



Titre: Modélisation dans une base de connaissances des informations
Title: relatives aux appareillages électriques

Auteur: Ana Popescu
Author:

Date: 2008

Type: Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

Référence: Popescu, A. (2008). Modélisation dans une base de connaissances des
Citation: informations relatives aux appareillages électriques [Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie. <https://publications.polymtl.ca/8352/>

 **Document en libre accès dans PolyPublie**
Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/8352/>
PolyPublie URL:

**Directeurs de
recherche:** Frédéric Sirois, Raouf Naggar, & Mario Germain
Advisors:

Programme: Non spécifié
Program:

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

MODÉLISATION DANS UNE BASE DE CONNAISSANCES DES
INFORMATIONS RELATIVES AUX APPAREILLAGES
ÉLECTRIQUES

ANA POPESCU
DÉPARTEMENT DE GÉNIE ÉLECTRIQUE
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES
(GÉNIE ÉLECTRIQUE)

Aout 2008

© Ana Popescu, 2008



Library and
Archives Canada

Bibliothèque et
Archives Canada

Published Heritage
Branch

Direction du
Patrimoine de l'édition

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file Votre référence

ISBN: 978-0-494-46069-6

Our file Notre référence

ISBN: 978-0-494-46069-6

NOTICE:

The author has granted a non-exclusive license allowing Library and Archives Canada to reproduce, publish, archive, preserve, conserve, communicate to the public by telecommunication or on the Internet, loan, distribute and sell theses worldwide, for commercial or non-commercial purposes, in microform, paper, electronic and/or any other formats.

The author retains copyright ownership and moral rights in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

AVIS:

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque et Archives Canada de reproduire, publier, archiver, sauvegarder, conserver, transmettre au public par télécommunication ou par l'Internet, prêter, distribuer et vendre des thèses partout dans le monde, à des fins commerciales ou autres, sur support microforme, papier, électronique et/ou autres formats.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms may have been removed from this thesis.

Conformément à la loi canadienne sur la protection de la vie privée, quelques formulaires secondaires ont été enlevés de cette thèse.

While these forms may be included in the document page count, their removal does not represent any loss of content from the thesis.

Bien que ces formulaires aient inclus dans la pagination, il n'y aura aucun contenu manquant.

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

MODÉLISATION DANS UNE BASE DE CONNAISSANCES DES
INFORMATIONS RELATIVES AUX APPAREILLAGES
ÉLECTRIQUES

présenté par : Ana POPESCU

en vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de:

M. Guy OLIVIER, Ph. D., président

M. Michel GAGNON, Ph.D., membre

M. Frédéric SIROIS, Ph.D., membre et directeur de recherche

M. Raouf NAGGAR, M.Sc.A, membre et codirecteur de recherche

M. Mario GERMAIN, M.Sc.A, membre et codirecteur de recherche

À mon fils

REMERCIEMENTS

Je voudrais remercier mon professeur, monsieur Frédéric Sirois, pour ses remarques constructives et pour toute l'aide qu'il a pu m'apporter tout au long de ce projet et au professeur monsieur Jean Mahreredjian parce qu'il m'a acceptée comme étudiante en maîtrise.

Je tiens à exprimer mes remerciements et ma gratitude à mon directeur de recherche, monsieur Raouf Naggar, pour ses encouragements, sa disponibilité et le soutien soutenu qu'il a bien voulu m'accorder durant mon stage à l'IREQ.

Un merci bien spécial à monsieur Mario Germain, chercheur à l'IREQ, mon tuteur, pour la partie expertise équipements. J'ai pu compter sur monsieur Germain pour recevoir toute l'aide et l'appui nécessaire à la bonne réalisation du projet. J'ai apprécié son intérêt pour mon travail, sa participation enthousiaste au projet, sans oublier sa bonne humeur et son ouverture d'esprit.

Un grand merci à messieurs Luc Vouligny et Alexandre Bouffard de l'IREQ pour leur soutien dans l'utilisation de l'outil MDI et de l'approche orientée prototype. J'ai beaucoup apprécié leur appui.

Merci à mesdames Sylvie Oigny et France Noel, secrétaires administratives à l'unité Expertise Équipements électriques de l'IREQ, pour la révision orthographique du mémoire et pour leur précieux soutien. Je tiens également à exprimer toute ma reconnaissance à mes collègues de l'IREQ pour leur appui constant au cours de ma maîtrise.

Je tiens à adresser des remerciements spéciaux à monsieur Hubert Mercure, Chef Expertise Équipements électriques, pour son intérêt à l'égard de mon travail et son soutien constant.

Merci aussi à tous les membres de mon jury pour leur lecture attentive du mémoire et pour leurs commentaires pertinents qui ont permis l'achèvement de la forme finale.

Merci à madame Nathalie Lévesque, commis aux études supérieures au Département de génie électrique, pour m'avoir activement assistée pendant toutes les étapes de cette maîtrise.

RÉSUMÉ:

La présente recherche est partie intégrante d'un projet stratégique et pluridisciplinaire, ayant comme partenaires l'IREQ (Institut de recherche d'Hydro-Québec) et l'École Polytechnique de Montréal. Ce projet appelé ARCH « Architectures de réseaux moyenne tension » vise à apporter une solution à quelques problèmes actuels du réseau.

Son objectif est de développer un système à bases de connaissances pour :

- préserver et transmettre l'expertise du domaine;
- préparer un réservoir de données centralisées, utilisables par des logiciels de simulation de réseau;
- évaluer l'impact des scénarios d'évolution des réseaux de distribution d'énergie électrique.

Notre contribution dans le cadre de ce projet d'envergure a été au niveau de la problématique de la base de connaissances pour l'appareillage électrique, en mettant l'accent sur la synergie avec le réseau électrique.

Notons qu'il s'agit là d'un travail conceptuel à la frontière de trois disciplines : le génie électrique, l'ingénierie de connaissances et l'informatique. L'objectif de notre travail est l'élargissement de l'expertise en modélisation de connaissances dans le domaine de l'appareillage électrique pour des fins spécifiques au projet ARCH.

À cette intention, nous avons conçu un modèle d'appareil censé donner une cohérence aux images des équipements électriques du réseau. Précisons qu'il n'est pas un modèle mathématique, mais un essai pour développer une image, à la fois complexe et facile à comprendre, de ce qu'est l'appareillage électrique. En outre, nous avons implanté ce modèle dans la structure de la base de connaissances. Cette base de connaissances rend possible la centralisation des informations, souvent difficiles à retrouver, aux fins d'apprentissage ou d'utilisation comme données pour des logiciels d'analyse des systèmes électriques. Nous avons développé une approche par « *prototype* » pour la structure de la base de connaissances, dans le but de la rendre évolutive et réutilisable.

Cette base de connaissances a été implantée dans MDI, un outil développé par l'IREQ. Nous avons contribué à étoffer MDI avec l'ajout d'une nouvelle routine :

l'Agrégation des valeurs de propriétés. Soulignons que *l'Agrégation des valeurs de propriétés* représente un nouveau concept, un type de relation originale, dans une base de connaissances.

Au meilleur de la connaissance de l'auteur, il n'existe pas encore, dans la littérature, de références ciblées ni sur une base de connaissances ayant ces objectifs, ni sur une modélisation d'appareillage similaire.

Mots clefs :

Appareillage électrique, Base de Connaissances, Modélisation, Ingénierie de connaissances, Prototype, Réseaux de distribution électrique.

ABSTRACT:

The present research is integrated in a strategic and multi-field project, having as partners the IREQ (Hydro-Quebec's research institute) and "École Polytechnique" of Montreal. This project called ARCH aims to bring solutions to some current problems of the network architecture. Its objective is to develop a knowledge base system serving for:

- domain expertise preservation and transmission;
- development of a centralized data stock, ready for use by the network simulation software;
- impact evaluation of evolution scenarios for the electric power distribution.

Our contribution in this project was to realize the structure of a knowledge base for the electric apparatus. The accent was on the synergy of the apparatus with the electric network. Let us note that this is a conceptual work which borders three disciplines: electrical engineering, knowledge engineering and computer sciences. The objectives of our work are:

- the widening of the modeling expertise in the field of electric apparatus, specifically centered on ARCH project purposes;
- the structure development for the electric apparatus knowledge base.

For these purposes, we create an apparatus model, which gives coherence to the images of the electric components of the network.

Let us specify that this is not a mathematical model. It is a representation of what represents electrical equipment integrated in the network. Moreover, we integrated the apparatus model in the structure of the knowledge base.

The structure we developed for this knowledge base makes possible the centralization of information often difficult to find. This knowledge base can be used for human apprenticeship as a «knowledge book», or for finding centralized data needed of other software doing electric systems analysis. We developed a «prototype» approach for the structure of the knowledge base, for better adaptability and reusability.

The establishment of this knowledge base was made in MDI, a tool created and owned by IREQ. We contributed to pack MDI with a new routine called *Aggregation of the properties values*; The *Aggregation of the properties values* represents a new concept, an original type of relation, in a knowledge base.

To the better of the author knowledge, there don't exist yet targeted references neither on a knowledge base having the same objectives, nor on a similar modeling manner for the electric apparatus.

Keywords :

Electrical apparatus, Knowledge base, Knowledge engineering, Modeling, Prototype, Distribution network.

Table des matières

INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1 : CONTEXTE DE LA RECHERCHE	4
1.1 PROJET ARCH DE L'IREQ.....	4
1.2 OBJECTIFS DE LA RECHERCHE	5
CHAPITRE 2 : NOTIONS THÉORIQUES SUR LA MODÉLISATION.....	7
2.1 IMPORTANCE DE LA MODÉLISATION	7
2.2 CONVENTION ET MODÈLE NORMALISÉS POUR L'APPAREILLAGE ÉLECTRIQUE DE RÉSEAU.....	8
2.2.1 <i>Convention de représentation UML</i>	8
2.2.2 <i>CIM (Common Information Model)</i>	9
2.3 BASE DE CONNAISSANCES	11
2.3.1 <i>Ontologie</i>	12
2.3.2 <i>Approche prototype</i>	13
2.3.3 <i>Implantation informatique</i>	14
CHAPITRE 3 : ÉLABORATION DU MODÈLE D'APPAREIL	16
3.1 CHOIX DE L'APPROCHE DE MODÉLISATION.....	16
3.2 CHOIX D'IMPLANTATION INFORMATIQUE DE LA BASE DE CONNAISSANCES	18
3.3 APPROCHE DE LA CONCEPTION DE LA BASE DE CONNAISSANCES.....	19
3.4 MÉTHODOLOGIE DE RÉALISATION DE LA BASE DE CONNAISSANCES	19
3.5 DISCUSSION SUR L'APPROCHE CIM POUR LE MODÈLE D'APPAREIL	20
3.6 DÉVELOPPEMENT DE LA TAXONOMIE	24
3.7 ÉLABORATION D'UN PROTOTYPE.....	25
3.8 PROTOTYPES UTILISÉS DANS LA BASE DE CONNAISSANCES	27
3.8.1 <i>Prototype primordial</i>	27
3.8.2 <i>Prototype de famille d'appareil</i>	29

3.8.3	<i>Appareils génériques</i>	29
CHAPITRE 4 : VUE D'ENSEMBLE DE LA BASE DE CONNAISSANCES		
D'APPAREILLAGE		30
4.1	NIVEAUX LES PLUS ABSTRAITS DANS LA BASE DE CONNAISSANCES	30
4.2	STRUCTURE DES CONCEPTS TECHNIQUES	32
4.3	GESTION DES RÉFÉRENCES	33
CHAPITRE 5 : TAXONOMIES DE LA BASE DE CONNAISSANCES		36
5.1	TAXONOMIE D'APPAREILLAGE	36
5.1.1	<i>Appareillage</i>	37
5.1.2	<i>Composants</i>	41
5.2	TAXONOMIE DES CONCEPTS DE RÉSEAU	43
5.2.1	<i>Description générale des Concepts extérieurs</i>	43
5.2.2	<i>Concept extérieur Fonctionnalité</i>	46
5.2.3	<i>Concept extérieur CIM</i>	50
5.2.4	<i>Autres concepts extérieurs</i>	51
5.3	TAXONOMIE DES PROPRIÉTÉS	55
5.3.1	<i>Problématique des propriétés dans le modèle d'appareil</i>	55
5.3.2	<i>Gestion des propriétés</i>	57
5.4	TAXONOMIE DES BIBLIOGRAPHIES	68
5.4.1	<i>Gestion des références bibliographiques dans la base de connaissances</i>	68
5.4.2	<i>Concept Bibliographie</i>	70
CHAPITRE 6 : DYNAMIQUE DE LA BASE DE CONNAISSANCES		72
6.1	HÉRITAGE	72
6.2	RELATION D'INTENSION	73
6.3	ASSOCIATION COLLATÉRALE.....	73
6.4	AGRÉGATION DES VALEURS DE PROPRIÉTÉS.....	74
6.4.1	<i>Problématique de l'Agrégation des valeurs de propriétés</i>	74

6.4.2	<i>Réalisation de l'Agrégation des valeurs de propriétés.....</i>	76
6.5	MÉTHODE DE RÉCUPÉRATION DES DONNÉES	80
6.5.1	<i>Traduction des noms des propriétés</i>	80
6.5.2	<i>Recherche de la valeur d'une propriété dans MDI</i>	81
CHAPITRE 7 : VALIDATION DE LA BASE DE CONNAISSANCES		83
7.1	CONCEPTS DU PLUS HAUT NIVEAU IMPLANTÉS DANS LA BASE DE CONNAISSANCES	83
7.2	PROTOTYPES IMPLANTÉS DANS LA BASE DE CONNAISSANCES	84
7.3	ENRICHISSEMENT DE LA BASE DE CONNAISSANCES	87
7.4	CONSULTATION DE LA BASE DE CONNAISSANCES.....	88
CONCLUSION.....		91
RÉFÉRENCES.....		93
ANNEXES.....		99

Table des tableaux

TABLE 5.1 LES SOUS-CLASSES DU PAQUETAGE «WIRES»	40
TABLE 5.2 LES CONCEPTS EXTÉRIEURS SIMILAIRES À <i>FONCTIONNALITÉ</i>	51

Table des figures

FIGURE 3.1 MODÈLE DE TRANSFORMATEUR DANS CIM.....	22
FIGURE 3.2 LE PROTOTYPE ET SES DÉVELOPPEMENTS	26
FIGURE 3.3 LA DÉFINITION DE PROTOTYPE PRIMORDIAL POUR LES CONCEPTS APPAREIL...	28
FIGURE 4.1 LES CONCEPTS ABSTRAITS INAUGURANT LES TAXONOMIES	31
FIGURE 4.2 VUE D'ENSEMBLE SUR LES CONCEPTS DANS LA BASE DE CONNAISSANCES	33
FIGURE 4.3 LA GESTION DES RÉFÉRENCES.....	35
FIGURE 5.1 POSITION DU CONCEPT <i>CONCEPTS APPAREIL</i> DANS LA TAXONOMIE	37
FIGURE 5.2 L'ENCADREMENT DANS LA CLASSIFICATION POUR <i>CONCEPTS EXTÉRIEURS</i>	44
FIGURE 5.3 LES CONCEPTS <i>FONCTIONNALITÉ</i> ET <i>*->A_FONCTIONNALITÉ</i> EN MDI.....	49
FIGURE 5.4 LA PROPRIÉTÉ <i>PUISSANCE NOMINALE</i> EN MDI.....	56
FIGURE 5.5 L'ENCADREMENT DU CONCEPT <i>ATTRIBUTS</i> DANS LA HIÉRARCHIE	58
FIGURE 5.6 L'ASSOCIATION COLLATÉRALE ENTRE <i>UTILISATION</i> ET <i>CONCEPTS EXTÉRIEURS</i>	61
FIGURE 5.7 APERÇU MDI DU <i>*->A_FONCTIONNALITÉ</i> DE L' <i>IUT</i>	62
FIGURE 5.8 APERÇU DES SOUS-CONCEPTS DE <i>CARACTÉRISTIQUES SPÉCIFIQUES</i> EN MDI ...	67
FIGURE 5.9 LA VALEUR DU CONCEPT <i>REF_TRANSFORMATEUR</i>	70
FIGURE 6.1 APERÇU MDI DE L' <i>AGRÉGATION DES VALEURS DE PROPRIÉTÉS</i>	78
FIGURE 6.2 EXEMPLE D' <i>AGRÉGATION DES VALEURS DE PROPRIÉTÉS</i>	79
FIGURE 7.1 EXEMPLE DE CLASSIFICATION DU CONCEPT <i>TRANSFORMATEURS</i>	85

LISTE DES ACRONYMES

BC : Base de Connaissances

CIM : Common Information Model

EMS : Energy Management System

EPRI : Electric Power Research Institute

FACTS : Flexible AC Transmission Systems

IREQ : Institut de Recherche D'Hydro Québec

IUT : Transformateur Universelle Intelligent

MDI : Modélisation dynamique d'informations (outil informatique)

OWL: Web Ontology Language

RDF: Resource Description Framework

SCADA : Supervisory Control And Data Acquisition

SGML : Standard Generalized Markup Language

UML : Unified Modeling Language

W3C: World Wide Web Consortium

INTRODUCTION

L'électricité est bien plus qu'une simple forme d'énergie. L'impact global de l'électricité sera vraisemblablement encore plus grand au 21^e siècle [1]. Les réseaux de distribution d'électricité sont appelés à s'adapter à des conditions de plus en plus exigeantes. Ils doivent se moderniser. Cependant, des décisions critiques sur le plan du développement et des investissements devront être prises dès maintenant afin de s'assurer que le réseau électrique de demain puisse répondre aux besoins pressants de l'avenir [2-4]. La situation actuelle du réseau est le fruit d'une série de décisions prises au fil du temps. Chacune d'entre elles aura des répercussions sur les décisions qui suivent. Le besoin est de savoir quels sont vraiment les tendances et les véritables défis de l'avenir.

