L'analyse de ce texte fait apparaître deux phrases et une contrainte entre ces phrases :

③ : *Un Poste peut être déconnecté* ou (exclusif) ④ : *Un Poste comporte un Arrêt d'urgence.*

La phrase ③ n'est pas de type Sujet Verbe Complément, il manque, en effet, le complément : par qui un poste peut-il être déconnecté ? C'est un « silence » de la norme qui est éliminé par l'adjonction du complément « Opérateur ». De plus, la discussion avec des experts permet de préciser la notion de poste par celle de « poste de commande », d'où la phrase élémentaire :

❶ : *Un Poste de commande peut être déconnecté par un ou plusieurs Opérateurs*

Comme précédemment, les contraintes sont implicites. Elles sont, à nouveau, rendues explicites par le cogniticien et le recours aux experts. A priori, il existe des postes qui peuvent ne pas être déconnectés et s'ils peuvent l'être, c'est par un ou plusieurs opérateurs.

L'utilisation de la méthode d'analyse NIAM/ORM nécessite alors d'étudier la relation inverse :

❷ : *Un Opérateur (potentiellement) déconnecte un ou plusieurs Postes de commande.*

Encore une fois, les contraintes sont explicitées et l'analyse permet d'aboutir au schéma NIAM/ORM suivant.

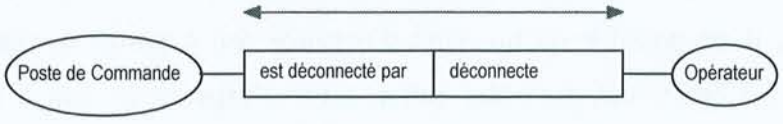


Figure 52 : Modèle NIAM/ORM correspondant au texte de la norme ③.

L'analyse est poursuivie avec la phrase ④. Une fois les contraintes explicitées, les phrases élémentaires ❸ et ❹ et le schéma NIAM/ORM correspondant (Figure 53) sont élaborés.

❸ : *Un Poste de commande (potentiellement) comporte un ou plusieurs Arrêts d'urgence.*

❹ : *Un Arrêt d'urgence (potentiellement) appartient à un et un seul Poste de commande.*

Il est à noter que l'explicitation des contraintes a permis de définir une contrainte d'unicité sur le rôle joué par Arrêt d'urgence vis-à-vis de Poste de commande, un Arrêt d'urgence ne pouvant appartenir qu'à un seul Poste de commande.

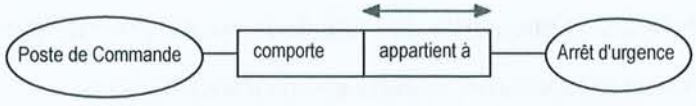


Figure 53 : Modèle NIAM/ORM correspondant au texte de la norme ④.

Ensuite, en reformulant le texte de la norme ② avec les phrases élémentaires ❶ et ❸, on obtient la condition suivante :

Un Poste de commande vérifiant ❶ implique que ce poste ne doit pas vérifier ❸.

Par contre, le texte de la norme ne fournit pas de précisions sur l'implication inverse :

Un Poste de commande vérifiant ❸ peut-il vérifier ❶ ?

C'est une connaissance implicite, explicitée par le recours aux experts qui excluent cette possibilité. L'analyse globale permet donc d'aboutir à une exclusion, entre deux faits, représentée, en NIAM/ORM, par une contrainte d'exclusion entre rôles (Figure 54).

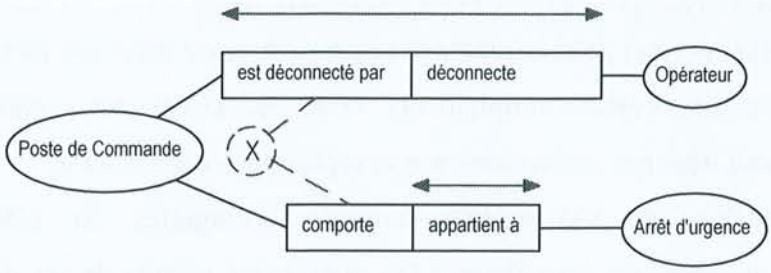


Figure 54 : Modèle NIAM/ORM correspondant au texte de la norme ②.

Il s'agit donc, ici, d'une exclusion entre deux faits. Considérons un concepteur de machine devant utiliser cette partie de la norme. Par rapport à la contrainte d'exclusion, il devra nécessairement faire un choix. Si, par exemple, il installe un arrêt d'urgence sur un poste qui est a priori déconnectable, il est difficile d'envisager un opérateur qui démonte l'arrêt d'urgence pour pouvoir déconnecter son poste ! Le concepteur devra donc revoir son choix de conception et n'installera pas d'arrêt d'urgence. Par contre, si le concepteur choisit tout de même d'installer un arrêt d'urgence, il doit tout mettre en œuvre pour que l'opérateur ne puisse pas déconnecter le poste sur lequel l'arrêt d'urgence est installé. Le choix d'une possibilité de déconnexion ou d'installation d'arrêt d'urgence est un choix de conception exclusif et irréversible, c'est au concepteur de privilégier une des deux configurations. Cet exemple permet ainsi d'illustrer le parcours dans un modèle en fonction de son point d'entrée.

- **Des choix qui doivent être faits par le concepteur**.

Exemple : choix de mesures contre le risque thermique relatif aux parties accessibles de la presse.

Texte de la norme :

5.8.2 Risques thermiques : Pour empêcher les brûlures dues aux parties accessibles de la presse dont les températures peuvent dépasser les valeurs des températures limites spécifiées dans le prEN 563 comme les freins, les embrayages et parties de circuits hydrauliques, on doit prendre des mesures du type installation d'écrans, isolation ou autres.

Ce texte de norme comporte plusieurs verbes informatifs. Il convient donc, dans un premier temps, de le découper en phrases plus courtes (nous référencerons ces différentes phrases par les références TNi) et d'isoler les éventuelles phrases comportant des ambiguïtés et qu'il est nécessaire d'analyser.

TN1 : La Presse a des Parties Accessibles

TN2 : Les Parties Accessibles ont une Température (que nous désignerons par Température PA)

TN3 : Les Températures PA peuvent dépasser les valeurs des températures limites spécifiées dans le prEN 563

TN4 : Les freins, les embrayages et les parties de circuit hydraulique sont des Parties Accessibles

TN5 : On doit prendre des mesures pour empêcher les brûlures dues aux parties Accessibles

TN6 : Les mesures sont de type installation d'écrans, isolation ou autres.

Cette première analyse permet de reformuler des parties du texte dans une forme proche d'une phrase élémentaire (Sujet, Verbe, Complément). Toutefois, TN3 et TN5 ne sont pas sous cette forme et, de plus, sont liées par une condition non représentée dans les TNi.

Tout d'abord, l'analyse de TN3 soulève quelques ambiguïtés. En effet, sont-ce les Températures PA qui dépassent les valeurs ? Ou, sont-ce les valeurs de ces températures, qui sont supérieures aux valeurs limites ? Par ailleurs, la notion de limite se rapporte-t-elle aux valeurs ou aux températures ? L'analyse permet de montrer que, dans la norme, un amalgame est fait entre le concept de température et sa ou ses valeurs. En NIAM/ORM, cette distinction se fera par des ponts de dénomination, où le NOLOT Température sera désigné par un LOT Valeur. Nous choisissons de ne représenter TN3 qu'à partir des notions conceptuelles de températures :

TN3$_1$: Les Températures PA peuvent dépasser des Températures limites.

TN3$_2$: Les Températures limites sont spécifiées dans le prEN 563.

Plutôt que de mettre en relation « **Température PA** » avec « **Température limite** », nous choisissons d'associer TN3$_1$ est TN2, en prenant l'hypothèse que ce sont les Parties Accessibles qui dépassent les Températures limites, permettant, ainsi, d'établir la nouvelle relation :

TN3 bis : Les Parties Accessibles peuvent dépasser des Températures limites.

Considérons ensuite la phrase TN5. Elle peut être découpée en deux parties. La première reformule la forme impersonnelle, la forme « **On doit prendre** » étant adressée à l'utilisateur de la norme, elle fait partie du contexte, elle peut être reformulée ainsi :

TN5$_1$: Des mesures empêchent les brûlures.

TN5$_2$: Les brûlures sont dues aux parties Accessibles .

En poussant l'analyse, il s'avère que le terme « **les brûlures** » ne fait que spécifier les conséquences du phénomène dangereux engendré par les parties accessibles, le concept de « **mesures** » étant en relation avec « **parties accessibles** » plutôt qu'avec « **brûlures** » qui permet de justifier et de qualifier les mesures, une nouvelle reformulation de TN5 est donc faite.

TN5 bis : Des mesures, pour empêcher les brûlures, concernent les parties Accessibles.

Considérons, enfin, les conditions entre TN3 bis et TN5 bis : si **des Parties Accessibles peuvent dépasser des Températures limites** alors **ces Parties Accessibles sont concernées par des Mesures, pour empêcher les brûlures (TN7).**

La reformulation du texte initial de la norme étant terminée, notre démarche consiste en l'élaboration des phrases élémentaires correspondantes (nous les référencerons par les références *PEi*). Comme dans l'exemple précédent, la plupart des contraintes sont implicites, aussi bien pour les phrases élémentaires déduites du texte que pour les phrases élémentaires inverses (nous les référencerons par les références PEi^{-1}). Le cogniticien a recours aux experts pour les expliciter ainsi que pour valider les phrases élémentaires qu'il propose.

TN1 : La Presse a des Parties Accessibles.

→ *PE1 : Chaque Presse a une ou plusieurs Parties Accessibles.*

$PE1^{-1}$: Chaque Partie Accessible est de une et une seule Presse.

Figure 55 : Modèle NIAM/ORM correspondant au texte de la norme TN1.

TN2 : Les Parties Accessibles ont une Température PA.

→ *PE2 : Chaque Partie Accessible a une ou plusieurs Températures PA.*

$PE2^{-1}$: Chaque Température PA est de une ou plusieurs Parties Accessibles.

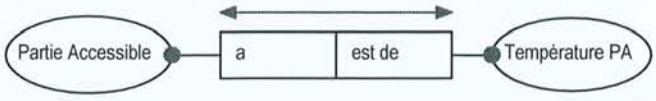


Figure 56 : Modèle NIAM/ORM correspondant au texte de la norme TN2.

TN3 bis : Les Parties Accessibles peuvent dépasser des Températures limites.

→ *PE3 : Une Partie Accessible dépasse une ou plusieurs Températures limites.*

$PE3^{-1}$: Une Température limite est dépassée par une ou plusieurs Parties Accessibles.

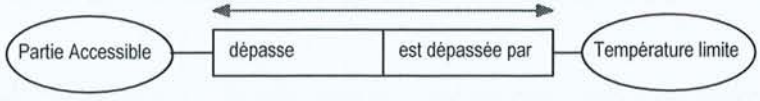


Figure 57 : Modèle NIAM/ORM correspondant au texte de la norme TN3 bis.

TN4 : Les freins, les embrayages et les parties de circuit hydraulique sont des Parties Accessibles

→ *$PE4_1$: L'ensemble des freins est un sous-ensemble de l'ensemble des Parties Accessibles.*

$PE4_2$: L'ensemble des embrayages est un sous-ensemble de l'ensemble des Parties Accessibles.

$PE4_3$: L'ensemble des parties de circuit hydraulique est un sous-ensemble de l'ensemble des Parties Accessibles.

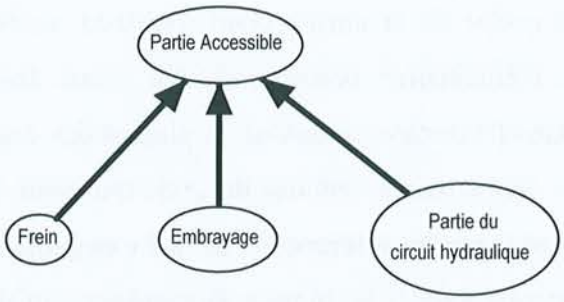


Figure 58 : Modèle NIAM/ORM correspondant au texte de la norme TN4.

Ces diverses parties accessibles sont représentées par des sous-types en formalisme NIAM/ORM, car ces concepts jouent d'autre rôles avec d'autres concepts de la norme. De même, pour les types de mesures contre les brûlures (voir TN6), il peut être envisageable de les considérer en tant qu'occurrence du concept mesure. Toutefois, nous choisissons d'utiliser le sous-typage car ces notions peuvent être affinées, par exemple, par types d'isolation, par types d'écrans.

TN5 bis : Des mesures, pour empêcher les brûlures, concernent les parties Accessibles.

→ *PE5 : Chaque Mesure (contre les brûlures) concerne une et une seule Partie Accessible.*

$PE5^{-1}$: Une Partie Accessible est concernée par une ou plusieurs Mesures (contre les brûlures).

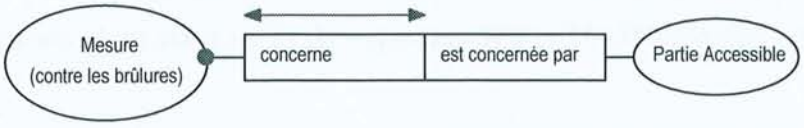


Figure 59 : Modèle NIAM/ORM correspondant au texte de la norme TN5 bis.

TN6 : Les mesures sont de type installation d'écrans, isolation ou autres.

→ *$PE6_1$: L'ensemble des installations d'écrans est un sous-ensemble de l'ensemble des Mesures (contre les brûlures).*

$PE6_2$: L'ensemble des isolations est un sous-ensemble de l'ensemble des Mesures (contre les brûlures).

$PE6_3$: L'ensemble des autres mesures (contre les brûlures) est un sous-ensemble de l'ensemble des Mesures (contre les brûlures).

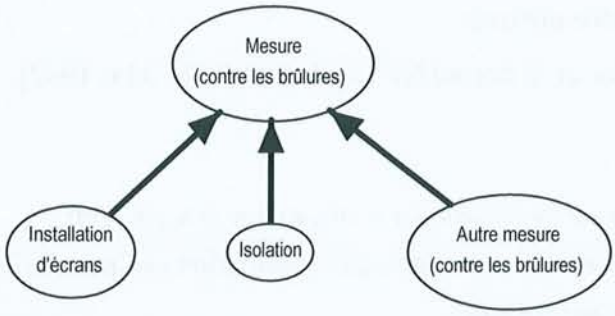


Figure 60 : Modèle NIAM/ORM correspondant au texte de la norme TN6.

TN7 : Si des Parties Accessibles peuvent dépasser des Températures limites alors ces Parties Accessibles sont concernées par des Mesures (pour empêcher les brûlures).

→ *PE7 : L'ensemble des Parties Accessibles, dépassant une ou plusieurs températures limites, est un sous ensemble (ou est inclus dans l'ensemble) des Parties Accessibles concernées par une ou plusieurs Mesures (contre les brûlures).*

La notation NIAM/ORM, étant basée sur la théorie des ensembles, ne permet pas de représenter, directement, les notions d'implication : il faut avoir recours aux contraintes dites procédurales. Toutefois, en notation ensembliste, il est possible de représenter des contraintes d'appartenance entre deux ensembles, en l'occurrence par une contrainte d'inclusion, cette contrainte ayant la même signification sémantique qu'une contrainte procédurale, ou d'implication, qui peut être transposée comme suit :

Si une Partie accessible dépasse une ou plusieurs Températures limites, alors cette Partie accessible est concernée par une ou plusieurs Mesures(contre les brûlures).

La norme ne précise pas si l'inverse est vrai, le recours à des experts permet de ne pas imposer l'inclusion inverse. En effet, des mesures contre les brûlures peuvent être prises même si, a priori, les parties accessibles concernées par ces mesures n'atteignent jamais les températures limites. D'un point de vue de la sécurité, la prise en compte d'une mesure, a priori inutile, n'est pas interdite. Toutefois, d'un point de vue coût, la question peut être posée, mais ce point de vue ne concerne pas directement nos travaux.

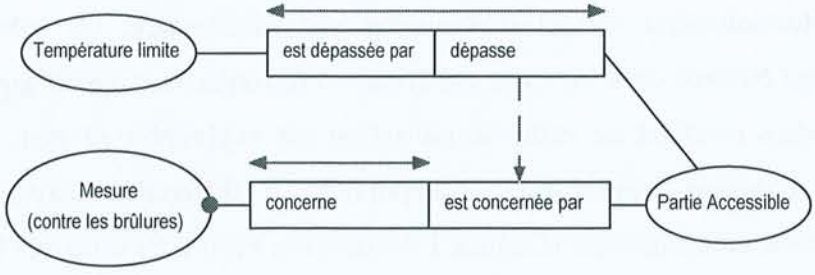


Figure 61 : Modèle NIAM/ORM correspondant au texte de la norme TN7.

- **Des relations entre normes.**

Exemple : Arrêt d'urgence et sa norme NF EN 418 [NF EN 418, 1992].

Texte de la norme :

5.4.8.2 Les arrêts d'urgence doivent être de catégorie 0 selon 4.1.5 de l'EN 418 : 1992.

D'un point de vue de la norme Presse, la seule information qui peut être retenue est :

Les arrêts d'urgence ont une catégorie.

En fait, la norme [NF EN 418, 1992] donne, entre autres, les modalités à satisfaire par un dispositif d'arrêt d'urgence pour être effectivement de catégorie 0. En d'autres termes, on imagine que la formalisation de cette norme donnerait d'autres relations pour l'objet « Catégorie », et que la satisfaction de l'ensemble de ces relations fixe la valeur de catégorie à 0.

Chaque Arrêt d'urgence a une et une seule Catégorie, une Catégorie est de un ou plusieurs Arrêts d'urgence.

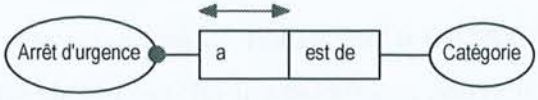


Figure 62 : Modèle NIAM/ORM correspondant du texte de norme proposé.

3.3.5 Conclusion

Nous avons vu, dans un premier temps, que rien ne s'oppose à la modélisation de la connaissance normative et qu'en appliquant la démarche de formalisation proposée, on aboutit à un schéma conceptuel contenant toutes les prescriptions liées à la sécurité et permettant même de corriger les éventuels inconvénients du langage naturel et de son interprétation. Cette étude a abouti à plusieurs conclusions montrant les intérêts et les limites de la démarche proposée.

- Intérêts :
  - la formalisation de textes à caractère normatif est faisable,
  - cette formalisation permet d'amoindrir significativement les inconvénients du Langage Naturel, donc de toute spécification formulée dans ce langage,
  - le modèle résultant de cette formalisation est exploitable et peut être parcouru selon plusieurs trajectoires correspondant à différentes expressions de la connaissance formalisée. (Comme l'illustrera la Figure 69 à travers les différentes références normatives et les différentes trajectoires relatives à ces normes).

- Limites :
  - la première étape de la démarche, qui consiste en une analyse sémantique de texte et donc en une extraction de la connaissance qu'il contient, est délicate à mettre en œuvre,
  - la connaissance contenue dans une norme représente une énorme quantité d'informations,
  - contrairement à un texte qui possède des chapitres et des paragraphes, son modèle est complètement « à plat », il est donc nécessaire d'initialiser son parcours de lecture, le modèle se chargeant ensuite d'orienter celui-ci à travers les contraintes qu'il impose. (Comme l'illustre l'explication aboutissant au modèle représenté Figure 54, de l'initialisation qu'en fait le concepteur, dépendent les contraintes imposées par le modèle).

La première partie de la démarche permet de formaliser la connaissance normative. Avant d'envisager le développement d'interfaces, il est nécessaire de montrer comment exploiter cette connaissance formelle en mettant en évidence leurs liens avec la connaissance technique de la machine à concevoir.

Nous remarquons, pour conclure avec la formalisation de normes, que le texte des normes exprime une connaissance très générique et très diffuse. C'est pourquoi, il est délicat pour l'analyste de définir si des termes représentent réellement des concepts (NOLOTs) ou s'ils ne sont qu'un exemple de représentations dans le monde réel (LOTs). Vu la multitude des textes de norme, il est fréquent qu'un terme apparaisse dans une norme comme un LOT, alors qu'il joue d'autres rôles avec d'autres concepts et d'autres termes le caractérisant dans d'autres normes (comme illustrer dans l'explication de la Figure 60 concernant les sous-types de mesures contre les brûlures). Enfin, nous rappelons ici le contexte de rédaction des normes qui est un processus long et fastidieux mais le texte de norme qui en résulte est un consensus entre les divers normalisateurs de divers pays. C'est pourquoi, il est fréquent de trouver dans les normes de nombreux rappels du contexte, qui sont pour l'analyste non réellement porteur de connaissance, c'est donc du bruit. Il est également possible de trouver des synonymies pour l'expression d'une même connaissance, du fait de la rédaction trilingue (langue allemande, anglaise et française) des normes (par exemple les notions de risque et phénomènes dangereux abordées lors de la formalisation de la norme NF EN 292, page 92, ainsi que les notions de « *lésion* » et de « *dommage* » retrouvées dans cette même norme en tant que synonymes).

3.4 Exploitation de la connaissance normative en conception

Pour dépasser les différentes limites de la formalisation, nous proposons d'effectuer une « re-classification » de la connaissance à modéliser. Il convient alors de définir les critères de rapprochement des concepts énoncés. Les prescriptions normatives sont regroupées en paragraphes en fonction du type de risque qu'elles permettent de réduire. Les normes opèrent un regroupement, que nous appelons « **par type de risque** », qui ne peut pas convenir à une activité de conception qui s'intéresse davantage au système plutôt qu'aux risques qu'il est susceptible d'engendrer. C'est pourquoi nous considérerons les prescriptions :

- en regroupant la connaissance relative à un même **type d'entités**, composant la machine. Pour cela nous considérons « **l'ontologie** »[26] (p. 67) de la machine et plus précisément la relation entre un tout et ses parties (relation partitive) [Felber, 1987].
- en regroupant la connaissance en fonction de sa **future utilisation** en conception : quelle connaissance, à quel moment ? Pour cela nous considérons la « **génétique** »[30] de la machine (comment la machine a-t-elle été réalisée?), [Mayer, 1995].

Dans ce cadre, nous nous intéressons à un rapprochement de la connaissance relative à l'aspect sécurité de la machine et de la connaissance relative à la machine elle-même. En effet, les critères de regroupement, significatifs d'une machine et de son ingénierie, peuvent contribuer à une restructuration de la connaissance contenue dans les normes associées. L'objectif est alors de faire coïncider les aspects intrinsèques de la machine et les aspects Sécurité qu'elle doit satisfaire afin d'en faciliter leur fusion telle qu'illustrée par la Figure 63.

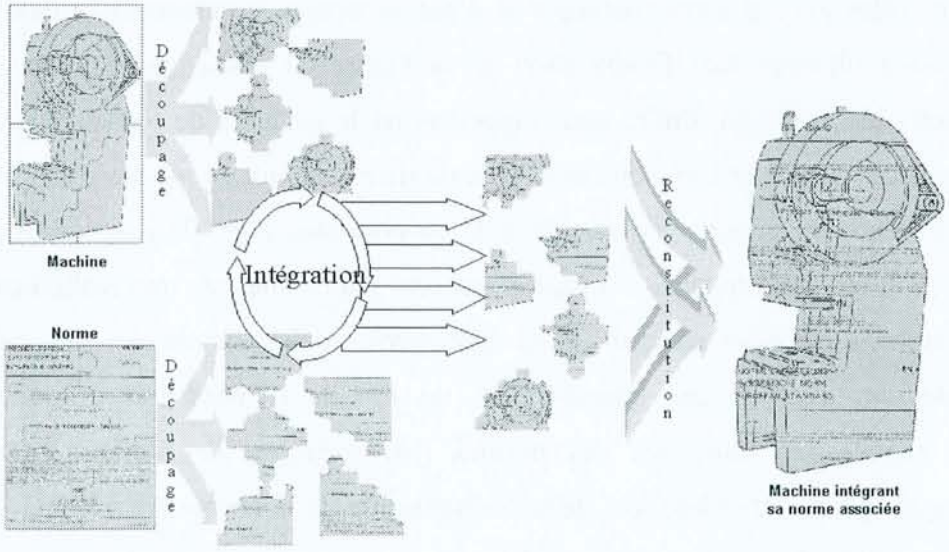


Figure 63 : Schéma de découpage par vues dans un but d'intégration.

[30] (*genos*, race, origine) « Qui concerne l'hérédité ». Définition du Larousse.

3.4.1 Identification des vues machines et des vues des normes de sécurité

3.4.1.1 Vues « conception » ou « génétiques »

Le premier point concerne donc l'identification des vues machines produites par son ingénierie. Une machine est construite dans le but de remplir des **fonctions,** la description de son fonctionnement impose d'affecter un **comportement** à chacune de ces fonctions, l'implémentation de ces fonctions et des comportements associés mène à la définition d'une **architecture** et de composants **technologiques**.

Comme le souligne [Ciccotelli, 1999], la conception ne peut être monodisciplinaire mais doit adopter une approche multipoints de vue. De plus, la conception suscite divers problèmes [Bombardier, 1999] tels que l'incomplétude des données, le manque de disponibilité du savoir-faire de l'expert et l'inexistence d'une unité de lieu et d'étapes de conception car elle est le fruit d'échanges et de mise en accord d'intérêts très variés. C'est pourquoi, de nombreux travaux s'intéressent plus particulièrement **au système** [Feliot, 1997] [Penalva, 1997] [Sagace, 1997] ou **au produit à concevoir** [Tichkiewitch et al., 1995] [Harani, 1997] [GAMA, 1998], plutôt qu'au processus de conception lui-même. En effet, malgré les efforts de normalisation des processus d'ingénierie [IEEE 1220, 1998] et la réalisation de Cycles de vie [Popieul, 1994] et de processus de conception relativement génériques [Duchamp, 1999], aucun processus n'est universellement reconnu ni, a fortiori, utilisé par tous. C'est pourquoi, certains travaux introduisent divers points de vue : [Mony, 1992] propose un modèle selon trois points de vue (fonctionnel, physique et entités) qu'il formalise à l'aide de NIAM en vue d'établir une base sémantique commune à tous les acteurs de la conception du produit concerné, [Umeda et al., 1990] propose une modélisation FBS (Function, Behavior, State) d'un objet permettant ainsi de décrire un objet suivant une entité Fonction, une entité Comportement et une entité Etat, [Vargas, 1995] et [Saucier, 1997] proposent, dans le cadre du projet DEKLARE, un modèle de produit qui intègre les aspects fonctionnel, physique et géométrique. Enfin, [Harani, 1997] propose un modèle de produit basé sur les points de vue fonctionnel, structurel et comportemental. Dans le métamodèle qu'elle propose, le modèle de produit est associé à un modèle de processus de conception afin de pouvoir représenter l'aspect dynamique des activités.

De même, [Maumi, 1996], [Vadcard, 1996] et [Lebahar, 1997] considèrent que la conception d'un produit correspond à l'évolution de ces représentations et introduisent les notions d'états de représentation et d'espaces de représentation (le besoin, la fonction, le concept, l'élément indispensable, l'architecture, le composant et le physique). Enfin, selon [Meinadier, 1998] la

seule unification possible demande une **très grande abstraction**, c'est pourquoi il préconise l'emploi de **l'approche système** [Le Gallou & Bouchon-Meunier, 1992], [Lemoigne, 1994]. Toujours selon [Meinadier, 1998], les niveaux de vision d'un système (correspondant à des niveaux d'abstraction différents dans la représentation du système) sont **Conceptuel**, **Fonctionnel**, **Organisationnel**, **Organique** et **Physique**. Le niveau Conceptuel représente la mission et les besoins du système, le niveau Fonctionnel regroupe l'analyse fonctionnelle et l'architecture fonctionnelle du système, le niveau Organisationnel représente les aspects spatiaux, temporels, opérationnels, enfin, les niveaux Organique et Physique représentent respectivement le support de l'architecture fonctionnelle -c'est-à-dire l'architecture d'organes supportant l'architecture fonctionnelle- et la constitution physique de ces supports.

En se basant sur ces différents travaux et en s'appuyant tout particulièrement sur [Lhoste, 1994], nous postulons qu'un système, ou plus précisément un Système Automatisé de Production, peut être décrit à l'aide de quatre vues : la vue **Fonctionnelle "F"**, la vue **Comportementale "C"**, la vue **Structurelle "S"** (ou Organique) et la vue **Technologique "T"** (ou Physique).

De la même manière, les normes de type C introduisent des prescriptions relatives à des aspects **Fonctionnels "F"** (telle fonction doit être assurée afin de rendre la machine sûre), **Comportementaux "C"** (tel comportement doit être respecté ou être interdit), **Structurels "S"** (tel élément de machine doit être placé à tel endroit) ou **Technologiques "T"** (tel élément de machine doit être de tel type). Les quatre vues **"F, C, S** et **T"** sont donc retenues en tant que sous-vues de la vue Génétique. Nous donnons, ici, un exemple de chacune de ces vues pour une presse mécanique :

- vue **F**onctionnelle : une presse est à Chargement/Déchargement manuel,
- vue **C**omportementale : le déclenchement de la course du coulisseau est possible dès que le protecteur est fermé, c'est le protecteur lui-même qui déclenche le cycle,
- vue **S**tructurelle : les protecteurs sont connectés au système de commande de la presse,
- vue **T**echnologique : les interrupteurs de position doivent être de type électromécanique.

3.4.1.2 Vues « ontologiques »

Une deuxième approche est l'approche « ontologique » qui se veut complémentaire de la précédente. On ne s'intéresse plus à : *« comment la machine a-t-elle été conçue ? »* mais à : *« de quoi la machine est-elle composée ? »*.

Tout système automatisé peut être représenté en deux composantes : une partie commande et

une partie opérative. La norme NF EN 292 propose ainsi dans son Annexe A une représentation schématique d'une machine. On y retrouve la partie commande, la partie opérative et les liaisons entre ces deux parties. On notera également la prise en compte dans ce schéma de l'opérateur par les interfaces opérateur-machine et l'environnement. Par ailleurs, dans ces parties sont rajoutés les protecteurs et les dispositifs de sécurité rendant la machine plus sûre. Le schéma générique proposé par la norme représentant le tout (la machine) et ses parties (différentes composantes) est proposé en Figure 64.

Quelques remarques peuvent être faites quant à la disposition des différents éléments qui composent cette machine. Tout d'abord, la notion **d'environnement** n'est pas clairement positionnée, il s'agit en fait de tout ce qui n'est pas intrinsèque à la machine et où celle-ci est amenée à évoluer. De plus, le module ***« Signalisation, Affichage, Avertissement »*** constitue une véritable interface opérateur-machine au sens entendu par [Kolski, 1993] et non pas seulement un élément du système de commande. On notera enfin la présence d'éléments caractéristiques d'un point de vue sécurité : les protecteurs et les dispositifs de sécurité.

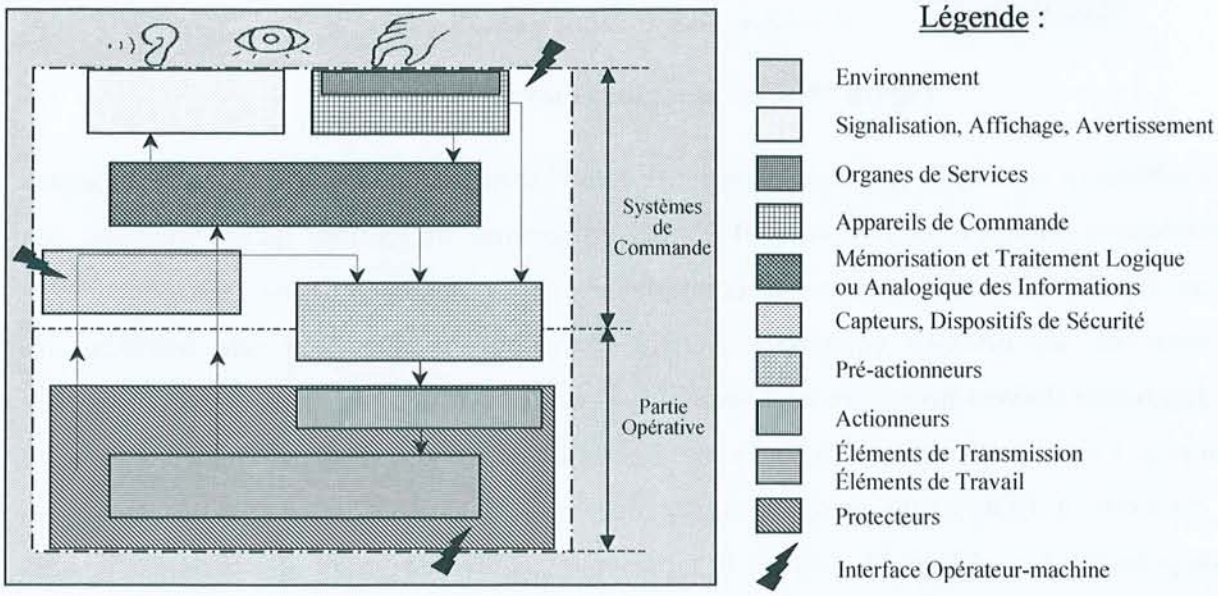


Figure 64 : Représentation schématique d'une machine d'après l'Annexe A de l'EN292.

3.4.1.3 Vues « normatives »

Dans les normes relatives à la sécurité des machines, il existe une hiérarchie comme vu au § 1.1.2.2 (Normes de type A, B et C). Dans une norme de type C, sont notifiées des prescriptions relatives à différentes composantes de la machine. Ces composantes sont aussi bien des dispositifs matériels que des aspects immatériels. Pour certaines de ces composantes, il existe des normes, généralement de type B. Enfin, la nouvelle approche en normalisation

[Lacore, 1993b], introduisant la notion de normes horizontales et verticales (voir page 24), favorise un rapprochement entre la description d'une machine et les différentes normes qui peuvent s'y référer. Ces vues nous confortent dans le choix des deux critères précédents (Génétique et Ontologique), elles nous permettent de confirmer que ces mêmes points de vues existent dans les normes sous une forme pas très éloignée.

3.4.1.4 Synthèse partielle

Il est, ainsi, possible de schématiser (Figure 65) une machine et toutes ses composantes selon le même principe :

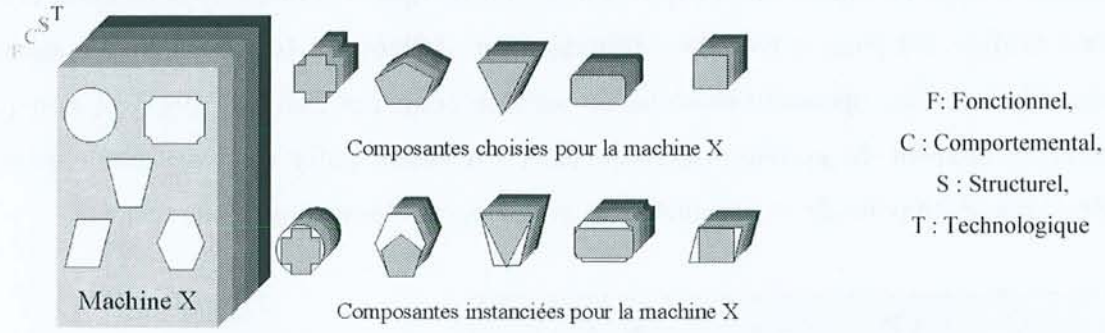


Figure 65 :Une Machine et ses Composantes.

Ce schéma ne représente nullement l'aspect structurel d'une machine (c'est-à-dire les relations entretenues entre ses composantes), il permet uniquement de montrer qu'une machine doit faire appel à un certain nombre de composantes, et qu'une machine est bien plus que la somme de ses diverses composantes. Afin d'être implémentées sur une machine, les composantes doivent nécessairement acquérir d'autres caractéristiques que celles qui leur sont propres. Ces nouvelles caractéristiques sont liées à l'aspect Sécurité de la machine d'une part, c'est-à-dire à l'interaction composante/machine mais également à l'interaction entre les composantes. Ce schéma de principe ne représente pas les liens entre les objets car ils sont beaucoup trop nombreux. En ajoutant à ce schéma les vues génétiques et les vues ontologiques décrites précédemment, le schéma explicatif suivant (Figure 66) peut être proposé. Il est à noter la distinction entre la partie gauche de la figure représentant la structure d'une machine et ses composants avec leurs propres vues « génétiques » (F, C, S, T) et la partie droite de la figure représentant une machine dans sa globalité avec ses propres vues « génétiques » indépendamment des vues de ses composantes.

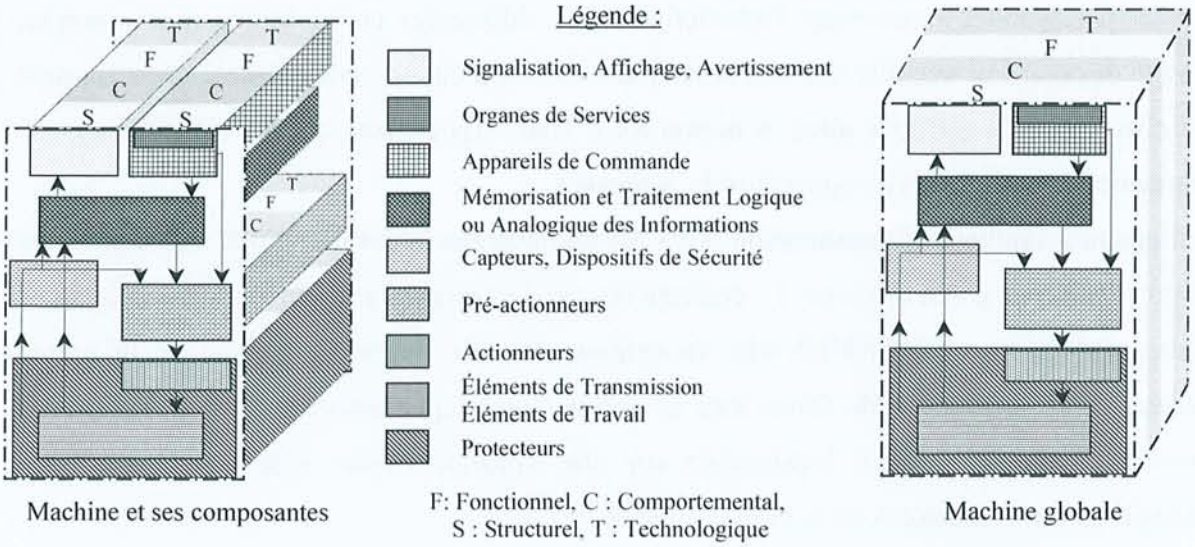


Figure 66 : Vues Génétiques et Ontologiques d'une Machine.

Ce schéma permet de montrer qu'une machine possède ses propres vues « génétiques » mais qu'elles ne sont pas forcément totalement liées aux vues « génétiques » des divers éléments qui la composent. C'est pourquoi, l'ordre dans la représentation des vues F, C, S et T des composantes n'est pas significatif, seul leur nature est représentée.

3.5 Application de l'approche multipoints de vue à la norme NF EN 692

L'ensemble de notre approche multipoints de vue est appliquée à une machine de type « Presse Mécanique » et sa norme correspondante la norme NF EN 692. Dans un premier temps, le schéma générique d'une machine est instancié au cas de la machine Presse (application des vues ontologiques à la presse). Ensuite, nous montrons, en tenant compte des différents types de presses auxquels la norme s'adresse, la corrélation entre les vues génétiques de la machine et leur présence dans sa norme associée. Enfin, nous formalisons les relations normatives entre la norme « Presse » et ses « satellites » (application des vues normatives à la presse).

3.5.1 Vues ontologiques dans la norme « presse »

En analysant le contenu de la norme NF EN 692, la démarche proposée cherche à faire coïncider les paragraphes de la norme avec les composantes présentées dans le schéma de l'Annexe A de la norme NF EN 292-1.

Certains paragraphes peuvent se rapprocher entièrement d'une composante (par exemple, pour la composante « Embrayage/Frein » et le paragraphe concernant le « bruit »), tandis que

d'autres paragraphes concernent l'interaction entre différentes composantes (par exemple, selon le dispositif de sécurité qui sera utilisé, une variation du comportement de la presse peut être observée). On retrouve ainsi la notion du « Tout » (la presse) qui est bien plus que la somme de ses parties (les composantes de la presse).

Le Tableau 2 synthétise l'instanciation qui a été pratiquée de la norme NF EN 692 à partir du schéma générique d'une machine. La colonne de gauche représente le schéma générique d'une norme, d'après la norme NF EN 414, la colonne centrale décrit le contenu de la norme étudiée, enfin, la colonne de droite met en avant la correspondance des paragraphes de la norme « Presse » avec leur localisation sur une Machine Presse telle qu'elle peut être schématisée par l'Annexe A de la norme NF EN 292.

Annexe D.1 de l'EN 414	Contenu de l'EN 692	Annexe A de l'EN 292
Prescription générale spécifique	Chap. 5.2 : Frein et Embrayage Circuit hydraulique et Pneumatique	Pré-actionneur, Actionneur Eléments de transmission
Zone dangereuse spécifique	Chap. 5.3 : Zone des outils	Eléments de travail
Protecteur et/ou moyens/dispositifs de sécurité	Chap. 5.3 : Choix de protecteur et/ou moyens/dispositifs de sécurité	Dispositif de Protection
Systèmes de commande et leurs dispositifs	Chap. 5.4 : SC, Inhibition Sélecteurs, Interrupteurs, Dispositif de commande, Vannes	Organes de service, Appareil de Commande, Mémorisation et Traitement Logique ou Analogique des Informations.
Equipement de mise en service, nettoyage, réglage, maintenance	Chap. 5.5 : Réglage des outils, coups d'essais, maintenance et lubrif.	Tous les éléments
Feux et/ou explosions – bruit et/ou vibrations, rayonnements – éclairage – émission de poussières, fumées, gaz, vapeurs	Chap. 5.6, 5.7 et 5.8 : Autres risques NB : bruit et vibration plus développés	Tous les éléments en relation avec l'environnement

Tableau 2 : Correspondance entre la norme et les vues ontologiques d'une machine

La norme « presse » de type C respecte bien la « méta-norme » NF EN 414 dans sa structuration. Toutefois, ce respect ne concerne pas directement nos travaux, ce sont les normalisateurs qui doivent respecter la norme NF EN 414. Par contre, nous vérifions que les différentes prescriptions contenues dans la norme « presse » trouvent une localisation structurelle d'après le schéma générique d'une machine proposée en Annexe A de la norme NF EN 292. Considérons, par exemple, le chapitre 5.3 de la norme presse. Selon la norme NF EN 414, il doit fournir les prescriptions relatives à la zone dangereuse spécifique sur la machine considérée par la norme de type C : c'est en l'occurrence la zone des outils sur une machine de type presse mécanique. Cette zone des outils correspond, d'un point de vue structurel (c'est-à-dire selon l'Annexe A de la norme NF EN 292), aux éléments de travail. La

suite du chapitre 5.3 de la norme presse fournit les prescriptions relatives aux composants de sécurité, qui correspondent, d'un point de vue structurel, aux dispositifs de protection.

3.5.2 Vues génétiques dans la norme « presse » : les types de presses

La norme NF EN 692 donne essentiellement des prescriptions de types structurels voire technologiques, c'est-à-dire des recommandations quant à l'utilisation de certains composants. Ceci est logique car, comme les directives et les normes de type A fixent des objectifs (de types fonctionnels ou comportementaux), les normes de type C donnent les moyens généraux pour les atteindre. Toutefois, même si la norme NF EN 692 comporte des paragraphes relatifs à différentes composantes dans un contexte d'intégration à une presse, elle donne également des prescriptions relatives à différents types de presses. On recense ainsi 4 types de transmissions, 2 modes d'alimentation/déchargement et 2 modes de production. La corrélation entre ces différents types, sachant qu'une presse utilisée en mode de production coup par coup ne peut être alimentée/déchargée en mode automatique, nous donne en fait 12 types de presses. La Figure 67 montre une formalisation partielle de ces notions et contraintes croisées apparaissant dans la norme NF EN 692 et une restructuration par vues « génétiques » (limitée ici aux vues fonctionnelle, comportementale et technologique).

L'exclusion (notée Ⓧ en caractère gras dans le schéma NIAM/ORM de la Figure suivante) entre une presse en mode de production coup par coup et un mode d'alimentation automatique montre un exemple de contrainte à prendre en compte en ingénierie entre la vue « Fonctionnelle » et la vue « Comportementale », telle qu'imposée par la norme.

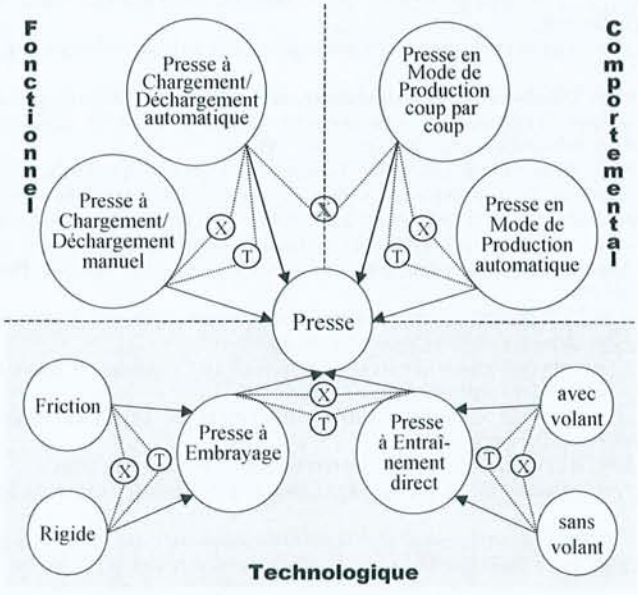


Figure 67 : Schéma NIAM/ORM des différents types de Presses.

3.5.3 Relations normatives de la norme « presse »

Le troisième, et dernier aspect de notre approche concerne les normes et leurs références croisées. Cet aspect, somme toute primordial, peut plonger le concepteur dans un dédale de normes et lui faire prendre le risque de ne plus en ressortir. Si on considère les normes auxquelles fait référence la norme NF EN 692, la Figure 68, dite schéma « satellite », montre les dépendances entre normes.

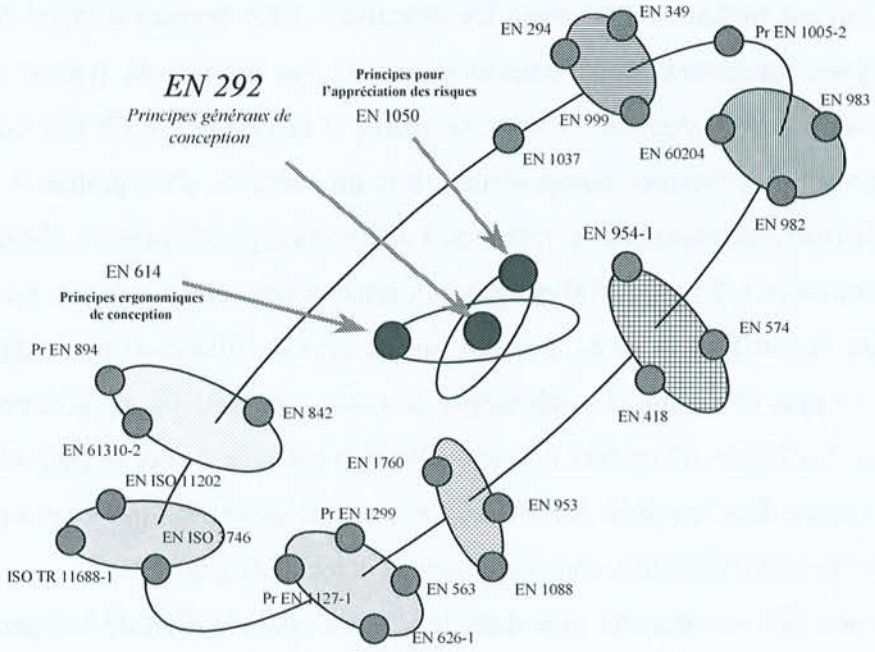


Figure 68: Représentation "satellitaire" des références normatives de la norme NF EN 692.

Légende de la Figure 68 :

EN 294 :	Sécurité des machines. **Distances de sécurité pour empêcher l'atteinte des zones dangereuses par les membres supérieurs**. Septembre 1992.
EN 349 :	Sécurité des machines. **Ecartements minimaux pour prévenir les risques d'écrasement de parties du corps humain**. Septembre 1993.
EN 418 :	Sécurité des machines. **Equipement d'arrêt d'urgence, aspects fonctionnels. Principes de conception**. Février 1993.
EN 563 :	Sécurité des machines. **Températures des surfaces tangibles. Données ergonomiques pour la fixation de températures limites des surfaces chaudes**. Septembre 1994.
EN 574 :	Sécurité des machines. **Dispositifs de commande bimanuelle. Aspects fonctionnels. Principes de conception**. 1997.
EN 626-1 :	Sécurité des machines. **Réduction des risques pour la santé résultant de substances dangereuses émises par des machines. Partie 1 : principes et spécifications à l'intention des constructeurs de machines**. Décembre 1994.
EN 842:	Sécurité des machines. **Signaux visuels de danger. Exigences générales, conception et essais**. Août 1996.
EN 954-1 :	Sécurité des machines. **Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité. Partie 1 : principes généraux de conception**. Février 1997.
EN 982 :	Sécurité des machines. **Prescriptions de sécurité relatives aux systèmes et leurs composants de transmissions hydrauliques et pneumatiques. Hydraulique**. Octobre 1996.
EN 983 :	Sécurité des machines. **Prescriptions de sécurité relatives aux systèmes et leurs composants de transmissions hydrauliques et pneumatiques. Pneumatique**. Octobre 1996.
EN 999 :	Sécurité des machines. **Vitesse main/bras. Vitesse d'approche de partie du corps pour le positionnement des dispositifs de protection**. Décembre 1998.
EN 1037 :	Sécurité des machines. **Prévention de la mise en marche intempestive**. Mars 1996.
EN 1088 :	Sécurité des machines. **Dispositifs de verrouillage associés à des protecteurs. Principes de conception et de choix**. Juin 1996.
EN ISO 3746 :	Acoustique. **Détermination des niveaux de puissance acoustique émis par les sources de bruit à partir de la pression acoustique. Méthode de contrôle employant une surface de mesure enveloppante au-dessus d'un plan réfléchissant**. Mai 1996.
EN ISO 11202 :	Acoustique. **Bruit émis par les machines et équipements. Mesurage des niveaux de pression acoustique d'émission au poste de travail et en d'autres positions spécifiées. Méthode de contrôle in situ**. Juin 1997.

EN 60204-1 : Sécurité des machines. Équipement **électrique des machines. Partie 1 : règles générales**. Avril 1998.
EN 61310-2 : Sécurité des machines. **Indication, marquage et manœuvre - Partie 2 : spécifications pour le marquage**. 1995.
EN 894-2 : Sécurité des machines. **Spécifications ergonomiques pour la conception des dispositifs de signalisation et des organes de service. Partie 2 : dispositifs de signalisation**. Avril 1997.
prEN 894-3 : Sécurité des machines. **Spécifications ergonomiques pour la conception des dispositifs de signalisation et des organes de service. Partie 2 : Organes de commande**. Avril 1997.
prEN 953 : Sécurité des machines. **Protecteurs. Prescriptions générales pour la conception et la construction des protecteurs fixes et mobiles**. Décembre 1997.
prEN 1005-2 : Sécurité des machines. **Performance physique humaine. - Partie 2 : Manutention manuelle d'objets associés à des machines**. 1997.
EN 1127-1 : Atmosphères explosives. **Prévention de l'explosion et protection contre l'explosion. Partie 1 : notions fondamentales et méthodologie**. Octobre 1997.
EN 1299 : Vibrations et chocs mécaniques. **Isolation vibratoire des machines. Informations pour la mise en œuvre de l'isolation des sources**. Avril 1997.

En reprenant les paragraphes de la norme NF EN 692 où ces normes sont citées en référence, et à l'aide du mécanisme de « substantivation » de NIAM/ORM (transformation d'une relation en un objet), la formalisation des phrases permet de proposer une vue formelle de ces relations telle que proposée en Figure 69. Ce schéma permet de mettre en évidence les « frontières » de la norme NF EN 692 et les différents renvois identifiables à partir de cette norme. Il permet également de schématiser, dans l'ensemble du dispositif normatif, les prescriptions qui concernent une presse mécanique.

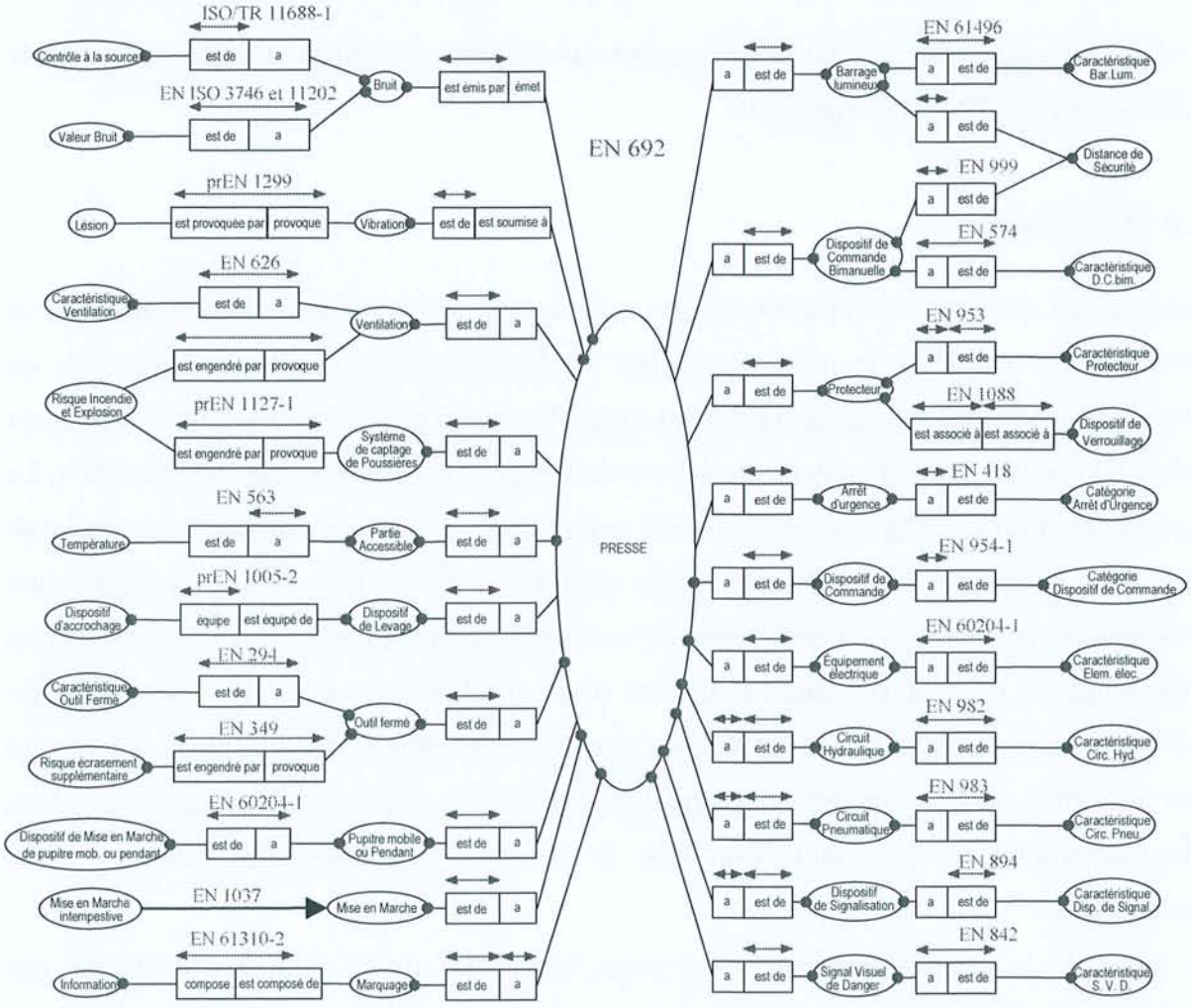


Figure 69 : Schéma NIAM/ORM de la norme « Presse » et de ses satellites.

La presse résulte de l'ensemble de ses composantes (avec leurs propriétés intrinsèques) et de l'interaction entre la presse et ses composantes et/ou entre les différentes composantes elles-mêmes (propriétés dues à l'implantation des composantes sur la presse).

Comme exemple de parcours du schéma NIAM/ORM précédent, considérons un Circuit Hydraulique (CH). En admettant que la presse possède un CH, la norme NF EN 692 dit que, d'une part, le CH doit être conforme à la norme NF EN 982 [NF_EN_982, 1996] et donne également ses propres prescriptions, dont certaines sont à rapprocher des vues génétiques, non représentées en Figure 70.

Figure 70 : Circuit Hydraulique et implantation sur une presse, normes associées.

Il en est de même pour chacun des composants de la presse identifiés et représentés dans le schéma NIAM/ORM de la Figure 69.

3.6 Conclusion

Nous avons vu, dans un premier temps, que rien ne s'oppose à la modélisation de la connaissance normative et qu'en appliquant la démarche de formalisation proposée, on aboutit à un schéma conceptuel contenant toutes les prescriptions sécuritaires et permettant même de corriger les éventuels inconvénients du Langage Naturel et de son interprétation. La formalisation est une étape nécessaire à une exploitation efficace de cette connaissance mais elle n'est cependant pas suffisante. C'est pourquoi nous proposons une restructuration génétique de la connaissance en fonction de sa future utilisation. Cette démarche passe par un rapprochement de la connaissance normative d'une machine avec l'activité d'Ingénierie qui fait appel à cette connaissance. Par ailleurs, nous avons montré qu'une machine est bien plus que la somme de ses composantes et que les prescriptions relatives à la presse étaient bien plus importantes et plus complexes que la somme des prescriptions relatives à ses composantes.

A partir de la connaissance normative ainsi formalisée, il est possible d'envisager une **exploitation informatisée** de cette connaissance par le développement d'une **structure adaptée de gestion de la connaissance** (par exemple, un Système de Gestion de Base de

Données), **de traitements** permettant son utilisation (accès divers, consultation, tri, recherches par mot-clés, ...) et de **moyens de présentation des données** (écrans de consultation, fenêtres-questionnaires, édition de formulaires, de rapports, ...). Nous proposons ainsi, au chapitre suivant, le développement d'un prototype informatique sur la base du modèle de la norme NF EN 692 et de son découpage en vues.

CHAPITRE 4 RESULTATS ET APPLICATIONS : Vers un Prototype d'Assistance à la COnception de MAchines Sûres. (ACOMAS)

Avant Propos :

Ce chapitre présente les spécifications et les bases de développement d'un outil d'**A**ssistance à la **CO**nception de **MA**chines **S**ûres (***ACOMAS***). La sûreté de fonctionnement est un vaste domaine recouvrant diverses notions (sécurité, disponibilité, fiabilité, ...) [Laprie, 1996]. On entend ici par « machine sûre », la prise en compte des prescriptions énoncées dans les référentiels normatifs relatifs à la sécurité des machines.

4.1 "Marché actuel" en outil d'ACOMAS

Aujourd'hui, les quatre utilisateurs potentiels du dispositif normatif, identifiés au § 1.1.2.3, disposent de l'ensemble des normes uniquement sous forme papier et ne disposent d'aucun outil informatique facilitant leur utilisation.

Utilisateurs	Besoins	Moyens disponibles
Concepteurs	Intégration des Exigences Essentielles de Sécurité (EES).	Outils de conception classiques tels que CAO, DAO et outils de simulation. Aucun moyen assisté d'intégration n'est disponible.
Formateurs	Initier les futurs concepteurs et évaluateurs à la prévention intégrée.	Didacticiel « Loginorme » réalisé par l'INRS en partenariat avec l'Education Nationale, destiné aux BTS-MAI.
Normalisateurs	Faciliter l'élaboration et l'évolution des textes normatifs.	Ne disposent d'aucun outil permettant de gérer les normes existantes et leur évolution. Le CEN développe actuellement le projet *INES*.
Certificateurs	Vérifier objectivement l'application effective des EES.	Chaque organisme certificateur élabore sa propre procédure papier (strictement manuel).

Tableau 3 : Le marché de l' ACOMAS.

Comme nous l'avons vu au § 1.1.3, l'offre en moyens technologiques répondant aux besoins est **quasi inexistante**. La matière traitée est complexe et volumineuse alors qu'elle est supportée par des techniques rudimentaires. De plus en plus, les différents organismes de prévention nationaux « gravent » les normes sur CD-ROM avec quelques fonctionnalités de navigation et établissent des sites Web pour référencer l'ensemble des normes, mais ces efforts sont encore insuffisants pour réellement mettre à disposition **la connaissance** normative.

4.1.1 Un exemple d'outil : LOGINORME

Dès 1995, l'INRS décide, dans le cadre d'une convention avec l'Education Nationale, de mettre à disposition de l'enseignement un logiciel d'aide à la prise en compte de la sécurité en conception des machines. Cet outil, basé sur la norme NF EN 292 [NF EN 292, 1991], fait suite à la brochure « Concevoir une machine sûre » [INRS, 1994] qui s'appuie sur la « Stratégie pour le choix des mesures de sécurité » (chapitre 5 de la norme NF EN 292-1) et la méthode des points de vue [APAVE, 1992], méthode enseignée en BTS, et en particulier en BTS MAI. La démarche proposée s'appuie sur l'identification de risques puis, pour chacun d'eux, préconise, à l'aide de la stratégie susdite, la recherche de la suppression du phénomène dangereux (Prévention Intrinsèque), des techniques de protection et des instructions destinées à l'utilisateur. De plus, la démarche permet la propagation des risques selon différents points de vue (Produit, Production, Procédé, Processus, Partie Opérative, Partie Commande, Réalisation / Mise en service, Exploitation / Maintenance). En effet, la réduction d'un risque pour un point de vue donné peut engendrer un autre risque selon le même, voire un autre, point de vue.

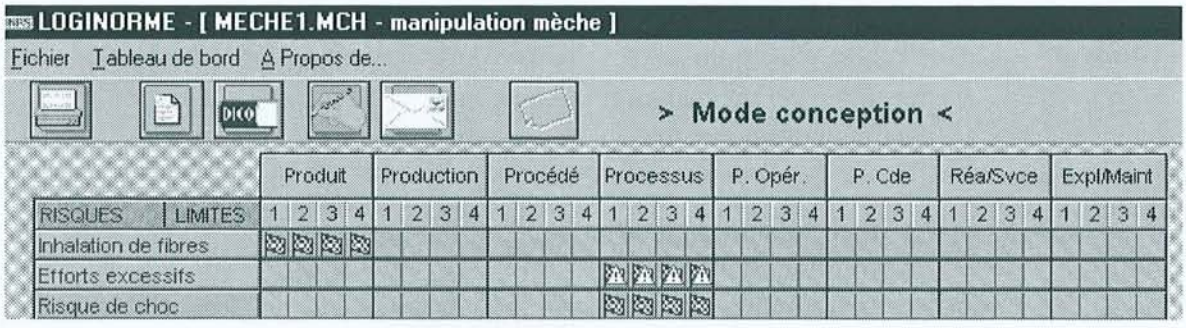


Figure 71 : « Tableau de bord » du logiciel LOGINORME.

Toutefois, cette méthode impose une **démarche d'ingénierie particulière** et l'accès à la connaissance passe nécessairement par des **points de vue figés** (Figure 71). En effet, chaque risque est appréhendé à travers des points de vue (les 8 précédemment cités) d'ingénierie

spécifiques. Dans l'exemple présenté, l'utilisateur du logiciel a référencé un risque d'inhalation de fibres d'un point de vue du produit, ainsi qu'un risque de choc d'un point de vue du processus.

4.1.2 Aide à la configuration de la démarche d'ingénierie propre au concepteur

La formalisation de la connaissance normative représente le « **cœur** » de nos travaux et donc la base de connaissances du futur logiciel. Il est toutefois nécessaire de fournir une interface permettant de guider le concepteur dans sa **démarche d'ingénierie** afin qu'il ait accès à la bonne connaissance au bon moment. Le logiciel LOGINORME en propose une **spécifique**, nos travaux, quant à eux, s'orientent vers la définition d'une interface **générique** et **configurable**. Chaque entreprise, voire chaque concepteur, possède sa propre démarche d'ingénierie. C'est pourquoi, une aide à la configuration de cette démarche est nécessaire et doit permettre à chaque concepteur d'exploiter pleinement et de façon **indépendante** la connaissance normative qu'il a à mettre en œuvre.

Ainsi, en s'appuyant sur les travaux relatifs aux approches multipoints de vue [Blaise et al., 1999b], il doit être envisagé de fournir une **interface générique configurable selon les besoins pratiques du concepteur**.

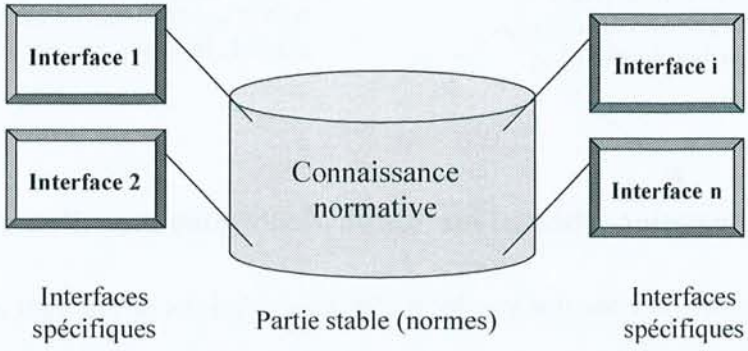


Figure 72 : Indépendance entre la partie stable (connaissance normative) et ses traitements spécifiques (Interfaces spécifiques à chaque concepteur).

Cette indépendance, entre la connaissance (partie stable) et ses diverses possibilités d'exploitation (partie configurable), met en évidence la nécessité de typer la connaissance normative en fonction des points de vue de l'utilisateur. Il faut dissocier les aspects « traitement » directement préconisés par la norme des traitements relatifs à l'exploitation de la connaissance normative. Les premiers se retrouvent essentiellement dans les normes NF EN 292 et NF EN 1050 [NF_EN_1050, 1997], de type A, qui préconisent des démarches de prise en compte de la sécurité, mais très rarement dans les normes de type C. Tandis que

les seconds sont fonction du type de travail qu'a en charge l'utilisateur de la connaissance et que nous nommons « approche métier ».

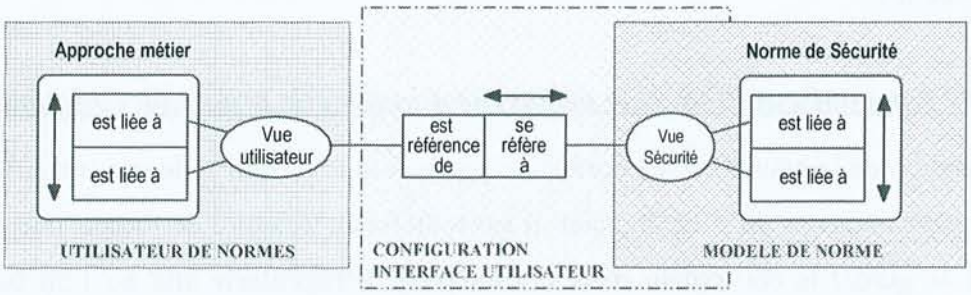


Figure 73 : Modèle NIAM/ORM du principe de configuration d'interface.

Ce modèle fixe donc le troisième axe d'exploitation de la connaissance normative tel que schématisé par la figure suivante.