En fait, pour prendre les bons choix de modernisation, la seule possibilité est d'avoir un système informatisé à la hauteur des exigences [1, 5]. Les contraintes d'un tel système sont souvent dictées par le risque de ne plus être en mesure de réutiliser le patrimoine de solutions déjà connues. Ces risques arrivent parce que la maîtrise du réseau devient trop complexe et l'exploitation manuelle d'expertise du domaine requiert un savoir-faire long à acquérir et facile à perdre. Sur la base de cette nouvelle réalité, la complexité des aspects à prendre en compte exige que l'on fasse appel à des systèmes à bases de connaissances.

À ce sujet, un projet stratégique et pluridisciplinaire, ayant comme partenaires l'IREQ (Institut de Recherche d'Hydro-Québec) et l'École Polytechnique de Montréal, vise à développer un système à bases de connaissances pour évaluer l'impact des scénarios d'évolution des réseaux de distribution d'énergie électrique [6].

Dans le cadre de ce projet, notre contribution est d'avoir conçu une structure de haut niveau pour une base de connaissances modélisant les équipements électriques du réseau : transformateurs, appareils de coupure, mesure, automatisation, etc.

La justification de la présente recherche est fondée sur deux nécessités rencontrées sur le réseau : le partage (et la préservation) du patrimoine de connaissances et le besoin d'outils informatiques puissants pour faire des études complexes [7, 8]

La base de connaissances est réalisée en se basant sur une approche systémique (holistique), au cœur de laquelle se trouve l'interaction entre les éléments du réseau. Elle ne représente pas un modèle mathématique, mais un essai pour développer une image, à la fois complexe et facile à comprendre, de ce qu'est l'appareillage électrique.

La définition de ce modèle est réalisée par une symbiose entre deux parties : l'une étant l'appareillage électrique et l'autre étant le réseau, en termes d'un système complexe. Ces deux constituants conceptuels primordiaux de la base de connaissances sont pris en considération comme étant relativement autonomes. Leurs descriptions intègrent principalement des aspects statiques : la construction, la fonctionnalité, l'appellation, les principes physiques, etc.

Le chapitre 1 sert à introduire le lecteur dans le contexte de cette recherche.

Le chapitre 2 résume très brièvement les bases théoriques sur la modélisation, et sur les bases de connaissances.

Les chapitres 3 à 7 introduisent notre contribution originale, dont le modèle d'appareillage et son implantation dans la structure de la base de connaissances..

D'abord, le chapitre 3 explique l'élaboration conceptuelle du modèle d'appareillage, mettant l'accent sur l'utilisation pratique de la théorie de prototypes.

Ensuite, le chapitre 4 donne une vue d'ensemble de la base de connaissances d'appareillage en élaborant un premier aperçu très général sa réalisation.

Le chapitre 5 détaille d'une part les concepts les plus importants et d'autre part il explique l'accomplissement de certains objectifs pour la base de connaissances. Parmi ces dernières, les plus importantes sont la flexibilité, la cohérence, la réutilisabilité et l'ouverture vers des technologies émergentes. On y explique aussi la solution trouvée pour faciliter une interface ultérieure entre la base de connaissances et le modèle d'information commun CIM.

Le chapitre 6 présente la dynamique de la base de connaissances, en d'autres mots les relations entre les concepts. Parmi ces relations, nous retrouvons *l'Agrégation des valeurs de propriétés* qui est, à notre connaissance, spécifique à cette modélisation.

Finalement, le chapitre 7 explique comment est faite la validation de la base de connaissances.

Cette recherche a fait l'objet d'un article accepté et présenté à la 21^{ième} Conférence Canadienne de génie électrique et génie informatique, qui s'est tenue à Niagara Falls en 2008. L'article est intitulé : «Modélisation des appareillages électriques dans une base de connaissances dynamique» et il est donné, dans sa forme finale, en annexe 1.

Chapitre 1 : Contexte de la recherche

Ce chapitre introduit, dans un premier temps, le projet ARCH de l'IREQ qui a constitué notre cadre de recherche. Ses finalités ont dicté l'approche pour la modélisation dans la base de connaissances. Dans un deuxième temps, nous présentons les objectifs particuliers de la base de connaissances d'appareillage.

1.1 Projet ARCH de l'IREQ

Un projet stratégique et pluridisciplinaire ARCH « Architectures de réseaux moyenne tension », ayant comme partenaires l'IREQ (Institut de recherche d'Hydro-Québec) et l'École Polytechnique de Montréal, a démarré pour faire évoluer les architectures de réseau de distribution [6].

L'un des objectifs du projet de l'IREQ est de développer un laboratoire permettant d'analyser l'impact de différents scénarios hypothétiques d'évolution du réseau et de son contexte. Il vise à développer des outils évolutifs, s'enrichissant en fonction des besoins et des études en s'appuyant sur des méthodes génériques utilisables dans des contextes différents.

La base de connaissances du projet sera le dépositaire de tous les apprentissages réalisés dans le cadre des activités du laboratoire. Elle rassemblera des connaissances sur les technologies, sur les processus et les intervenants du domaine, sur les contextes et les scénarios d'évolution, sur les résultats connus, etc.

Les connaissances y seront représentées par des modèles formels pouvant faire référence à des ressources externes. Elle collaborera avec des logiciels spécialisés dont les algorithmes génériques seront conçus pour interpréter le formalisme rigoureux de ces connaissances afin de les exploiter efficacement et d'obtenir les résultats recherchés.

Cette base de connaissances sera construite selon *l'approche par prototypes* (voir section 2.3) et sera constituée à l'aide du logiciel MDI développé à l'IREQ selon cette approche.

1.2 Objectifs de la recherche

L'objectif de la présente étude est de fournir une structure de haut niveau pour la base de connaissance d'appareillage du projet ARCH. Cette base de connaissances est réalisée dans une approche prototype, donc différente d'une ontologie¹, comme il sera expliqué dans la section 2.3. Dans le même temps, l'approche de modélisation de l'appareil électrique est plus conceptuelle et plus uniforme que celle offerte par CIM², le modèle d'appareillage le plus connu. Le modèle que doit implanter la base de connaissance n'est pas mathématique, son but étant plutôt d'éclaircir la perception de l'appareil dans le réseau. Il doit représenter le concept d'appareillage. Des détails sur la création de ce modèle seront donnés dans le chapitre 3.

En mettant l'accent sur la synergie avec le réseau électrique, l'ambition de ce projet est de développer une structure de base de connaissances évolutive, qui est capable donc d'ajouter des fonctionnalités, d'augmenter ses capacités au maximum et de s'adapter à des besoins différents / nouveaux. La base de connaissance doit être réutilisable car elle est censée être intégrée (en totalité ou en partie) dans un nouveau projet.

Observons qu'il s'agit d'un travail à la frontière de trois disciplines : le génie électrique, l'ingénierie de connaissances et l'informatique. Il s'agit d'un élargissement de l'expérience de modélisation dans le domaine d'appareillage électrique et dans le même temps il concerne le développement d'un outil informatique, la base de connaissances. Cet outil rendra possible la centralisation des informations conformément aux finalités d'ARCH.

¹ Ontologie= système de représentation des connaissances d'un domaine

² CIM= modèle abstrait qui représente tous les objets principaux d'un réseau électrique.

L'acquisition des informations n'est pas un objectif de ce mémoire. Certaines informations sont incluses à titre d'exemple mais la majorité des informations restent à être intégrées. De même, le développement d'un moteur d'inférence dans la base de connaissances ne constitue pas un objectif pour cette recherche.

Chapitre 2 : Notions théoriques sur la modélisation

Dans le premier chapitre, nous avons précisé le contexte général de la recherche. Dans le chapitre 2, nous introduisons la problématique théorique de l'élaboration et de l'implantation informatique d'un modèle d'appareil dans une base de connaissances. Afin de compléter la perspective sur les fondements théoriques de notre travail, nous passerons en revue la convention et le modèle d'appareillages les plus connus.

2.1 Importance de la modélisation

La recherche scientifique est passée d'une époque où elle réussissait à mettre en équation des phénomènes physiques simplifiés, à l'époque où elle peut simuler des phénomènes et les objets du monde sans avoir besoin d'exprimer la totalité de leurs lois physiques. Ainsi, il existe deux modalités principales pour étudier un système : la méthode axiomatique (mathématique) et l'approche par modélisation [9, 10].

Dans la méthode axiomatique, un objet est initialement fixé par une définition. Avec une théorie mathématique-physique, on connaît a priori le comportement d'un système. Cela concerne souvent les systèmes simples qui sont décrits par des équations assez élémentaires.

Les objets et les systèmes les plus habituels du monde réel sont assez compliqués. Il est donc difficile d'adopter une approche théorique. Cela pourrait s'avérer éventuellement insatisfaisant.

Pour ce genre de système, comme le réseau électrique, il n'existe pas la possibilité de couvrir toute sa complexité avec des méthodes mathématiques. Le recours à la modélisation est une alternative efficace et très utilisée pour gérer la complexité du réseau électrique [11].

Nous présentons dans la section suivante la convention et le modèle d'appareillage électrique qui sont présentement les plus connus et les plus utilisés.

2.2 Convention et Modèle normalisés pour l'appareillage électrique de réseau

Dans cette section nous présentons la convention de représentation UML et le modèle d'appareillage CIM qui sont les plus utilisés actuellement dans le monde des réseaux électriques.

2.2.1 Convention de représentation UML

Le langage de modélisation unifié - UML (Unified Modeling Language) est un langage graphique de modélisation des données [12-15].

Le langage UML est un ensemble de concepts et de conventions aidant à traduire graphiquement les modèles orientés objet de systèmes complexes.

Le modèle UML définit les classes, les propriétés et les relations qui peuvent être employées pour décrire un objet. En UML, une classe est représentée par un rectangle. Une classe englobant des propriétés est représentée par un rectangle fractionné en deux zones, l'une contenant le nom de la classe et l'autre, la liste des propriétés. Les méthodes sont représentées par une troisième zone contenant la liste des méthodes.

En UML, les relations entre les classes sont de trois types : l'*héritage*, l'*agrégation* et l'*association*.

L'*héritage* veut dire qu'une classe (sous-classe) hérite de toutes les propriétés de la superclasse aussi bien que des méthodes. L'*héritage* en UML est représenté par une flèche se dirigeant vers la superclasse.

L'*agrégation* correspond à une relation « composé-composant » où les objets représentant les constituants d'une chose sont associés à un objet représentant l'assemblage entier. Le symbole représentant l'agrégation en UML est le losange vide se dirigeant vers le composé.

L'*association* indique que deux classes indépendantes sont reliées. Il est important de souligner que les classes impliquées dans une *association* peuvent exister l'une sans l'autre.

Le langage UML est utilisé pour représenter la structure des schémas du modèle d'information commun CIM.

En UML, les modèles de systèmes électriques sont exprimés sous forme de *diagrammes de classes*.

Précisons que nous avons utilisé la convention UML dans toutes les représentations graphiques sur la base de connaissances, dans la mesure du possible. Par exemple, la figure 4.1 utilise les conventions de représentation UML.

2.2.2 CIM (Common Information Model)

Le modèle d'information commun CIM est un modèle abstrait qui représente tous les objets principaux d'un réseau électrique, ses parties de production et de distribution d'électricité. C'est un modèle, parmi plusieurs autres, qui cherche à représenter le réseau électrique, mais il est le plus connu et le plus accepté [16].

Le CIM permet de représenter des objets réels qui se retrouvent dans le fonctionnement et la gestion des réseaux électriques. Parmi ces objets réels, on retrouve les appareillages (par exemple les transformateurs) et les éléments d'architecture (par exemple le poste). Le CIM permet également de représenter les propriétés de ces objets réels et leurs relations. À part ces éléments concrets dans le réseau, le CIM utilise des concepts abstraits liés au mesurage et au contrôle.

Le CIM a été développé pour faciliter l'échange d'informations et l'interopérabilité des logiciels de réseaux électriques existants. Le CIM définit un langage commun pour permettre à ces applications d'accéder à des données publiques et d'échanger de l'information. Son but est de faciliter l'intégration de l'application des systèmes de gestion de l'énergie (EMS) qui sont développés séparément par différents fournisseurs. Il est parallèlement normalisé à travers la norme IEC 61970-301.

Le CIM est défini à partir des techniques de modélisation orientées objet. Le modèle CIM définit tous les composants de base d'un système électrique comme des objets.

Un exemple convenable est le model de transformateur, présenté dans la figure 3.1.

2.3 Base de connaissances

Dans cette section nous traiterons brièvement les fondements théoriques de concept de base de connaissances [17, 18].

Sous le vocable « base de connaissances », on retrouve une variété d'outils informatiques utilisés pour stocker de manière informatique un ensemble de connaissances. Une base de connaissances rassemble sur un support informatisé des connaissances et les met en relation selon des modèles rigoureux permettant d'effectuer les déductions voulues. Le but essentiel d'une base de connaissances est de faciliter le partage et la réutilisation des connaissances. Elles modélisent et stockent de manière informatique un ensemble de connaissances et permettent leur consultation et utilisation. La majorité des auteurs s'entendent sur le fait qu'une base de connaissances se compose :

- d'une ou plusieurs taxonomies (classifications) regroupant des concepts du domaine, ordonnés hiérarchiquement en classes et en sous-classes;
- de relations entre les concepts d'une même taxonomie ou de taxonomies différentes.