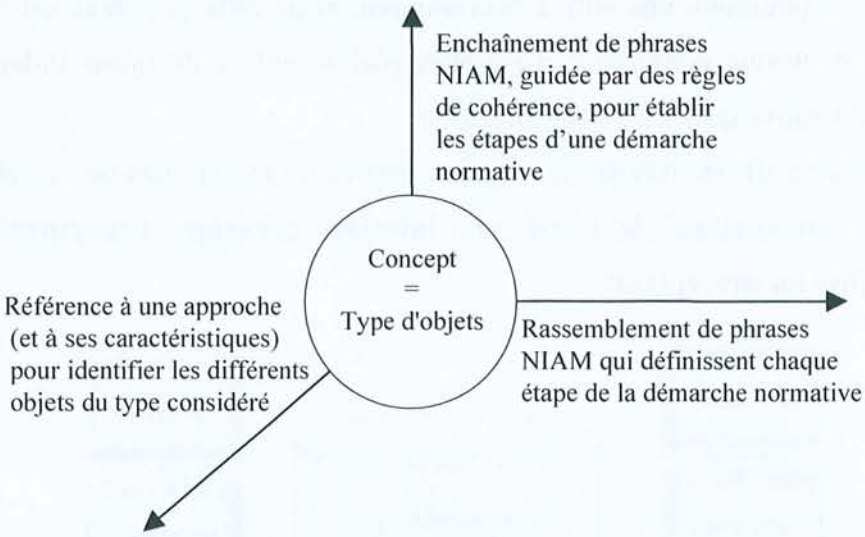


Figure 74 : Représentation schématique des 3 axes d'exploitation d'un objet normatif.

Ainsi, un objet normatif est concerné par les différentes relations qui le lient aux autres objets du dispositif normatif (c'est le premier axe), par la démarche normative préconisée (c'est le deuxième axe) et enfin, par l'approche qu'en a l'utilisateur, son approche métier (c'est le troisième axe).

4.2 Développement d'un prototype ACOMAS

4.2.1 Contexte

Afin d'illustrer nos propos et de démontrer leur faisabilité, nous avons entrepris de développer très tôt une maquette pour l'aide à la prise en compte des prescriptions relatives à la sécurité des presses mécaniques. Nous développons dans cette partie les bases idéales de

développement d'une telle maquette.

Le développement a été mené conjointement avec la société I.T.S.[31]. Les raisons de ce développement conjoint sont multiples. En plus des relations étroites que cette société développe avec le CRAN depuis plus de dix ans, elle a développé l'atelier le plus complet actuellement sur le marché (I.S.W. : Information Systems Workbench) permettant une maîtrise parfaite de NIAM et du passage à la réalisation d'applications, mais dont l'achat se révèle très coûteux pour un laboratoire universitaire pour démontrer uniquement la faisabilité de résultats de recherche tels que les nôtres. C'est également en collaboration avec cette société qu'a été développé le projet OASIS (Outil d'Assistance destiné aux Systèmes d'Information traitant des directives et des normes de Sécurité) [OASIS, 1999], qu'a été présenté le projet CASA (Computer Aided Standard Application) au CEN (Centre Européen de Normalisation) [CASA, 1999], et qu'ont été développées les spécifications d'une évolution potentielle de LOGINORME pour l'INRS [INRS, 2000].

4.2.2 Moyens de développement

4.2.2.1 Elaboration d'un modèle NIAM/ORM

Modéliser ne se réduit pas à formaliser graphiquement : il faut établir des liens entre les composantes du modèle et les parties de **textes normatifs** dont ils proviennent. Ces références sont indispensables pour :

- composer un dictionnaire (par norme ou pour un ensemble de normes),
- alimenter la base de données de l'application informatique,
- supporter une évolution coordonnée des textes (apporter une modification dans un texte peut avoir un impact sur les autres parties de texte relatives au même objet ou sur des parties de textes concernant d'autres objets mentionnés par le texte à modifier).

Pour élaborer un modèle NIAM/ORM qui tienne compte de toutes ces exigences, il faut recourir à un Atelier de Génie Logiciel (AGL) qui offre un support graphique de la syntaxe NIAM/ORM et qui en assure le respect par des contrôles en temps réel (interdisant toute construction syntaxiquement fausse) et des contrôles sur commande (visant la complétude du modèle).

L'AGL ISW [Fouché & Lepretre, 1991] a permis, depuis dix ans, de mener à bien des modélisations dans des domaines extrêmement diversifiés et, entre autres, pour la « *Modélisation de l'avant-projet de Décret relatif aux établissements classés pour la*

[31] Information Technology & Service, Rue de la Fusée, Bruxelles.

protection de l'Environnement » du Ministère de l'Environnement des Ressources Naturelles et de l'Agriculture du Gouvernement Wallon [ITS, 1996]. L'AGL ISW présente également des fonctionnalités documentaires qui permettent d'associer textes, ou parties de texte, à tout constituant d'un modèle NIAM/ORM (objet, rôle, contrainte d'intégrité).

Les compétences « NIAM/ORM » des analystes qui se penchent sur les normes et l'utilisation d'un AGL capable de les assister efficacement ne se suffisent pas à elles-mêmes : le recours à des **experts** des domaines concernés est nécessaire et ces derniers doivent être régulièrement consultés pour répondre à toutes les questions que l'analyse des textes ne manque pas de susciter.

Sur les bases du modèle NIAM/ORM résultant de la formalisation que nous proposons, le développement de la base de données correspondante et de l'interface utilisateur associée est facilité par l'emploi d'Ateliers de Génie Logiciel tels que Visio Modeler ™ [32] ou encore ISW ™ (Figure 75).

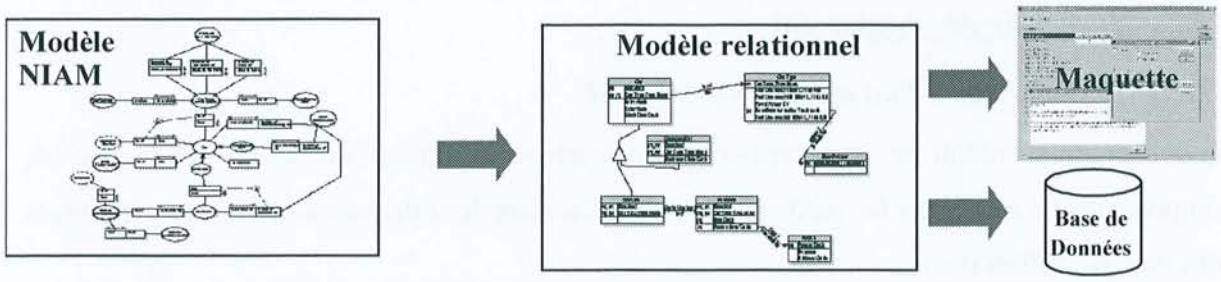


Figure 75 : Développement d'une Base de connaissances normatives en Sécurité et prototypage de ses interfaces utilisateurs par un A.G.L.

4.2.2.2 Production d'un schéma de base de données

La construction d'une base de données est indispensable pour que l'application développée puisse efficacement répondre aux besoins de ses utilisateurs, à savoir, et en termes très synthétiques :

- naviguer dans les textes normatifs à l'aide de renvois en cascade des uns aux autres,
- déterminer quelle combinaison de prescriptions il convient de respecter pour tel type de machine, dans telle installation, pour réduire tel risque ou éviter tel phénomène dangereux.

La syntaxe NIAM/ORM permet à un algorithme de traduire un modèle en schéma de base de données (tables, clés primaires et étrangères, ...) en ciblant des Systèmes de Gestion de Bases de Données (SGBD) propriétés de différents constructeurs (Oracle®, Sybase®, ...) ou à des

[32] Visio Modeler est un produit de Microsoft Visio.

SGBDs génériques : **ODBC** (Open DataBase Connectivity) [Microsoft, 1997] ou **JDBC** (Java DataBase Connectivity) [Reese, 1998]. Par exemple, un programme Java utilisant l'interface JDBC pourra s'interfacer avec n'importe quelle base de données respectant cette même interface.

Il n'est pas indispensable que la base de données soit construite pour **entamer le développement** des fonctions et de l'interface : la connaissance, au travers de fiches, des structures de données (quel que soit leur format physique) et des dépendances logiques qui existent entre elles suffit à définir une part importante des objets de programmation.

Quoi qu'il en soit, il faut signaler que la programmation des fonctions amène à « **compléter** » **le schéma physique de la base de données** sans remettre en question la validité du modèle NIAM/ORM dont il provient. Ces données complémentaires répondent à des préoccupations purement opérationnelles telles que : répétition d'une donnée dans différentes tables pour réduire les temps de réponse de l'application, données intermédiaires dans la préparation d'un document, repères pour recherches, etc.

4.2.2.3 Architecture

La démarche préconisée s'inspire des principes de développement d'architectures applicatives à 3 niveaux qui garantissent la stabilité de l'application et minimise les modifications à effectuer lors de son évolution.

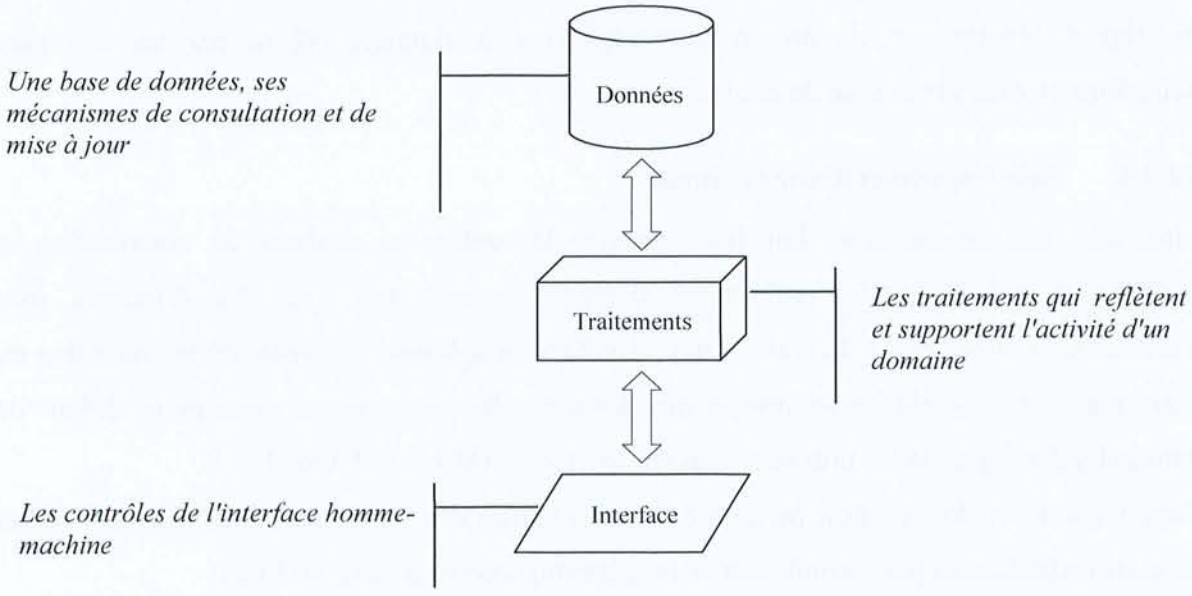


Figure 76 : Architecture de développement en 3 niveaux.

Comme le code ne contient pas de référence aux composants de l'interface, les traitements sont indépendants de cette interface. Ces traitements se rattachent aux objets qui constituent la base de données : ils définissent le **comportement** de ces objets.

Les contrôles de l'interface s'appliquent à des éléments physiques tels que boutons, menus, listes déroulantes, champs de saisie, ..., et se répartissent principalement en deux classes :

- les contrôles de premier niveau en vue de la mise à jour des données (exemple : test de validité d'une donnée avant toute tentative de sauvegarde dans la base de données, où, de toute manière, le non respect des règles de cohérence provoquerait le rejet de la donnée).
- les contrôles qui permettent le déclenchement de traitements (exemple : production d'un document à partir de données puisées dans la base).

Cette manière d'appréhender le développement d'une application offre deux avantages majeurs :

- **garantie d'évolutivité** (les supports informatiques employés peuvent changer, les besoins des utilisateurs peuvent varier et s'étendre : l'application pourra être adaptée sans que tout soit remis en cause),
- **maîtrise de la complexité** (composition des structures de données, portée des fonctions et dialogue avec le système informatique sont envisagés séparément, non pas isolément, mais spécifiquement).

La démarche veut **éviter les interférences** entre le développement des fonctions et celui de l'interface qui comporte cependant deux volets : d'une part, la partie signalétique (déduite du modèle) et, d'autre part, la présentation d'agrégats de données prévus par les fonctions (sélections et vues sur la base de données).

4.2.2.4 Développement d'une maquette

L'interface homme-machine doit faire preuve de toutes les qualités de convivialité et d'ergonomie auxquelles les utilisateurs d'environnements tels que MS Windows sont accoutumés. L'objectif est de réaliser une **interface graphique, multi-fenêtres, intuitive** et, d'une manière générale, aussi proche que possible des conventions usuelles (à défaut de standards) des logiciels les plus répandus sur le marché (MS Word, Excel, ...).

L'application développée doit permettre la consultation des textes normatifs par différentes voies, principalement par formulation de requêtes ou recours à l'aide en ligne.

Il faut néanmoins prévoir que la plupart du temps (étant données les multiples références croisées entre normes) le texte obtenu contiendra des renvois à d'autres textes (ou parties de textes) auxquels il faut pouvoir accéder d'une manière simple : c'est la raison d'être de

l'**hypertexte** [W3C, 1998]. L'hypertexte est une technique, un moyen de navigation, très proche des mécanismes de la pensée et de la mémoire humaines, qui consiste à créer un lien entre un concept et un autre. Ce lien est le plus souvent associé à un mot ou une expression (ce pourrait être un schéma ou une image) qu'il suffit de sélectionner pour détailler sa signification. Pour parvenir à un logiciel qui soit le plus indépendant possible du système d'exploitation et de l'architecture matérielle, nous avons choisi de pratiquer un développement en **HTML-Java** [Arnold et al., 2000].

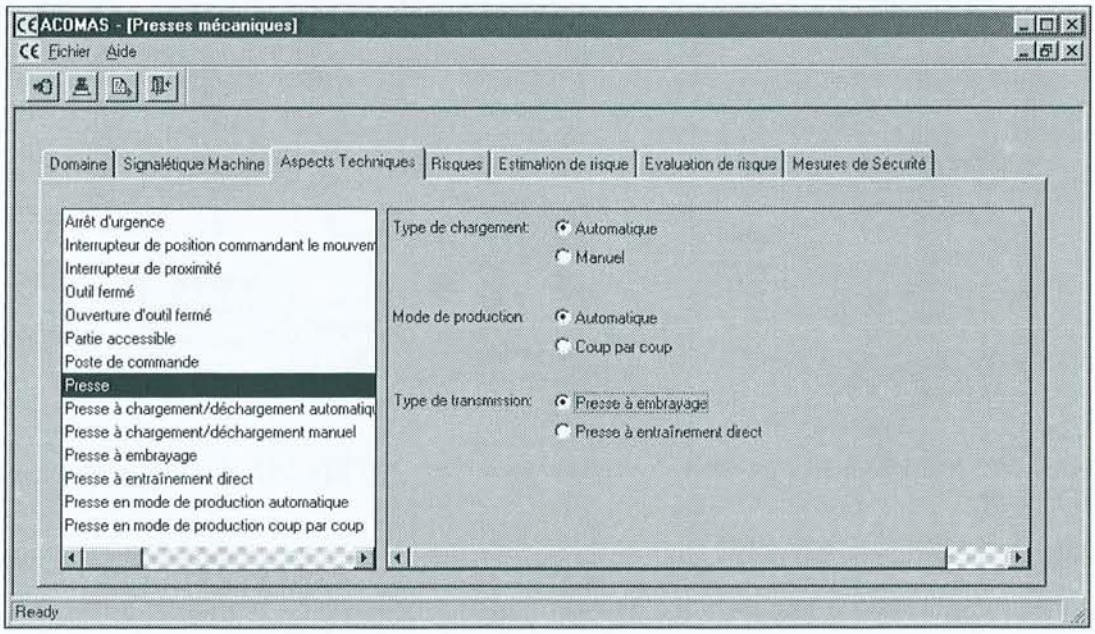


Figure 77 : Exemple d'interface graphique proposée.

4.2.3 Application au développement d'un prototype ACOMAS

4.2.3.1 Spécifications de la maquette

La maquette développée vise à montrer une forme d'exploitation de la norme Presse en phase de conception ou de validation de la conception (phases de tests, évaluation de conformité). Le résultat attendu doit permettre de démontrer la faisabilité de la réalisation à partir du modèle décrit au chapitre précédent et ne veut en aucun cas être une représentation exhaustive de la norme étudiée.

De la même façon, cette maquette ne concerne que la norme Presse mais suggère que la généralisation à l'ensemble des normes de sécurité est faisable en intégrant quelques concepts des normes de base (NF EN 292 et NF EN 1050) par une brève introduction aux concepts de ces deux normes (Figure 78, Figure 79 et Figure 88). La rapide présentation de ces concepts permet de fixer le cadre de l'utilisation d'une aide à la prise en compte de prescriptions pour

une machine quelconque et pour une machine de type presse donnée. Une telle perspective n'est raisonnablement pas envisageable dans le cadre de nos travaux mais son introduction semble nécessaire en vue de développements futurs éventuels.

Au préalable, il semble important d'introduire l'application à une norme et à une machine particulière par les concepts de la norme NF EN 292 modélisés en Figure 50 et rappelés ici.

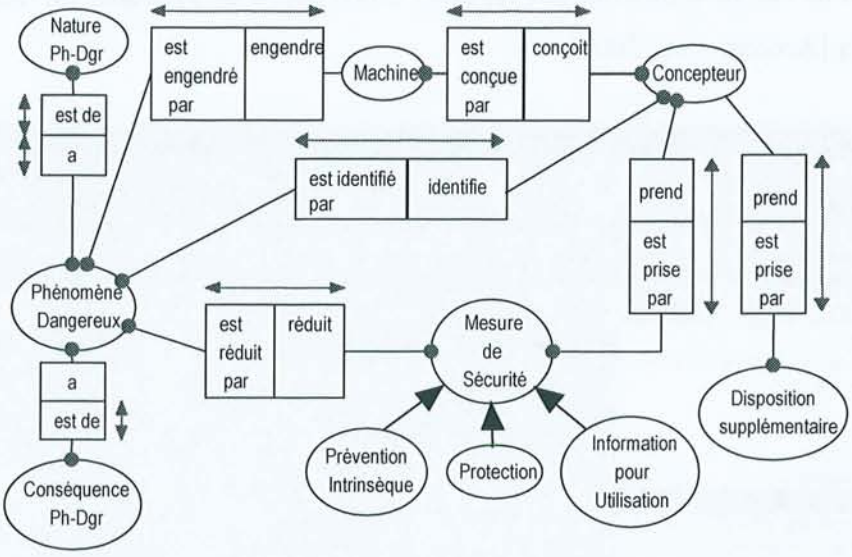


Figure 78 : Modèle NIAM/ORM partiel de la norme NF EN 292, concepts de base.

Ces concepts génériques, car provenant de la norme NF EN 292, peuvent effectivement être instanciés à l'application d'une machine particulière, en l'occurrence, la presse.

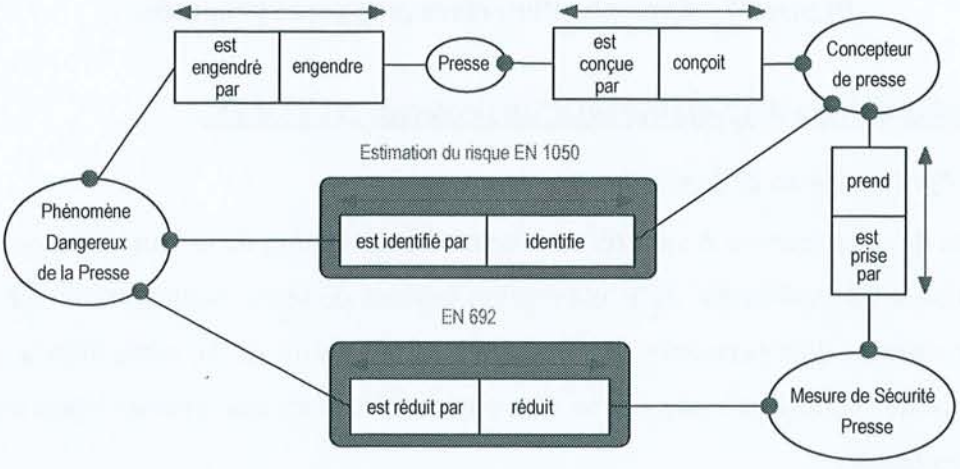


Figure 79 : Instanciation à une machine de type presse du modèle partiel de l'EN 292.

L'émergence du concept EN 1050 (Estimation du risque) doit permettre la proposition d'une estimation du risque pour une machine Presse particulière, cette estimation est préconisée par la norme NF EN 692 [NF_EN_692, 1998] (voir ci-après dans les exemples) même si, dans le cadre de cette norme, l'estimation a déjà été faite par les normalisateurs !

L'émergence du concept EN 692 (norme Presse) doit permettre à l'utilisateur de s'orienter dans la norme Presse. Ensuite, la norme n'établit aucune obligation en termes de parcours de ses prescriptions, si le texte est organisé en paragraphes et sous paragraphes, c'est uniquement dans un but de présentation (conformément à la norme NF EN 414 [NF_EN_414, 1992]) et en aucun cas dans un but d'application chronologique.
Le modèle est quant à lui « à plat » et ses points d'entrée sont multiples. Par contre une fois un point d'entrée sélectionné, c'est le modèle NIAM/ORM, donc la connaissance normative, qui établit les contraintes de navigation et les divers points de sortie.

4.2.3.2 Exemples de prescriptions formalisées et d'écrans associés

Nous reprenons ici les différents exemples déjà décrits dans le § 3.3.4 et en y ajoutant la vue de la maquette informatique correspondante.

Contrainte de type : « **relations entre normes** », exemple de l'arrêt d'urgence et de sa norme associée, la norme NF EN 418 [NF_EN_418, 1992].

5.4.8.2 Les arrêts d'urgence doivent être de catégorie 0 selon 4.1.5 de l'EN 418 : 1992

Figure 80 : Concept d'arrêt d'urgence et de catégorie : le modèle partiel NIAM/ORM, la partie de maquette correspondante.

L'utilisateur du prototype qui sélectionne le composant « Arrêt d'Urgence », doit tout d'abord le référencer, puis doit renseigner un attribut de ce composant qui est nommé « Catégorie », cet attribut, conformément à la norme, ne peut prendre d'autre valeur que la valeur « **0** ».
On peut toutefois, lors d'une activité de vérification de conformité de la machine, renseigner ce champ par une valeur différente (« **1** », par exemple), mais le contrôle de cohérence du prototype signale alors un « non respect de la norme ».

Contrainte type : « **prescription obligatoire** » concernant la déconnexion d'un poste de commande et la présence au minimum d'un arrêt d'urgence à portée de main.

5.4.8.3 il doit y avoir au moins un arrêt d'urgence à portée de main de chaque opérateur ...

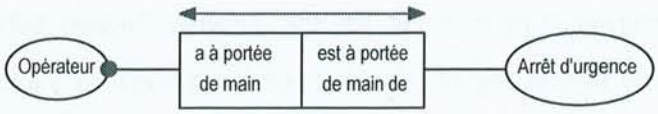


Figure 81 : Concept d'arrêt d'urgence à portée de main, le texte de la norme et le modèle partiel NIAM/ORM correspondant.

L'utilisateur du prototype qui renseigne les divers Arrêts d'urgence associés à la machine doit signifier s'ils sont à portée de main ou pas. Sur un poste, si aucun Arrêt d'urgence n'est à portée de main, le contrôle de cohérence du prototype signale un non respect de la norme.

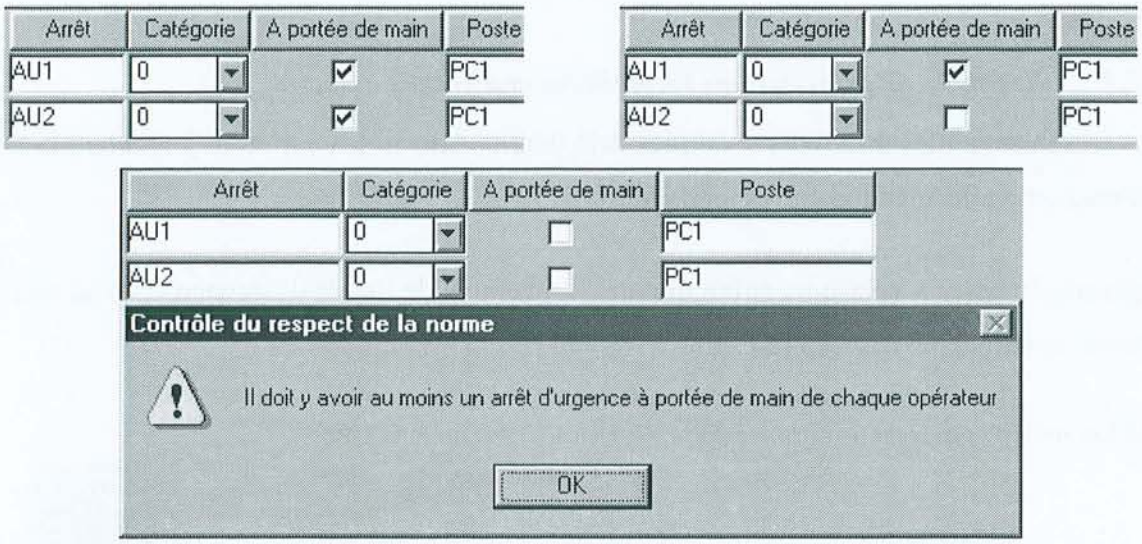


Figure 82 : Partie de la maquette correspondant au modèle NIAM/ORM de la Figure 81

5.4.8.3 (suite) ... Aucun poste pouvant être déconnecté ne doit comporter d'arrêt d'urgence.

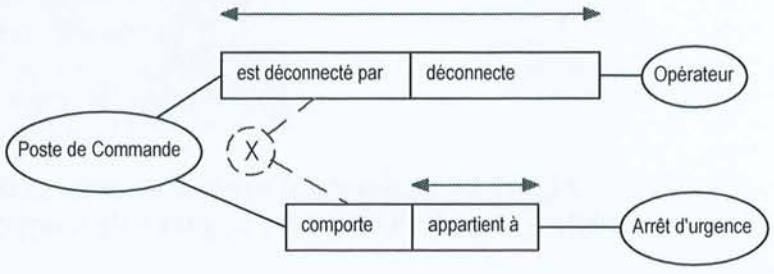


Figure 83 : Concept d'arrêt d'urgence et de déconnexion de poste, le texte de la norme, le modèle partiel NIAM/ORM, la partie de maquette correspondante.

L'utilisateur du prototype qui sélectionne le composant poste de commande depuis le composant précédent « Arrêt d'Urgence » se voit interdire, conformément à la norme, la possibilité de déconnecter ce poste qui comporte un Arrêt d'Urgence. De façon similaire, on imagine que l'utilisateur du prototype qui cherche à raccorder un arrêt d'urgence à un poste de commande qu'il a déjà choisi déconnectable, se verrait refuser cette possibilité.

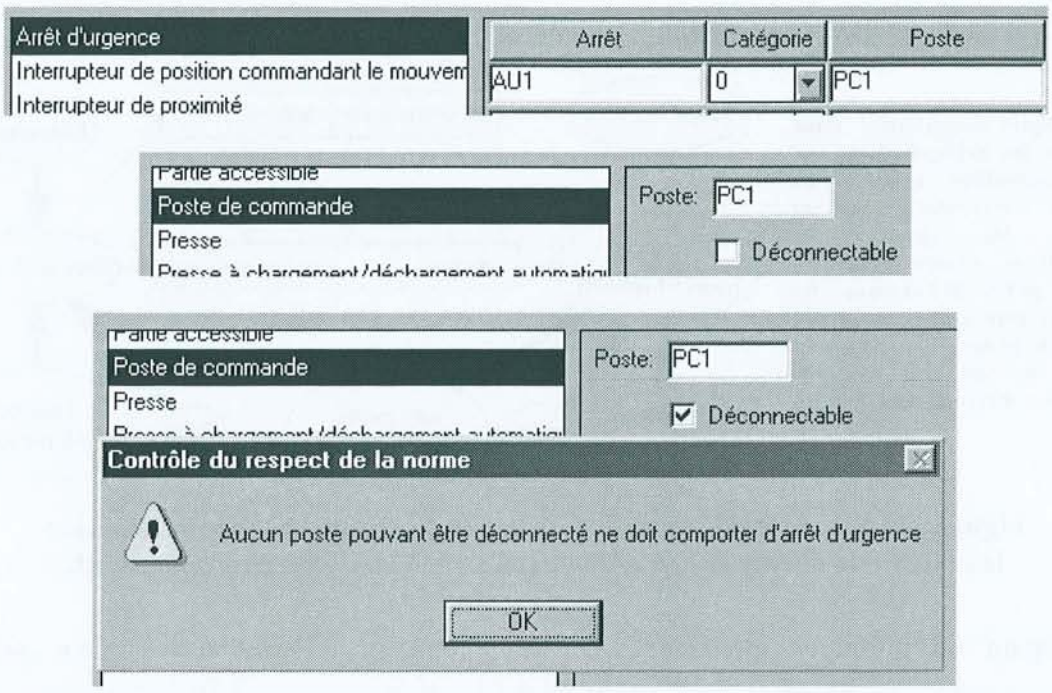


Figure 84 : Partie de la maquette correspondant au modèle NIAM/ORM de la Figure 83.

Contrainte type : « **prescription obligatoire** » concernant par exemple le poste de travail en hauteur

5.7.1 Lorsque la machine comporte des postes de travail en hauteur, ils doivent être munis de main courante et d'une sous-lice.

Figure 85 : Concept de poste de travail en hauteur, de sous-lice et de main-courante, le texte de la norme, le modèle NIAM/ORM, la partie de maquette correspondante.

L'utilisateur du prototype qui sélectionne le composant poste de travail et qui sélectionne la possibilité que ce poste se trouve en hauteur, se voit forcé, conformément à la norme, de prévoir main courante et sous-lice. S'il une des deux caractéristiques n'est plus vérifiée, le contrôle de cohérence du prototype signale un « non respect de la norme ».

Contrainte type : « **choix d'un risque** » par exemple pour les parties accessibles.

5.8.2 Risques thermiques : Pour empêcher les brûlures dues aux parties accessibles de la presse dont les températures peuvent dépasser les valeurs des températures limites spécifiées dans le prEN 563 comme les freins, les embrayages et parties de circuits hydrauliques, on doit prendre des mesures du type installation d'écrans, isolation ou autres.

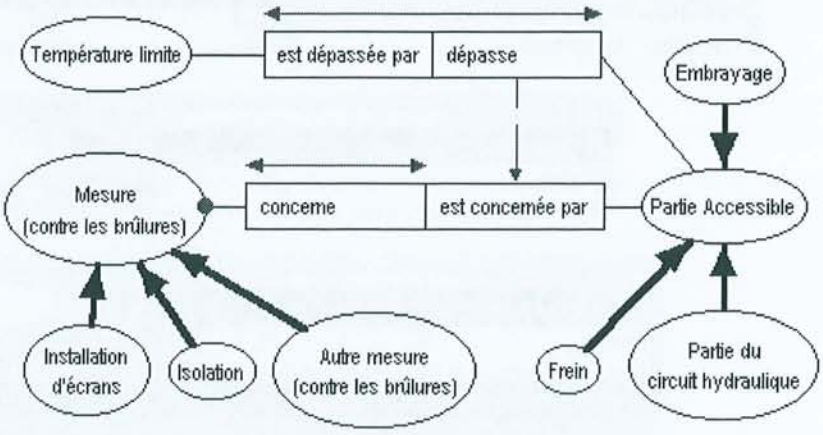


Figure 86 : Concept de partie accessible et de risque thermique associé : le texte de la norme et le modèle partiel NIAM/ORM correspondant.

L'utilisateur du prototype qui sélectionne le composant « Partie Accessible », se voit proposer, conformément à la norme, les divers types de risques qui sont associés aux parties accessibles. En sélectionnant, par exemple, les « risques thermiques », l'utilisateur se voit proposer, toujours conformément à la norme, les mesures de sécurité appropriées au composant « partie accessible » et au risque choisi, si pour une des partie accessible aucune mesure de sécurité n'a été prise, le contrôle de cohérence du prototype en avertit l'utilisateur.

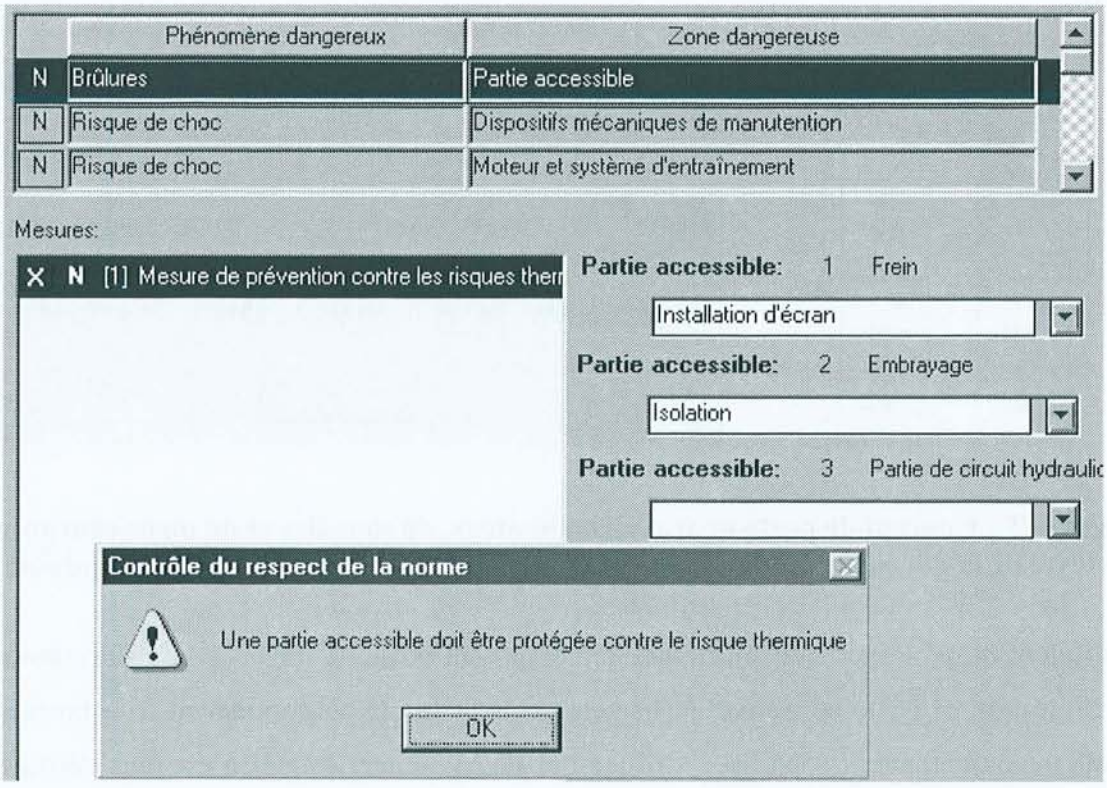


Figure 87 : Partie de la maquette correspondant au modèle NIAM/ORM de la Figure 86.

En fait, le but de cette maquette est de montrer, sous forme d'écrans, les diverses contraintes qu'impose, ou propose, la norme aux concepteurs. Nous les illustrons par divers scénarii de conception d'une machine de type presse en utilisant notre maquette. Tout d'abord, il convient de rappeler que l'utilisation pour le développement d'autres machines est suggérée mais non développée. Ensuite, il convient d'expliquer la structuration de la maquette à travers divers paragraphes de la norme NF EN 692.

- **§4.4 de la norme NF EN 692 : « le tableau 1 de la présente norme donne la liste des phénomènes dangereux significatifs et leur zone dangereuse concernée, normalement associés aux presses mécaniques. Au titre de l'appréciation du risque, le concepteur doit vérifier si la liste des phénomènes dangereux est exhaustive et applicable à la presse considérée. »**

Ceci signifie bien que l'utilisateur de la maquette ne doit pas se contenter d'utiliser la partie propre à la norme NF EN 692 mais doit également considérer la partie estimation du risque (norme NF EN 1050). De plus, le tableau 1 montre que les prescriptions données par les différents paragraphes de la norme NF EN 692 sont relatifs à certains types de phénomènes dangereux, ce qui conforte la nécessité de prendre en compte le modèle partiel de la norme NF EN 292 (Figure 78) et de l'instancier à la presse (Figure 79) en permettant même de le raffiner (Figure 88).

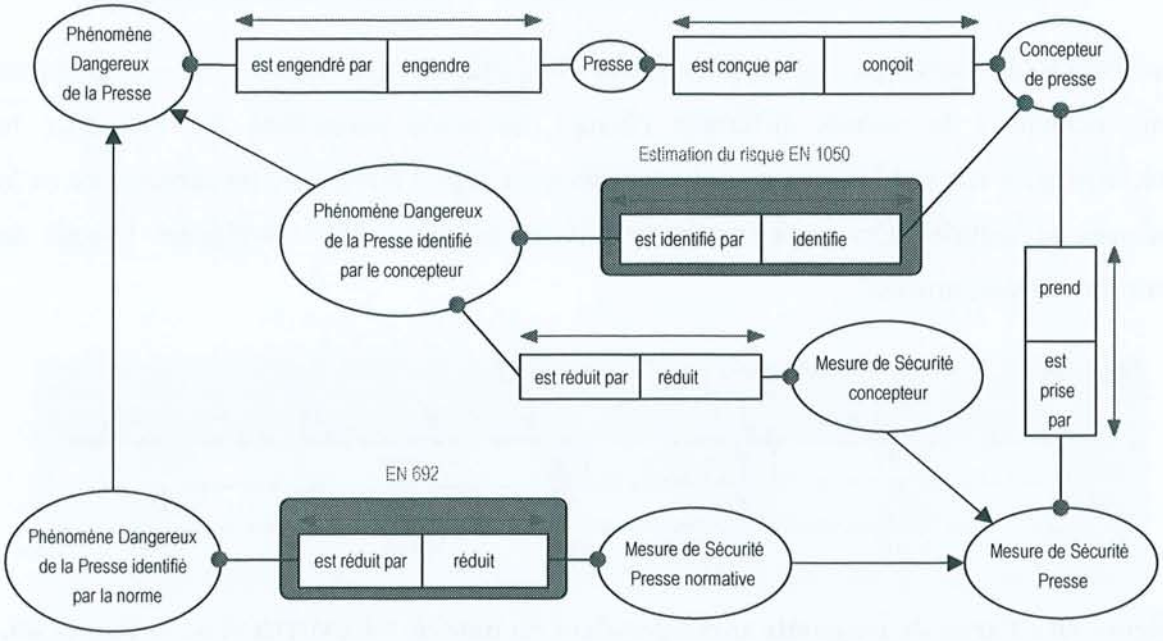


Figure 88 : Raffinement du modèle instancié à une machine de type presse.

Ceci permet de discerner les phénomènes dangereux prévus par la norme presse et ceux qui ne sont pas prévus. Dans la suite, nous nous attacherons uniquement aux premiers à travers les prescriptions de la norme qui correspondent en fait aux mesures de sécurité préconisées. Nous

illustrons nos propos par de nouveaux exemples, tout en respectant les différents types de contraintes rencontrées dans les normes :

- des passages obligés, forcés par la norme,
- des choix qui doivent être faits par le concepteur,
- des relations entre normes.

Contrainte type : « **prescriptions relatives à d'autres normes** ».

- **§ 5.3.8 : « Les outils fermés doivent être intrinsèquement sûrs. Leurs ouvertures et distances de sécurité correspondantes doivent être conformes aux prescriptions données dans le tableau 4 de l'EN 294 : 1992. Tout risque d'écrasement supplémentaire doit être évité en suivant le tableau 4 de l'EN 349 : 1993. »**

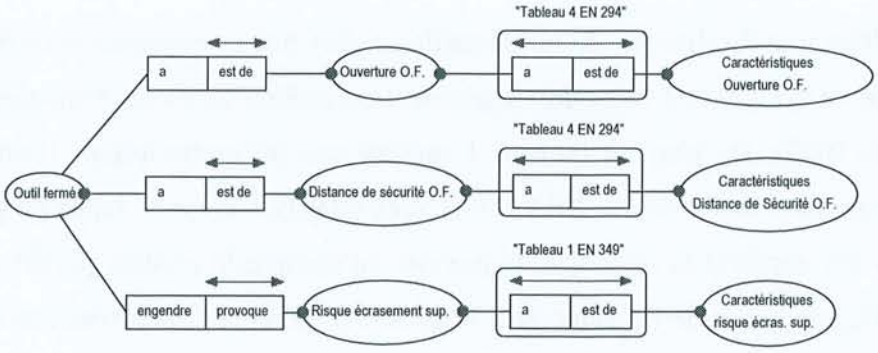


Figure 89 : Modèle NIAM/ORM partiel présentant le concept d'outil fermé et des prescriptions relatives à cet outil renvoyant à des normes spécifiques.

L'utilisateur du prototype qui sélectionne le composant « outil fermé » se voit proposer, conformément à la norme, différents champs de saisie permettant de renseigner les caractéristiques des outils fermés, en l'occurrence, le type l'ouverture, les dimensions et les distances de sécurité. Ces caractéristiques doivent forcément être renseignées lorsque des outils fermés sont utilisés.

Outil fermé : OF1 Outil servant au découpage de feuillards

Ouverture	Type	Dimension			Distance de sécurité	
1	Fente	Minimum	6,75	mm	45	mm
2	Carré	Côté	12,3	mm	135	mm
3	Rond	Diamètre	8,15	mm	25	mm

Figure 90 : Partie de maquette correspondant au modèle NIAM/ORM de la Figure 89.

Contrainte type : « **prescriptions relatives à des choix de conception** », par exemple les différents types de presses et leurs contraintes.

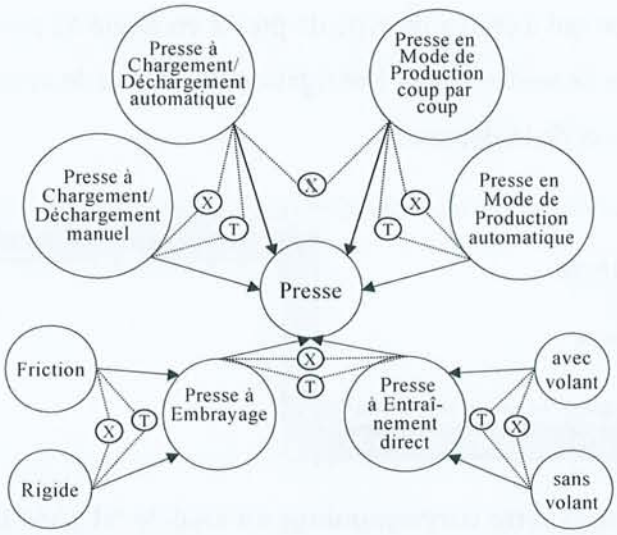


Figure 91 : Modèle NIAM/ORM partiel, des différents types de presse, en fonction de leurs types de chargement, de mode de production et de transmission.

L'utilisateur du prototype qui renseigne les différents types de presse est contraint, conformément à la norme, d'éviter les choix incompatibles, et il est averti en cas de sélections interdites par la norme.

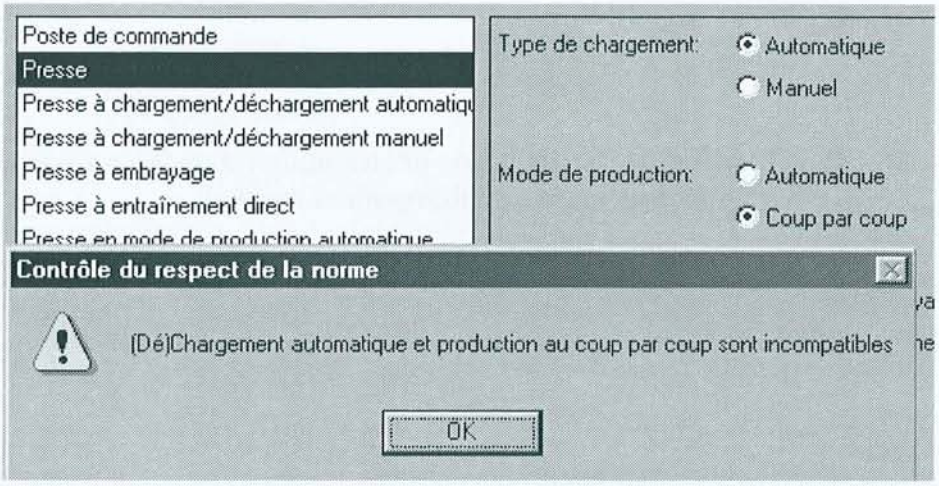


Figure 92 : Partie de maquette correspondant au modèle NIAM/ORM de la Figure 91.

De plus, les différents types de presse induisent différentes prescriptions :

- § 5.3.17 Dispositif de non-répétition de cycle : « Toute presse prévue pour fonctionner en coup par coup manuel doit comporter un dispositif de non-répétition. »

Figure 93 : Modèle NIAM/ORM partiel d'une prescription relative à un type de presse en mode de production coup par coup.

L'utilisateur du prototype qui a choisi un type de presse en mode de production coup par coup se voit, conformément à la norme, dans l'obligation de choisir le composant « dispositif de non répétition de cycle » et de le décrire.

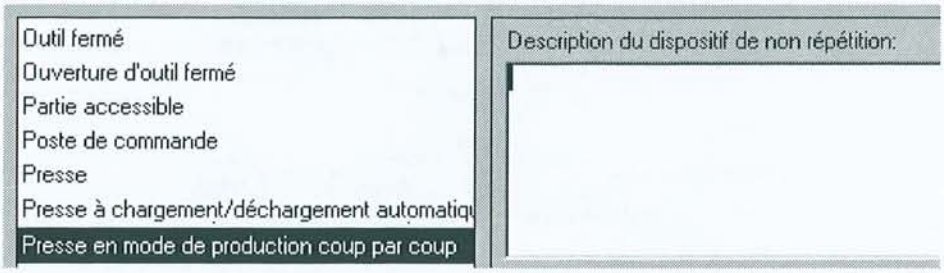


Figure 94 : Partie de maquette correspondant au modèle NIAM/ORM de la Figure 93.

- **§ 5.4.7.3 sur les presses utilisées en chargement / déchargement manuel : « tous les interrupteurs de position commandant le mouvement du coulisseau doivent être de type électromécanique. »**

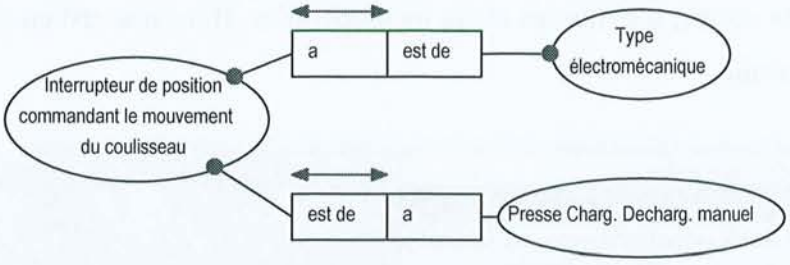


Figure 95 : Modèle NIAM/ORM partiel d'une prescription relative à un type de presse en Chargement / Déchargement manuel

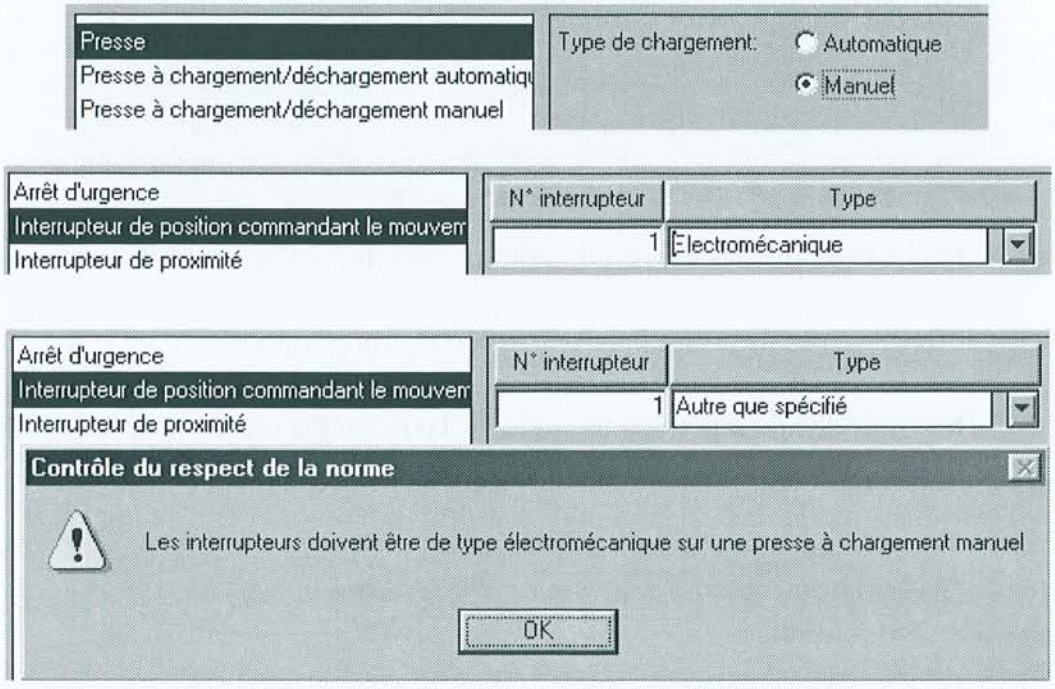


Figure 96 : Partie de maquette correspondant au modèle NIAM/ORM de la Figure 95.

L'utilisateur du prototype qui a choisi un type de presse en chargement, déchargement manuel se voit proposer, conformément à la norme, de signaler s'il utilise le composant « Interrupteur de position commandant le mouvement du coulisseau » et dans ce cas, il doit vérifier que ce composant est de type électromécanique.

Tous ces exemples sont des prescriptions caractéristiques de la norme presse qui ont été prototypées à partir du modèle proposé au § 3.3.4 afin de démontrer la faisabilité de notre approche.

4.2.3.3 Forme de la maquette

Le point d'entrée de la maquette est le **type de machine**, ce qui permet d'avoir deux choix principaux de sélection : soit la machine à concevoir ou à évaluer possède une norme de type C, soit elle n'en possède pas et doit faire alors référence aux normes de type A et B ; dans ce cas, la maquette est développée sur la base du modèle partiel de la norme NF EN 292 présenté en Figure 78. Dans le cas d'une norme de type C, la maquette est développée sur la base du modèle partiel, instancié à la machine considérée, et présenté en Figure 79. Donc, si la base de données correspondante est développée, l'utilisateur a à sa disposition l'ensemble des prescriptions normatives de sécurité liées à la machine à concevoir ou à évaluer. Le résultat idéal final serait de posséder, dans la base de données, les prescriptions de toutes les normes de type C, ainsi que celles des normes de type A et B. Ce développement, bien que faisable au vu de nos résultats sur une norme de type C (NF EN 692) et de type A (NF EN 292), dépasse le cadre et l'objectif de nos travaux.

4.3 Conclusion

La maquette n'est en aucun cas un produit « fini » mais elle permet d'illustrer de façon pragmatique comment un concepteur peut être guidé dans son activité de prise en compte de prescriptions normatives (en conception) ou dans son activité de vérification selon les prescriptions normatives (en certification).

Cependant, il est important de noter que cette maquette est totalement basée sur le modèle NIAM/ORM donc sur la connaissance normative, que les contraintes imposées par la maquette sont des contraintes normatives et que cette maquette puise ces informations dans une base de connaissances normatives à l'image du modèle conceptuel de la norme étudiée.

Dans l'état, la maquette ne permet pas de modifier le contenu de la base de données.

Cependant, la conception, tant de la base de données que de l'interface, a été menée comme s'il s'agissait d'une application « réelle », en cherchant à rencontrer les besoins d'un utilisateur occupé à concevoir ou à évaluer une machine.

En d'autres termes, les tables de la base de données pourraient constituer le noyau d'une architecture plus étendue et les composantes de l'interface pourraient être réutilisées dans le cadre d'un développement à vocation commerciale.

Cette base se composerait ainsi de deux groupes de tables : le premier résultant de la formulation des principes normatifs (exemple : les associations entre phénomènes dangereux et zones dangereuses prévues par la norme EN 692) et le second supportant leur mise en œuvre (exemple : les situations dangereuses qui se rapportent à la machine).

Les diverses actions, déjà citées précédemment [OASIS, 1999] [CASA, 1999] [INRS, 2000], de transfert des résultats de nos travaux et les réactions positives qu'elles ont suscitées, se trouvent aujourd'hui renforcées par l'existence de notre maquette qui permettra, par la suite, d'illustrer concrètement l'intérêt immédiat de nos propositions et servira de vecteur à leur diffusion, que ce soit dans le domaine de la Sécurité des machines en Conception, en Certification, en Enseignement, ..., ou encore, en extrapolant, dans d'autres domaines concernés par les normes et les textes de loi.

CHAPITRE 5 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

5.1 Conclusion Générale

Comme le soulignait J.-L. Vandoorne[33] dans son éditorial [Usine nouvelle, 2000] : « *Dans les bureaux d'études comme dans les ateliers, les contraintes ne cessent de se renforcer. Les normes en matière de sécurité, de qualité, de traçabilité ou de respect de l'environnement sont toujours plus draconiennes, quels que soient les secteurs. A la demande du client ou parce que Bruxelles l'impose. ...* »

Ce constat renforce l'exposé de la problématique de nos travaux, au regard de l'évolution des normes de Sécurité des Machines, présenté dans le premier chapitre et qui est à la base de notre contribution à la recherche de solutions innovantes visant une meilleure exploitation du contenu normatif. Nous avons, par ailleurs, recensé quatre types d'utilisateurs potentiels de ces normes, les normalisateurs eux-mêmes, les formateurs, les certificateurs et évaluateurs de machines et enfin, ceux qui concernent plus particulièrement nos travaux, les concepteurs et constructeurs de machines. Les techniques actuelles permettent à ces différents utilisateurs de normes de disposer plus facilement des différentes références normatives mais ne leur apportent aucun outil permettant de les assister dans leurs métiers dans la prise en compte des normes. C'est pourquoi nous avons étudié les conditions nécessaires à une assistance à l'intégration des normes en conception.

Ceci nous a amené dans un premier temps à formaliser, du moins partiellement, les relations entre les concepteurs et les exploitants de machines. En ce sens, nous avons démontré que les normes étaient potentiellement un outil de rapprochement entre la conception et l'utilisation de machines. C'est pourquoi, nous nous sommes attachés à proposer diverses approches permettant l'intégration des prescriptions normatives en conception des machines et que nous avons retenu l'approche consistant à un rapprochement de leurs vues respectives que l'on peut nommer de manière simplifiée « Vue machine » et « Vue norme ».

[33] Directeur de la rédaction de l'Usine Nouvelle.

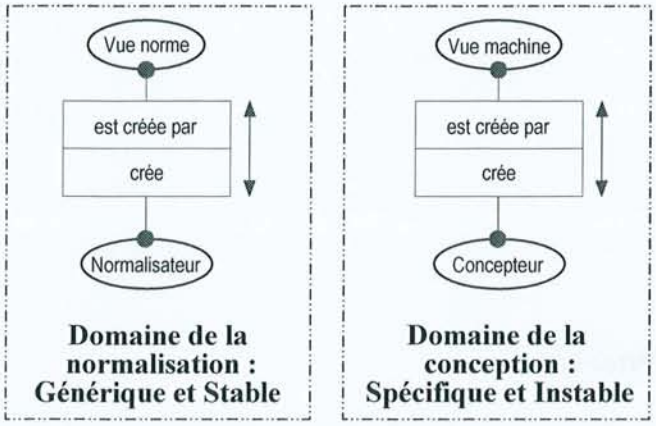


Figure 97 : Mise en évidence de la « Vue norme » produite par la normalisation et de la « Vue machine » produite par la conception.

Ainsi, sans faire apparaître un nouveau domaine cherchant à faire une synthèse technique et normative, nous avons souligné la nécessité de faire émerger un concept de « Vue norme spécifique machine à concevoir » (voir § 1.2.2.4), dont l'intitulé est simplifié en « Vue norme machine ».

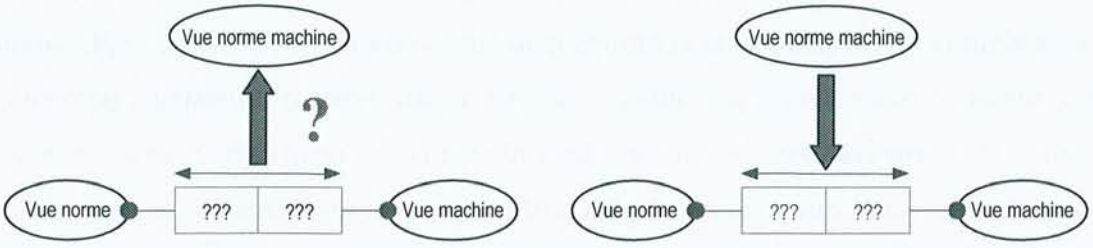


Figure 98 : Substantivation NIAM (Emergence) ou Verbalisation NIAM (Application).

Ne sachant pas, a priori, quelles sont les relations entre les normes et une machine, il est délicat de faire émerger le concept recherché. C'est pourquoi, nous procédons en utilisant en quelque sorte un mécanisme inverse à celui de la substantivation en NIAM/ORM (Figure 98), en cherchant à **postuler** une « Vue norme machine » (ensemble des vues génétiques et ontologiques tant techniques que normatives) et à l'appliquer comme relation intégrante entre les productions de la Conception de Machine (« Vue machine ») et le dispositif normatif qui s'y rapporte (« Vue norme »).

Indépendamment du domaine ciblé par nos travaux, il nous semble que ce mécanisme inverse de la substantivation (transformation d'une relation en un objet) en NIAM/ORM, que l'on pourrait qualifié de « **Verbalisation** » (transformation d'un objet en une relation) pouvait contribuer à résoudre la pratique de modèles tels que ceux proposés par [Mayer, 1995]. En effet, dès lors qu'un concept fusionnant des domaines différents existe, son application pour l'intégration de ces domaines pouvait être explicitée et formalisée (Figure 99).

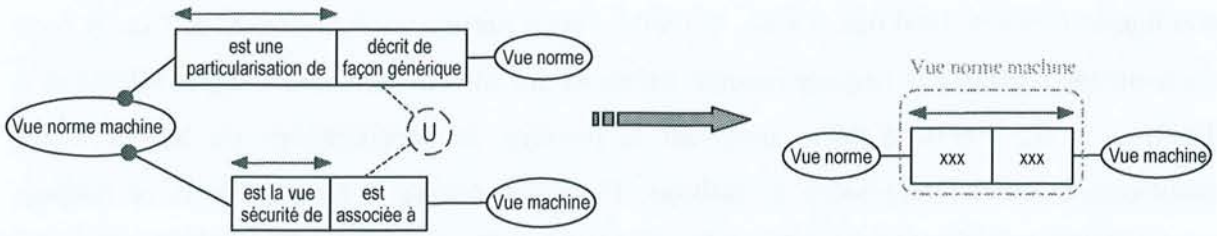


Figure 99 : Schéma NIAM/ORM de transformation d'un objet NIAM en relation NIAM.

Ce dernier schéma synthétise la démarche que nous proposons pour contribuer à l'intégration des normes de sécurité en conception de machines. En effet, le troisième chapitre consiste en l'identification de vues de même nature dans les normes de sécurité et dans les vues techniques produites en conception des machines. C'est par l'hypothèse d'existence de vues de mêmes natures dans ces deux domaines, postulant en fait l'existence d'une « vue norme machine » cohérente, que nous proposons de rapprocher la « vue norme » et la « vue machine ». Dans le deuxième chapitre, la formalisation du contexte d'ingénierie de la connaissance nous a permis de mettre en évidence la nécessité d'un savoir commun pour faciliter la communication entre les différents acteurs. Ce savoir commun doit faire l'objet d'une expression en langage naturel afin d'éviter à l'expert et à l'utilisateur l'apprentissage d'un formalisme particulier. Au regard de l'état de l'art en ingénierie de la connaissance et de nos besoins, l'élaboration d'un schéma conceptuel s'avère être un moyen performant d'acquisition et de modélisation de la connaissance, qui peut, ensuite, être opérationalisé afin de développer un système d'aide à l'exploitation de la connaissance. La méthode NIAM/ORM, fortement inspirée par le langage naturel, propose ces mécanismes avantageux et c'est pourquoi nous l'avons retenue dans le cadre de la formalisation de normes de sécurité. Nous avons signalé dans ce chapitre les quelques limites à la formalisation de la connaissance normative. En particulier les notions subjectives, retrouvées essentiellement dans les termes relatifs à l'ergonomie, font appel à des notions relatives aux ensembles flous, nous avons cité dans ce cadre les travaux expérimentaux de [Zgorzelski & Zalewski, 1996] qui n'ont malheureusement pas eu de suite. Une autre limite de NIAM/ORM concerne les aspects dynamiques de la connaissance et plus particulièrement les respects des contraintes procédurales, pour les vérifications de passage d'un état à un autre. En ce sens, nous citerons la méthode B [Abrial, 1996] permettant de faire des preuves formelles, par exemple à partir de spécifications en NIAM. Nous citerons, enfin, les travaux de [Attiogbé et al., 1996] concernant les opérations entre les données grâce au langage Z [Lightfoot, 1994]. Cet article met en évidence l'intérêt qu'il y a à traiter un même problème sous l'angle de plusieurs

paradigmes distincts [Habrias, 1996]. Toutefois, nous préférons NIAM/ORM à Z ou B pour son avantage à utiliser le langage naturel. Même si des travaux tentent d'intégrer NIAM et Z [Habrias et al., 1993], d'autres montrent le passage de spécifications en NIAM à des spécifications en B [Hadj-Rabia & Habrias, 1996], ou encore le passage de B au langage naturel [Diallo, 2000], ces deux formalismes semblent beaucoup plus hermétiques pour des non-spécialistes. Il est donc apparu, dans un premier temps, que les caractéristiques basiques de NIAM/ORM étaient déjà largement suffisantes pour répondre à nos objectifs dans le contexte donné, et que les rapprochements de NIAM/ORM avec d'autres formalismes ou logiques, s'ils font l'objet de travaux futurs, pourraient être utiles pour approfondir certains passages de textes pour l'analyste, tout en permettant une mise à disposition rapide des modèles grâce à NIAM/ORM.

Nous avons détaillé, dans le troisième chapitre, la méthode NIAM/ORM afin de mieux saisir son application à deux normes de sécurité des machines, la norme NF EN 292 et la norme NF EN 692. Après avoir souligné l'absence de cycle de vie et de processus de conception génériques, nous avons proposé une approche multipoints de vue qui consiste en l'identification de vues caractéristiques d'une machine. Ainsi, deux approches complémentaires, génétique et ontologique, nous permettent d'identifier différentes vues qui sont ensuite exploitées pour restructurer le modèle de norme étudié afin de la préparer à une exploitation plus efficace en conception de machines. Cette approche a plus spécifiquement été appliquée à une machine de type presse et à sa norme associée, la norme NF EN 692, dans le but d'intégrer, en conception d'une machine de type presse, les prescriptions qui lui sont relatives. La faisabilité de cette intégration est illustrée pratiquement par divers scénarii d'utilisation de quelques parties du modèle de la norme. Enfin, nous proposons de renforcer cette démonstration de faisabilité et d'applicabilité de nos travaux par le développement d'une maquette informatique directement basée sur le modèle de la norme NF EN 692 et sur son découpage en vues. Nous avons souligné, dans le quatrième chapitre, que la maquette n'est en aucun cas un produit « fini » mais qu'elle permet d'illustrer de façon pragmatique comment un concepteur peut être guidé dans son activité de prise en compte de prescriptions normatives (en conception) ou dans son activité de vérification selon les prescriptions normatives (en certification). De plus, il est important de noter que cette maquette est totalement basée sur le modèle NIAM/ORM donc sur la connaissance normative, que les contraintes imposées par la maquette sont des contraintes normatives et que cette maquette puise ces informations dans une base de connaissances normatives à l'image du modèle conceptuel de la norme étudiée, tel que nous l'avons illustré par divers exemples.

5.2 *Perspectives*

Plusieurs perspectives ou extensions nous semblent ouvertes par nos travaux :

- en développant une aide à la conception et à la révision des directives et des normes,
- en valorisant les résultats de nos travaux :
  - par la concrétisation des actions entreprises,
  - par la généralisation de la démarche à d'autres domaines.

5.2.1 Aide à la conception et à la révision des directives et normes

Bien que les normalisateurs soient porteurs de la connaissance normative, il devient cependant nécessaire, par la complexité du dispositif normatif et le volume de la connaissance qu'il contient, de les aider à insérer une nouvelle connaissance en cohérence avec celles existantes. Ainsi, une deuxième alternative à l'exploitation de la connaissance formalisée concerne la **révision de normes existantes**, voire la **conception de nouvelles normes**. Un tel développement repose sur l'utilisation directe de la formalisation du dispositif normatif et est envisageable sur les bases de la méthode d'analyse NIAM/ORM. En effet, cette formalisation permet de déceler certaines erreurs dans l'expression de la connaissance. Leur correction permet à la fois d'améliorer la cohérence de cette connaissance et de l'enrichir. Une telle démarche peut être appliquée à des **extensions** [Lhoste et al., 1999] que l'on cherche à apporter à cette connaissance. En cas d'incohérence, des ajouts par rapport à la connaissance d'origine, il est alors possible de **signaler** et d'**expliquer** cette incohérence. La même technique peut être utilisée pour l'élaboration de **nouvelles normes** en vérifiant pour chaque nouvelle définition sa cohérence par rapport aux autres définitions, en particulier, par rapport à celles du dispositif normatif dans lequel elle doit s'insérer. Par ailleurs, l'étroite relation entre NIAM/ORM et le Langage Naturel, permet d'envisager une assistance reposant sur une expression en Langage Naturel des définitions normatives menant à la construction d'une formalisation NIAM/ORM transparente pour l'utilisateur.

5.2.2 Valorisation des travaux

L'état actuel du dispositif des normes liées à ce secteur (voir § 1.1.2.2) démontre également la nécessité de développer au moins un guide permettant de « naviguer » dans ce dispositif (d'ici 5 ans, le nombre de normes dans ce domaine aura doublé d'autant que le règlement intérieur du CEN [CEN, 1990] prévoit que les normes soient réexaminées au plus tard tous les 5 ans).

Ainsi, comme le souligne Monsieur SCHAUMBURG [34] [KANBRIEF, 1999] :

« ... *La normalisation n'est donc pas - comme on l'avait espéré à tort - un tour de force à accomplir une bonne fois pour toutes, mais un processus continu. C'est pourquoi il est indispensable d'exploiter toutes les possibilités de réduire les coûts, d'accélérer la recherche de consensus, et d'accroître l'efficacité. Parallèlement, il faut, par un marketing approprié, inciter le plus d'acteurs possibles à participer à la normalisation.* ... ».

Cette constatation est renforcée, d'une part, évidemment par l'essor de la construction de l'Union Européenne, mais également par la mondialisation des échanges commerciaux. En effet, comme l'indique Monsieur RIKELES [35] [KANBRIEF, 1999]:

« ... *Pour ce qui est de l'harmonisation des réglementations légales, le Marché Unique européen a une nette avance par rapport aux marchés internationaux.* ... . *La directive Machines, en particulier, est, dans ce contexte, reconnue à l'échelle européenne et internationale. Dans le cadre de la globalisation des marchés, une solution consistant à créer un cadre juridique unique et international grâce à une démarche semblable semble donc évidente (Nouvelle Approche au niveau international). On pourrait, sous l'égide de l'OMC*[36], *adapter les directives CE existantes aux besoins internationaux, tout en maintenant le niveau de sécurité européen.* ... ».