Parfois un moteur d'inférence fait partie de la base de connaissances.

Les bases de connaissances abordent aujourd'hui des problèmes complexes sur différentes sphères d'intérêt. Par conséquent, les bases de connaissances sont caractérisées par des approches variées. Les réalisations de bases de connaissances connues aujourd'hui vont des simples bases de données, en passant par les bases relationnelles, jusqu'aux systèmes les plus actuels, comme les systèmes experts englobant des bases de connaissances et des moteurs d'inférence [19].

La plupart des bases de connaissances que nous avons trouvées dans la littérature sont conçues pour réaliser des ontologies mais il existe aussi des bases de connaissances conçues en approche prototype, qui ont une conceptualisation différente [20].

2.3.1 Ontologie

Sous le vocable "ontologie", on retrouve de nombreuses définitions qui dépendent du domaine d'appartenance de leurs auteurs, mais également des objectifs qu'ils souhaitent atteindre grâce à cet "outil" [21, 22]. Une ontologie est une théorie logique qui rend compte explicitement des relations qui existent entre les concepts. Ce concept pour être compris doit lui-même être mis en contexte.

En philosophie, on appelle "*ontologie*" une théorie concernant les types d'objets qui existent indépendamment de tout agent extérieur les connaissant. L'ontologie, en tant que discipline philosophique, étudie ces théories de l'existence.

L'intelligence artificielle a adopté le terme "*ontologie*" en lui donnant le sens plus restreint de définition formelle d'un système de représentation des connaissances d'un domaine. L'ontologie est un système de termes primitifs utilisés dans la construction de systèmes artificiels.

Une ontologie se compose, dans la majorité des cas, d'une taxonomie regroupant des concepts du domaine, de relations entre les concepts et de règles d'inférence permettant de définir des propriétés de ces relations.

La taxonomie aide à référencer ou à repérer des ressources en spécifiant leurs propriétés. En quelque sorte, elle peut ressembler aux fiches de références d'une bibliothèque.

Une ontologie est centrée sur des règles qui vont vérifier les propriétés d'un nouvel objet, qui ensuite va être classé dans la taxonomie. Dans la majorité des cas, l'ontologie utilise ses règles pour développer la taxonomie, son but étant d'y placer automatiquement des nouveaux objets, qui ont des caractéristiques connues.

2.3.2 Approche prototype

La base de connaissances, dans le sens où nous l'utiliserons, ne se centre pas sur la classification automatique des objets, ni sur leur reconnaissance, mais plutôt sur la représentation cohérente des objets, sur la modélisation des individus réels et sur la préservation des connaissances [23-27].

Dans une telle optique, une base de connaissances conçue dans l'approche prototype est un ensemble de connaissances formalisées à l'aide d'un modèle conceptuel portant sur un concept représentatif, un prototype, du domaine d'intérêt [28, 29]. Dans notre cas, le domaine d'intérêt est le réseau électrique, et le modèle conceptuel porte sur l'appareil électrique. La base de connaissances est en effet une transcription conceptuelle et informatique d'une modélisation [30]. Primordialement la modélisation se concentre sur un concept central du domaine, -l'appareil électrique- qui doit être conceptualisé et implanté comme prototype [31].

En plus de cette image unificatrice et globale du concept central, une modélisation en approche prototype met l'accent sur le fait que, dans une certaine catégorie, il existe des individus qui sont plus représentatifs —des prototypes— [28, 32]. Généralement, l'esprit humain a une tendance naturelle à commencer une classification à partir de ces individus et non pas à partir des concepts abstraits. Les concepts abstraits, se développent à partir des idées centrales intuitives du domaine.

Un prototype est un assemblage structurel de toutes les caractéristiques se rapportant à un concept représentatif. La spécification de cet assemblage se fait par des propriétés. L'abstraction d'un tel prototype peut être obtenue à partir de la généralisation des propriétés du concept connu. La taxonomie englobe les prototypes sans toutefois être toujours centrée sur eux.

La principale différence dans l'approche prototype avec l'approche classique réside dans le fait qu'il n'existe pratiquement pas de classes dans le sens classique, ni instances (individus), mais des « slots » qui sont dynamiquement classes ou instances en fonction

du contexte. Le travail, avec un modèle orienté prototype, se concentre plutôt sur les ressemblances entre les objets que sur les critères de classification parce qu'il existe la possibilité de faire des itérations et de changer dynamiquement l'appartenance d'un objet.

Dans une base de connaissances en approche prototype l'accent est mis et sur la préservation et le partage des connaissances et sur la disponibilité de données pour les logiciels de planification et d'optimisation [28, 33, 34]. Le souci de placer les objets dans la taxonomie revient au gérant de la base de connaissances. La base de connaissance développée dans cette recherche constitue un exemple d'approche prototype.

2.3.3 Implantation informatique

Dans la littérature, nous avons trouvé plusieurs méthodes et logiciels différents pour créer des ontologies et des bases de connaissances [13, 21, 35-37].

Les outils de formalisation des ontologies les plus connus sont ceux pilotés par le groupe W3C (Wide World Web Consortium). Ils ont créé le langage OWL (Web Ontology Language) qui se base sur le protocole XML/RDF et qui utilise des outils d'édition comme Protégé, etc.

RDF (Resource Description Framework) est un modèle conceptuel permettant de décrire simplement et de manipuler des ensembles structurés d'informations décrivant une ressource quelconque [38, 39].

Le langage OWL permet de décrire des ontologies. OWL est adéquat et plus souvent utilisé pour la création du Web sémantique³, car il offre une syntaxe définie strictement et une sémantique définie strictement [40, 41].

³ Web sémantique = Assemble de technologies visant à formaliser le contenu des documents Web.

Une ontologie d'OWL inclut des descriptions des classes, des propriétés et de leurs individus. Donnée une telle ontologie, la sémantique formelle d'OWL spécifie comment déduire des conséquences logiques.

L'outil Protégé est un système auteur pour l'édition d'ontologies. Protégé est capable d'implanter des ontologies dans la plupart des formats d'ontologies comme RDF ou OWL [42].

L'IREQ a développé un outil maison, MDI qui est capable d'implanter des bases de connaissances [43, 44].

MDI a été conçu avec le but d'offrir un langage de modélisation permettant d'exprimer les concepts et de les interpréter en temps réel. L'approche de modélisation proposée par MDI favorise une organisation transparente de l'information emmagasinée. MDI donne simultanément l'opportunité d'éditer des connaissances et de naviguer dans la structure de la base de connaissances. Il permet de visualiser les relations entre les concepts et de présenter dynamiquement les propriétés héritées.

MDI permet d'implanter une modélisation orientée prototype, car il gère l'*héritage* à partir des individus.

MDI a été réalisé dans le but d'offrir un outil complet permettant :

- d'établir des modèles de connaissances et constituer des taxonomies;
- de repérer visuellement les relations entre les concepts;
- de donner des valeurs pour les connaissances génériques afin d'exprimer des connaissances plus spécifiques;
- de fournir à des applications externes des données correspondant à ces connaissances avec des valeurs concrètes;
- de partager les connaissances à l'aide d'interfaces faciles à utiliser;
- d'associer les connaissances à des documents externes pertinents;
- de préserver la cohérence entre les connaissances englobées.

MDI permet une modélisation cohérente avec le courant mondial, il offre une interface dynamique pour l'édition et la visualisation et surtout il permet une modélisation en approche prototype. Des plus amples explication sur MDI sont données dans l'annexe 2.

Chapitre 3 : Élaboration du modèle d'appareil

Nous avons décrit, dans les deux premiers chapitres du mémoire, le contexte de la recherche et ses bases théoriques. Le chapitre 3 commence à décrire formellement notre travail. Il explique comment les théories de modélisation ont été appliquées et quels ont été nos choix. Il jette les prémisses de la compréhension reliée à la partie conceptuelle de ce travail.

Nous commençons les explications en ayant à l'esprit que notre objectif est de concevoir un modèle d'appareillage. Ce modèle est en fait la conceptualisation de la notion d'appareil électrique de réseau. Un tel modèle devait être global, unificateur et capable de représenter autant des objets réels des réseaux électriques que des connaissances abstraites.

3.1 Choix de l'approche de modélisation

En considérant les finalités spécifiques de cette base de connaissances expliquées dans le premier chapitre, après la considération des théories de modélisation disponibles, les remarques suivantes peuvent être faites:

1. L'approche prototype est plus intuitive que l'approche orientée objet et donc elle facilite la conceptualisation de l'appareil. Malgré les apparences, il est plus naturel pour l'esprit humain de reconnaître et de se référer à un prototype bien connu et relativement simple plutôt que de commencer une conceptualisation avec les concepts les plus abstraits. N'importe quelle construction rationnelle est initialement inspirée d'une connaissance intuitive [25, 29, 31, 45].
2. Il existe déjà, dans la littérature, pour la plupart des appareils, une certaine représentation reconnue comme significative pour la famille [46-49]. Ainsi, le prototype devient naturel pour la modélisation.

3. En ce qui concerne la hiérarchie des appareils de réseau, il n'existe pas dans la littérature une seule bonne classification pour tous les appareils électriques.
4. Les appareils électriques sont dans une évolution perpétuelle. Ils imposent donc le changement fréquent de la classification, surtout au niveau des individus.
5. Le même appareil peut englober des caractéristiques le rendant capable de spécialiser deux ou plusieurs concepts-parents, par exemple les appareils hybrides. Donc, l'*héritage* unique et rigoureux n'est pas approprié.
6. Il est fort probable que la classification faite comme première itération doive être changée. Dans l'approche prototype de MDI, tout concept peut changer de parent à l'exécution, et ce, n'importe quand. Ainsi, la base de connaissances a la possibilité de garder les concepts déjà implantés, mais ils changent de place dans la hiérarchie. De cette manière, ni les informations ni la cohérence de la base de connaissances ne sont perdues.

En considérant ces motifs, nous sommes arrivés à la conclusion que l'approche prototype est appropriée pour la modélisation des appareils du réseau et quasi essentielle pour répondre aux besoins du projet. La théorie des prototypes a donc été, adoptée pour la modélisation dans la base de connaissances.

3.2 Choix d'implantation informatique de la base de connaissances

L'approche particulière de modélisation adoptée pour l'appareillage électrique ainsi que le conseil des spécialistes de l'IREQ nous ont portés à la conclusion d'utiliser le logiciel MDI pour l'implantation de la base de connaissances. Entre autre la base de connaissances est supposée d'être réutilisable, ce qui exige d'utiliser le même outil d'implantation que les autres parties du projet ARCH. Surtout, il existe un réel intérêt à l'IREQ pour utiliser et raffiner MDI. Conçu à l'IREQ, il assure une évolution facile et immédiate selon nos besoins.

MDI est à la fois un outil d'édition des connaissances et un outil de navigation dans la structure de la base de connaissances. Il facilite la maintenance et l'ajout de connaissances, qui sont deux activités laborieuses dans les systèmes à base de connaissances.

Le corpus de connaissances du domaine des réseaux électriques, en perpétuelle évolution, requiert une grande flexibilité de modélisation. Les connaissances du domaine de réseau électrique ne sont pas principalement des documents. Elles exigent des modèles capables d'évoluer sans avoir recours constamment à la reprogrammation de l'application.

L'expérience obtenue dans le cadre de ce projet nous montre que le développement de l'outil d'implantation (dans notre cas, MDI) doit se faire conjointement avec la réalisation de la base de connaissances. Sans le contrôle sur le développement de l'outil, la base de connaissances n'en serait pas à cette phase d'innovation.

3.3 Approche de la conception de la base de connaissances

Conformément aux objectifs énoncés, la base de connaissances d'appareillage électrique sera réalisée en approche prototype, comme un ensemble de connaissances formalisées, qui est centré sur un modèle conceptuel de l'appareil électrique.

La recherche bibliographique étendue qui a été effectuée pour trouver des bases de connaissances similaires dans la littérature, nous ont portée à la conclusion qu'il n'y a pas encore d'études publiées qui soient ciblées sur notre sujet de recherche.

En considérant cette réalité, nous étions obligée de concevoir la base de connaissances d'une manière originale.

Les éléments clefs de la réalisation de la base de connaissances sont:

- L'approche prototype de la modélisation;
- La conceptualisation d'un modèle d'appareil qui soit capable d'accueillir toute la diversité d'appareillage de réseau;
- La modélisation holistique des appareils, concentrée sur leur fonctionnement dans le réseau;
- L'implantation de base de connaissances dans un outil informatique qui se prête à l'approche envisagée, le MDI.

3.4 Méthodologie de réalisation de la base de connaissances

Le processus de réalisation de la base de connaissances a été accompli selon le cheminement suivant :

1. Après la clarification des objectifs de la base de connaissances, nous avons effectué une recherche bibliographique étendue sur les appareils électriques et leur fonctionnement en réseau ainsi que sur les bases de connaissances et les

théories de modélisation. Comme partie intégrante de la documentation, de nombreuses discussions avec les experts du domaine ont eu lieu.

2. La complexité du réseau électrique a exigé de concevoir une base de connaissances hybride, qui englobe donc différents constituants, uniques en leurs genres et chacun ayant son propre formalisme. Afin de satisfaire cette exigence, nous avons adopté une structure de base de connaissances permettant d'avoir des parties relativement indépendantes sur les appareils, les composants, les concepts d'architecture du réseau et sur la bibliographie.
3. Par la suite, nous avons conçu le modèle d'appareillage électrique en approche prototype.
4. Ensuite, l'outil d'implantation MDI a été adapté pour les exigences particulières de cette modélisation (voir *l'agrégation des valeurs de propriétés*).
5. Finalement, nous avons implanté dans MDI la structure de haut niveau de la base de connaissances. Nous avons introduit les concepts de haut niveau ainsi qu'une branche d'appareillage, celle des transformateurs, afin de valider la modélisation proposée.

Dans le processus de création de notre modèle d'appareil, nous avons considéré très sérieusement la possibilité de prendre comme référence le modèle d'appareil proposé par CIM (le modèle d'information commun). Ensuite nous expliquons les raisons pour lesquelles nous avons choisi de réaliser un modèle d'appareil personnalisé.

3.5 Discussion sur l'approche CIM pour le modèle d'appareil

Lors de la recherche bibliographique effectuée, nous avons considéré le modèle CIM comme un excellent étalon pour la modélisation actuelle dans le réseau.

Le CIM est un modèle extrêmement vaste et hétérogène visant la réalisation d'une sorte de syntaxe commune pour l'interopérabilité de toutes les applications informatiques du

réseau. Le modèle CIM définit tous les composants de base d'un système électrique. En même temps, il définit les propriétés les plus importantes ainsi que leurs relations. Le CIM définit également des concepts abstraits, comme la mesure «*Measurement*» ou le contrôle «*Control*». Finalement, sa modélisation est orientée objet.

Illustrons avec l'exemple du transformateur, appareil essentiel dans le réseau.

Le modèle de transformateur, dans le modèle d'information commun CIM, est un assemblage complexe de classes et de relations comme l'illustre la figure 3.1 en utilisant les conventions de représentation UML.

De point de vue de la hiérarchie, l'appareil transformateur est défini par la classe «*PowerTransformer* », une sous-classe d'«*Equipment*», cette dernière étant une sous-classe de «*PowerSystemResource*». L'appareil transformateur «*PowerTransformer*» hérite de tous les attributs de «*Equipment*» ainsi que de «*PowerSystemResource*».