Cette dernière remarque montre la portée internationale de la mise sur le marché d'un outil d'assistance et que le développement d'un outil d'assistance à la prise en compte des aspects liés à la sécurité des machines en conception est tout à fait d'actualité. Il est même attendu par le marché. C'est pourquoi nous sommes désireux de mener à bien ce projet et que plusieurs contacts ont déjà été établis. Une maquette a été prototypée pour des besoins de démonstration de la faisabilité des travaux auprès de nos partenaires mais également au cours de différentes présentations, en particulier à l'INRS Paris, en présence du Groupe de travail LOGINORME composé d'enseignants de l'Education Nationale et de personnels de l'INRS, au CEN, en présence des principaux organismes de normalisation européens et lors d'un séminaire des « experts en normalisations » de l'Institution Prévention.

L'intérêt qu'ont montré nos différents interlocuteurs conforte nos travaux et permettent d'envisager la **spécification** et le développement d'une maquette logicielle plus complète aboutissant à un outil industriel d'ACOMAS.

Par ailleurs l'INRS, a déjà développé le logiciel LOGINORME à des fins éducatives et

[34] Président de la KAN (http://www.kan.de)
[35] Rapporteur au CEN pour la Sécurité des machines.
[36] Organisation Mondiale du Commerce.

souhaite faire évoluer ce produit à destination des concepteurs. Les contacts avec les responsables de ce programme à l'INRS ont montré le nécessaire rapprochement des différents travaux et ont abouti à la rédaction conjointe d'un cahier de spécifications [INRS, 2000] d'une éventuelle version évoluée de LOGINORME intégrant une Base de Connaissances formalisées à l'aide de NIAM/ORM (Figure 100).

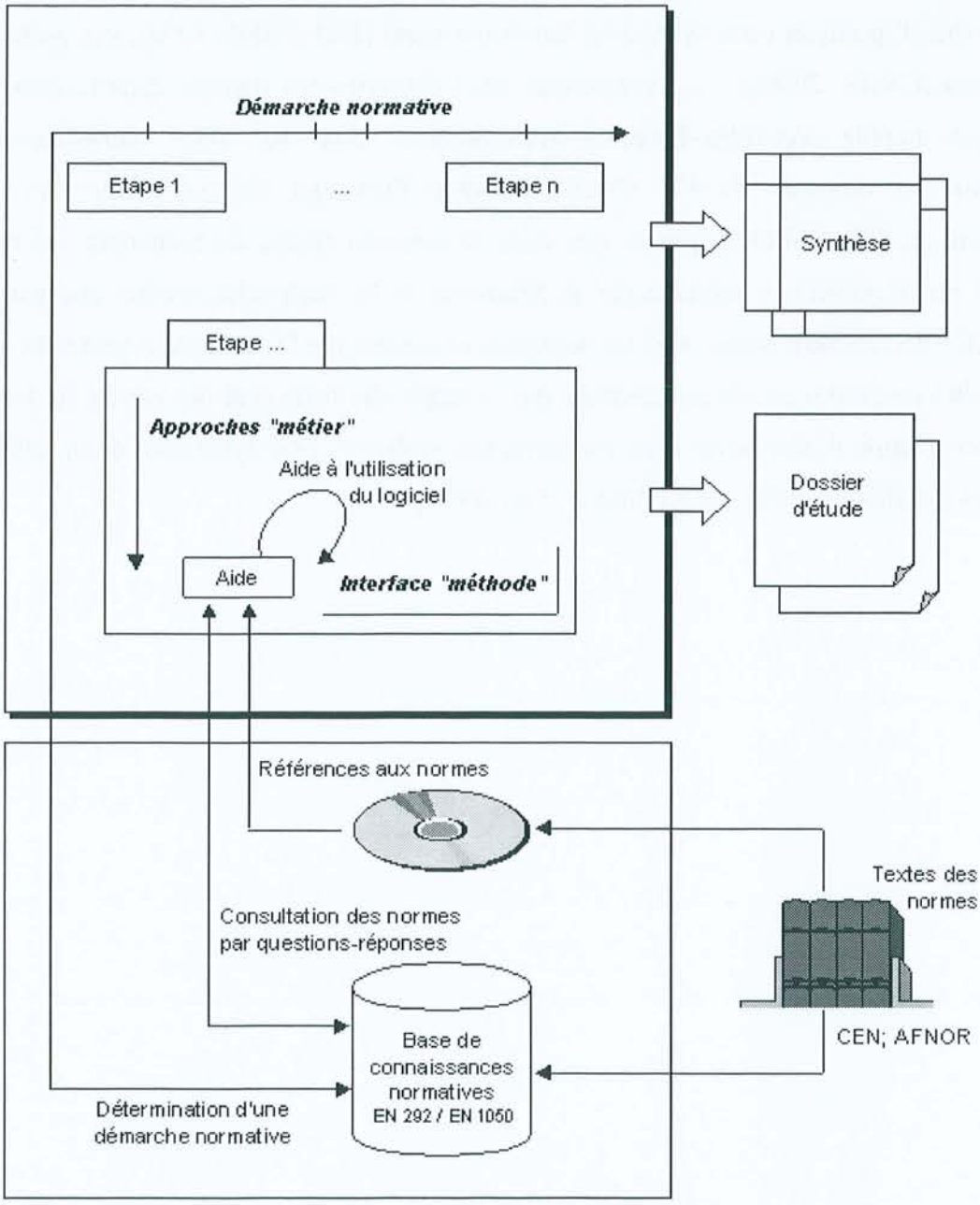


Figure 100 : Architecture d'une éventuelle version évoluée de LOGINORME [INRS, 2000].

5.2.3 Extensions de l'application de nos travaux

Il faut souligner que la méthode présentée ne se limite pas à sa seule application à la sécurité des machines mais peut également permettre le développement d'outils d'aide dans d'autres domaines, en particulier, les domaines des jouets et des appareils médicaux - qui, aux dires de Monsieur MICHAUD[37], présentent le plus de « problèmes » d'application et d'harmonisation- et peut également s'étendre à d'autres domaines que celui de la sécurité. En effet, il est envisageable d'appliquer cette méthode à l'environnement [ISO_14001, 1996], aux problèmes liés à l'eau [CNRS, 2000a], ... , permettant ainsi d'inscrire ces travaux dans le cadre des orientations du pôle « ***équilibre-Homme-environnement : eau - sol - forêt - agro-ressources, prévention des risques*** » du 4ème CPLER (Contrat Plan Etat Région) et du plan U3M (Université du 3ème Millénaire) ainsi que dans le nouveau réseau de recherche : le réseau « *Eau et Environnement* » présenté par le Ministère de la Recherche comme une nouvelle priorité [CNRS, 2000b]. Ainsi, tous les domaines concernés par les normes et les textes de loi peuvent être concernés par notre démarche qui se rapproche fortement des nombreux travaux sur la construction d'ontologies dans les domaines médicaux [Zweigenbaum et al., 1995] et juridiques [Chabbat, 1997] [van Kralingen et al., 1996].

[37] Corporate & Legal Affairs CEN, Bruxelles.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bibliographie Générale

[Abrial, 1974]

J.R. Abrial – *Data Semantics in Data Management Systems*, Kimbie & Koffeman (ed.), North Holland. (**ref. citée page 66**)

[Abrial, 1996]

J.-R. Abrial – *The B-Book - assigning programs to meanings*, Cambridge University Press, ISBN : 0-521-49619-5, 779 p. (**ref. citée page 143**)

[Attiogbé et al., 1996]

C. Attiogbé, H. Habrias et A. Vailly – *Exercices de style*, Rapport Interne n°139 de l'Institut de Recherche en Informatique de Nantes. (**ref. citée pages 68 et 143**)

[Aussenac, 1989]

N. Aussenac – *Conception d'une méthodologie et d'un outil d'acquisition des connaissances expertes*, Thèse de doctorat en informatique, université Paul Sabatier de Toulouse. (**ref. citée page 64**)

[Aussenac-Gilles & Matta, 1994]

N. Aussenac-Gilles et N. Matta – *Making the method of Problem-Solving explicit with MACAO*, in International Journal of Human-computer Studies (40), pp. 193-219. (**ref. citée page 69**)

[Bachimont & Collinot, 1993]

B. Bachimont et A. Collinot – *Des connaissances aux représentations : compiler ou interpréter*, Actes des 2ème Journées Acquisition des Connaissances (JAC) du PRC-GDR-IA du CNRS, St Raphaël, Ed. Teknea, ISBN : 2-7261-0782-6, 12p. (**ref. citée page 69**)

[Barthès et al., 1999]

J.P. Barthès, R. Dieng et G. Kassel – *Dossier Mémoire d'entreprise*, dans bulletin de l'AFIA n° 36. (**ref. citée page 57**)

[Beeckman, 1993]

D. Beeckman, – *Modélisation de l'information dans les systèmes industriels*, Ingénierie des systèmes d'information Vol.1, n°3. pp. 305-323. (**ref. citée page 51**)

[Benbasat & Dhaliwal, 1991]

I. Benbasat et J.S. Dhaliwal – *The Validation of Knowledge Acquisition: Methodology and Techniques*, proceedings of the 3rd EKAW, pp 60-74. (**ref. citée page 68**)

[Blaise, 1996a]

J.C. Blaise – *Formalisation des règles de Sécurité Machines*, Rapport de recherche de DEA option Production Automatisée, Université Henri Poincaré, Nancy I, 29p. (**ref. citée pages 91 et 92**)

[Blaise, 1996b]

J.C. Blaise – *Formalisation des règles de Sécurité Machines - Annexes*, Annexes du rapport de recherche de DEA option Production Automatisée, Université Henri Poincaré, Nancy I, 43p. (**ref. citée pages 91 et 92**)

[Blaise, 1996c]

J.C. Blaise – *Outils et méthodes permettant de révéler, de représenter et de vérifier la sémantique d'un discours*, Rapport bibliographique de DEA option Production Automatisée, Univ. Henri Poincaré, Nancy I, 35p. (**ref. citée page 83**)

[Blaise et al., 1999a]

J.C. Blaise, J. Ciccotelli et P. Lhoste – *Contribution à l'ingénierie sécuritaire des systèmes automatisés de production : formalisation de normes de Sécurité,* Proceedings of the Safety of Industrial Automated Systems Conference, Montreal, pp 16-21. (**ref. citée page 91**)

[Blaise et al., 1999b]

J.-C. Blaise, P. Lhoste et J. Ciccotelli – *Safety of machinery : integration of engineering and normative views*, proceedings European Safety and RELiability Conference (ESREL'99), Schuëller & Kafka (eds) © Balkema, Rotterdam, ISBN 90 5809 109 0, pp. 1411-1416. (**ref. citée page 121**)

[Bodart & Pigneur, 1989]

F. Bodart et Y. Pigneur – *Conception assistée des applications informatiques, méthode, modèles, outils*, Masson, 2ème Ed., ISBN : 2-225-81807-X, 317 p. (**ref. citée page 66**)

[Boehm, 1984]

B.W. Boehm – *Verifying and Validating Software Requirements and Design Specifications*, IEEE Software, January 1984, pp. 75-88. (**ref. citée page 54**)

[Boitard, 1998]

L. Boitard – *Contribution à l'intégration d'outils du Génie Automatique autour d'un Système d'Information unifié. Prototypage d'un Atelier Intégré de Génie Automatique*, Thèse de Doctorat en Production Automatisée, Université Henri Poincaré Nancy I, 206 p. (**ref. citée page 46**)

[Bombardier, 1999]

S. Bombardier – *Contribution à l'intégration des attentes sensorielles dans l'ingénierie de produit : Application au confort des sièges automobiles*, Thèse de l'Université Henri Poincaré, Nancy I, 139 p. (**ref. citée page 105**)

S.C.D. - U.H.P. NANCY 1
BIBLIOTHÈQUE DES SCIENCES
Rue du Jardin Botanique
54600 VILLERS-LES-NANCY

[Bommel et al., 1991]

P. van Bommel, A.H.M. ter Hofstede et T.P. van der Weide – *Semantics and verification of Object-Role Models*, Information Systems 16(5), pp. 471-495. (**ref. citée page 54**)

[Bon-Bierel, 1998]

E. Bon-Bierel – *Contribution à l'Intégration des Modèles de Systèmes de Production Manufacturière par Méta-modélisation*, Thèse de l'Université Henri Poincaré, Nancy I, 246 p. (**ref. citée page 84**)

[Booch, 1994]

G. Booch – *Analyse et conception orientées objet*, Addison-Wesley (ed.), ISBN : 2-87908-069-X, 606p. (**ref. citée page 71**)

[Booch et al., 1997]

G. Booch, J. Rumbaugh et I. Jacobson – *Unified Modeling Language : Notation Guide*, Technical report, Rational Software Corporation. (**ref. citée page 71**)

[Borillo et al., 1991]

M. Borillo, Y. Toussaint et A. Borillo – *Motivations du projet LESD*, Conference Engineering'91, Versailles. (**ref. citée page 59**)

[Bouaud et al., 1994]

J. Bouaud, B., Bachimont, J. Charlet & P. Zweigenbaum, – *Acquisition and structuring of an ontology with conceptual graphs*, in proceedings of ICCS'94 Workshop on Knowledge acquisition using conceptual graph theory. (**ref. citée page 67**)

[Bouaud et al., 2000]

J. Bouaud, B. Habert, A. Nazarenko et P. Zweigenbaum – *Regroupements issus de dépendances syntaxiques sur un corpus de spécialité : catégorisation et confrontation à deux conceptualisations du domaine*, dans Ingénierie des Connaissances : évolutions récentes et nouveaux défis, Eds Eyrolles, Paris, ISBN : 2-212-09110-9, pp. 275-291. (**ref. citée page 63**)

[Boudillon & Sourisse, 1996]

L. Boudillon et C. Sourisse – *La Sécurité des machines automatisées tome 1 : Notions fondamentales. Réglementation. Normes. Techniques de prévention*, Institut Schneider Formation, ISBN 2-907314-29-7, 236 p. (**ref. citée page 29**)

[Bourigault, 1994]

D. Bourigault – *Extraction et structuration automatiques de terminologie pour l'aide à la connaissance à partir de textes*, dans Actes du IXème congrès Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle (RFIA94), Paris, pp. 397-408. (**ref. citée page 62**)

[Bowen & Hinchey,1994]

J.P. Bowen et M.G. Hinchey – *Ten commandments of formal methods*, technical report, University of Cambridge, Computer laboratory, 17 p. (**ref. citée page 60**)

[Breuker et al., 1987]

J. Breuker, B. Wielinga, R. de Hoog, G. Schreiber, P. de Greef, B. Bredeweg, J. Wielmaker, J.P. Billeaut, M. Davoodi et S. Hayward – *Model driven knowledge acquisition, interpretation models*, Deliverable Task A1, ESPRIT Project 1098. (ref. citée page 60)

[Brunet & Dorbes, 1990]

E. Brunet et G. Dorbes – *KADS & Merise : vers une unification du génie cognitif et du génie logiciel*, Génie Logiciel et Systèmes Experts n°19, pp.10-26. (ref. citée page 72)

[Cañamero & Geldof, 1993]

D. Cañamero et S. Geldof – *Modélisation et validation dans COMMET : une intégration des deux perspectives*, Actes des 2ème Journées Acquisition des Connaissances (JAC) du PRC-GDR-IA du CNRS, St Raphaël, Ed. Teknea, ISBN : 2-7261-0782-6, 15p. (ref. citée page 68)

[Cantin, 1995]

R. Cantin – *Retours d'expérience de la pratique et maîtrise des procédés industriels*, dans l'ouvrage "Connaissances et savoir-faire en entreprise", Editions Hermès. ISBN 2-86601-627-0. pp. 229-247. (ref. citée page 37)

[Caulier, 1997]

P. Caulier – *Méthodologie de capitalisation et de réutilisation des connaissances pour l'aide à la supervision des procédés automatisés complexes Application à la supervision du trafic téléphonique de l'Île de France*, Thèse de doctorat spécialité Automatique Industrielle et Humaine, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis. 221 p. (ref. citée page 37)

[Chabbat, 1997]

B. Chabbat – *Modélisation multiparadigme de textes réglementaires*, Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées, Lyon, 387 p. (ref. citée page 148)

[Chanier, 1989]

T. Chanier – *Compréhension de Textes dans un domaine technique: le systèmes ACTES. Application des Grammaires d'Unification et de la Théorie du Discours*, Thèse de Doctorat, Université de Paris XIII. (ref. citée page 63)

[Charlet et al, 2000]

J. Charlet, M. Zacklad, G. Kassel et D. Bourigault – *Ingénierie des connaissances : recherches et perspectives*, dans Ingénierie des Connaissances : évolutions récentes et nouveaux défis, Eds Eyrolles, Paris, ISBN : 2-212-09110-9, 632 p. (ref. citée page 71)

[Chein et al., 1995]

M. Chein, J. Bouaud, JP. Chevallet, R. Dieng, B. Levrat et G. Sabah – *Graphes conceptuels*, Actes des 5èmes Journées Nationales PRC-GDR Intelligence Artificielle, Nancy, pp. 179-212. (ref. citée page 72)

[Chen, 1976]

P.P. Chen – *The entity-relationship model : toward a unified view of data*, ACM Transactions on Data Base Systems, vol 1, n° 1. (ref. citée page 66)

[Chen et al., 1999]

P.P. Chen, B. Thalheim et L.Y. Wong – *Future directions of conceptual modeling*, Chen et al. (Eds): Conceptual Modeling, LNCS 1565, Springer-Verlag Berlin, ISBN: 3-540-65926-9, Heidelberg, pp.287-301. (**ref. citée page 68**)

[Ciccotelli, 1999]

J. Ciccotelli – *Des systèmes compliqués aux systèmes complexes. Eléments de réflexion pour l'ingénierie de prévention*, Cahiers de notes documentaires - Hygiène et sécurité du travail. N° 177. 4ème trim. 1999. ISBN 2-7389-0843-8. pp. 125-133. (**ref. citée page 105**)

[Codd, 1970]

E.F. Codd – *A relational model of data for large shared data banks*, CACM, vol 13, n° 6. (**ref. citée page 66**)

[Collignon & Weide, 1993]

M.A. Collignon et Th.P. Van der Weide – *An Information Analysis Method Based on PSM*, NIAM-ISDM Conference, Utrecht (Pays-Bas). (**ref. citée page 83**)

[Coquet, 1989]

J.C. Coquet – *Le discours et son sujet – Essai de grammaire modale*, Editions Paris Méridiens Klincksieck. (**ref. citée page 94**)

[Corbel, 1995]

J.C. Corbel – *Méthodologie de retour d'expérience, démarche MEREX de Renault*, dans l'ouvrage "Connaissances et savoir-faire en entreprise". Editions Hermès. ISBN 2-86601-627-0. pp. 93-110. (**ref. citée page 36**)

[Dano, 1997]

B. Dano – *Une démarche d'ingénierie des besoins orientée objet guidée par les cas d'utilisation*, Thèse de Doctorat, Université de Nantes, 157p. (**ref. citée page 71**)

[David & Plante, 1991]

S. David et P. Plante – *Le progiciel TERMINO : de la nécessité d'une analyse morphosyntaxique pour le dépouillement terminologique de textes*, dans les actes du colloque sur les industries de la langue, Office de la langue française, Québec, pp. 71-88. (**ref. citée page 62**)

[Decitre, 1990]

P. Decitre – *The KADS methodology a de facto standard at hand ?*, Proceedings of the Bolesian conference, Utrecht (Pays-Bas). (**ref. citée page 60**)

[Mc Dermott, 1982]

D. Mc Dermott – *A temporal logic for reasoning about plants and actions*, Cognitive Science, 6, pp. 101-155. (**ref. citée page 87**)

[Desclés, 1990]

J.P. Desclés : – *Langages applicatifs, Langues naturelles et cognition*, Editions Hermès, ISBN : 2866012275 Paris, 364p. (**ref. citée page 60**)

[Diallo &Vailly, 1998]

D. Diallo – *Aide à la validation par paraphrasage de spécifications formelles B*, Thèse de Doctorat en Informatique, Univ. De Nantes. (**ref. citée page 144**)

[Didelot et al., 2000]

A. Didelot, E. Fadier et J. Ciccotelli - *Contributions and limitations of standardization with respect to automated system design*. Proceedings. of ESREL 2000, Foresight and Precaution, Cottam, Pape & Tate (eds), Rotterdam, Netherlands, ISBN 90-5809-140-6, pp. 127-131. (**ref. citée page 21**)

[Didelot & Fadier, 2000]

A. Didelot et E. Fadier – *L'apport de l'analyse opérationnelle à la conception : cas d'un processus d'imprimerie*, Actes du 12ème colloque national de fiabilité et de maintenabilité, Montpellier, pp. 231-240. (**ref. citée page 34**)

[Dieng, 1990]

R. Dieng – *Méthodes et outils d'acquisition des connaissances*, In ERGO-IA, Biarritz, France, pp.245-271. (**ref. citée page 64**)

[Doumeingts et al., 1994]

G. Doumeingts, P. Fenie et D. Chen – *GIM (GRAI Integrated Method), Méthode pour concevoir et spécifier les systèmes productiques*, Second international conference on Integrated Logistic and Concurrent Engineering (ILCE'94), pp. 271-286. (**ref. citée page 65**)

[Downe et Chaves, 1999]

S. Downe et I.G. Chaves – *Progress towards web-based Electronic Committees in the CEN/INES project (Internet Network for European Standardization)*, proceedings of the 1st IEEE conference on Standardisation and Innovation in Information Technology (SIIT'99), Aachen, Allemagne, ISBN: 0-7803-9935-8, pp. 231-235. (**ref. citée page 31**)

[Duchamp, 1999]

R. Duchamp – *Méthodes de conception de produits nouveaux*, Ed. Hermès, ISBN : 2-746200457, 192 p. (**ref. citée page 105**)

[Duribreux-Cocquebert, 1995]

M Duribreux-Cocquebert – *MODESTI : vers une méthodologie interactive de développement de système à base de connaissances*, Thèse de doctorat en automatique industrielle et humaine, Université de Valenciennes. (**ref. citée page 66**)

[Duribreux-Cocquebert & Houriez, 2000]

M. Duribreux-Cocquebert et B. Houriez – *Application industrielle d'une approche mixte de modélisation des connaissances*, dans Ingénierie des Connaissances : évolutions récentes et nouveaux défis, Eds Eyrolles, Paris, ISBN : 2-212-09110-9, pp.25-41. (**ref. citée pages 63 et 66**)

[ESPRIT, 1991]

ESPRIT Consortium AMICE – *Open System Architecture for CIM*, CIM-OSA AD 1.0, Architecture Description, (ESPRIT - Project 688, Project 2422, Project 5288), Bruxelles, Belgique. (**ref. citée page 65**)

[Faiz, 1996]

R. Faiz – *Modélisation formelle des connaissances temporelles à partir de textes en vue d'une génération automatique de programme*, Thèse de Doctorat, Université Paris 9. (**ref. citée page 87**)

[Felber 1987]

H. Felber – *Manuel de terminologie*, Paris, UNESCO. (ref. citée page 104)

[Feliot, 1997]

C. Feliot – *Modélisation de systèmes complexes : intégration et formalisation de modèles*, Thèse de Doctorat, Université de Lille 1, 302p. (ref. citée page 105)

[Fensel & Van Harmelen, 1994]

D. Fensel et F. Van Harmelen – *A comparison of languages which operationalise and formalise KADS Models of expertise*, in the Knowledge Engineering Review (9), pp.105-146. (ref. citée page 69)

[Fingar et al., 1997]

P. Fingar, J. Clarke et J. Stikeleather – *The Business of Distributed Object Computing*, Object Magazine. (ref. citée page 71)

[Firlej, 1990]

M. Firlej – *Knowledge elicitation: a practical handbook*, Prentice Hall, ISBN : 0-13-517145-8. 185 p. (ref. citée pages 51 et 62)

[Fouche & Lepretre, 1991]

J.-J. Fouche et S. Lepretre – *ISW : un outil pour la méthode NIAM, ou passer du langage naturel à des spécifications non ambiguës*, dans Génie Logiciel et Systèmes Experts, N° 23.(ref. citée page 123)

[Fougères, 1997]

A.J. Fougères – *Aide à la rédaction de spécifications formelles à partir des spécifications rédigées en langage naturel. Application aux spécifications de services de France Télécom*, Thèse de Doctorat spécialité Contrôle des Systèmes, Université de Technologie de Compiègne. 212p. (ref. citée page 70)

[Frachet, 1987]

J.P. Frachet – *Une introduction au Génie automatique : faisabilité d'une chaîne d'outils C.A.O. pour la conception et l'exploitation des machines automatiques industrielles*, Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences Physiques, Université de Nancy I. (ref. citée page 46)

[Frachet, 1995]

J.P. Frachet – *L'Ingénierie des Systèmes Automatisés de Production : le Génie Automatique*, support de cours DEA Production Automatisée. (ref. citée page 58)

[Frath et al., 2000]

P. Frath, R. Oueslati et F. Rousselot – *Identification de relations sémantiques par repérage et analyse de cooccurrences de signes linguistiques*, dans Ingénierie des Connaissances : évolutions récentes et nouveaux défis, Eds Eyrolles, Paris, ISBN : 2-212-09110-9, pp. 291-304. (ref. citée page 63)

[Le Gallou & Bouchon-Meunier, 1992]

F. Le Gallou et B. Bouchon-Meunier – *Systémique, théorie et applications*, EditionsLavoisier, 342p. (ref. citée page 106)

[Gallouin, 1988]

J.F. Gallouin – *Transfert de connaissances, systèmes experts : techniques et méthodes*, Edition Eyrolles. (ref. citée page 62)

[GAMA, 1998]

Groupe GAMA – *La modélisation par entités*, dans l'ouvrage Conception de produits mécaniques : méthodes, modèles et outils, Editions Hermès, Paris, ISBN 2886016947, 576p. (ref. citée page 105)

[Garcia, 1998]

D. Garcia – *Analyse automatique des textes pour l'organisation causale des actions. Réalisation du système informatique COATIS*, Thèse de Doctorat, Université Paris-IV Sorbonne. (ref. citée page 62)

[Garro et al., 1995]

O. Garro, I. Salau et P. Martin – *Distributed Design Theory and Methodology*, Concurrent Engineering Revue, Vol. 3, N°1, pp. 43-54. (ref. citée page 44)

[Gauthier, 1995]

F. Gauthier – *Les méthodes de conception sécuritaire*, Université de Sherbrooke, Québec, Canada, 252 p. (ref. citée page 93)

[van Gheluwe, 1993]

M. Van Gheluwe – *La Directive Machines*, Journées CETIM des 14 et 15 décembre 1993 sur la "Sécurité des Equipements de Travail : Les nouvelles règles techniques européennes et leur transposition en droit français", à Senlis, ISBN 2-85400-291-1, pp. 5-13. (ref. citée page 23)

[Goan, 1999]

T. Goan – *Supporting the user: conceptual modeling & knowledge discovery*, P.P. Chen et al. (Eds): Conceptual Modeling, LCNS 1565, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, pp.100-104. (ref. citée page 64)

[Gréboval-Barry & Kassel, 1998]

C. Gréboval-Barry et G. Kassel – *Enjeux d'une compilation modulaire*, rapport interne HEUDIASYC n° 98/105, Université Technologique de Compiègne. (ref. citée page 70)

[Grusenmeyer, 1995]

C. Grusenmeyer – *De l'analyse des communications à celle des représentations fonctionnelles partagées. Une application à la relève de poste*, Thèse de Doctorat en Psychologie Cognitive, Université R. Descartes (Paris V) Sciences Humaines Sorbonne. (ref. citée page 59)

[Habrias, 1987]

H. Habrias – *Vous en parlez. Les avez vous utilisées ? Les définitions des formes normales que l'on trouve dans la littérature*, Lettre de l'Adéli N°3, Paris. (ref. citée page 69)

[Habrias, 1988]

H. Habrias – *Le modèle relationnel binaire. Méthode I.A. (NIAM)*, Editions Eyrolles., 301p. (ref. citée pages 63 et 83)

[Habrias, 1993]

H. Habrias – *Introduction aux spécifications*, Editions Masson, Paris, ISBN n° 2-225-82768-0, 368 p. (ref. citée pages 78 et 86)

[Habrias et al., 1993]

H. Habrias, S. Dunne et B. Stoddart – *NIAM and Z specifications*, NIAM ISDM Conference, Utrecht, Pays-Bas. (ref. citée page 144)

[Habrias, 1996]

H. Habrias – *Les paradigmes des méthodes d'analyse et de conception*, dans Génie Logiciel : principes, méthodes et techniques, pub. sous la direction de A. Strohmeier et D. Buchs, ISBN : 2-88074-296-X, pp. 41-81. (ref. citée page 144)

[Habrias, 1997]

H. Habrias – *Dictionnaire encyclopédique du génie logiciel*, Editions Masson, ISBN 2-225-85328-2, 467 p. (ref. citée page 47)

[Hadj-Rabia & Habrias, 1996]

N. Hadj-Rabia et H. Habrias – *Formal specification from NIAM model : a bottom up approach*, the 11th International Symposium on Computer and Information Sciences (ISCIS XI), pp. 483-494. (ref. citée page 144)

[Halpin, 1993]

T.A. Halpin – *What is an elementary fact ?*, Proceedings NIAM-ISDM conference, Utrecht, Pays-Bas. (ref. citée page 81)

[Halpin, 1998]

T.A. Halpin – *Object-Role Modeling (ORM/NIAM)*, Handbook on Architectures of Information Systems, ISBN 3-540-64453-9. (ref. citée page 78)

[Halpin, 1999]

T. Halpin – *Data modeling in UML and ORM: a comparison*, in the Journal of Database Management, vol. 10, N°4, Idea Group Publish., Hershey PA, USA. (ref. citée page 71)

[Harani, 1997]

Y. Harani – *Une approche multi-modèles pour la capitalisation des connaissances dans le domaine de la conception*, Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, 179 p.(ref. citée page 105)

[van Harmelen et al., 1993]

F. van Harmelen, R. L. de Mantaras, J. Malec et J. Treur – *Comparing Formal Specification Languages for Complex Reasoning Systems, in Formal Specification of Complex Reasoning Systems*, Ellis Horwood, pp. 257-282. (ref. citée page 69)

[Harmon & King, 1985]

P. Harmon et D. King – *Experts systems : artificial intelligence in business*, A Wiley Press Book, John Wiley & Sons Inc. (ref. citée page 64)

[Hasan et al., 2000]

R. Hasan, A. Bernard, J. Ciccotelli et P. Martin – *Intégration de la sécurité dès la conception de systèmes de Production : modélisation de l'interaction homme- machine dans le fonctionnement du produit lors du processus de conception*, 3rd International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering, IDMME'2000, Montreal, Canada, 12 p. (ref. citée page 36)

[Haurat, 1993]

A. Haurat – *Le modèle Olympios pour les entreprises manufacturières*, dans C. Foulard, La modélisation en entreprise, CIM-OSA et ingénierie simultanée, Editions Hermès, Paris, ISBN : 2866014197, 224 p. (ref. citée page 65)

[Hayes-Roth et al., 1983]

F. Hayes-Roth, D.B. Leant et D.A. Waterman – *Building expert systems*, reading MA : Addison-Wesley. (ref. citée page 64)

[Hoffman, 1989]

R.R. Hoffman – *A survey of methods for Eliciting the Knowledge of Experts*, in SIGART Newsletter, Knowledge Acquisition Special Issue (108). (ref. citée page 64)

[de Hoog et al., 1992]

R. de Hoog, R. Martil, B. Wielinga, R. Taylor, C. Bright et W. Van de Velde – *The common KADS Model Set*, Project ESPRIT P5248 KADS-II, An advanced and comprehensive Methodology for integrated K. B. S. Development, Doc KADS-II/WP I-II/RR/UvA/018/4.0. (ref. citée page 60)

[Istenes, 1997]

Z. Istenes – *ZOLA, un langage réflexif pour représenter et opérationaliser des modèles conceptuels*, Thèse de Doctorat, Université de Nantes. (ref. citée page 70)

[Jacob-Delouis & Krivine, 1995]

I. Jacob-Delouis et J.-P. Krivine – *LISA : un langage réflexif pour opérationaliser les modèles d'expertise*, revue d'intelligence artificielle, 9 (1), pp. 53-88. (ref. citée page 70)

[Jacobson, 1993]

I. Jacobson, M. Christerson, P. Jonsson et G. Overgaard – *Le Génie Logiciel Orienté Objet, une approche fondée sur les cas d'utilisation*, Addison-Wesley, ISBN : 2-87908-042-8, 536p. (ref. citée page 71)

[Jouis, 1993]

C. Jouis – *Contribution à la conceptualisation et à la modélisation des connaissances à partir d'une analyse linguistique de textes. Réalisation d'un prototype : Le système SEEK*, Thèse de Doctorat, Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales (EHESS), Université Paris - Sorbonne, 392p. (ref. citée page 59)

[Jouffroy et al., 1998]

D. Jouffroy, S. Demor, J. Ciccotelli et P. Martin – *An Approach to Integrate Safety at the Design Stage of Numerically Controlled Woodworking Machines,* in Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering, Kluwer Academic publisher, ISBN 0-7923-6024-9, pp. 643-650. (ref. citée pages 21 et 44)

[Karbach et al., 1991]

W. Karbach, A. Voss, R. Schuckey et U. Drouven – *MODEL-K : prototyping at the Knowledge level*, in proceedings of the 11th International Conference "the expert systems and their applications", Avignon, pp. 501-511. (ref. citée page 70)

[Kassel, 1995]

G. Kassel – *Contribution à la représentation des connaissances pour les systèmes experts de seconde génération : le projet AIDE*, rapport interne HEUDIASYC n° 95/55, Habilitation à Diriger des Recherches, Université Technologique de Compiègne. (**ref. citée page 70**)

[Kassel et al., 2000]

G. Kassel, C. Gréboval-Barry et M.H. Abel – *Programmer au niveau connaissance en DEF-**, dans Ingénierie des Connaissances : évolutions récentes et nouveaux défis, Eds Eyrolles, Paris, ISBN : 2-212-09110-9, pp. 145-160. (**ref. citée page 70**)

[Kayser, 1997]