La classe «*Equipment*», à son tour, a d'autres sous-classes parmi lesquelles on retrouve «*ConductingEquipment*» et «*TapChanger*». L'appareil transformateur est modélisé à travers des relations d'agrégation entre la classe «*PowerTransformer*» et d'autres classes, qui désignent ses parties constituantes, comme «*TransformerWinding*» ou «*TapChanger*». Le «*PowerTransformer*» peut contenir un ou plusieurs «*TransformerWinding*», mais un «*TransformerWinding*» peut appartenir à un seul «*PowerTransformer*», comme la cardinalité de la relation d'agrégation le dénote.

La classe «*TransformerWinding*», à son tour, a également d'autres relations :

- Généralisation avec «*ConductingEquipment*»;
- Association avec la classe «*WindingTest*» de façon à ce qu'un objet du «*TransformerWinding*» puisse être mis en essai par zéro, un ou plusieurs objets du «*WindingTest*»;
- Agrégation avec la classe «*TapChanger*» de façon à ce qu'un objet du «*TransformerWinding*» puisse avoir zéro, un ou plusieurs objets du «*TapChanger*» associés à lui.

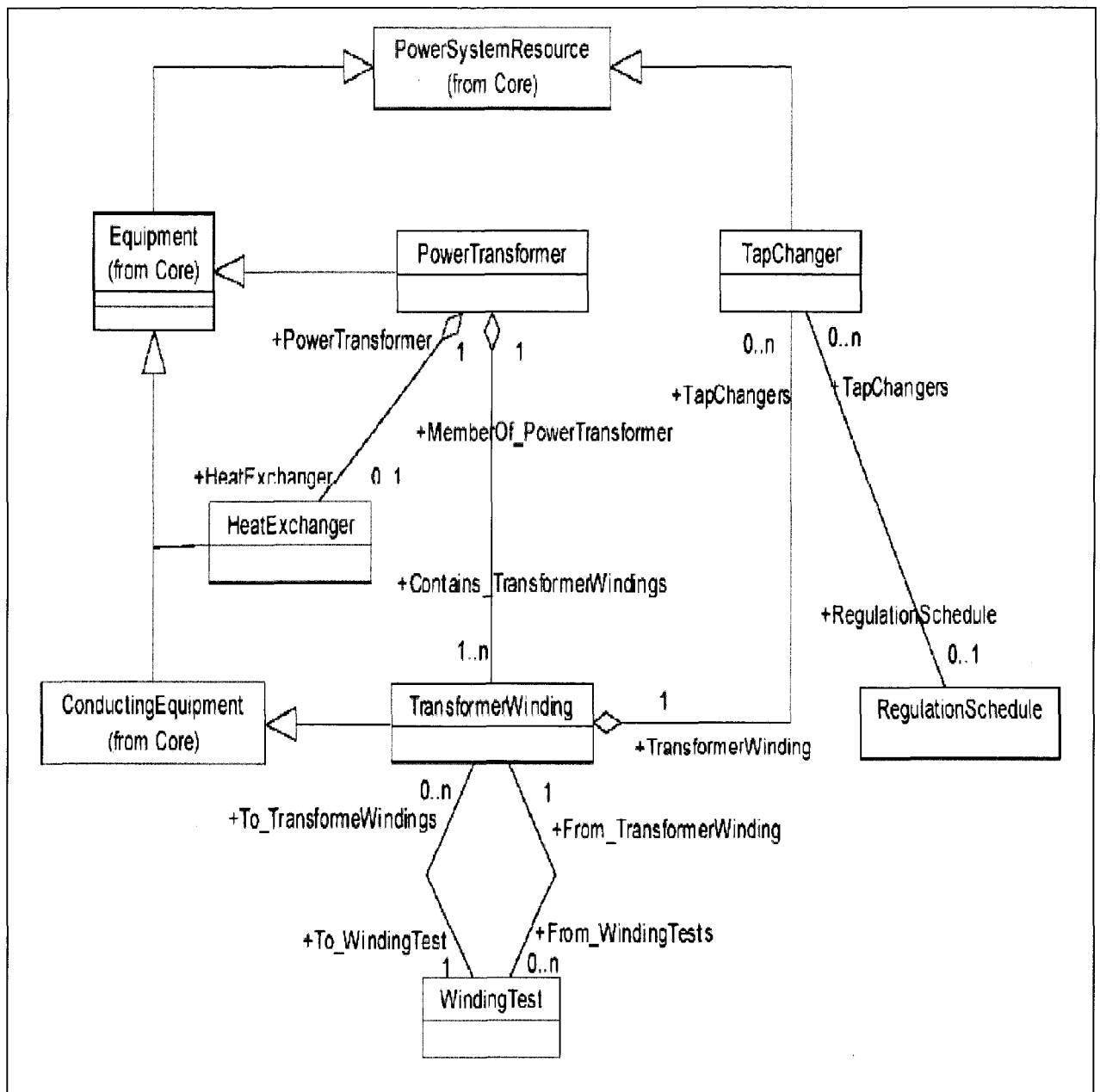


Figure 3.1 Modèle de transformateur dans CIM

Cette toute brève présentation de la manière de modéliser un transformateur, en CIM, permet d'observer les différences notables entre la façon de modéliser du CIM et ce que nous souhaitons comme modèle d'appareil :

- Le modèle CIM du transformateur n'utilise pas une vision holistique de l'appareil. L'appareil transformateur est un assemblage des parties composantes unifiées par des relations d'agrégation. Nous avons identifié quatre sous-classes : «*PowerTransformer*», «*TransformerWinding*», «*TapChanger*» et «*HeatExchanger*», utilisées pour définir le transformateur. Ce qui s'appelle en CIM «*PowerTransformer*» semble plutôt être la partie magnétique du transformateur.
- Il n'existe pas un développement taxonomique en dessous du «*PowerTransformer*». Pratiquement, cette classe est conçue pour accommoder tous les types de transformateurs du réseau, chaque application l'utilisant conformément à ses besoins.
- Le transformateur du CIM n'a pas des valeurs concrètes pour ses propriétés et donc, il ne constitue pas un réservoir des données
- Les propriétés définies pour «*PowerTransformer*», même si elles sont assez nombreuses, ne couvrent pas toutes les caractéristiques de l'appareil. L'accent est plutôt mis sur l'utilisation des propriétés jugées pertinentes pour les applications liées à la simulation électrique des réseaux. Les propriétés mécaniques, la considération des coûts, les utilisations, etc. en sont absentes.
- Le modèle CIM du transformateur n'a pas la possibilité conceptuelle d'accueillir les transformateurs à technologies émergentes. Par exemple, l'IUT (transformateur universel intelligent) qui n'a pas de parties magnétiques.
- CIM n'est ni axé sur la compréhension du fonctionnement d'appareils dans le réseau ni axé sur une approche pédagogique.

En dépit de l'énorme potentiel du CIM, nous avons décidé de garder une approche personnalisée pour la modélisation, car les finalités d'ARCH sont sensiblement différentes de celles du CIM. Néanmoins, nous avons prévu de faciliter la réalisation ultérieure d'une interface entre le CIM et la base de connaissances.

3.6 Développement de la taxonomie

Dans cette section nous commençons à décrire la réalisation pratique du modèle d'appareil. Une fois défini, le modèle d'appareil est ensuite reconstitué dans la base de connaissances.

Un modèle utilise primordialement des concepts. Les concepts complexes sont bâtis à partir de concepts plus simples. Ils sont organisés en une hiérarchie, la taxonomie, où les sous-concepts sont des *spécialisations* des superconcepts. La construction de la taxonomie constitue le point de départ de la base de connaissances. La taxonomie forme un treillis de concepts qui se transmettent des informations par le mécanisme d'*héritage*. Les informations transmises aux sous-concepts sont les propriétés (et éventuellement leurs valeurs) du concept-parent. La taxonomie contient d'une part des concepts abstraits et d'autre part les individus de ces concepts.

Les concepts, en plus d'être structurés dans des taxonomies, sont mis en relation et sont individualisés en leur ajoutant des propriétés et par la suite des valeurs.

En principe, il existe trois modes de développement de la taxonomie :

- De haut en bas : les concepts les plus abstraits sont connus et ils sont ensuite spécialisés. Ce type de développement est la façon classique, adoptée par la majorité des outils d'implantation.
- De bas en haut : les individus sont connus et ils sont organisés vers des concepts de plus en plus généraux. Observons qu'il n'existe pas encore, dans la littérature, un outil informatique capable de faire une telle implantation.
- Combiné : premièrement, les concepts abstraits les plus évidents sont définis et ensuite, ils sont spécialisés avec des sous-concepts. Par contre, les individus peuvent éventuellement transférer certaines valeurs de leurs propriétés vers des concepts plus abstraits. Soulignons, encore une fois, que nous n'avons pas trouvé des références ciblées sur une telle approche.

Nous avons utilisé un développement combiné pour bâtir la base de connaissances. À cette fin, nous avons dû réaliser une relation spéciale que nous appelons *l'Agrégation des valeurs de propriétés*. Cette relation permet, pour certaines propriétés (considérée appropriée), la remontée des valeurs ces propriétés de bas en haut.

3.7 Élaboration d'un prototype

La section précédente a expliqué la modalité de développement de la taxonomie. Cela constitue le squelette de la modélisation. La modélisation implique l'établissement des relations plus complexes que celles taxonomiques entre ces concepts, ce qui a conduit à l'élaboration du prototype, car les appareils sont modélisés à partir de prototypes. De point de vue de la modélisation, un prototype est une composition des concepts dans une structure logique où ils sont capables d'interagir. Les prototypes sont les briques avec lesquelles la plupart d'autres concepts sont construits.

De point de vue conceptuel, le prototype avance dans deux directions.

- vers le haut, vers des concepts plus abstraits;
- vers le bas, vers des concepts-enfants.

Pour développer la taxonomie en bas d'un prototype vers des concepts-enfants, le prototype est muni de la possibilité de léguer ses propriétés et ses relations (celles réalisées à partir de propriétés) à tout sous-concept. Il contient l'ensemble des propriétés et des relations potentiellement utiles à la description d'un concept-enfant et il définit leur structure initiale.

Pour ce qui est du développement en haut de la hiérarchie, les concepts abstraits sont obtenus à partir de la généralisation des propriétés du prototype comme la figure 3.2 le montre.

L'activité de définition des nouveaux concepts devient alors récursive. Elle se fait en utilisant le prototype qui donne une structure initiale. Celle-ci peut être enrichie ou changée conformément aux besoins.

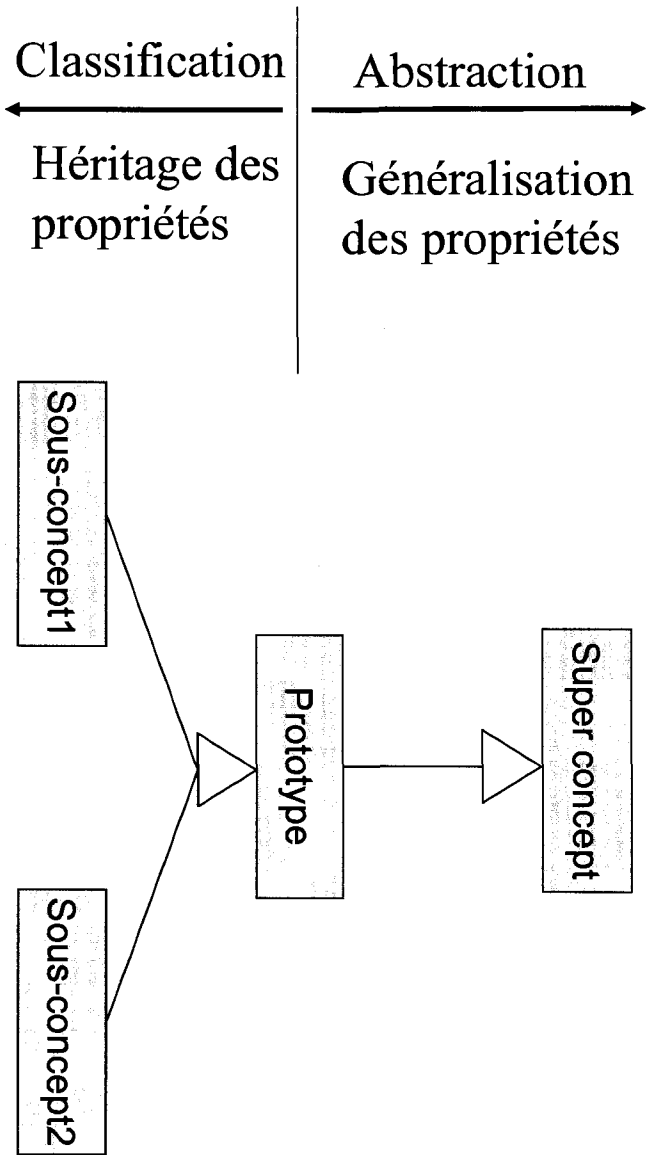


Figure 3.2 Le prototype et ses développements

3.8 Prototypes utilisés dans la base de connaissances

La section précédente a offert des explications générales sur l'élaboration d'un prototype. Dans ce qui suit, nous clarifions l'idée de prototype avec des exemples concrets. Nous avons implanté plusieurs prototypes dans la base de connaissances.

3.8.1 Prototype primordial

Le plus important prototype du point de vue du modèle d'appareil nous l'appelons *prototype primordial*. Il est l'essence du modèle d'appareil. Le rôle de ce prototype est d'unifier tous les appareils en leur donnant une structure commune. La conception d'une telle structure unificatrice a été un des défis conceptuels majeurs pour cette modélisation.

Ce premier prototype trouve sa place au niveau des concepts d'appareillage les plus abstraits. Le *prototype primordial* sert comme point de départ dans un processus indispensable. Tous les appareils héritent des propriétés et des relations du *prototype primordial*.

Les propriétés du *prototype primordial* tracent une matrice stable pour la construction de n'importe quel appareil. On pourrait dire que le *prototype primordial* normalise les caractéristiques d'appareils tout en s'accommodant de leur très grande diversité.

Le *prototype primordial* définit l'ensemble des relations les plus générales entre un appareil et les autres types de concepts dans la base de connaissances. Il assemble, dans une forme unique, les relations des appareils avec les autres concepts se rapportant au réseau électrique.

La structure donnée par le *prototype primordial* devait être assez générale pour servir à la modélisation de n'importe quel appareil, mais en même temps assez flexible pour accommoder toutes les caractéristiques des appareillages.

À cette fin le *prototype primordial* définit une panoplie de propriétés génériques pour tous les appareils. Les propriétés génériques sont ensuite léguées obligatoirement à tous les appareils. Ces propriétés génériques sont conçues chacune pour couvrir une sphère d'intérêt pour l'appareil. Elles assurent la cohérence de la base de connaissances, car elles sont les mêmes pour tous les appareils. Elles assurent aussi la flexibilité, car elles peuvent réaliser un nombre presque illimité des associations avec d'autres concepts de la base de connaissances. Concrètement, le *prototype primordial* englobe six *Propriétés générales* : *Nom appareil*, *Utilisation*, *Propriétés appareils*, *Prix et coûts*, *Composants inclus* et *Contraintes exploitation*. Par exemple, le concept *Propriétés appareils* est conçu pour englober tous les propriétés électriques, mécaniques, physiques de l'appareil. Celles-ci sont définies indépendamment à l'extérieur de la taxonomie d'appareillage. Ces propriétés seront expliquées dans la section 5.3. La figure 3.3 montre la définition du *prototype primordial*.