D. Kayser – *La représentation des connaissances*, Editions Hermès, Paris, ISBN : 2-86601-647-5, 308 p. (**ref. citée pages 59 et 87**)

[Kent, 1984]

W. Kent – *Formes normales dans une base de données relationnelles*, traduction française dans L'Informatique Professionnelle, N°26, pp.79-94. (**ref. citée page 69**)

[Kolski, 1993]

C. Kolski – *Ingénierie des interfaces homme-machine, conception et évaluation*, Ed. Hermès, ISBN: 2-86601-377-8, 372 p. (**ref. citée page 107**)

[van Kralingen et al., 1996]

R. W. van Kralingen, H.J. van den Herik, J.E.J Prins, M. Sergot, J. Zeleznikow – *Legal Knowledge Based Systems, JURIX'96, Foundations of legal knowledge systems*, Tilburg University Press, ISBN : 90-361-9657-4, NUGI 699. (**ref. citée page 148**)

[Krivine & David, 1991]

J.P. Krivine et J.M. David – *L'acquisition des connaissances vue comme un processus de modélisation : méthodes et outils*, Intellectica, n°12 (2). Expertise et Sciences Cognitives. (**ref. citée page 65**)

[Lacore, 1993a]

J.P. Lacore – *Le Principe d'Intégration de la Sécurité et de la Norme EN 292*, Journées CETIM des 14 et 15 décembre 1993, la "Sécurité des Equipements de Travail : Les nouvelles règles techniques européennes et leur transposition en droit français", Senlis, ISBN 2-85400-291-1, pp. 85-90. (**ref. citée pages 22, 28 et 34**)

[Lacore, 1993b]

J.P. Lacore – *Normes et Normalisation européennes en matière de santé et de sécurité dans le cadre de la nouvelle approche*, Cahiers ND 1913, n° 150, 1er trimestre 1993, ISBN 2-7389-0266-9, pp. 79-86. (**ref. citée pages 24, 27 et 108**)

[Laprie, 1996]

J.C. Laprie – *Guide de la Sûreté de fonctionnement*, Editions Cépadues, Toulouse, 369 p. (**ref. citée page 119**)

[Lebahar, 1997]

J.C. Lebahar – *Aspects cognitifs du travail de designer industriel*, Design Recherche, n° 3. (**ref. citée page 105**)

[Lemoigne, 1994]

J.L. Lemoigne – *La théorie du système général, théorie de la modélisation*, PUF, 4 ed., Paris, ISBN: 2-13-046515-3, 338 p. (**ref. citée page 106**)

[Lhoste, 1994]

P. Lhoste – *Contribution au Génie Automatique : Concepts, Modèles, Méthodes et Outils*, Habilitation à Diriger des Recherches, Université Henri Poincaré Nancy I. (**ref. citée page 106**)

[Lhoste et al., 1999]

P. Lhoste, E. Bierel, G. Morel et L. Boitard – *Apports de la Méta-modélisation de modèles : application au modèle Grafcet*, dans APII-JESA (Journal Européen des Systèmes Automatisés), Hermès Science Publications, Vol. 33, N° 3, ISSN : 0296-1598, pp. 305-336. (**ref. citée page 145**)

[Lhote, 1995]

F. Lhote – *Repères pour l'ingénierie des systèmes*, Actes du colloque Bilan A2RP, Paris, pp. 373-383. (**ref. citée page 20**)

[Lightfoot, 1994]

D. Lightfoot – *La spécification formelle avec Z*, traduction française de H. Habrias et P.M. Delpech, Ed. Teknea, Toulouse, ISBN : 2-87717-038-1, 191 p. (**ref. citée pages 70 et 143**)

[Lupin & Desmoulins, 1996]

H. Lupin et J. Desmoulins – *L'autocertification "CE" applicable aux machines et à d'autres équipements de travail*, Fiche Pratique de Sécurité ED 54, INRS, ISSN 0373-1944, 4 p. (**ref. citée page 29**)

[Malhotra et al., 1980]

A. Malhotra, J.C. Thomas, J.M. Caroll et L.A. Miller – *Cognitive processes in design*, International Journal of Man Machine Studies, N°12, pp. 119-140. (**ref. citée page 35**)

[Martin, 1994]

P. Martin– *La méthodologie d'acquisition des connaissances KADS et les explications*, Rapport Interne INRIA RR-2179, 107 p. (**ref. citée page 65**)

[Maumi, 1996]

P.L. Maumi – *Proposition d'une modélisation de la conception de produit par une approche centrée sur les représentations intermédiaires*, Thèse de Doctorat, ENSAM, Paris. (**ref. citée page 105**)

[Mayer, 1995]

F. Mayer – *Contribution au Génie Productique : application à l'Ingénierie Pédagogique en Atelier Inter-établissements de Productique Lorrain*, Thèse de Doctorat, Université Henri Poincaré Nancy I. (**ref. citée pages 40, 94, 104 et 142**)

[Meinadier, 1998]

J.P. Meinadier – *Ingénierie et intégration des systèmes*, Editions Hermès, Paris, ISBN 2-86601-720-X, 543 p. (**ref. citée pages 40 et 105**)

[Mengshoel, 1991]

O.J. Mengshoel – *KVAT: A Tool for Incremental Knowledge Validation in a Knowledge Engineering Workbench*, proceedings of the European Workshop on the Verification and Validation of Knowledge Based Systems, EUROVAV'91, Cambridge, Angleterre, pp. 133-146. (**ref. citée page 68**)

[Mer et al, 1995]

S. Mer, S. Tichkiewitch et A. Jeantet - *Les objets intermédiaires de la conception : Modélisation et Communication* - dans Le communicationnel pour concevoir, Ed. Europia Productions, Paris, pp. 21-42. (**ref. citée page 21**)

[Meyer et al., 1992],

I. Meyer, D. Skuce, L. Bowker et K. Eck – *Towards a new generation of terminological resources: an experiment in building a terminological knowledge base*, in proceedings of the conference on COmputational LINGuistics (COLING'92), Nantes, pp. 956-960. (**ref. citée page 63**)

[Monsef, 1996]

Y. Monsef – *Modélisation et simulation des systèmes complexes : concepts, méthodes et outils*, Technique et Documentation, ISBN : 2-7430-0135-6, 277 p. (**ref. citée pages 65 et 65**)

[Mony, 1992]

C. Mony – *Un modèle d'intégration des fonctions conception-fabrication dans l'ingénierie du produit*, Thèse de Doctorat, Ecole Centrale de Paris, 202 p. (**ref. citée page 105**)

[Motta, 1998]

E. Motta – *An overview of the OCML Modeling Language*, in proceedings of the 8th Workshop on Knowledge Engineering : methods and Languages (KEML'98), Karlsruhe, Allemagne. (**ref. citée page 70**)

[Myers, 1978]

G.J. Myers – *Composite structured design*, Van Nortran Reinhold, New-York. (**ref. citée page 65**)

[Neboit et al., 1993]

M. Neboit, E. Fadier et C. Poyet – *Analyse systémique et analyse ergonomique, application conjointe à la reconception d'une cellule robotisée d'usinage*, NS 0100, INRS. ISSN 0367-4529, 42 p. (**ref. citée page 34**)

[Neboit et al., 1999]

M. Neboit et Al. - *Intégration des conditions limites d'utilisation des équipements de travail, pour la prévention des risques associés, dans la conception des systèmes de production* . Programme CNRS Systèmes de production, CNRS, Rapport d'activité 1999, 23 p. (**ref. citée page 34**)

[Nef, 1988]

F. Nef – *Logique et langage: essais de sémantique intentionnelle*, Editions Hermès, Paris, ISBN : 2-86601-144-9 178 p. (**ref. citée page 59**)

[Newell, 1982]

A. Newell – *The Knowledge level*, in Artificial Intelligence (18), pp. 87-127. (ref. citée page 64)

[Nijssen, 1977]

G.M. Nijssen – *On the gross architecture for the next generation data base management systems*, IFIP conference on Information Processing, North Holland. (ref. citée page 66)

[Oussalah, 1999]

C. Oussalah – *Génie Objet : analyse et conception de l'évolution*, Ed. Hermès, ISBN : 2-7462-0029-5, 489p. (ref. citée page 71)

[Penalva, 1997]

J.M. Penalva – *La représentation par les systèmes en situation complexe*, Thèse de Doctorat, Université d'Orsay. (ref. citée page 105)

[Petin, 1995]

J.F. Petin – *Contribution méthodologique à l'Actionnement et la Mesure Intelligent : Application au projet européen ESPRIT III PRIAM n°6188*, Thèse de Doctorat en Production Automatisée, Univ. H. Poincaré. (ref. citée page 94)

[Pierret-Golbreich, 1996]

C. Pierret-Golbreich – *Task, un environnement pour le développement de systèmes à base de connaissances flexibles*, Rapport de recherche LRI n°1056, Habilitation à Diriger des Recherches, Université Paris-XI. (ref. citée page 69)

[Pitts, 1997]

M. Pitts – *The use of Evaluative Stopping Rules in Information Requirements Determination: An empirical investigation of system analyst behavior*, in 1st workshop on Cognition and Conceptual Modeling, Los Angeles, Etats-Unis. (ref. citée page 68)

[Polet & Vanderhaegen, 2000]

P. Polet et F. Vanderhaegen– *Analysis of deviated modes for risk assessment*, ESREL 2000, Foresight and Precaution, Cottam, Harvey, Pape & Tait (eds), Balkema, Rotterdam, ISBN 90-5809-140-6, pp. 133-140. (ref. citée page 34)

[Pomian et al., 1997]

J.L. Pomian, T. Pradère et I. Gaillard – *Ingénierie et ergonomie*, Cépaduès Editions, Toulouse, 259 p. (ref. citée page 20)

[Popieul, 1994]

J-C. Popieul – *Contribution à l'étude et à l'implémentation d'une démarche de conception des Machines et Systèmes Automatisés de Production*, Thèse de doctorat, Université de Valenciennes, 221 p. (ref. citée page 105)

[Proix, 1989]

C. Proix – *OICSI : un outil d'aide à la conception des systèmes d'information : spécification et réalisation*, Thèse de doctorat, Université de Paris VI. 258p. (ref. citée page 64)

[Rademakers & Vanwelkenhuysen, 1993]

P. Rademakers et J. Vanwelkenhuysen – *Generic models and their support in modelling problem Solving Behaviour*, in J.-M. David, J.-P. Krivine & R. Simmons (éd.), Second Generation Expert Systems, Springer Verlag, Heidelberg, Allemagne. (ref. citée page 66)

[Reinders et al., 1991]

M. Reinders, E. Vinkhuyzen, A. Voss, H. Akkermans, J. Balder, B. Bartsch-Spörl, B. Bredeweg, U. Drouven, F. Harmelen, W. Karbach, Z. Karssen, G. Schreiber et B.J. Wielinga – *A conceptual modeling framework for knowledge-level reflection*, in AI Communications, 4(2-3), pp.49-128. (ref. citée page 70)

[Reynaud & Tort, 1997]

C. Reynaud et F. Tort – *Using explicit ontologies to create problem-Solving methods*, in International Journal of Human-computer Studies (46), pp. 339-364. (ref. citée page 67)

[Rolland et al, 1988]

C. Rolland, O. Foucaut et G. Benci – *Conception des Systèmes d'Informations, La méthode REMORA*, Eds Eyrolles, 351 p. (ref. citée page 66)

[Rösner et al., 1997]

D. Rösner, B. Grote, K. Hartmann et B. Höfling – *From natural language documents to sharable product knowledge : a knowledge engineering approach*, Journal of Universal Computer Science. vol.3. N°8. Springer. pp. 955-987. (ref. citée page 51)

[Ross & Schoman, 1977]

D.T. Ross et K.L. Schoman – *Structured analysis for requirement definition*, IEEE Transactions on Software Engineering. (ref. citée page 65)

[Roussel, 1996]

B. Roussel - *Ergonomie en conception de produits : Proposition d'une méthode centrée sur la formulation de principes de solutions ergonomiques dans le processus interdisciplinaire de conception de produits*, Thèse de Doctorat spécialité génie industriel, sciences des systèmes et des produits industriels, Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Paris, 245 p. (ref. citée page 21)

[Rumbaugh et al., 1995]

J. Rumbaugh, M. Blaha, W. Premerlani, S. Eddy et W. Loreson – *OMT, Modélisation et conception orientées objet*, Ed. Masson, ISBN 2-225-84684-7, 515 p. (ref. citée page 71)

[Sabah, 1988]

G. Sabah – *L'Intelligence artificielle et le langage*, Vol 1, Ed. Hermès, Paris, ISBN 2-86601-134-1, 357 p. (ref. citée pages 53, 59 et 78)

[Salau, 1995]

I. Salau – *La conception distribuée : théorie et méthodologie*, Thèse de Doctorat en Production Automatisée, Université Henri Poincaré Nancy, 128 p. (ref. citée page 44)

[Saucier, 1997]

A. Saucier – Un *modèle multi-vues du produit pour le développement et l'utilisation de systèmes d'aide à la conception en ingénierie mécanique*, Thèse de Doctorat, Ecole Normale Supérieure de Cachan. (**ref. citée page 105**)

[Schreiber et al., 1994]

G. Schreiber, B. Wielinga, H. Akkermans, W. van de Velde et A. Anjewierden – *CML : the CommonKads Conceptual Modeling Language*, in Proceedings of the European Workshop on Knowledge Acquisition, Modeling and Management (EKAW'94), Springer-Verlag, Heidelberg, Allemagne, « Lecture notes » 867, pp. 1-25. (**ref. citée pages 64 et 69**)

[Schreiber et al., 2000]

G. Schreiber, H. Akkermans, A. Anjewierden, R. de Hoog, N. Shadbolt, W. van de Velde et B. Wielinga – *Knowledge Engineering and Management, the CommonKADS Methodology*, MIT Press, ISBN: 0-262-19300-0, 455 p. (**ref. citée page 54**)

[Sfalcin, 1992]

A. Sfalcin – *Contribution d'une approche sémiotique à la réutilisation des composants de commande des machines et systèmes automatisés de production*, Thèse de Doctorat, UHP Nancy-1. (**ref. citée page 69**).

[Sharp, 1998]

J.K. Sharp – *Is it still a requirement if the subject matter expert didn't tell the analyst?*, Journal of Conceptual Modeling. Disponible sur le site Web http://www.inconcept.com/JCM/August1998/sharp.html. (**ref. citée pages 53 et 86**)

[Simon, 1996]

G. Simon – *Knowledge Acquisition and modelling for corporate memory: lessons learned from experience*, in proceedings of Tenth Knowledge Acquisition for Knowledge-based Systems Workshop (KAW96). (**ref. citée page 57**)

[Sowa, 1984]

J.F. Sowa – *Conceptual structures, Information Processing in mind and machine*, Addison-Wesley, ISBN 0-201-14472-7, 481p. (**ref. citée page 60**)

[Spivey, 1993]

J.M. Spivey – *La notation Z*, Traduction de M. Lemoine, Ed. Masson, Paris, ISBN : 2-225-84367-8, 155 p. (**ref. citée page 70**)

[Tabourier, 1986]

Y. Tabourier – *De l'autre côté de Merise. Systèmes d'information et modèles d'entreprise*, Editions d'organisation. (**ref. citée page 65**)

[Tardieu et al., 1983]

H. Tardieu, A. Rochfeld et R. Colleti – *La méthode MERISE : principes et outils*, Ed. d'Organisation. (**ref. citée page 66**)

[Tardieu et al., 1986]

H. Tardieu, A. Rochfeld, R. Colleti, G. Panet et G. Vallée – *La méthode MERISE : les étapes*, Ed. d'Organisation. (**ref. citée page 66**)

[Tchounikine et al., 2000]

P. Tchounikine, Z. Istenes et F. Trichet – *ZOLA : un langage permettant une approche flexible de l'opérationalisation du modèle conceptuel d'un système à base de connaissances*, dans Ingénierie des Connaissances : évolutions récentes et nouveaux défis, Eds Eyrolles, Paris, ISBN : 2-212-09110-9, pp. 129-144. (ref. citée page 70)

[Tichkiewitch et al., 1995]

S. Tichkiewitch, E. Chapa et P. Belloy – *Un modèle produit multi-vues pour la conception intégrée*, Productivity in a world without borders, International industrial engineering conference, Montréal, Canada, pp. 1989-1998. (ref. citée page 105)

[Toussaint, 1992]

Y. Toussaint – *Méthodes informatiques et linguistiques pour l'aide à la spécification de logiciel*, Thèse de Doctorat, spécialité informatique, Université P. Sabatier, Toulouse, 418 p. (ref. citée pages 59 et 60)

[Trigano, 1994]

P. Trigano – *Des Bases de Données et de Connaissances aux Interfaces en Langue Naturelle: un Enrichissement réciproque*, Habilitation à Diriger des Recherches, Université Paris XIII. (ref. citée page 59)

[Trivin, 1993]

J. Trivin – *La procédure d'examen CE de type*, Journées CETIM, Sécurité des Equipements de Travail : Les nouvelles règles techniques européennes et leur transposition en droit français, ISBN 2-85400-291-1, pp. 51-64. (ref. citée page 29)

[Umeda et al., 1990]

Y. Umeda, H. Takeda et T. Tomiyama – *Function behavior and Structure*, Applications of artificial Intelligence in Engineering, Springer Verlag, Berlin. (ref. citée page 105)

[Vadcard, 1996]

P. Vadcard – *Aide à la programmation de l'utilisation des outils en conception de produit*, Thèse de Doctorat en Génie Industriel, ENSAM, Paris, 167 p.(ref. citée page 105)

[Vargas, 1995]

C. Vargas – *Modélisation du processus de conception en ingénierie des systèmes mécaniques*, Thèse de Doctorat, Ecole Normale Supérieure de Cachan.(ref. citée page 105)

[Vink, 1995]

D. Vink – *La connaissance : ses objets et ses institutions*, dans Connaissances et savoir-faire en entreprise, Editions Hermès, ISBN 2-86601-627-0, pp. 55-91. (ref. citée page 32)

[Vogel, 1988]

C. Vogel – *Le Génie Cognitif*, Sciences Cognitives, Editions Masson, Paris, ISBN : 2-6225-81382-5, 195p. (ref. citée pages 60 et 63)

[Waeselynck & Boulanger, 1995]

H. Waeselynck et J.L. Boulanger – *The role of testing in the B formal development process*, proceedings 6th International Symposium on Software Reliability Engineering (ISSRE'95), IEEE Computer Society Press, pp. 58-67. (**ref. citée page 68**)

[Weaver & Shannon, 1975]

W. Weaver et C.E. Shannon – *Théorie mathématique de la communication*, Retz (ed.), C.E.P.L., Paris, 188p. (**ref. citée page 58**)

[Wetter, 1990]

T. Wetter, – *First order logic of the KADS Conceptual Model*, in B.J. Wielinga et al. (éd.), Current Trends in Knowledge Acquisition, IOS Press, Amsterdam, pp. 356-375. (**ref. citée page 69**)

[Wielinga et al., 1992]

B. Wielinga, G. Schreiber et J. Breuker – *KADS : a modelling approach to knowledge engineering*, In Knowledge Acquisition (4), pp. 136-145. (**ref. citée page 69**)

[Wielinga & Bredeweg, 1988]

B. Wielinga et B. Bredeweg – *Knowledge and expertise in expert systems*, in G.C. van der Veer & G. Mulder editors, Human-Computer Interaction : Physionomics Aspects, Springer-Verlag, Berlin, pp. 290-297. (**ref. citée page 72**)

[Wintraecken, 1990]

J.J.V.R. Wintraecken – *The NIAM Information Analysis Method. Theory and Practice*, Kluwer Academic Pub., Pays-Bas, ISBN : 0-7923-0263-X, 469 p. (**ref. citée pages 63 et 78**)

[Yourdon & Constantine, 1979]

E. Yourdon et L.L. Constantine – *Structured design: fundamentals of a discipline of computer program and systems design*, Prentice Hall, ISBN : 0-13-854471-9, 464 p. (**ref. citée page 65**)

[Yunker, 1993]

K. Yunker – *The dependency between Representation and Procedure*, NIAM-ISDM Conference, Working papers. Utrecht (Pays-Bas). (**ref. citée page 53**)

[Zgorzelski & Zalewski, 1996]

M. Zgorzelski et Z. Zalewski – *Fuzzy-NIAM for Real World Data Modeling*, 29th ISATA Conference, Florence (Italie). (**ref. citée pages 87 et 143**)

[Zgorzelski & Zgorzelska, 1993]

M. Zgorzelski et P. Zgorzelska – *IDEF and NIAM: on the possibilities of convergence of two outstanding methodologies*, IDEF Users group Conference, University of Maryland, College Park. (**ref. citée page 87**)

[Zweigenbaum et al., 1995]

P. Zweigenbaum, B. Bachimont, J. Bouaud, J. Charlet et J.-F. Boisvieux – *Issues in the structuring and acquisition of an ontology for medical language understanding*, Methods of Information in Medicine, 34(1/2), pp. 15-24. (**ref. citée page 148**)

Bibliographie « Technique »

[AFNOR, 1998]

AFNOR – *Normalisation : Hygiène et Sécurité du travail - Etat d'avancement des travaux - Sécurité des Machines*, Paris La Défense, 93 p. (ref. citée page 25)

[AFNOR Z68-901, 1992]

Norme Z68-901 – *Représentation des systèmes de contrôle et de commande des Systèmes Automatisés de Production, Modèle conceptuel Base-PTA*, Paris. (ref. citée page 65)

[ANSI, 1977]

ANSI/X3/SPARC – *The ANSI/X3/SPARC Study Group DBMS Framework: Report of the Study Group on Data Base Management Systems*, D.C. Tsichritzis and A. Klug (eds.), Information Systems 3. (ref. citée page 65)

[APAVE, 1992]

Apave et Télémécanique – *La sûreté des machines et installations automatisées*, Sadave - CITEF Editions, ISBN : 2-906319-24-4, 170 p. (ref. citée page 120)

[Arnold et al., 2000]

K. Arnold, J. Gosling et D. Holmes, *The Java Programming Language*, Third Edition, Addison-Wesley; ISBN: 0201704331, 595 p. (ref. citée page 127)

[CASA, 1999]

Computer Aided Standard Application – Project Overview, document interne ITS, 6 p. (ref. citée page 123)

[CEN, 1990]

CEN / CENELEC – *Règlement Intérieur - Partie 3 : Règles pour la rédaction et la présentation des normes européennes (règles PNE)*, (ref. citée page 145)

[CEN, 1998]

Rapport Annuel 1997 - 1998, CEN Secrétariat Central, Bruxelles, © CEN B23/9809/7k, 32 p. (ref. citée page 25)

[CNAMTS, 1997]

Statistiques financières et technologiques des accidents du travail, années 1993-1994-1995, CNAMTS , Paris, 405 p. (ref. citée page 21)

[CNRS, 2000a]

Centre National de Recherche Scientifique – *Les grands défis du XXIe siècle : l'eau*, Journal du CNRS N° 126, ISSN : 0994-7647, pp. 12-21. (ref. citée page 148)

[CNRS, 2000b]

Centre National de Recherche Scientifique – *Le nouveau ministre affiche ses priorités pour la recherche*, Editorial du Journal du CNRS N° 126 par C. Bréchignac (Directeur Général du CNRS), ISSN : 0994-7647. (**ref. citée page 148**)

[Dir_98/37/CE]

Directive 98/37/CE du 22 juin 1998 concernant le rapprochement des législations des états membres relatives aux machines, J.O.C.E. n° L207 du 23 juillet 1998, CE, Bruxelles, pp. 1-46. (**ref. citée page 24**)

[EDIAT, 1992]

EDIAT – *Manuel METODAC*, document société EDIAT. (**ref. citée page 60**)

[EIA 632, 1994]

EIA/IS 632 – *Systems Engineering*, Electronics Industry Alliance. (**ref. citée page 40**)

[IEEE 830, 1984]

ANSI/IEEE-830 – *Guide to Software Requirements Specifications*, révisée en 1993. (**ref. citée page 60**)

[IEEE 1220, 1998]

IEEE 1220 – *Standard for application and management of the systems engineering process*, IEEE, New York,. ISBN 0-7381-1543-6, 76 p. (**ref. citée pages 40, 44 et 105**)

[INRS, 1994]

Concevoir une Machine Sûre, Enseigner la prévention des risques professionnels, INRS Paris, réimprimé en 1995, ISBN 2-7389-0329-0, 59 p. (**ref. citée pages 28, 93 et 120**)

[INRS, 2000]

Loginorme Version 3, Analyse fonctionnelle et organique, Cahier des Charges, document interne INRS, du groupe de travail INRS - Education Nationale - ITS, 26 p. (**ref. citée pages 123 et 147**)

[ISO_14001, 1996]

ISO 14001 – *Environmental management systems - specification with guidance for use*, AFNOR, Paris La Défense, 14 p. (**ref. citée page 148**)

[ITS, 1996]

Modélisation de l'avant-projet de Décret relatif aux établissements classés pour la protection de l'Environnement, Ministère de l'Environnement des Ressources Naturelles et de l'Agriculture du Gouvernement Wallon, document interne ITS. (**ref. citée page 124**)

[KANBRIEF, 1999]

KANBRIEF, Numéro spécial Sécurité des Machines, 02/99 disponible sur le site Web : http://www.kan.de/frz/index.htm. (**ref. citée pages 26 et 146**)

[Microsoft, 1997]

Microsoft ODBC 3.0 Software development kit and prog. Reference, **ISBN** : 1572315164. (**ref. citée page 125**)

[New approach, 2000]

European harmonized standards under the New approach directives, site web: http://www.newapproach.org/.(**ref. citée pages 39 et 91**)

[NF_E_09-000, 1993]

NF E 09-000 – *Mémorandum sur la normalisation en matière de santé et de sécurité destinée à appuyer les directives "nouvelle approche" - Application au domaine des machines*, AFNOR, Paris-Défense, 36 p. (**ref. citée pages 24, 39 et 93**)

[NF_EN_1050, 1997]

NF EN 1050 – *Sécurité des machines – Principes pour l'appréciation du risque*, AFNOR, Paris La Défense, 28 p. (**ref. citée page 121**)

[NF_EN_292, 1991]

NF EN 292 – *Sécurité des machines - Notions fondamentales. Principes généraux de conception. Partie 1: Terminologie de base, méthodologie, et Partie 2: Principes et spécifications techniques*, AFNOR, Paris La Défense, 33 p et 86 p. (**ref. citée pages 19, 24, 91 et 120**)

[NF_EN_414, 1992]

NF EN 414 – *Sécurité des machines - Règles pour l'élaboration et la présentation des normes de sécurité*, AFNOR, Paris La Défense, 20 p. (**ref. citée pages 91 et 129**)

[NF_EN_418, 1992]

NF EN 418 – *Sécurité des machines - Equipement d'arrêt d'urgence, aspects fonctionnels - Principes de conception*, AFNOR, Paris La Défense, 10 p. (**ref. citée pages 102 et 129**)

[NF_EN_45020, 1998]

NF_EN_45020 – *Normalisation et activités connexes - Vocabulaire général*, AFNOR, Paris La Défense, 90 p. (**ref. citée page 24**)

[NF_EN_563, 1999]

NF_EN_563– *Sécurité des machines - Températures des surfaces tangibles – Données ergonomiques pour la fixation des températures limites des surfaces chaudes*, AFNOR, Paris La Défense, 36 p. (**ref. citée page 98**)

[NF_EN_692, 1998]

NF EN 692 – *Presses mécaniques - Sécurité*, AFNOR, Paris La Défense, 68 p. (**ref. citée pages 93 et 128**)

[NF_EN_982, 1996]

NF EN 982 – *Sécurité des machines - Prescriptions de sécurité relatives aux systèmes et leurs composants de transmissions hydrauliques et pneumatiques - Hydraulique*, AFNOR, Paris La Défense, 24 p. (**ref. citée page 114**)

[OASIS, 1999]

Développement d'un Outil d'Assistance destiné aux Systèmes d'Information traitant des directives et des normes de Sécurité, document interne CRAN - I.T.S. 42 p. (**ref. citée page 123**)

[Reese, 1998]

G. Reese – *JDBC et Java, guide du programmeur*, ISBN : 2-84177-042-7, 223 p. (**ref. citée page 125**)

[Sagace, 1997]

Méthode SAGACE – *Le systémographe*, Documentation technique, Commissariat à l'Energie Atomique, Centre d'Etude de la Vallée du Rhône. (**ref. citée page 105**)

[SE-CMM, 1995]

System Engineering Capability Maturity Model, Software Engineering Institute, CMU/SEI-95-MM-03. (**ref. citée page 40**)

[SECAM, 1996]

System Engineering Capability Assessment Model, International Council On System Engineering, INCOSE. (**ref. citée page 40**)

[SECM, 1997]

System Engineering Capability Model, part 1: Model, EIA 731-1 draft. (**ref. citée page 40**)

[Usine nouvelle, 2000]

L'Usine Nouvelle – *Le Guide de l'Industrie*, Hors Série, Tome 2, Juillet 2000, Editorial. (**ref. citée page 141**)

[W3C, 1998]

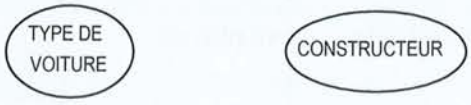
The World Wide Web Consortium – *HTML 4.0 Specification*, disponible sur site : http://www.w3.org/TR/1998/REC-html40-19980424. (**ref. citée page 127**)

ANNEXES

Principales caractéristiques du formalisme NIAM/ORM

Cette annexe permet de donner quelques précisions supplémentaires au § 3.2.2

Représentation d'un NOLOT :



Représentation d'un LOT :

Représentation d'une « Idée » :

- Les Idées mettent en relation deux NOLOTs, soit l'Idée suivante :

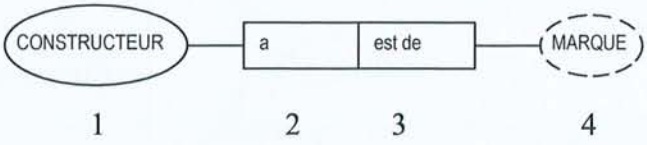
elle peut se lire au choix :

1-2-4 (un) TYPE DE VOITURE est fait par (un) CONSTRUCTEUR ou

4-3-1 (un) CONSTRUCTEUR fait (un) TYPE DE VOITURE

Représentation d'un « Pont de dénomination » :

- Les Ponts de Dénomination mettent en relation un NOLOT et un LOT, soit le Pont de Dénomination suivant :



il peut se lire au choix :

1-2-4 (un) CONSTRUCTEUR a (une) MARQUE ou

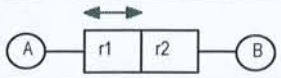
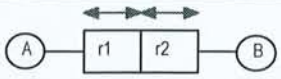
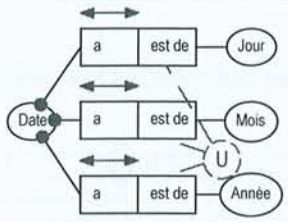
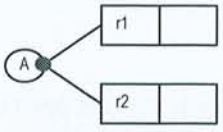
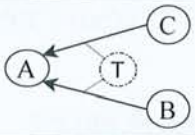
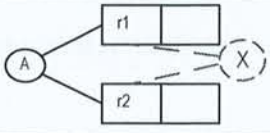
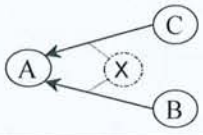
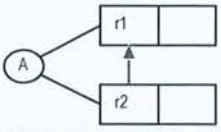
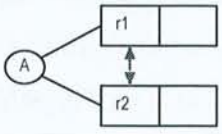
4-3-1 (une) MARQUE est de (un) CONSTRUCTEUR

Remarque : dans ces deux exemples, 2 et 3 sont appelés des ROLES

Représentation d'un Sous-Type :

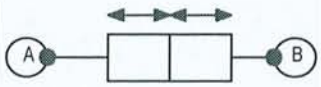
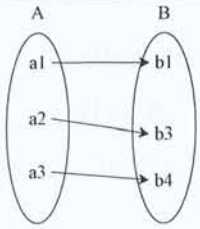
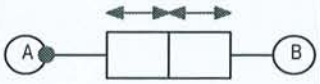
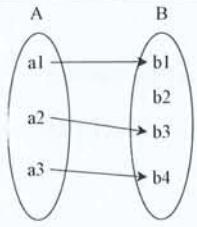
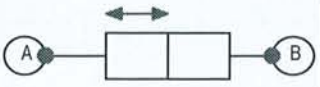
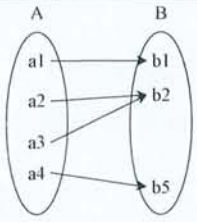
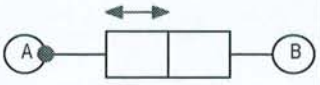
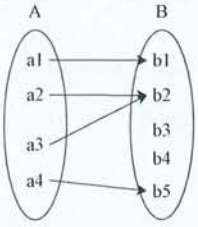
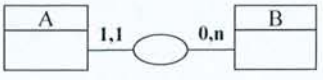
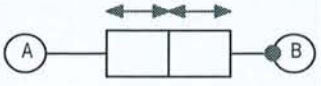
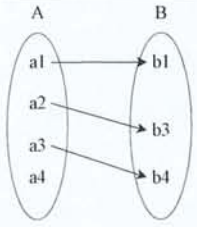
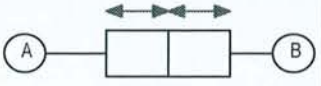
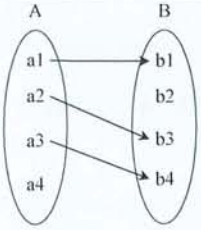
Un CONSTRUCTEUR FRANÇAIS est une sorte de CONSTRUCTEUR

Représentation des contraintes:

Contrainte	Signification	Représentation	Commentaires
Unicité sur rôle	au plus un		A joue r1 **au plus une** fois, B joue r2 **n** fois.
			A joue r1 **au plus une** fois, B joue r2 **au plus une** fois.
			A joue r1 **n** fois, B joue r2 **n** fois.
Unicité entre rôles	Une combinaison de rôle permet de définir un objet		Une Date est **définie de façon unique** par la combinaison d'un Jour, d'un Mois et d'une Année.
Totalité	chaque, tout		**Chaque** A joue r1.[38]
Totalité entre rôles	au moins un		**Tout** A joue **au moins** r1 ou r2.[39]
Totalité sur classes			Tout élément de A doit être B et/ou C.[40]
Exclusion entre rôle	si l'un pas l'autre		A joue r1 **ou** (***exclusif***) r2.
Exclusion entre classes			Un élément de A ne peut pas appartenir à B et à C.[34]
Sous-ensemble	un si l'autre		**Si** A joue r2 **alors** il joue r1.
Egalité	les deux		A joue r1 **et** r2, ou aucun des deux.[41]

[38] Ceci est la notation ORM, en NIAM cette contrainte est représentée par le symbole **' V '**.
[39] Ceci est la notation ORM, en NIAM cette contrainte est représenté par **' T '** entre les rôles.
[40] Ceci est le formalisme NIAM, en ORM cette contrainte est implicite.
[41] Cette contrainte peut également être représentée par le signe **' = '**

Représentation de l'ensemble des contraintes sur phrase, parallèle avec les notations ensembliste, mathématique et MERISE:

NIAM/ORM	ENSEMBLISTE	MATHEMATIQUE	MERISE
		Fonction bijective : $A \rightarrowtail\!\!\!\!\twoheadrightarrow B$ $A \rightarrowtail\!\!\!\!\twoheadrightarrow B \cap A \rightarrow B$	
		Fonction injective Totale : $A \rightarrowtail B$ $A \rightarrowtail B \cap A \twoheadrightarrow B$	
		Fonction surjective Totale : $A \twoheadrightarrow B$ $A \leftrightarrow B \cap A \rightarrow B$	
		Fonction totale : $A \rightarrow B$ $\{f \mid f \in A \leftrightarrow B \wedge dom(f)=A\}$	
		Fonction bijective partielle (pour laquelle il n'existe aucune représentation mathématique)	
		Fonction injective partielle : $A \rightarrowtail\!\!\!\!\twoheadrightarrow B$ $\{f \mid f \in A \leftrightarrow B \wedge f^{-1} \in B \leftrightarrow A\}$	

A B	A: a1, a2, a3, a4, a5 → B: b1, b3, b4	Surjective partielle : $A \nrightarrow\!\!\!\!\twoheadrightarrow B$ $\{f \mid f \in A \nrightarrow B \wedge ran(f)=B\}$	A 0,1 — 1,n B
A B	A: a1, a2, a3, a4, a5 → B: b1, b2, b3, b4, b5	Partielle : $A \nrightarrow B$ $\{f \mid f \in A \leftrightarrow B \wedge (f^{-1};f) \subseteq id(B)\}$	A 0,1 — 0,n B
A B	A: a1, a2, a3 → B: b1, b2, b3, b4	Application de A vers B	A 1,n — 1,1 B
A B	A: a1, a2, a3 → B: b1, b2, b3, b4, b5	Application de A vers B	A 1,n — 0,1 B
A B	A: a1, a2, a3, a4, a5 → B: b1, b2, b3, b4, b5	Application de A vers B	A 1,n — 1,n B
A B	A: a1, a2, a3, a4 → B: b1, b2, b3, b4, b5	Application de A vers B	A 1,n — 0,n B
A B	A: a1, a2, a3, a4, a5 → B: b1, b2, b3, b4, b5	Application de A vers B	A 0,n — 1,1 B

A B	A: a1 a2 a3 a4 a5 → B: b1 b2 b3 b4	Application de A vers B	A 0,n — 0,1 B
A B	A: a1 a2 a3 a4 a5 → B: b1 b2 b3 b4	Application de A vers B	A 0,n — 1,n B
A B	A: a1 a2 a3 a4 a5 → B: b1 b2 b3 b4 b5	Application de A vers B	A 0,n — 0,n B

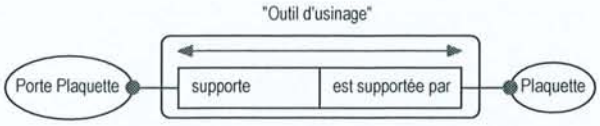
Remarque: les fonctions sont des cas particuliers de relations pour lesquelles chaque individu du domaine a au plus un individu image, sinon elles sont appelées applications (ou relations).