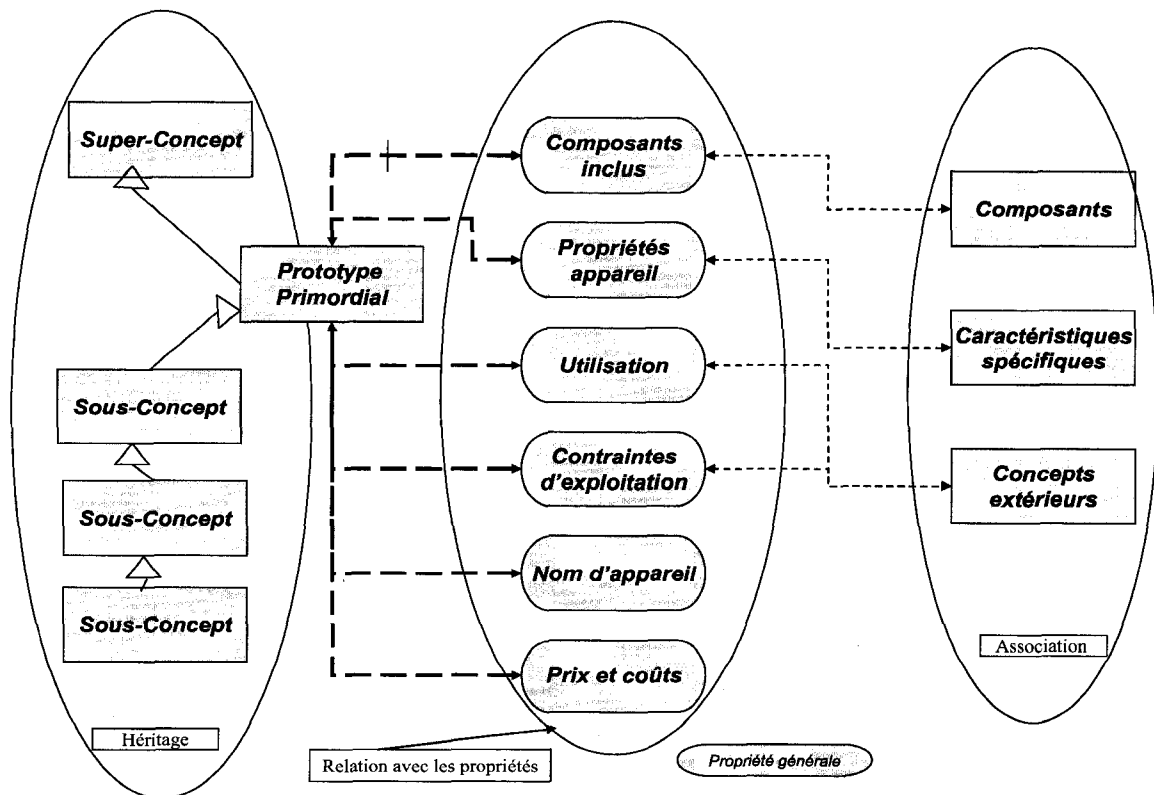


Figure 3.3 La définition de prototype primordial pour les concepts appareil

3.8.2 Prototype de famille d'appareil

Les prototypes représentant les grandes familles d'appareils sont des sous-concepts du *Prototype primordial*. Ils définissent les caractéristiques les plus générales de la famille d'appareillage et lèguent à leur tour ces caractéristiques à leurs sous-concepts. Par exemple, le concept *Transformateurs puissance* est le prototype de la famille des transformateurs.

3.8.3 Appareils génériques

Au dernier niveau de la base de connaissance il existe des appareils réels, mais aussi des prototypes d'appareils que nous appelons *appareils génériques*. Un *appareil générique* est un appareil fictif, dont les propriétés ont des valeurs concrètes, comme dans un appareil réel. Les *appareils génériques* sont donc des entités immatérielles, mais qui, à l'opposé des concepts abstraits, ont des valeurs concrètes pour les propriétés. Les *appareils génériques* servent de *prototypes* quand ils sont clonés pour faciliter l'ajout des nouveaux appareils. Le clonage s'avère une solution facile pour introduire des nouveaux appareils réels qui ont des valeurs de propriétés assez semblables à celles d'un *appareil générique* déjà introduit dans la base de connaissance.

Le processus de clonage commence par une copie d'un *appareil générique*. Dans MDI, qui a une approche prototype, cette copie est réalisée par la création d'un sous-concept de l'appareil générique qui en est un clone. Ensuite, le nouvel appareil ainsi obtenu, est particularisé en changeant son nom et les valeurs qui ne sont pas semblables avec l'*appareil générique* source.

Une base de connaissances en approche prototype a l'avantage d'une grande flexibilité. Elle peut s'enrichir et le processus est facilité à la fois par l'usage de tous ses prototypes et par le clonage.

Chapitre 4 : Vue d'ensemble de la base de connaissances d'appareillage

Le chapitre précédent a expliqué l'intégration des théories dans la conceptualisation du modèle d'appareillage.

Ce chapitre-ci trace une image d'ensemble de la structure de la base de connaissances. Cela a pour but de faciliter la compréhension globale du modèle, car les concepts de la base de connaissances sont évidemment assez nombreux. De plus, ils sont entrelacés en relations complexes et donc, il est très facile de perdre la perspective.

4.1 Niveaux les plus abstraits dans la base de connaissances

La stratégie générale d'organisation des concepts dans la base de connaissances consiste en la réalisation de plusieurs taxonomies relativement autonomes, mais interreliées. Cela s'est réalisé ainsi à cause de l'approche hybride de la base de connaissances. Cette approche hybride permet de traiter, dans la base de connaissances, des concepts très divers. La base de connaissances a des concepts qui désignent des appareils, aussi bien que d'autres types de concepts. Chacun de ces types de concepts sera modélisé d'une manière propre. Ainsi, les connaissances liées aux appareillages et les connaissances liées aux architectures des réseaux sont chacune formalisées de façon indépendante. Quant aux bibliographies et aux propriétés, elles ont leur propre manière d'être modélisées.

Concrètement, quatre sous-taxonomies sont définies. Les concepts source de ces quatre sous-taxonomies sont : *Concepts appareils*, *Références bibliographiques*, *Attributs* et *Concepts extérieurs*. Nous allons référer à ces quatre sous-taxonomies avec le nom de leur concept source. Elles regroupent tous les autres concepts de la base de

connaissances en les organisant en catégories conceptuelles. Elles aident ainsi à repérer plus facilement les connaissances du domaine.

Ces quatre concepts sources sont des concepts abstraits, très généraux, qui tracent des frontières entre les champs d'intérêt couverts par la base de connaissances.

À cause des contraintes d'implantation en MDI, la structure de la base de connaissances commence avec le concept *Racine_BC*. Celui-ci a comme rôle d'attacher la base de connaissances à la structure de l'outil d'implantation informatique, MDI.

De même, par souci d'organisation, nous avons regroupé tous les concepts techniques sous la même «étiquette», *Concept_BC*, pour le différencier des bibliographies.

Ces concepts constituent le niveau le plus haut de la hiérarchie. Ils sont illustrés dans la figure 4.1.

Nous expliquons ensuite le développement de la taxonomie vers des concepts plus concrets

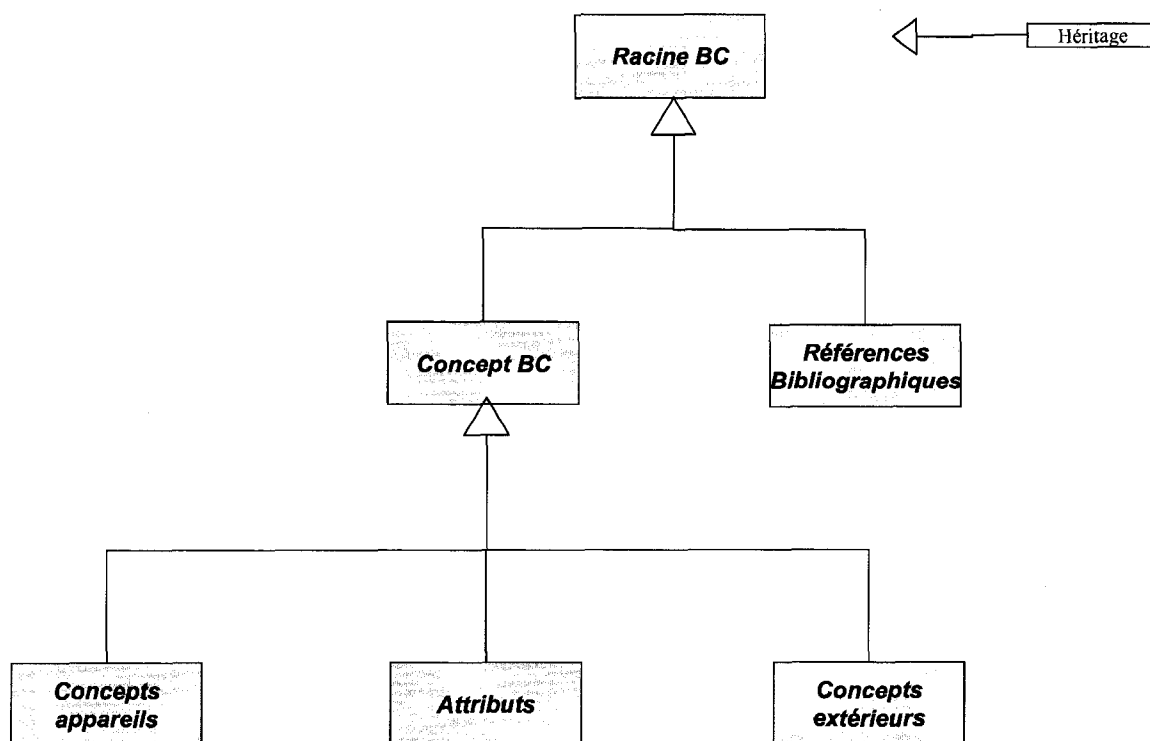


Figure 4.1 Les concepts abstraits inaugurant les taxonomies

4.2 Structure des concepts techniques

Dans cette section, nous approfondissons les explications sur l'organisation des concepts techniques dans la base de connaissances.

Rappelons que le concept *Concepts_BC* est le concept-cadre regroupant tous les concepts techniques et qu'il fait appel à trois grands sous-concepts : *Concepts appareils*, *Concepts extérieurs* et *Attributs* (figure 4.1). Ces concepts sources sont eux-mêmes des concepts généraux, avec les applications suivantes :

- *Concepts appareils* assemble les concepts techniques liés aux appareillages et servira à bâtir le réservoir des données. À son tour, il se scinde en deux branches *Appareillage* et *Composants*. Les appareillages se retrouvent dans la branche *Appareillage*. La branche *Composants* sert à rassembler les plus importantes parties constitutantes des appareils.
- *Concepts extérieurs* sert à définir tous les concepts non intrinsèques aux appareillages. Il gère, de façon générale, mais pas exclusive, des concepts liés à l'architecture du réseau ou au fonctionnement des appareils dans le réseau.
- *Attributs*, sert à définir d'une manière cohérente et sans redondance les propriétés de concepts. Il a deux sous-concepts *Propriétés Générales* et *Caractéristiques spécifiques*. Le sous-concept *Propriétés générales* sert à rassembler les propriétés génériques du *prototype primordial*. *Caractéristiques spécifiques*, sert à définir toute la diversité des propriétés concrètes d'appareillage : électriques, physiques, mécaniques, etc.

Entre les taxonomies il existe des relations. Ces relations réalisent l'interaction des concepts. La plupart des fois les relations entre les taxonomies ont comme point de départ une propriété générique (spécifique au *prototype primordial*) de l'appareil.

La figure 4.2 montre la structure de base des relations entre les concepts techniques les plus généraux dans la base de connaissances.

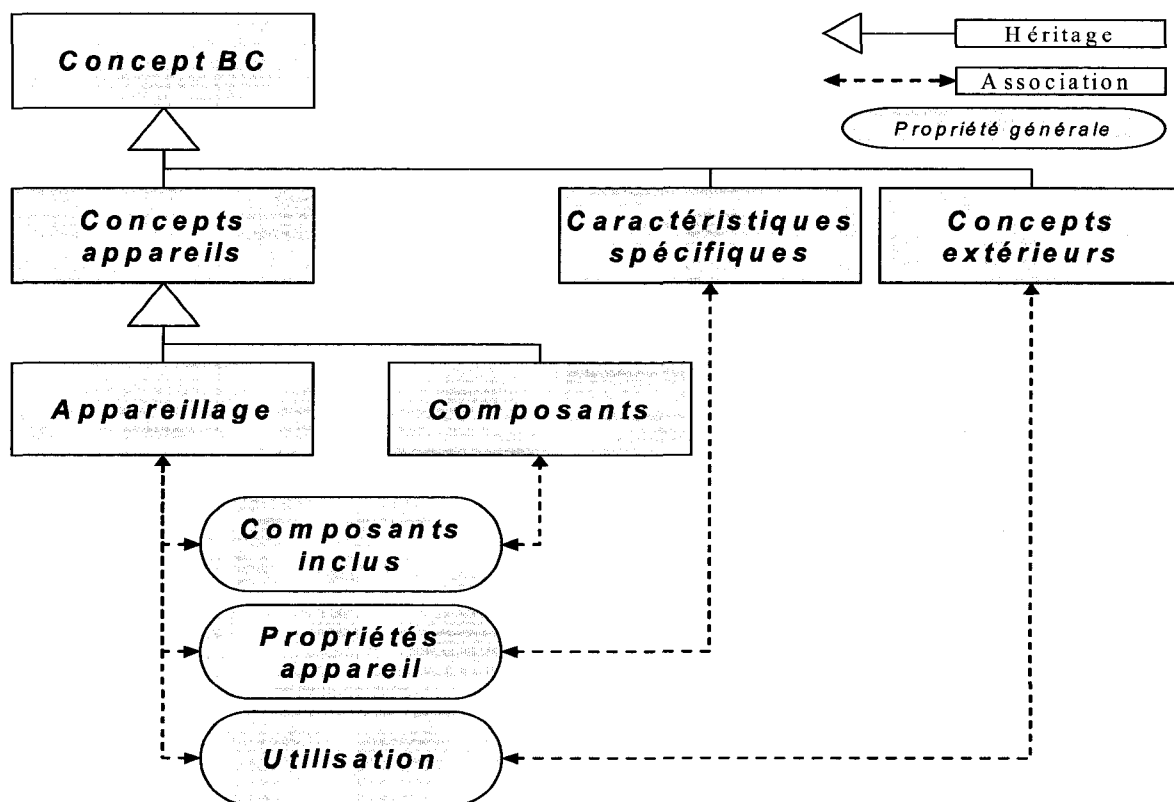


Figure 4.2 Vue d'ensemble sur les concepts dans la base de connaissances

4.3 Gestion des références

Après avoir introduit, dans la section précédente, la structure la plus haute des concepts techniques, nous abordons ici la manière de documenter ces concepts techniques.

La gestion des références bibliographiques est un aspect très important, car il assure une bonne partie du côté pédagogique de la base de connaissances. De point de vue pratique, les références sont gérées dans la quatrième sous-taxonomie de la base de connaissances. Cette sous-taxonomie de *Racine_BC* commence par un concept, appelé *Références bibliographiques*. Chaque sous-concept de *Références bibliographiques* documente en effet un concept technique. Un concept *Références bibliographiques* a une valeur et cette

valeur est une collection de références aux documents, de liens hypertextes et de fragments documentaires.

Comme stratégie, les concepts références bibliographiques réalisent une structure parallèle aux concepts techniques, mimant leur architecture.

Les concepts références bibliographiques, pour jouer leur rôle, sont mis en relation avec les concepts techniques de la base de connaissances. Entre les deux structures, bibliographique et technique, la liaison est assurée par l'intermédiaire d'un concept-propriété nommé *Bibliographie*.

Une telle approche facilite la consultation des documents de référence. En plus du fait que les références sont accessibles dans chaque concept technique, celles-ci peuvent être consultées dans leur taxonomie spécifique. L'avantage est que le lecteur retrouve plus facilement la documentation, tout en gardant la perspective. Il n'a pas besoin de naviguer dans la multitude d'informations reliées aux concepts techniques.

L'apprentissage est ainsi facilité et ciblé, car la base de connaissances donne l'accès immédiat à une collection de documents déjà cernés. En outre, il n'existe pas des redondances entre les documents.

Des plus amples explications sur la structure documentaire de la base de connaissances sont données dans la section 5.4. La figure 4.3 présente sous forme graphique la gestion des références.

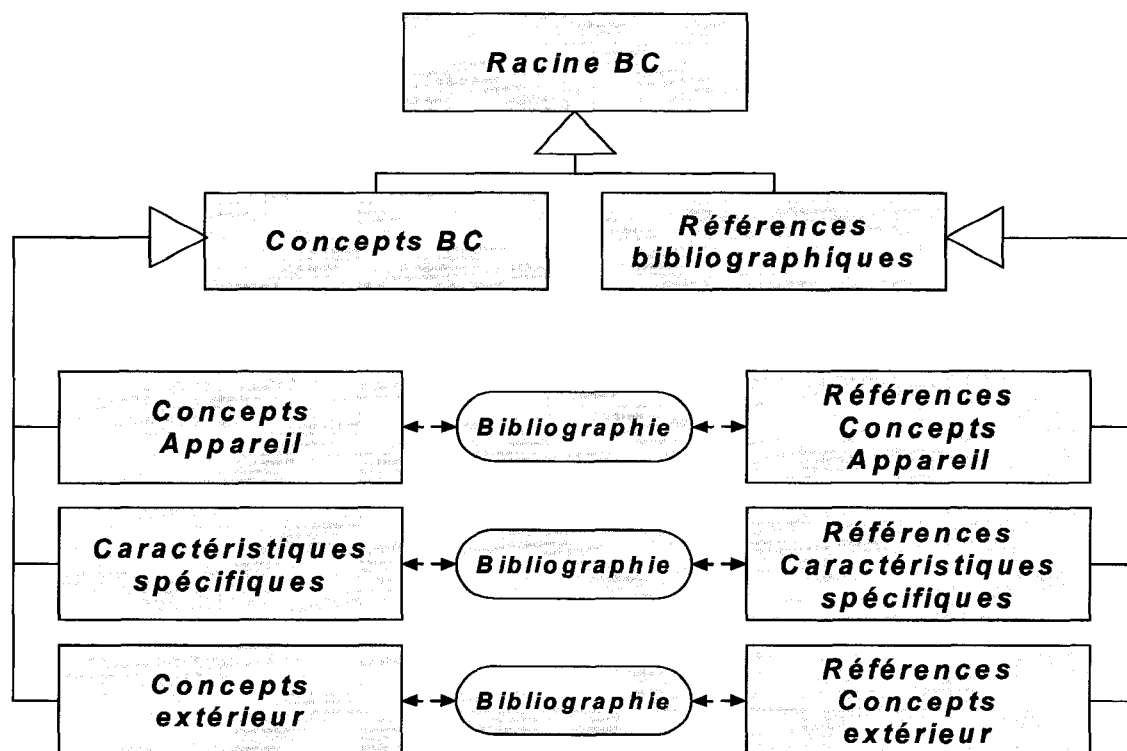


Figure 4.3 La gestion des références

Chapitre 5 : Taxonomies de la base de connaissances

Le chapitre 4 a effectué un survol de la structure de la base de connaissances. Pour faire suite à la perspective donnée, le présent chapitre détaille les concepts les plus importants des quatre sous-taxonomies de la base de connaissances.

5.1 Taxonomie d'appareillage

Comme il a déjà été mentionné, la première des quatre taxonomies de la base de connaissances est celle liée au monde de l'appareillage de réseau. Les concepts techniques d'appareillage électrique sont tous des sous-concepts du *Concepts appareils*. *Concepts appareils* se scinde en deux branches : *Appareillage* et *Composants*. Ceux-ci et les sous-taxonomies adjacentes sont le résultat de la stratégie de développement du modèle d'appareil.

En d'autres mots, nous souhaitons avoir une image globale, complète de l'appareil. Les appareils se retrouvent alors dans la branche *Appareillage*. Notre intention est de réaliser ici une classification étendue de tous les appareillages électriques du réseau.

Également, notre intention est de retrouver les éléments constitutants d'un appareil, de les caractériser indépendamment pour ensuite les associer à l'appareil. À ces fins, ces éléments constitutants de l'appareil sont les sous-concepts de *Composants*. La figure 5.1 donne une image synthétique de l'encadrement du *Concepts appareil* dans la structure de la base de connaissances.

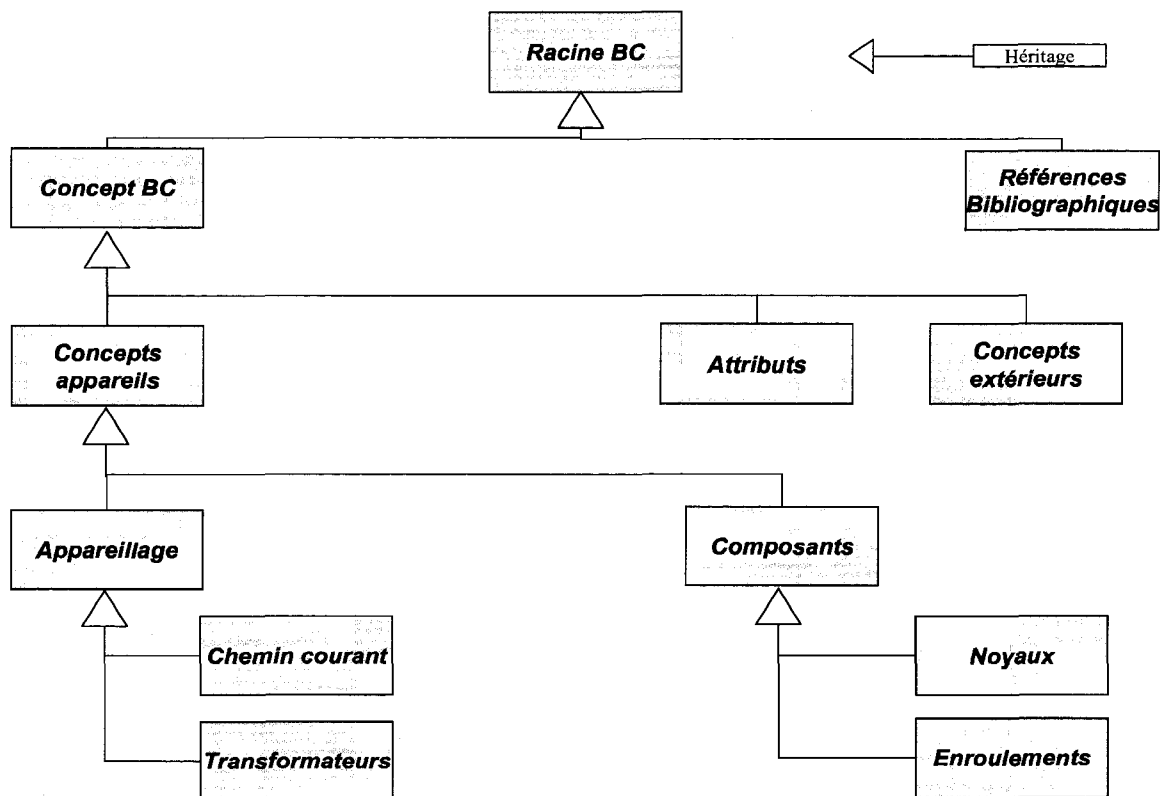


Figure 5.1 Position du concept *Concepts appareil* dans la taxonomie

5.1.1 Appareillage

Cette section explique la motivation et l'importance de l'un des plus importants concepts dans la base de connaissances, le concept *Appareillage*.

Un sous-concept d'*Appareillage* désigne une catégorie d'équipement ayant des fonctionnalités et des propriétés communes.

L'*Appareillage* a deux grands usages. D'un côté il est le lieu d'implantation du *prototype primordial* et d'un autre côté il sert de concept racine à la classification fonctionnelle des appareils du réseau.

Le concept *Appareillage* étant le lieu d'implantation du *prototype primordial*, il sert à léguer à tout sous-concept (presque tous les appareils) les propriétés génériques et

les relations subséquentes du *prototype primordial*. Ainsi, tous les appareils sont unifiés, ayant une structure commune.

L'*Appareillage* est en même temps le point de départ de la classification fonctionnelle de tous les appareils du réseau. Dans ce sujet, cette taxonomie commence avec un premier niveau qui fait référence aux types d'équipements les plus généraux.

Il est important de souligner que la proposition de ce premier niveau a été faite à la suite des suggestions des experts dans ce domaine et en consultant une bibliographie assez complète. Cette classification ne règle pas tous les problèmes, bien qu'ils soient déjà identifiés. Comme nous avons mentionné plus tôt, il n'existe pas encore une classification qui soit tout à fait appropriée et reconnue pour l'appareillage électrique.

Par conséquent, nous avons choisi les premiers sous-concepts d'*Appareillage* qui définissent les familles d'appareils les plus générales :

1. *Chemin courant*
2. *Transformateurs*
3. *Appareils de coupure*
4. *Appareils compensations*
5. *Appareils stockage*
6. *Appareils détection défaut*
7. *Appareils limitation tension*
8. *Appareils limitation courant*
9. *FACTS*
10. *Appareils automatisation*
11. *Appareils mesure*
12. *Mécanique de liaison*

Les onze premiers sous-concepts, parmi les douze sous-concepts d'*Appareillage*, désignent une famille fonctionnelle d'appareils. Le concept *Mécanique de liaison* est une exception, car il n'accommodé pas une famille d'appareils électriques. Il réunit plutôt, sous sa bannière, des connaissances liées aux parties mécaniques accompagnant les appareils électriques pour construire le réseau. Parmi ses concepts potentiels se

retrouvent, par exemple, les poteaux ou les isolateurs. Le concept *Mécanique de liaison* a été introduit dans la base de connaissances dans le but d'expliquer, de façon exhaustive, comment est réalisé et comment fonctionne un réseau.

Une mention importante est que ni les appareils liés à la production d'électricité ni les appareils utilisés comme charges ne sont considérés.

Le premier niveau du concept *Appareillage* est le résultat de l'abstraction de certains prototypes. Ces prototypes sont les appareils qui semblent les plus représentatifs du domaine et nous les avons utilisés pour discriminer les concepts les plus appropriés pour constituer une famille d'appareillage. Par exemple, à l'intérieur de la branche *Transformateurs* de la classification se retrouveront les appareils électriques qui exécutent la transformation de tension. Le prototype de cette famille est le concept *Transformateurs puissance*. La façon de développer la taxonomie à partir de ce prototype sera expliquée dans le chapitre 7. Celle-ci est représentative pour la réalisation de toutes les sous-taxonomies d'appareillage.

Afin de clarifier notre pensée sur le modèle d'appareil, nous relevons encore une fois quelques différences notables avec ce qui est proposé par le modèle d'information commun CIM.

Dans le CIM, le paquetage «*Wires*» semble le plus proche de notre premier niveau de concepts d'appareil, le concept *Appareillage*.

Les sous-classes définies dans «*Wires*» sont données dans la table 5.1.

Nous pouvons observer que la plupart de nos propres concepts initiaux se retrouvent parmi les sous-classes de «*Wires*», bien sûr en variante anglaise. Parmi les différences les plus évidentes, nous relevons les suivantes :

- Nous avons assuré une cohérence dans la définition de nos taxonomies, en réservant, par exemple, *Appareillage* pour les concepts définissant clairement un type d'appareil. Les paquetages de CIM n'ont pas un tel souci, car par exemple, dans «*Wires*», ils mélangent des appareils avec d'autres types de concepts comme «*WindingTest*», «*RegulationSchedule*», «*VoltageControlZone*».

Table 5.1 Les sous-classes du paquetage «Wires»

Classes

	ACLineSegment	Breaker	BusbarSection
ShuntCompensator	Conductor	ConductorType	DCLineSegment
Disconnecter	Fuse	Ground	HeatExchanger
Jumper	RectifierInverter	RegulationSchedule	StaticVarCompensator
Switch	TapChanger	PowerTransformer	TransformerWinding
Line	VoltageControlZone	WindingTest	SynchronousMachine
MVArCapabilityCurve	EquivalentSource	WireType	WireArrangement
LoadBreakSwitch	Junction	EnergyConsumer	Connector
RegulatingCondEq	GroundDisconnecter	CompositeSwitch	WiresVersion
FrequencyConverter	Plant	ProtectedSwitch	SeriesCompensator

- Notre modélisation donne la possibilité de connaître les constituants d'un appareil sans nuire à son image générale, et ceux-ci peuvent être beaucoup plus nombreux que ceux dans CIM.
- Nous avons utilisé un seul concept source pour tous les appareils qui servent à configurer la continuité du réseau, *Appareils de coupure*. Pour sa part, CIM n'offre pas un tel concept, mais plutôt une énumération des cas particuliers (éventuellement des sous-concepts) : «*Disconnecter*», «*Breaker*», «*ProtectedSwitch*», «*CompositeSwitch*», «*GroundDisconnecter*», «*LoadBreakSwitch*», «*Switch*», «*Fuse*».

- Nous avons conceptualisé une hiérarchie claire entre un concept et ses sous-concepts de point de vue fonctionnel. Par contre, en CIM, il y a des concepts plus abstraits au même niveau que leurs concepts-enfants. Un bon exemple est constitué, dans «*Wires*», par les concepts «*Switch*», «*ProtectedSwitch*» et «*CompositeSwitch*».
- Nous avons défini des branches d'appareil qui ne se retrouvent pas comme telles dans CIM. Par exemple, *FACTS* ou *Mécanique de liaison*.

Nous avons observé, encore une fois, qu'entre les deux modélisations, il existe des discordances conceptuelles importantes. Par contre, celles-ci sont parfaitement explicables par les finalités différentes de notre base de connaissances par rapport à la finalité de CIM.

5.1.2 Composants

Cette section explique la motivation du deuxième sous-concept, appartenant à la taxonomie d'appareillage. Il s'agit du concept *Composants*.

Dans la modélisation proposée ici, les constituants des appareils sont pris en considération d'une manière relativement indépendante. Ils sont des concepts autonomes développés dans leur propre branche *Composants* et ensuite, ils sont associés aux appareils.

L'idée de réaliser des taxonomies autonomes pour les appareils et leurs composants est dictée par le désir d'avoir un modèle holistique de l'appareil. Encore une fois, notre vision est d'introduire en *Composants* seulement les parties importantes d'appareil. L'idée derrière cette approche est de maximiser la cohérence et la rigueur dans la base de connaissances. Par exemple, le même type d'enroulement peut servir à un transformateur monophasé aussi bien qu'à un transformateur triphasé. Donc, nous considérons qu'il est préférable de définir et caractériser un tel enroulement une seule

fois, dans un sous-concept de *Composants*, puis le référer, à tous les transformateurs qui l'englobent.

Notre vision n'aspire pas à une approche de manufacturier, donc les vis, par exemple, ne constitueront pas des parties composantes.

Observons que les composants considérés dans ce modèle peuvent être beaucoup plus nombreux que ceux considérés en CIM.

Les sous-concepts de *Composants* sont développés de manière semblable à toutes les taxonomies. Par exemple, le concept *Composants* peut se décomposer en d'autres sous-concepts comme :

- Noyaux
- Enroulements
- Fusibles internes
- Cuves
- Agents refroidissement
- Isolants
- Écrans de sécurité

Les sous-concepts de *Composants* sont liés aux appareils par l'intermédiaire d'une propriété générique, définie donc par le *prototype primordial*, qui s'appelle *Composants inclus* (expliquée dans la section 5.3.2).