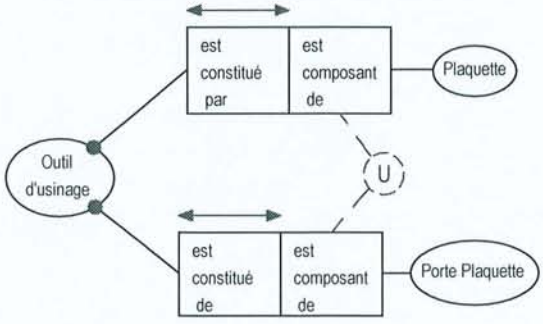
Mécanisme de substantivation:

Le principe de substantivation repose sur le principe qu'une Idée (c'est-à-dire une relation entre deux objets) génère un nouvel objet :

Exemple : un outil d'usinage est le résultat d'une relation entre un porte-plaquette et une plaquette.

Ce mécanisme peut se représenter en NIAM/ORM de deux façons avec la même sémantique :





Lettre de Monsieur Gaston MICHAUD du CEN

TO THE CEN/CA MEMBERS
TO THE CEN/SD MEMBERS

Ref: CA CORR/1347 1999-04-29

Subject: **ITS - electronic tool for standards**

Dear Member of the Administrative Board,

We have been approached at CEN/CS level by a software company, ITS (Information Technology and Services) based in Brussels.

This company, with the help of INRS/CNRS in France is involved in the development of an electronic tool to apply European standards and directives.

The application which has started in the field of Machines Safety can certainly be extended to other sectors.

We believe that this is the kind of product which gives added value to European standards and which is of great interest to customers, whoever they are: manufacturers, companies, researchers, students and even standardizers.

We enclose, herewith, preliminary information about this tool and would suggest for these who are interested, to meet in Brussels on the 3rd June 1999 morning (CEN/CS offices at 9h30) with ITS and perhaps INRS/CNRS people to know more about the product and if judged interesting start negotiations to develop it with the assistance of CEN Members.

Should you be interested, please let us know before 31 May

You may, meanwhile, contact the ITS representative, Mr François Calcagnini
Tel: +322/726.88.48
Fax: +322/726.45.50
Email: f.calcagnini@euronet.be

Best regards

G. Michaud
Director
Corporate and Legal Affairs

Modèles NIAM/ORM de la norme NF EN 692 (réalisés sur InfoModeler)

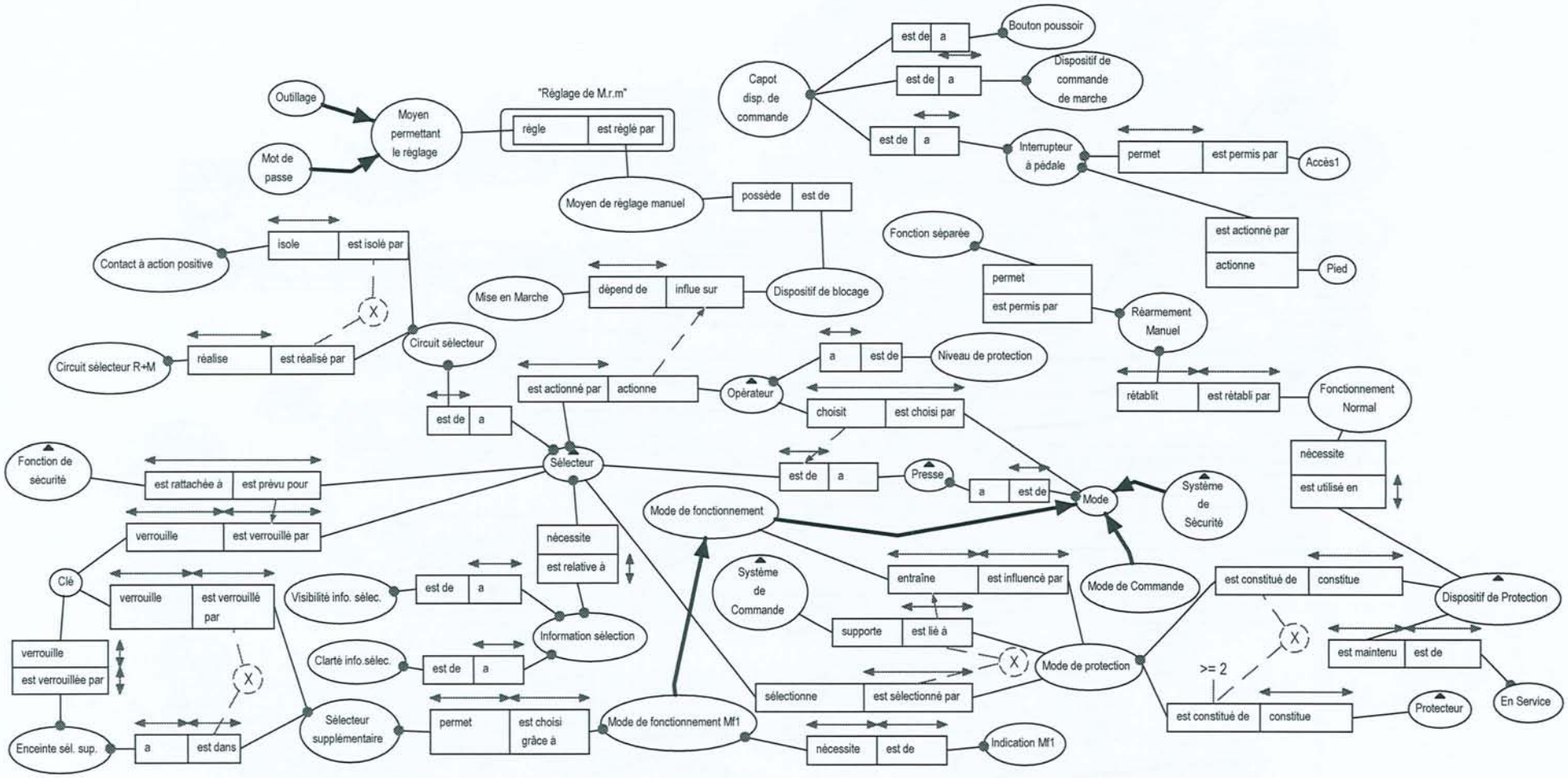


Figure 101 : Modèle NIAM/ORM partiel de la norme EN692 – Presses mécaniques, Sélecteurs.

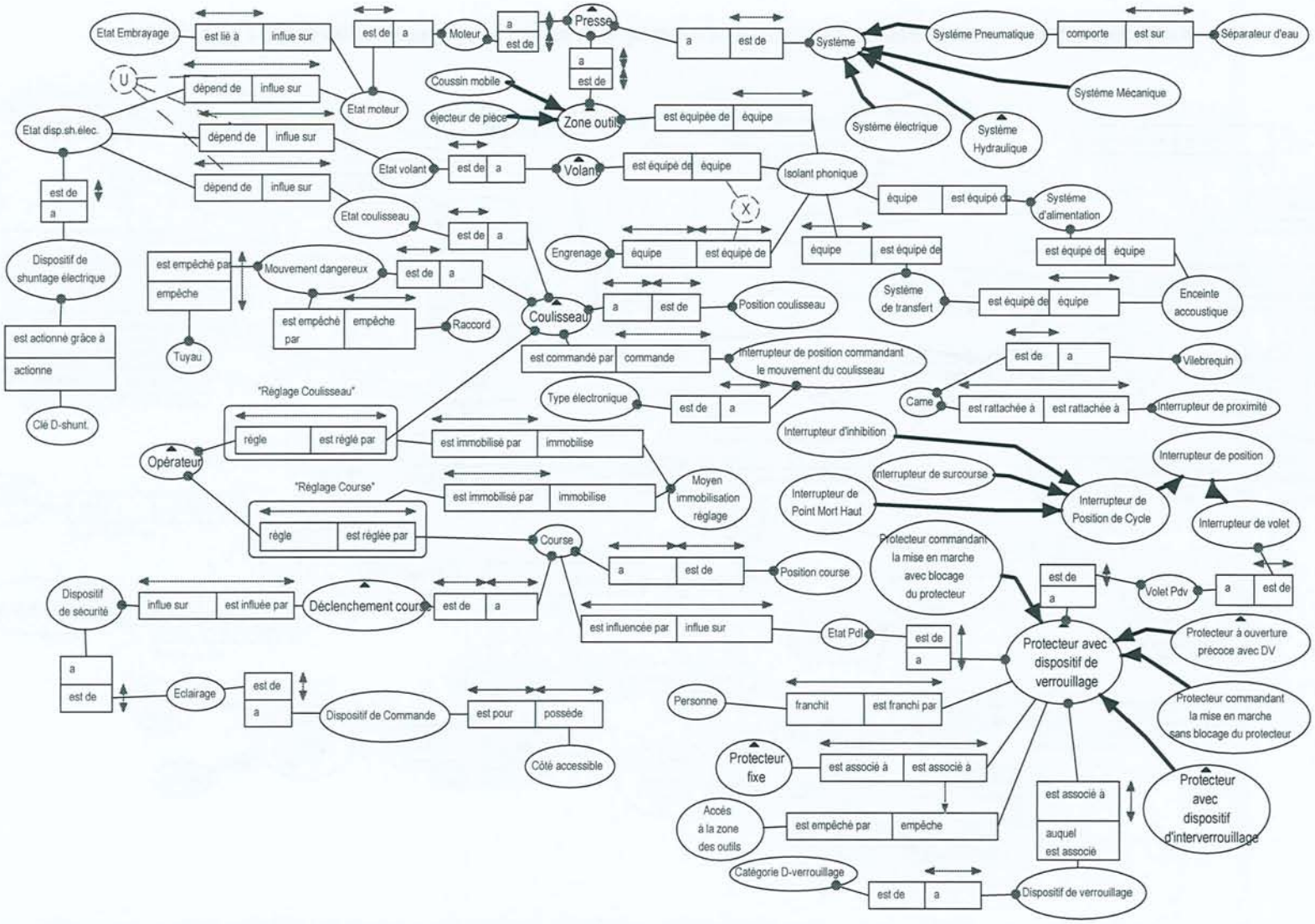


Figure 102 : Modèle NIAM/ORM partiel de la norme EN692 – Presses mécaniques, Zones des outils.

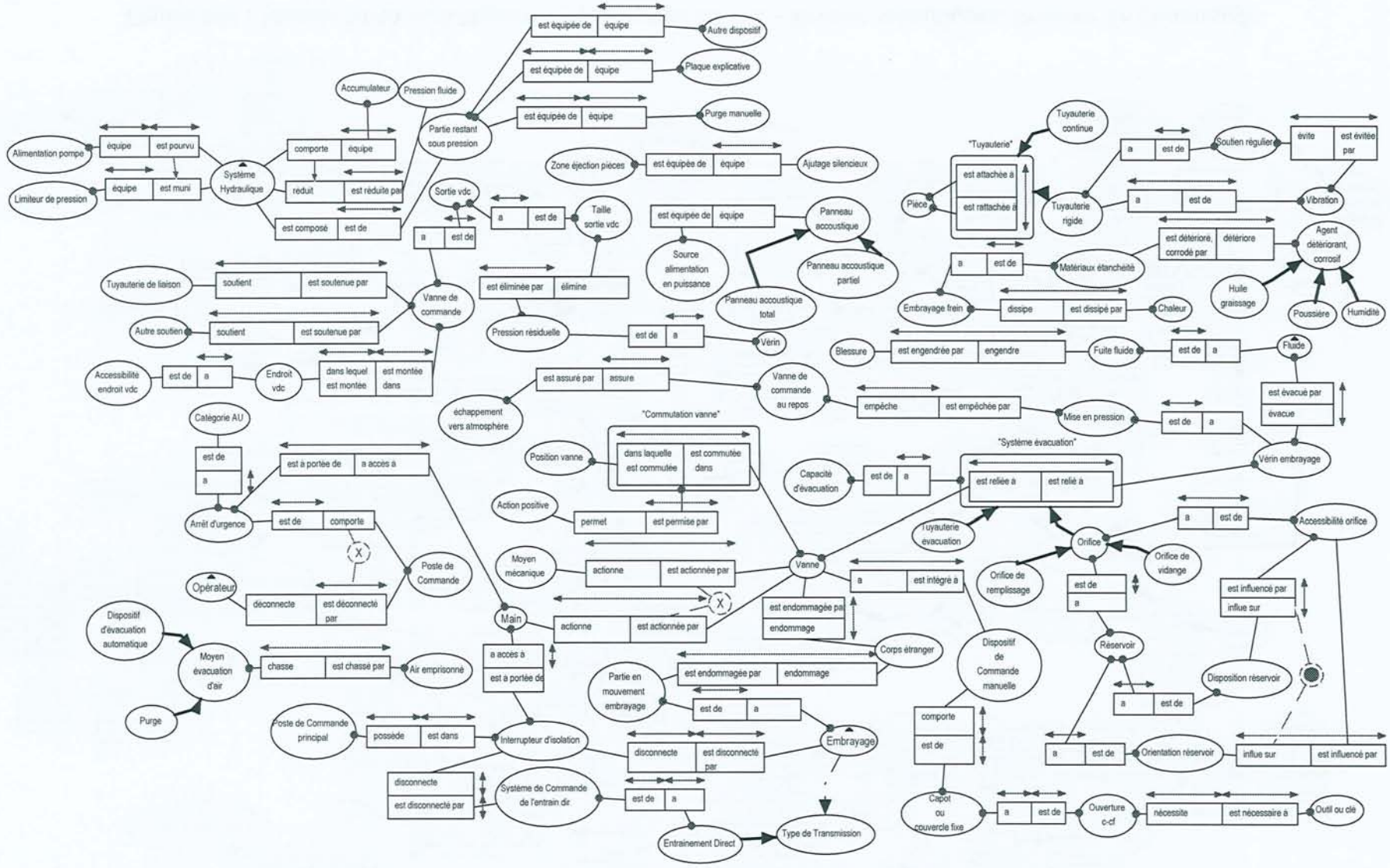


Figure 103 : Modèle NIAM/ORM partiel de la norme EN692 – Presses mécaniques, Vannes et Embrayage Frein.

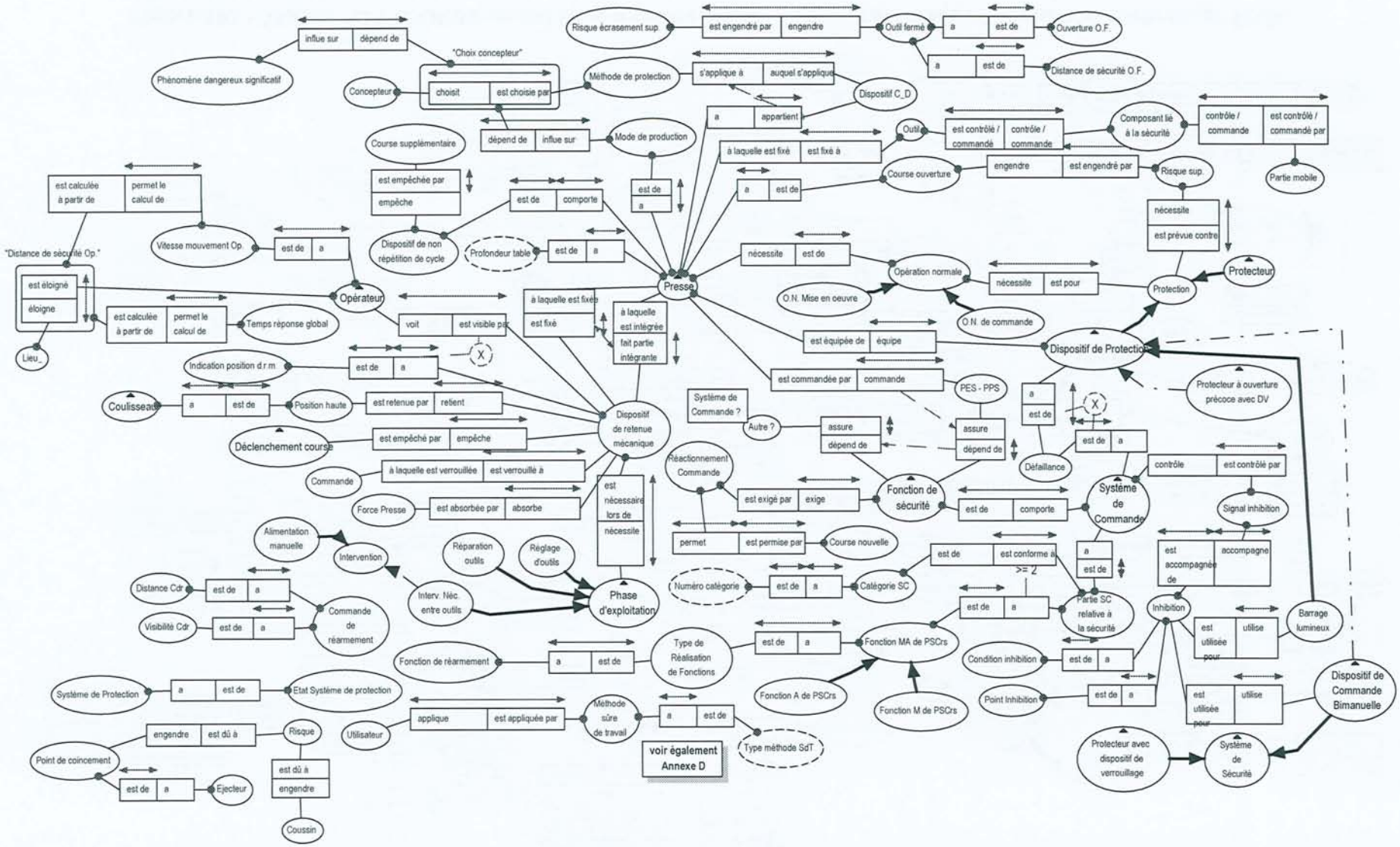


Figure 104 : Modèle NIAM/ORM partiel de la norme EN692 – Presses mécaniques, Système de Commande.

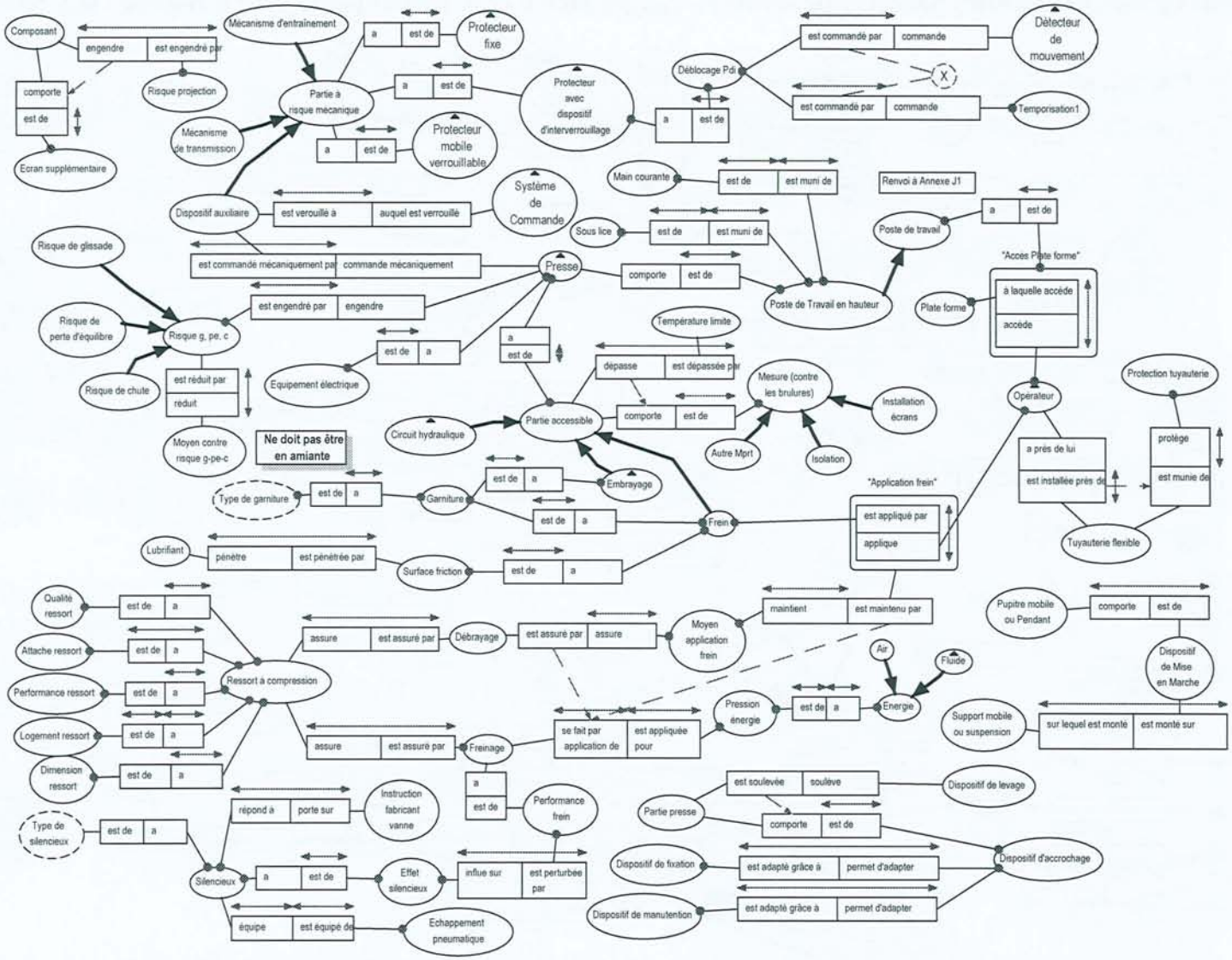


Figure 105 : Modèle NIAM/ORM partiel de la norme EN692 – Presses mécaniques, Embrayage et autre caractéristiques.

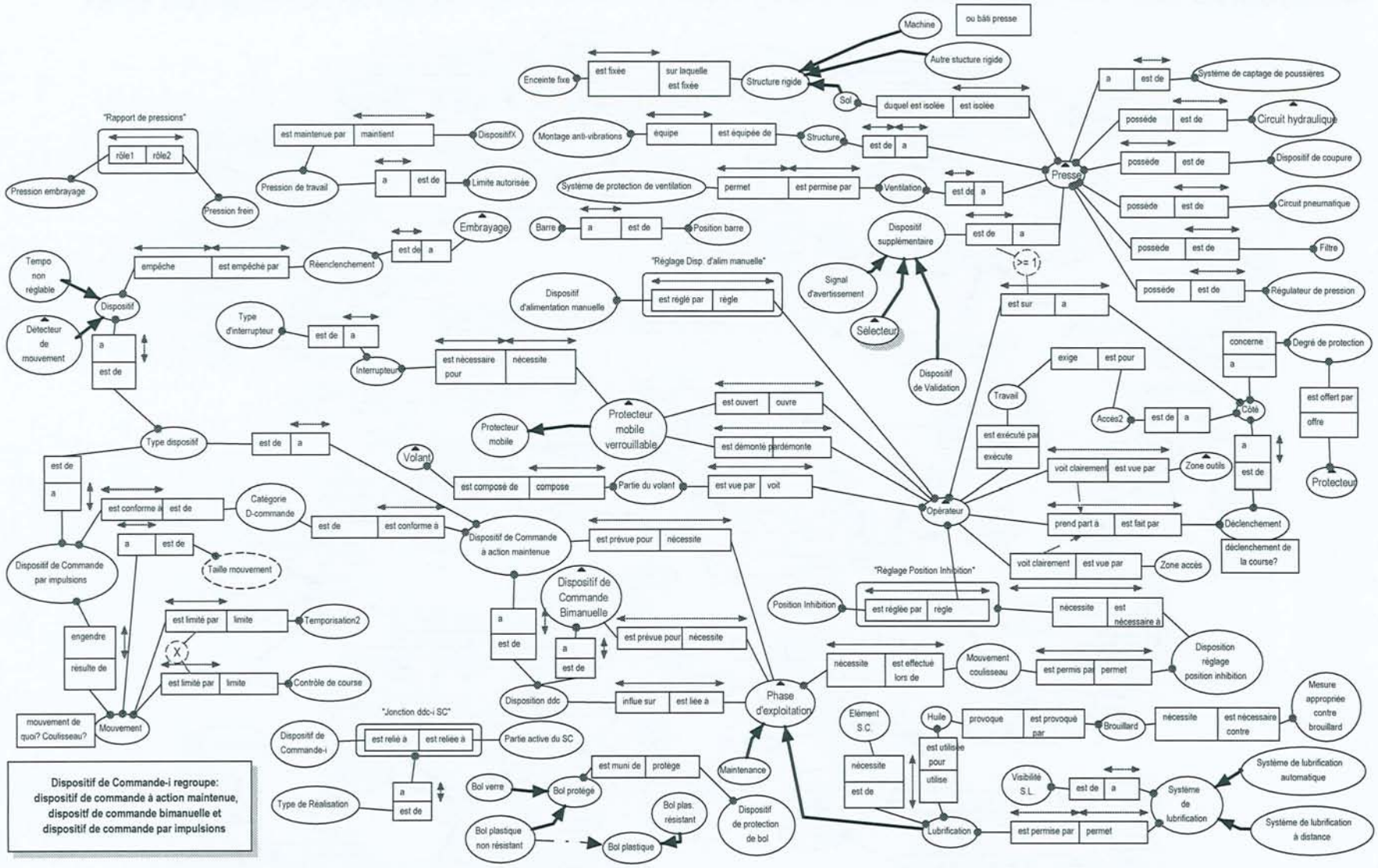


Figure 106 : Modèle NIAM/ORM partiel de la norme EN692 – Presses mécaniques, Caractéristiques diverses.

Modèles NIAM/ORM de la norme NF EN 292 (réalisés sur InfoModeler)

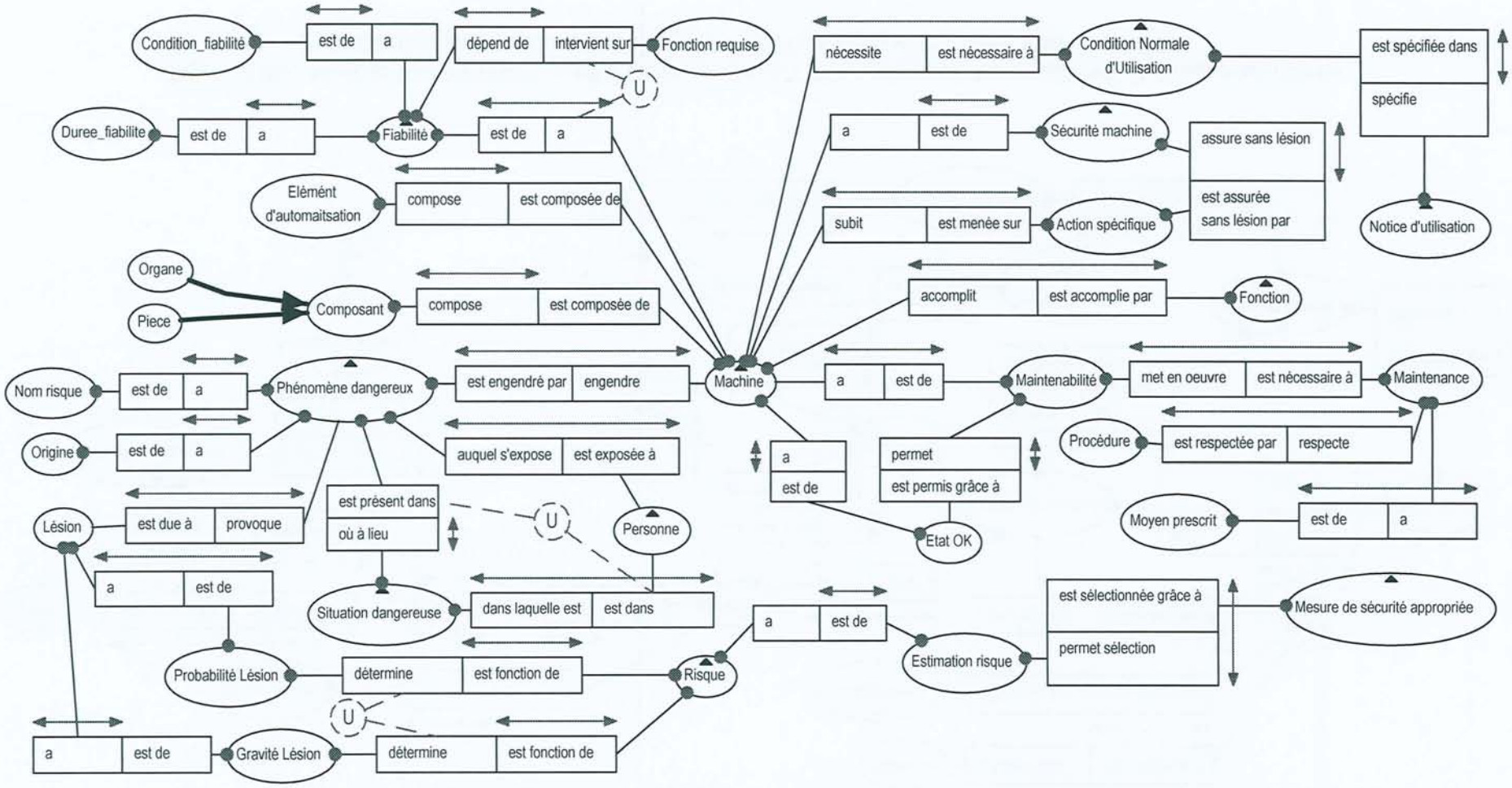


Figure 107 : Modèle NIAM/ORM partiel de la norme EN 292 – Sécurité des machines, Principes généraux (Fiabilité, Maintenabilité, Sécurité, Risque/Phénomène dangereux et Situation dangereuse).