La partie *Concepts appareils* de la classification, principalement avec sa branche *Appareillage*, constitue le noyau de la base de connaissances.

5.2 Taxonomie des concepts de réseau

La présente section s'occupe de la deuxième taxonomie de la base de connaissances. Cette taxonomie, que nous appelons des concepts de réseau, décrit principalement le contexte dans lequel les appareils électriques fonctionnent.

5.2.1 Description générale des *Concepts extérieurs*

Le concept *Concepts extérieurs* est la racine de la taxonomie qui sert à gérer des concepts liés à l'architecture du réseau ou au fonctionnement des appareils dans le réseau. Également, d'autres concepts non intrinsèques aux appareillages sont définis dans cette branche, comme les manufacturiers des appareils.

La figure 5.2 donne une représentation graphique d'encadrement dans la classification pour *Concepts extérieurs*.

Les sous-concepts de *Concepts extérieurs* sont relativement indépendants de l'appareillage. Ils sont toutefois indispensables dans la définition des appareils. Par exemple, chaque appareil a une fonctionnalité dans le réseau. La fonctionnalité «transformation de tension» est un concept relativement indépendant du concept «transformateur», même s'il s'agit de la raison d'être des transformateurs. Dans cette optique, le concept «le transformateur» en soi est défini dans la branche *Appareillage* et le concept «la transformation de tension» est défini dans *Fonctionnalité*, à son tour appartenant au *Concepts extérieurs*.

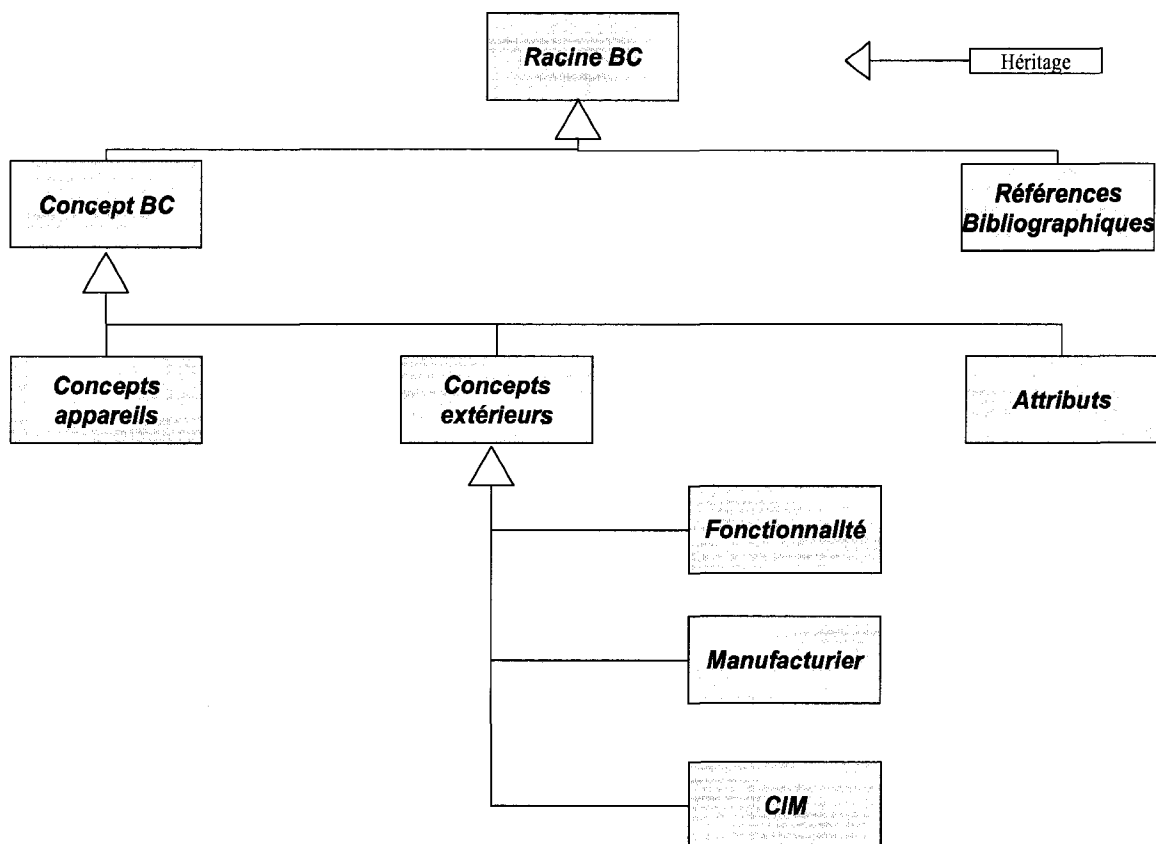


Figure 5.2 L'encadrement dans la classification pour *Concepts extérieurs*

Les *Concepts extérieurs* ont été introduits dans la modélisation pour des raisons incontournables :

- Ils font le lien entre les architectures de réseau et les appareils qui se retrouvent en *Concepts appareils*.
- Ils donnent la possibilité de définir et documenter des concepts qui sont associés à plusieurs appareils, une seule fois à l'extérieur du modèle d'appareil. Ainsi, le modèle d'appareil est allégé et beaucoup plus flexible.
- Ils assurent une certaine rigueur pour les appareils qui font référence à leurs sous-concepts. Par exemple, le concept *Rating Tension*, un sous-concept de *Concepts extérieurs*, sert à définir d'une manière rigoureuse les paliers normalisés de tension. Pour chaque appareil qui se référera à ce concept, l'acquisiteur (la personne qui fait l'introduction des informations dans la base de

connaissances) a la possibilité de choisir une valeur standardisée de tension sans se soucier de vérifier la validité de son choix.

- Ils donnent une alternative facile pour retrouver des appareils qui font référence à un concept extérieur. Par exemple, il est relativement facile de retrouver tous les appareils souterrains.

L'optique dans laquelle nous avons réalisé cette taxonomie est plus large que le contexte du réseau. Chacun des sous-concepts de *Concepts extérieurs*, représente un champ d'intérêt pour le fonctionnement d'appareil dans le réseau où il peut éventuellement être lié à d'autres types d'informations sur l'appareil. Cette taxonomie assure le cadre nécessaire pour accommoder une variété presque illimitée de concepts connexes à l'appareillage. Soulignons que, au fur et à mesure que la base de connaissances gagnera de l'ampleur, d'autres concepts extérieurs seront considérés et introduits. Nous retrouvons ici les volets flexibilité et facilité d'enrichissement des connaissances.

Les concepts extérieurs déjà introduits dans la base de connaissances sont :

- *Fonctionnalité;*
- *Technologie;*
- *Rating Fréquence;*
- *Rating Puissance;*
- *Rating Tension;*
- *Emplacement;*
- *Nombre Phase;*
- *Manufacturier;*
- *Contraintes d'exploitation;*
- *CIM;*
- *Réglage;*
- *Commande;*

Les sous-concepts des *Concepts extérieurs* se développent à leur tour dans des sous-classifications.

Un aspect important est l'utilisation de ces concepts. Sur ce plan, les *Concepts extérieurs* sont liés aux appareils (se retrouvant dans *Appareillage*) par l'intermédiaire des propriétés génériques. La plus importante de ces propriétés est *Utilisation*. Étant définie au niveau du *prototype primordial*, elle est insérée d'une manière obligatoire dans tous les appareils. *Utilisation* donne donc la certitude d'avoir des associations avec les concepts extérieurs pour tout appareil. De plus amples explications à ce sujet seront données dans la section 5.3.

Les sous-concepts de *Concepts extérieurs* seront détaillés dans les pages suivantes. Afin de faciliter leur référence, nous les appellerons concepts extérieurs tout simplement. Nous considérons qu'il est approprié de donner davantage d'explications concernant le sous-concept *Fonctionnalité*, considéré comme étant très représentatif. La présentation des *Concepts extérieurs* continuera avec les explications du concept *CIM*. Celui-ci est le lien pour s'accorder au modèle d'information commun CIM. Ensuite, les autres sous-concepts de *Concepts extérieurs*, étant assez nombreux et ayant un fonctionnement similaire, seront brièvement annotés sous forme de tableau.

5.2.2 Concept extérieur *Fonctionnalité*

Le concept *Fonctionnalité* est considéré représentatif pour tout autre concept extérieur.

5.2.2.1 Raison d'être du concept *Fonctionnalité*

Fonctionnalité sert à gérer les vocations des appareils dans le réseau. Il est important d'avoir la possibilité de définir ces fonctions d'une manière conséquente. À cette fin, les concepts désignant une « fonctionnalité » dans le réseau sont analysés indépendamment, définis comme sous-concepts de *Fonctionnalité* et ensuite documentés.

Par exemple, le concept *Régulation tension* est défini une seule fois, comme sous-concept de *Fonctionnalité*. Il est ensuite utilisé dans certains transformateurs (et possiblement dans des appareils hybrides), éliminant ainsi le risque de définir plusieurs fois la même fonctionnalité et d'avoir des contresens ou des incohérences.

Une fois introduit dans la hiérarchie de *Concepts extérieurs*, le concept *Fonctionnalité* développe sa propre sous-classification. Parmi les sous-concepts de *Fonctionnalité* déjà implantés dans la base de connaissances, nous retrouvons :

- *Acheminement courant ;*
- *Transformation tension;*
- *Régularisation tension;*
- *Changement Paramètres;*
- *Interruption courant charge;*
- *Interruption courant défaut;*
- *Séparation visible;*
- *Limitation courant;*
- *Limitation tension;*
- *Réenclenchement;*
- *Fermeture en charge;*
- *Interruption courants résiduels;*
- *Déphasage;*
- *Compensation énergie réactive;*
- *Contrôle de la charge;*
- *Mise à la terre;*
- *Stockage d'énergie;*

5.2.2.2 Emploi de concept *Fonctionnalité*

Les sous-concepts de *Fonctionnalité* seront mis en relation avec les appareils. La méthode d'interaction entre les concepts d'appareillage et les *Concepts extérieurs* constitue une particularité de la construction de cette base de connaissances. Cette manière peut sembler compliquée; toutefois, elle a été motivée d'une part par le souci de n'avoir, dans la base de connaissances, que des informations très consistantes et d'autre part par MDI lui-même.

Le mécanisme d'appel de *Fonctionnalité* par les appareils est le suivant :

L'appareil, qui est un sous-concept du concept *Appareillage*, a des propriétés génériques attachées. Une d'entre elles est la propriété *Utilisation*. À son tour, *Utilisation* a des sous-concepts parmi lesquels se retrouve une propriété responsable de faire la liaison avec le concept extérieur *Fonctionnalité*. Cette propriété s'appelle * ->A_ *Fonctionnalité*. Son nom n'est pas choisi au hasard. Il est suggestif, en ce sens qu'il suggère le concept extérieur auquel la propriété se référera. Le fait que * ->A_ *Fonctionnalité* fasse référence à *Fonctionnalité* implique une restriction. Celle-ci consiste au fait que * ->A_ *Fonctionnalité* peut accepter seulement les sous-concepts de *Fonctionnalité*. De plus, il faut souligner que la propriété * ->A_ *Fonctionnalité*, peut avoir plusieurs fonctionnalités.

Ainsi, pour donner des valeurs à la propriété * ->A_ *Fonctionnalité* nous choisirons parmi les sous-concepts du concept associé *Fonctionnalité*.

Cette manière de créer des liaisons entre certaines propriétés et les concepts extérieurs a été nommée, pour cette modélisation, *Association collatérale*. Il est important de préciser que tous les autres concepts extérieurs ont la même utilisation de l'*Association collatérale*, mais bien sûr avec d'autres propriétés.

Les sous-concepts de *Fonctionnalité*, comme tous les autres concepts extérieurs, peuvent être enrichis en tout temps, mitigeant la diversité des usages qu'un appareil peut avoir dans le réseau et assurant une grande flexibilité de la base de connaissances.

La figure. 5.3 traite des concepts *Fonctionnalité* et * ->A_ *Fonctionnalité* en MDI.

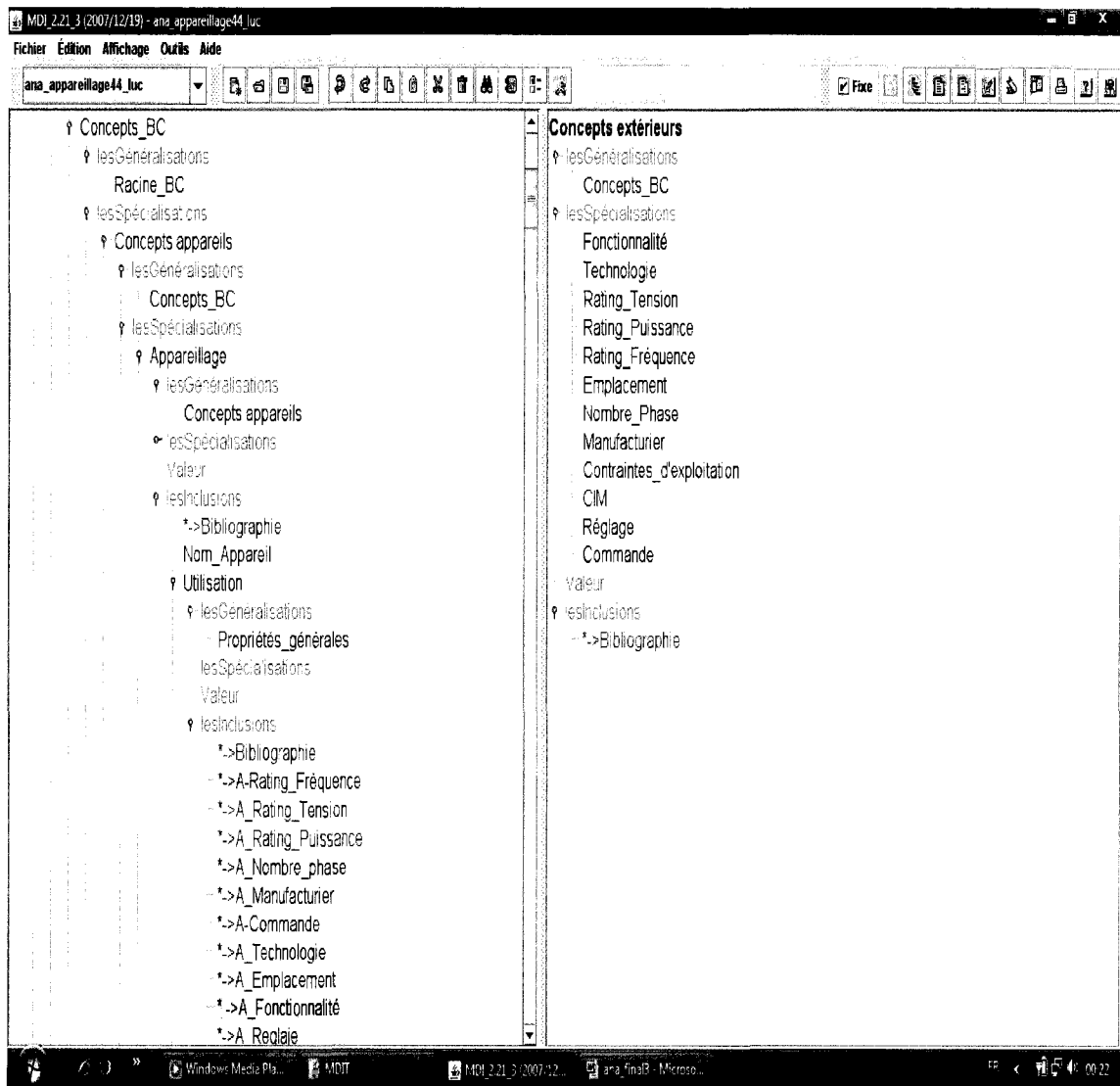


Figure 5.3 Les concepts *Fonctionnalité* et **->A_Fonctionnalité* en MDI

5.2.3 Concept extérieur *CIM*

Dans cette section nous introduirons un concept extérieur qui n'est pas un concept du réseau, mais que nous jugeons important.