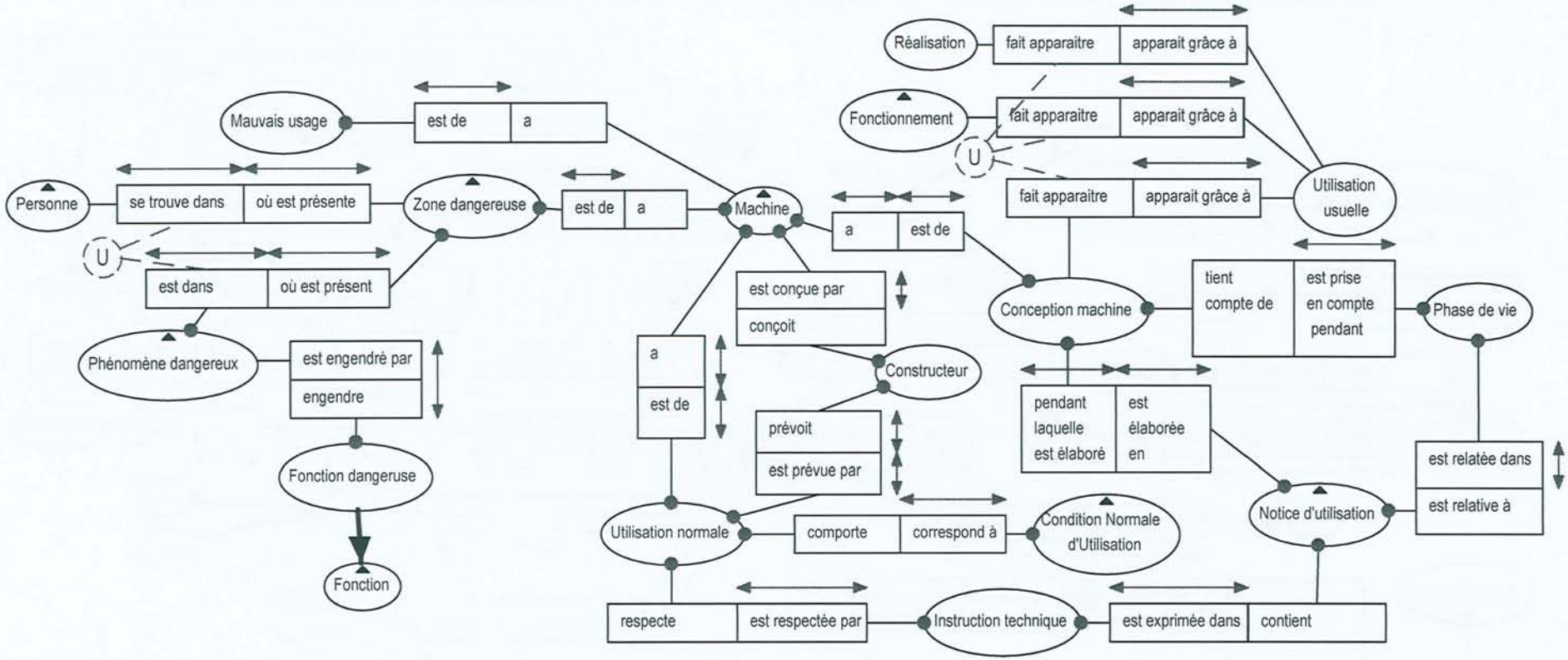


Figure 108 : Modèle NIAM/ORM partiel de la norme EN 292 – Sécurité des machines, Principes généraux (Fonction dangereuse, Zone dangereuse, Conception et Utilisation normale).

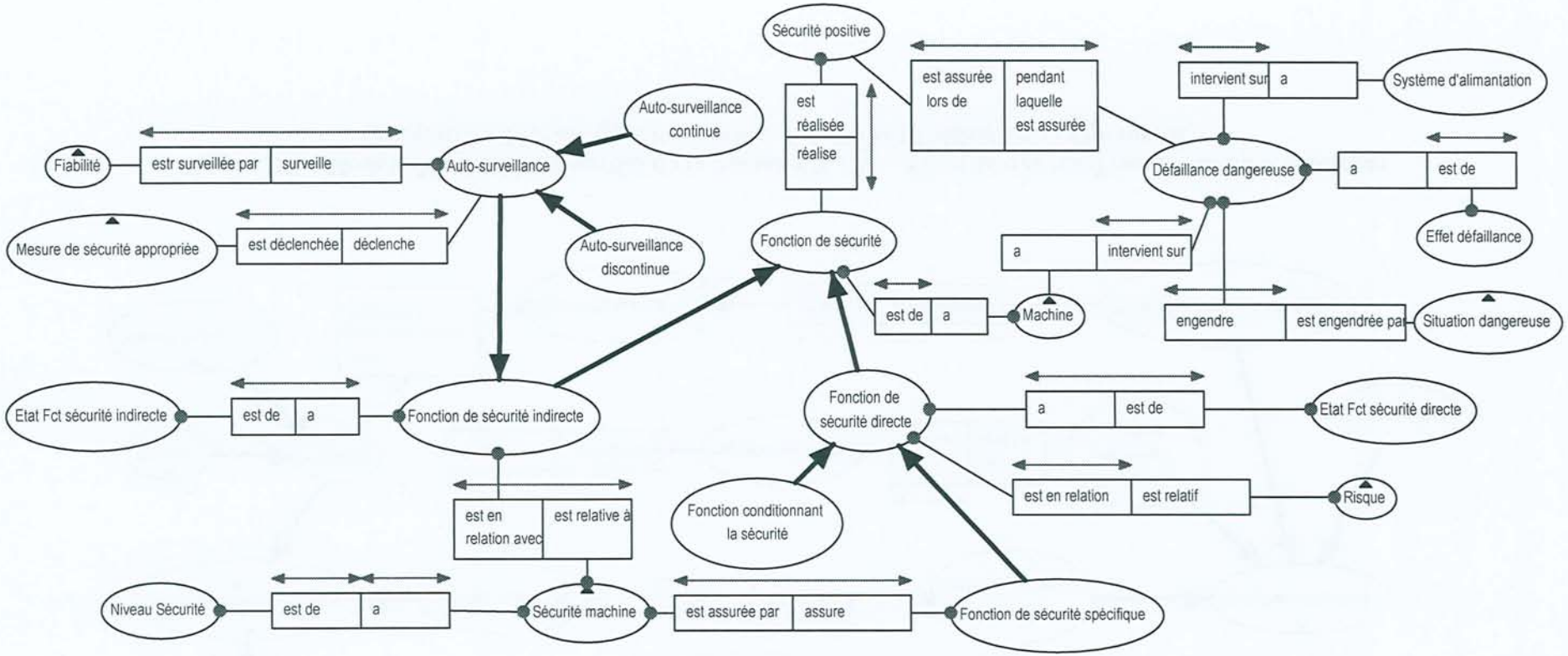


Figure 109 : Modèle NIAM/ORM partiel de la norme EN 292 – Sécurité des machines, Principes généraux (Fonction de sécurité, Auto-surveillance Défaillance dangereuse et Sécurité positive).

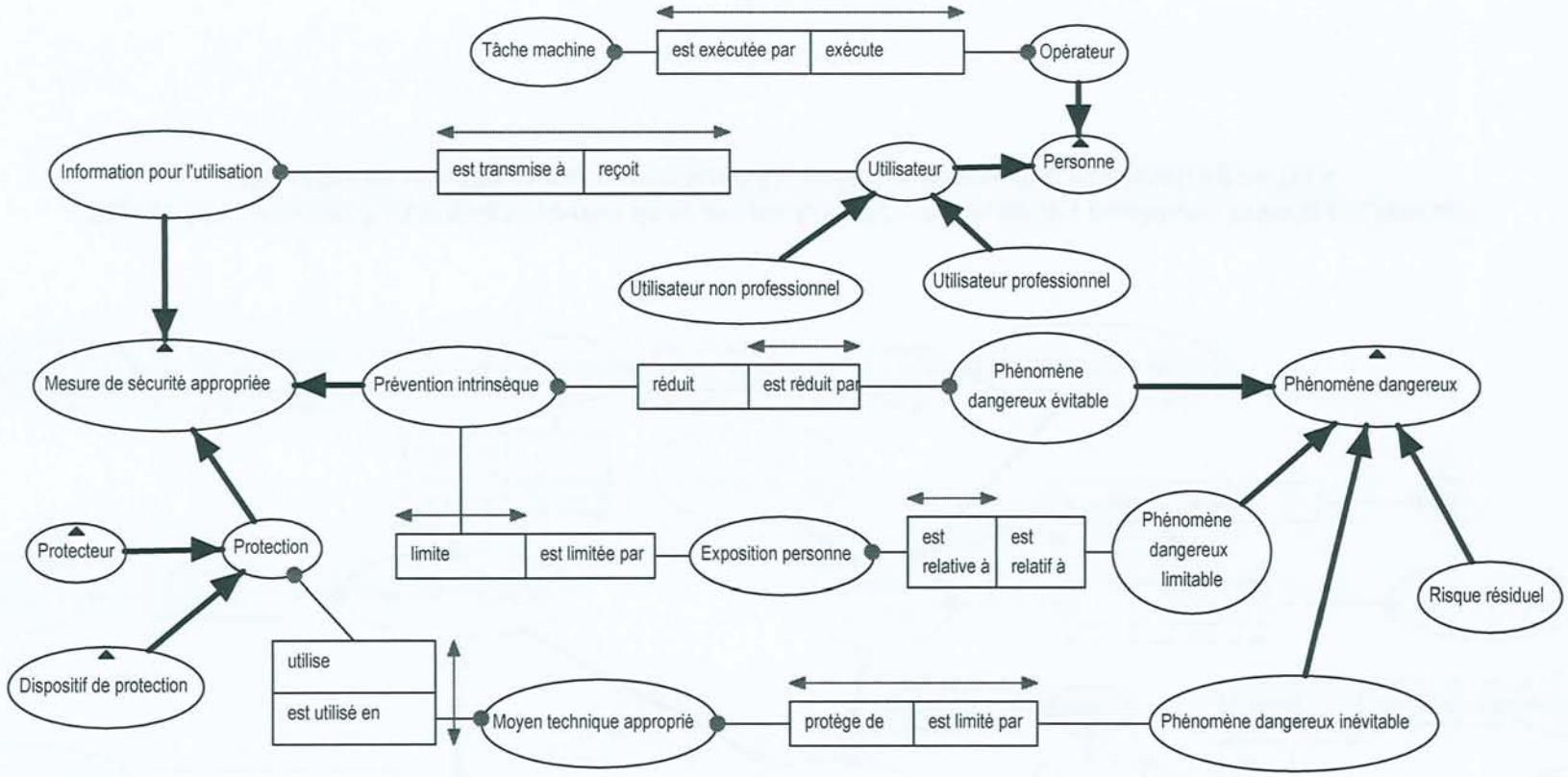


Figure 110 : Modèle NIAM/ORM partiel de la norme EN 292 – Sécurité des machines, Principes généraux (Prévention Intrinsèque, Protection, Info Pour l'Utilisation et Opérateur).

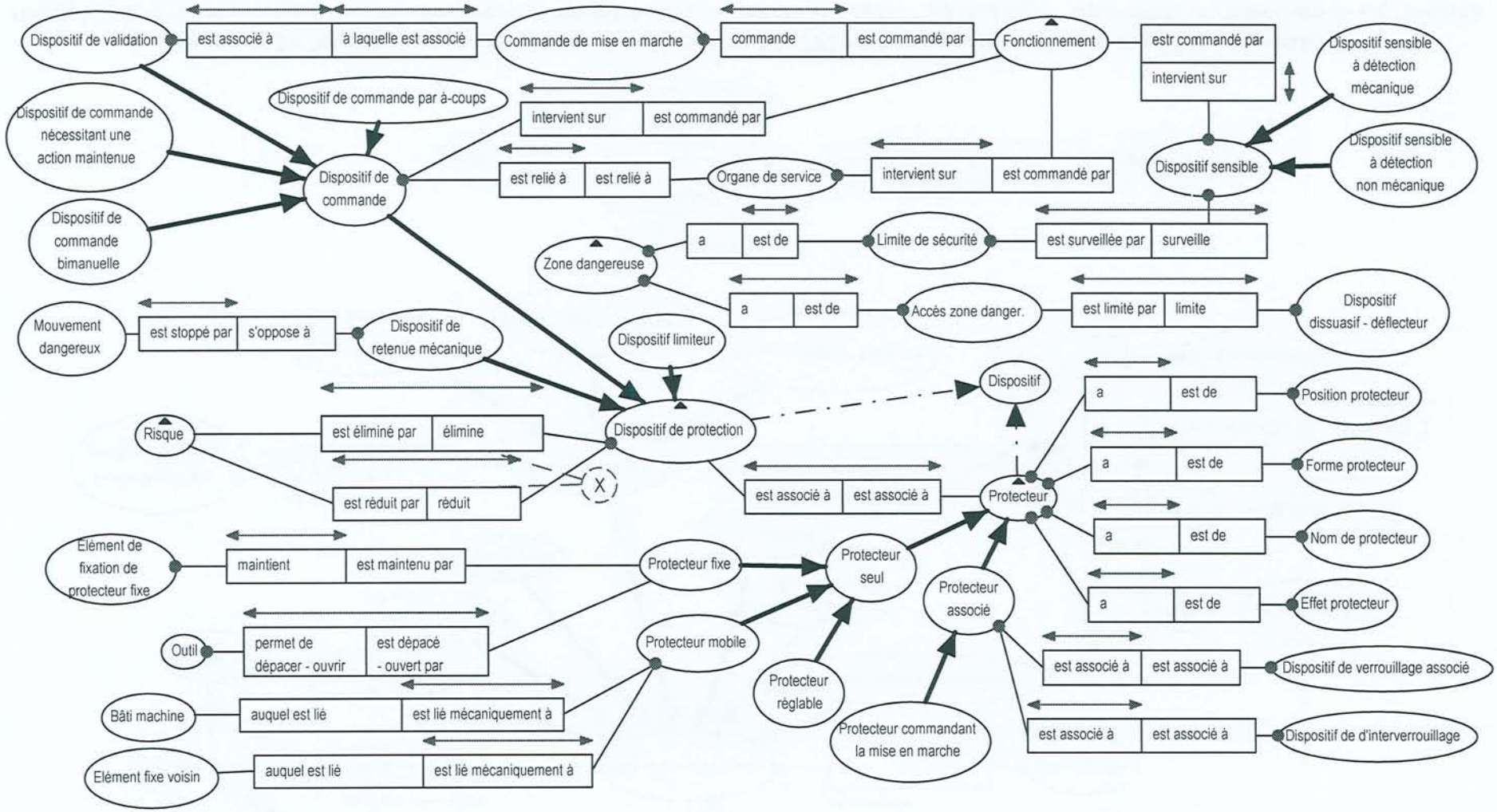


Figure 111 : Modèle NIAM/ORM partiel de la norme EN 292 – Sécurité des machines, Principes généraux (Protecteur et Dispositif de Protection).

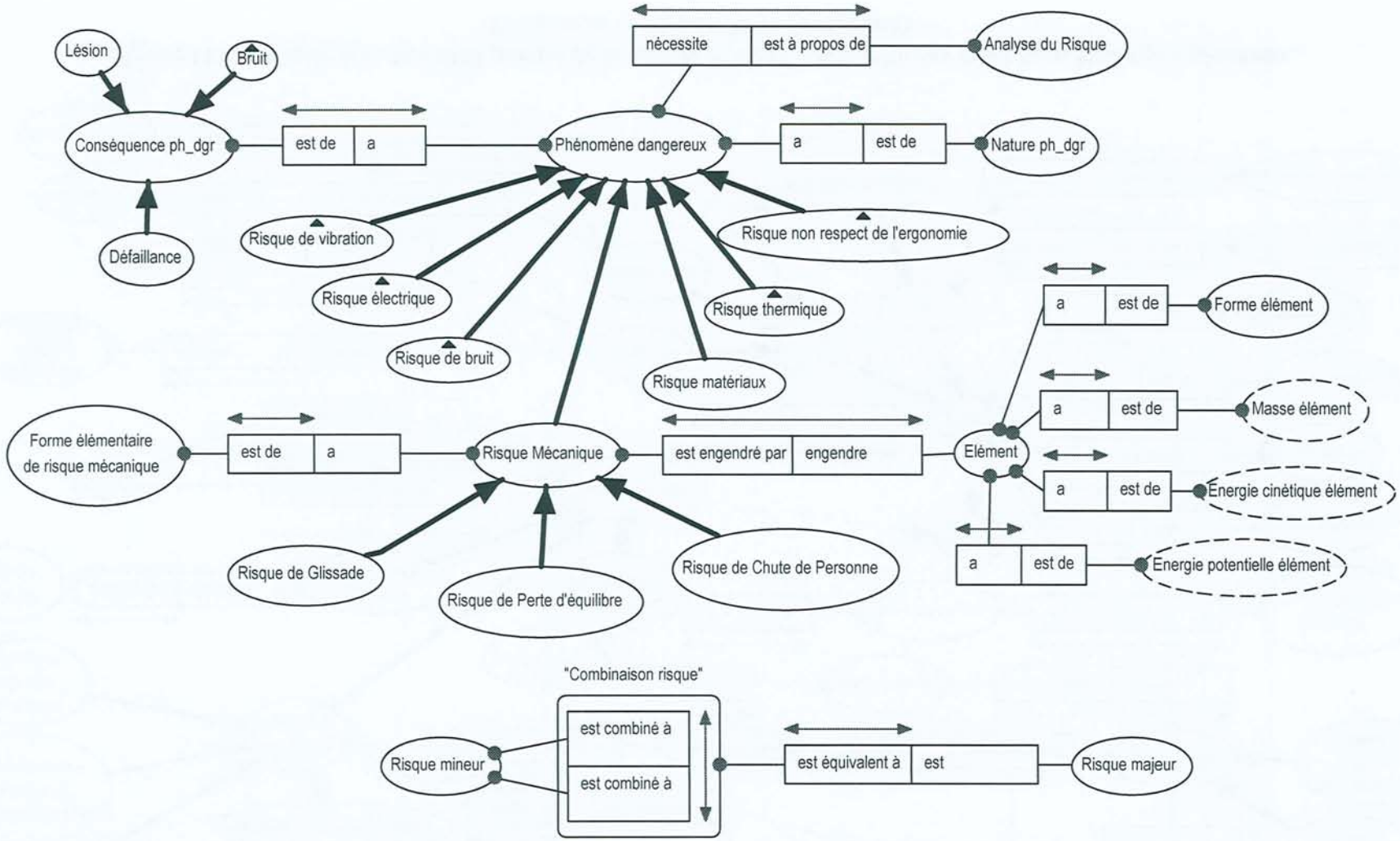


Figure 112 : Modèle NIAM/ORM partiel de la norme EN 292 – Sécurité des machines, Principes généraux (Description des risques/phénomènes dangereux engendrés par les machines, Généralités, risque mécanique et combinaison de risques).

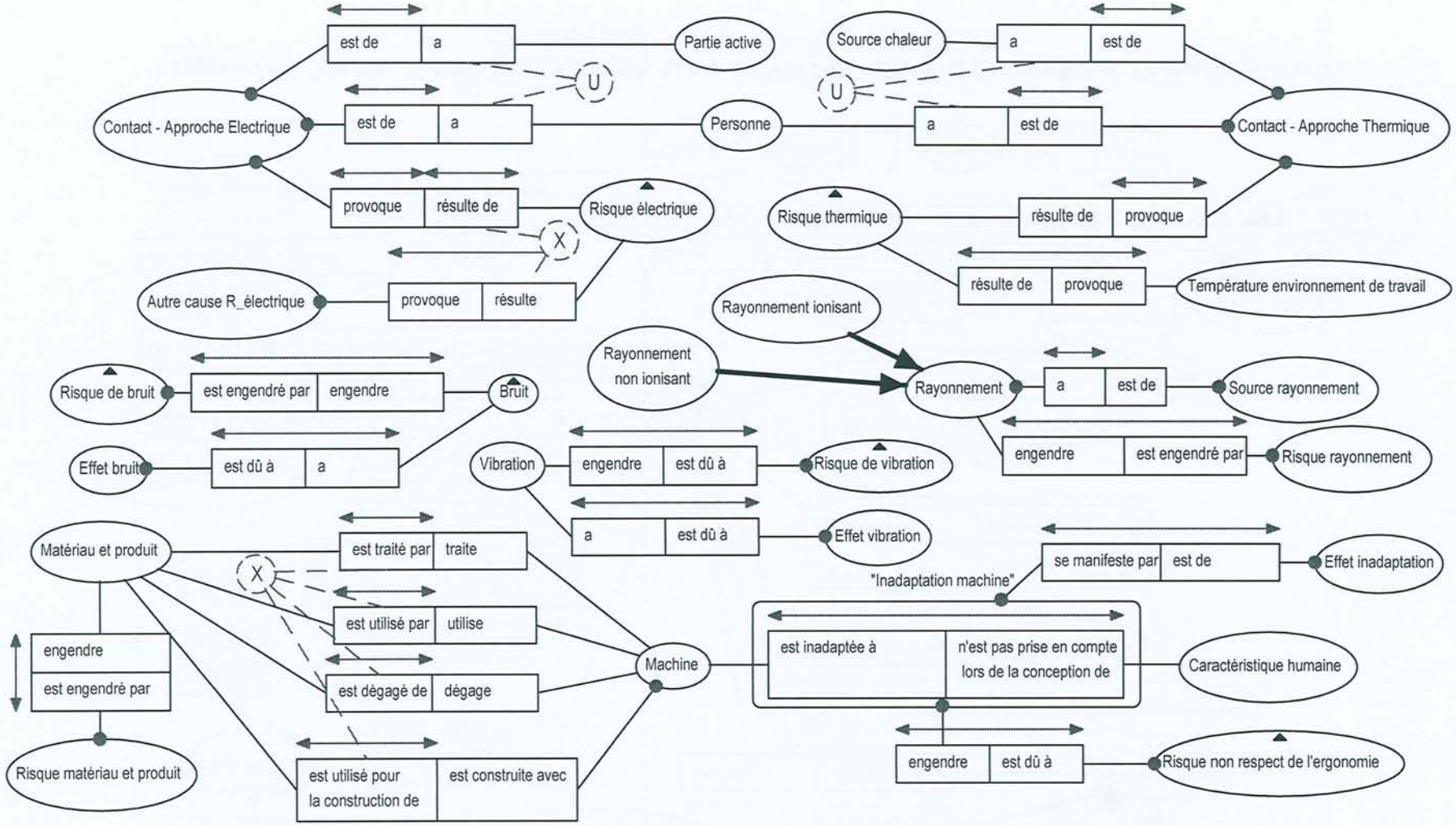


Figure 113 : Modèle NIAM/ORM partiel de la norme EN 292 – Sécurité des machines, Principes généraux (Description des risques/phénomènes dangereux engendrés par les machines, Risques électrique, thermique, …).

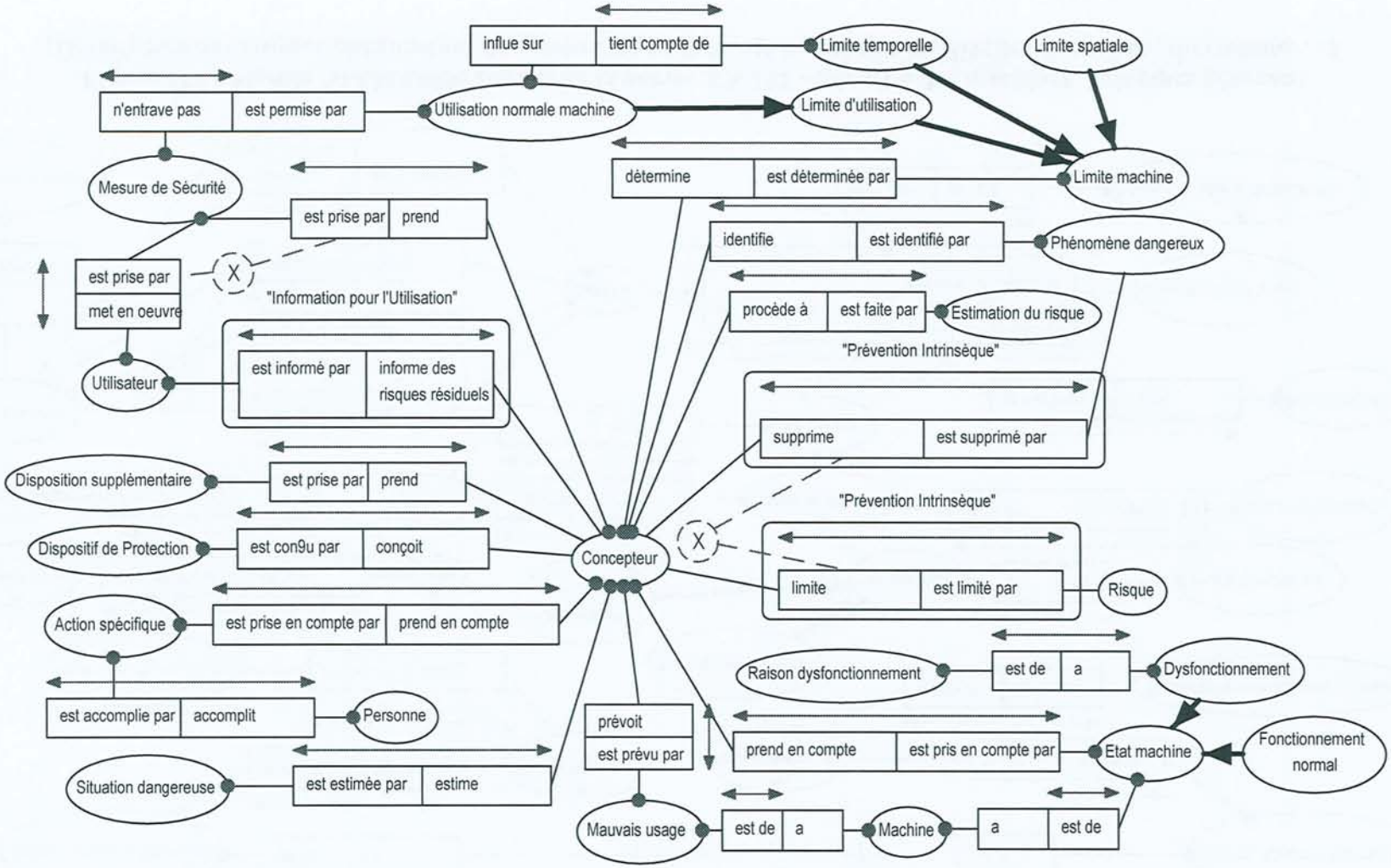


Figure 114 : Modèle NIAM/ORM partiel de la norme EN 292 – Sécurité des machines, Principes généraux (Stratégie pour les choix de mesures de sécurité).

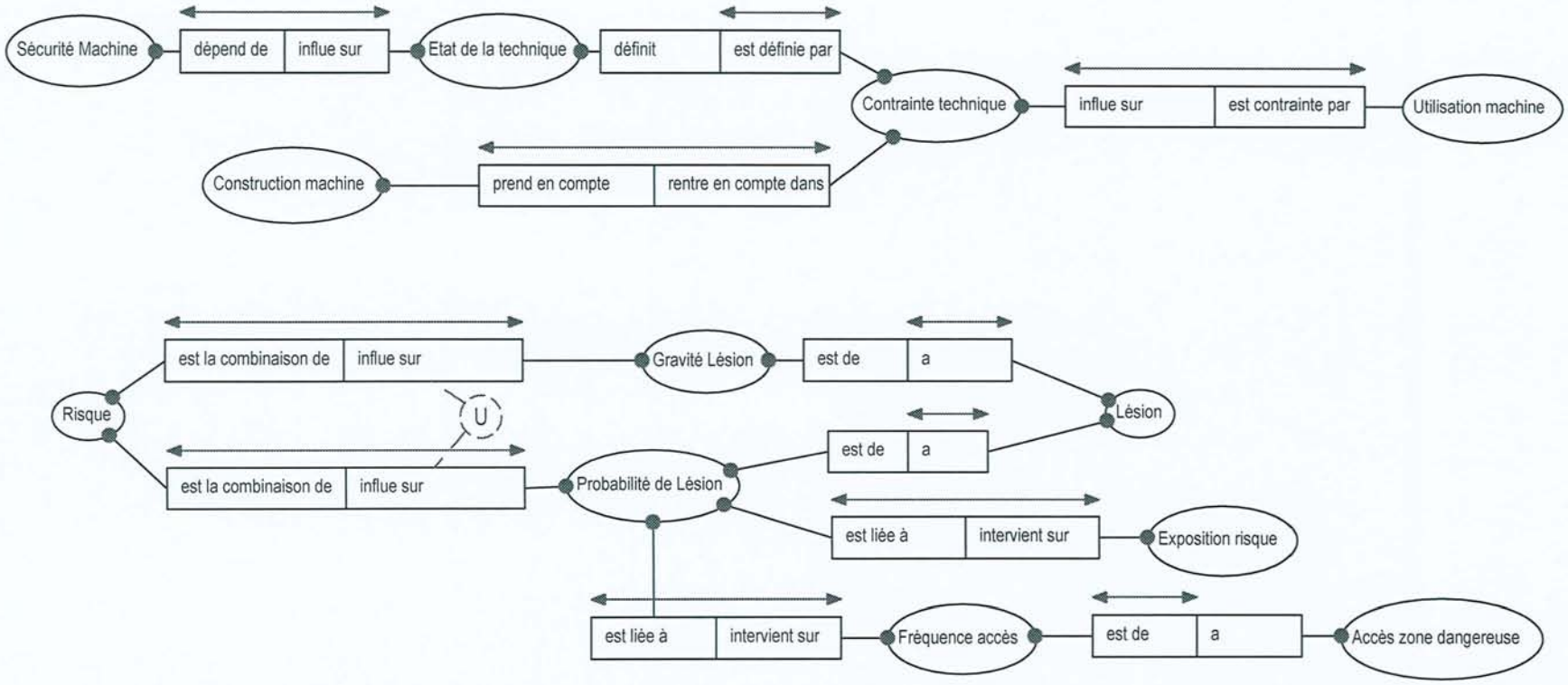


Figure 115 : Modèle NIAM/ORM partiel de la norme EN 292 – Sécurité des machines, Principes généraux (Estimation du risque).

S.C.D. - U.H.P. NANCY 1
BIBLIOTHÈQUE DES SCIENCES
Rue du Jardin Botanique
54600 VILLERS-LES-NANCY

Université HENRI POINCARÉ
NANCY 1

Monsieur **BLAISE Jean-Christophe**

DOCTORAT de l'UNIVERSITE HENRI POINCARE, NANCY-I

en PRODUCTION AUTOMATISEE

VU, APPROUVÉ ET PERMIS D'IMPRIMER

Nancy, le 27 NOV. 2000 n° 456

Le Président de l'Université

UNIVERSITÉ HENRI POINCARÉ, NANCY-I
LE PRÉSIDENT
J. BURLET

Université Henri Poincaré, Nancy-I
24-30 rue Lionnois - B.P. 3069 - 54013 NANCY CEDEX
Tél. : 03 83 85 48 00 - Fax : 03 83 85 48 48

Résumé :

En conception des machines, le concepteur doit faire face à des obligations législatives relatives à la sécurité. Ces contraintes, venant s'ajouter à tous les autres impératifs (coûts, délais, production, ...), sont, bien souvent, prises en compte que de manière secondaire et tardivement dans le processus de conception. Même si le concepteur dispose désormais de cadres de références (plusieurs directives, de nombreuses normes), il se trouve confronté à des difficultés techniques de mise en application face à cette énorme quantité d'informations. Le travail présenté dans ce mémoire s'inscrit dans le contexte d'une assistance à la prise en compte des prescriptions normatives en matière de sécurité lors de la conception de machines. Ne cherchant pas à imposer une nouvelle méthode de conception, nos travaux se basent sur la différenciation entre une partie stable et générique de la connaissance (les normes) et une partie dynamique et particulière (les processus de conception). Cette distinction justifie deux domaines d'étude complémentaires : l'extraction et la formalisation de la connaissance normative, ainsi que son exploitation. La démarche d'extraction et de formalisation de la connaissance que nous proposons est basée sur la méthode NIAM (Nijssen Information Analysis Method), elle permet, entre autres, d'élaborer un modèle formel de la connaissance contenue dans une expression textuelle. Afin de faciliter l'intégration de cette connaissance ainsi extraite et formalisée, nous proposons une approche dite multipoints de vues visant à rapprocher les vues techniques d'une machine avec les vues normatives s'y rapportant. La méthode NIAM et l'approche multipoints de vues proposées sont ainsi appliquées à un type de machine particulière : la presse mécanique et à sa norme associée la norme NF EN 692. Les résultats de cette application permettent d'énoncer les bases de développement d'un outil d'Assistance à la COnception de MAchines Sûres (ACOMAS).

Mots-clés *: Sécurité, Normes, NIAM, Formalisation, Connaissance, Conception de machines.*

Abstract :

In the design of machines, the designer must face up to safety legislative obligations. These constraints, to be added to all the other requirements (costs, times, production...), are taken into account in a secondary way and often too late in the design process. Even if the designer has at his disposal a lot of frames (several directives, many standards), he is confronted with technical difficulties of implementation of this enormous quantity of information. The work presented in this report consist of an assistance in taking into account the safety regulations when designing machines. In order to not impose a new design process, our work are based on the differentiation between a stable and generic part of knowledge (standards) and a dynamic and particular part (design processes). This distinction justifies two complementary fields of study: the extraction and the formalisation of normative knowledge, and its exploitation. The step of knowledge extraction and knowledge formalisation, we propose, is based on the NIAM method (Nijssen Information Analysis Method), which allows to make a formal model of the knowledge contained in a textual expression. In order to facilitate the integration of this extracted and formalised knowledge, we propose an approach, called multi-viewpoints, aiming at bringing closer the technical sights of a machine with their normative sights. The multi-viewpoint approach and the NIAM method are thus applied to a particular type of machine: the mechanical press and its associated standard the NF EN 692 standard. The results allow us to state the development bases of an Assistance tool for Safe Machine Design.

Keywords*: Safety, Standards, NIAM, Formalisation, Knowledge, Machine design.*