Faisons attention à une nuance : CIM est l'acronyme pour le modèle d'information commun et *CIM*, en italique, est le nom d'un concept extérieur de la base de connaissances.

Le concept extérieur *CIM* a une fonction spéciale, car il sert à faciliter la réalisation d'une interface entre les informations contenues dans la base de connaissances et les logiciels externes qui cherchent ces informations. À cette fin, nous facilitons l'insertion d'une sorte de « dictionnaire » dans la base de connaissances pour faire concorder les concepts-propriétés de la base de connaissances aux appellations correspondantes dans le modèle d'information commun.

Le premier pas dans cette direction est représenté par l'introduction, dans la base de connaissances, du concept extérieur *CIM*. Les sous-concepts du concept extérieur *CIM* sont des noms de propriétés retrouvés dans le modèle commun d'information (CIM). Autrement dit, le concept extérieur *CIM* est une sorte de thésaurus du nom des propriétés du modèle commun d'information.

Le second pas, dans la réalisation du « dictionnaire », est d'associer le thésaurus aux concepts-propriétés de la base de connaissances. Pour cela, nous devons créer l'autre côté de la relation, donc un nouveau concept. Ce concept est **->Correspondant_CIM*, un concept-propriété. Ceci est commun pour tous les sous-concepts de *Caractéristiques spécifiques*. Souvenons-nous que le concept *Caractéristiques spécifiques* est le lieu où nous retrouvons toute propriété concrète d'appareil.

Donc, chaque concept extérieur *CIM* réalisera une relation univoque avec une propriété concrète, par l'intermédiaire de **->Correspondant_CIM*. Aussi bien, chaque propriété concrète (sous-concept de *Caractéristiques spécifiques*) est capable de réaliser, une juxtaposition avec une propriété du modèle commun d'information (CIM). Ainsi, une

sorte de mise en couple (dictionnaire) se réalise entre les propriétés appartenant à la base de connaissances et les propriétés similaires dans le modèle commun d'information (CIM).

Un pas plus loin vers la création d'une interface entre la base de connaissances et le modèle d'information commun CIM a été la réalisation d'une sous-routine originale dans MDI. Celle-ci est expliquée dans le chapitre 6.

5.2.4 Autres concepts extérieurs

Dans cette section, nous continuerons la présentation des concepts extérieurs, plus précisément, ceux qui sont similaires, de point de vue de l'usage, à *Fonctionnalité*.

Parmi les concepts extérieurs qui ont déjà été introduits dans la base de connaissances, on retrouve les suivants :

Table 5.2 Les concepts extérieurs similaires à *Fonctionnalité*

<i>Concept extérieur</i>	<i>Explications sur le concept</i>
<i>Technologie</i>	Le concept extérieur <i>Technologie</i> sert à gérer les technologies que les appareils peuvent englober. Le concept <i>Technologie</i> réalise une <i>Association collatérale</i> avec la propriété d'appareil appelée * -> <i>A_Technologie</i> , qui est à son tour un sous-concept de la propriété générique <i>Utilisation</i> .
<i>Rating_Fréquence</i>	Le concept extérieur <i>Rating_Fréquence</i> sert à gérer les paliers de fréquence normalisés dans le but de réaliser une uniformité et une rigueur dans l'encadrement des appareils. Le concept <i>Rating_Fréquence</i> réalise une <i>Association collatérale</i> avec la propriété d'appareil appelée * -> <i>A_Rating_Fréquence</i> , qui est à son tour un sous-concept de la propriété générique <i>Utilisation</i> .

Table 5.2 Les concepts extérieurs similaires à *Fonctionnalité* (suite)

<i>Rating_Tension</i>	Le concept extérieur <i>Rating_Tension</i> sert à gérer les paliers de tension normalisés dans le but de réaliser une uniformité et une rigueur dans l'encadrement des appareils. Le concept <i>Rating_Tension</i> réalise une <i>Association collatérale</i> avec la propriété d'appareil nommée * -> <i>A_Rating_Tension</i>, qui est à son tour un sous-concept de la propriété générique <i>Utilisation</i>. Il est important de remarquer qu'il existe une différence notable entre la propriété* -> <i>A_Rating_Tension</i> et la propriété <i>Tension nominale</i> (la première étant une référence à un palier de tension normalisé donné par les sous-concepts de <i>Rating_Tension</i> et la deuxième, prenant une valeur indiquée par le fabricant).
<i>Rating_Puissance</i>	Le concept extérieur <i>Rating_Puissance</i> sert à gérer les paliers de puissance normalisés dans le but de réaliser une uniformité et une rigueur dans l'encadrement des appareils. Le concept <i>Rating_Puissance</i> réalise une <i>Association collatérale</i> avec la propriété d'appareil appelée * -> <i>A_Rating_Puissance</i>, qui est à son tour un sous-concept de la propriété générique <i>Utilisation</i>.
<i>Nombre_Phase</i>	Le concept extérieur <i>Nombre_Phase</i> sert à encadrer l'appareil en ce qui concerne le nombre de phases, cela étant un critère important dans le réseau. Quatre sous-concepts ont été considérés comme suffisants pour couvrir les types d'appareils : <i>Monophasé</i>, <i>Triphasé</i>, <i>Biphasé</i> et <i>Polyphasé</i>. Le concept <i>Nombre_Phase</i> réalise une <i>Association collatérale</i> avec la propriété d'appareil appelée * -> <i>A_Nombre_Phase</i>, celle-ci étant à son tour un sous-concept de la propriété générique <i>Utilisation</i>.

Table 5.2 Les concepts extérieurs similaires à *Fonctionnalité* (suite)

<i>Emplacement</i>	Le concept extérieur <i>Emplacement</i> sert à établir la modalité d'installation de l'appareil dans le réseau. Ses sous-concepts édifient le but de ce concept extérieur. Les voici : • <i>Aérien</i>- C'est-à-dire un emplacement aérien de l'appareil auquel le concept extérieur <i>Aérien</i> est associé. • <i>Souterrain</i>- La même chose pour un emplacement souterrain de l'appareil. • <i>Sur socle</i>- La même chose pour un emplacement sur socle de l'appareil. • <i>Poste</i>- La même chose pour un emplacement dans un poste de l'appareil. Le concept <i>Emplacement</i> réalise une <i>Association collatérale</i> avec la propriété d'appareil nommée * -> <i>A_Emplacement</i>, celle-ci étant à son tour un sous-concept de la propriété générique <i>Utilisation</i>.
<i>Manufacturier</i>	Le concept extérieur <i>Manufacturier</i> gère la provenance d'appareil. Le concept <i>Manufacturier</i> réalise une <i>Association collatérale</i> avec la propriété d'appareil appelée * -> <i>A_Manufacturier</i>, celle-ci étant à son tour un sous-concept de la propriété générique <i>Utilisation</i>.
<i>Réglage</i>	Le concept extérieur <i>Réglage</i> définit les types de réglages qu'un appareil peut avoir. Le concept <i>Réglage</i> réalise une <i>Association collatérale</i> avec la propriété d'appareil appelée * -> <i>A_Réglage</i>, celle-ci étant à son tour un sous-concept de la propriété générique <i>Utilisation</i>.

Table 5.2 Les concepts extérieurs similaires à *Fonctionnalité* (suite)

<i>Commande</i>	Le concept extérieur <i>Commande</i> fait référence à d'éventuelles automatisations de l'appareil. Le concept <i>Commande</i> réalise une <i>Association collatérale</i> avec la propriété d'appareil appelée * - >A_ <i>Commande</i> , qui est à son tour un sous-concept de la propriété générique <i>Utilisation</i> .
-----------------	---

Observons encore une fois la diversité de connaissances apportées par les concepts extérieurs et la facilité d'enrichir la base de connaissances en augmentant leur nombre.

5.3 Taxonomie des propriétés

Cette section explique l'importance et la réalisation de la troisième taxonomie de la base de connaissances. La taxonomie de propriétés s'impose, car dans notre modélisation, les propriétés sont définies elles-mêmes comme des concepts et cela représente une différence fondamentale entre la modélisation prototype en MDI et la modélisation orientée objet.

5.3.1 Problématique des propriétés dans le modèle d'appareil

De point de vue de la modélisation, les propriétés servent à définir le sens de concept. La façon de définir les propriétés peut être assez variée; les diverses théories de modélisation ont différentes approches pour établir les propriétés.

La présente modélisation a une approche spécifique, imposée en grande partie par MDI lui-même, approche différente de la définition des propriétés dans l'orienté objet. Notre approche se distingue par le fait que les propriétés sont elles-mêmes des concepts [43]. Une propriété, qui est reliée à un concept, est elle-même un concept et donc, elle peut continuer à être décomposée en un réseau de sous-concepts ou de propriétés. Un tel mode de fonctionnement donne la possibilité d'avoir une indépendance relative des propriétés à l'opposé des concepts appareils proprement dits. C'est le raison pour laquelle les propriétés réalisent elles-mêmes une des trois principales taxonomies du modèle proposé.

Dans le monde des réseaux électriques, la diversité des propriétés impliquées dans la caractérisation de l'appareillage est extrêmement vaste et elle a constitué une difficulté assez importante pour une spécification effective de l'appareil [47, 48, 50, 51].

Considérant cette réalité, la définition de la propriété est faite à l'extérieur du modèle d'appareil proprement dit, puis elle est englobée dans le modèle d'appareil. Par exemple,

la *Puissance nominale* est définie et documentée comme sous-concept dans *Caractéristiques spécifiques* (cf. figure 5.4).

Ainsi, le concept *Puissance nominale* garde une homogénéité, étant défini une seule fois de manière rigoureuse, puis est utilisé dans la spécification de n'importe quel appareil. Autrement dit, un transformateur et une inductance n'auront pas à définir chacun leur propre puissance nominale, mais ils utiliseront, le concept existant déjà dans *Caractéristiques spécifiques*. Par contre, les appareils donneront une valeur à la propriété au niveau de l'individu. Le bénéfice d'une telle approche semble évident si nous pensons à des milliers d'appareils que la base de connaissances contiendra et qui auront presque tous cette propriété

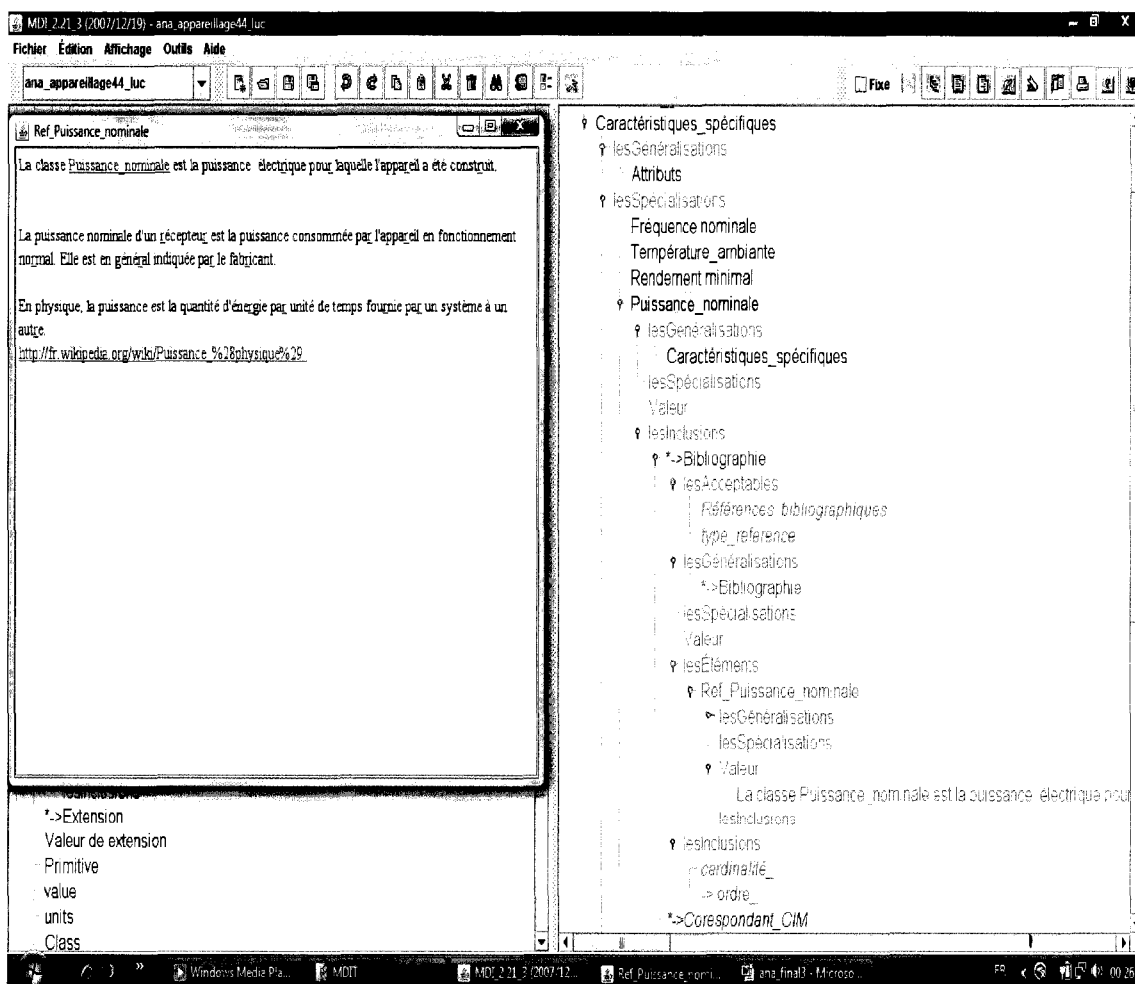


Figure 5.4 La propriété *Puissance nominale* en MDI

5.3.2 Gestion des propriétés

Une analyse succincte révèle qu'il existe des propriétés qui sont communes aux appareils, comme il existe des propriétés qui sont spécifiques à une certaine variété d'équipements.

Le modèle d'appareil, qui donne la structure de la base de connaissances, doit offrir une solution de modélisation, permettant à la fois d'obtenir une cohérence dans les propriétés de n'importe quel équipement et en même temps de mitiger la variété de ses caractéristiques.

La complexité des propriétés d'appareillage est tellement grande qu'il est impossible de prendre en considération toutes les caractéristiques d'un appareil. On se résout à choisir celles que l'on considère représentatives en vue d'une démonstration du modèle. Par contre, la structuration de la base de connaissances devait donner la possibilité d'enrichir ou de modifier en tout temps les propriétés considérées.

La solution trouvée à l'égard de ces problèmes est la manière d'organiser les concepts-propriétés dans la taxonomie des propriétés. Le concept source de cette taxonomie est *Attributs*, qui ensuite se subdivise en deux branches, *Propriétés générales* et *Caractéristiques spécifiques*. La figure 5.5 donne un aperçu de l'encadrement global du concept *Attributs*.

Dans *Propriétés générales*, nous avons défini des propriétés génériques, propres au *prototype primordial*. Parallèlement, nous avons organisé les caractéristiques concrètes, particulières à l'extérieur du modèle d'appareil dans *Caractéristiques spécifiques*.

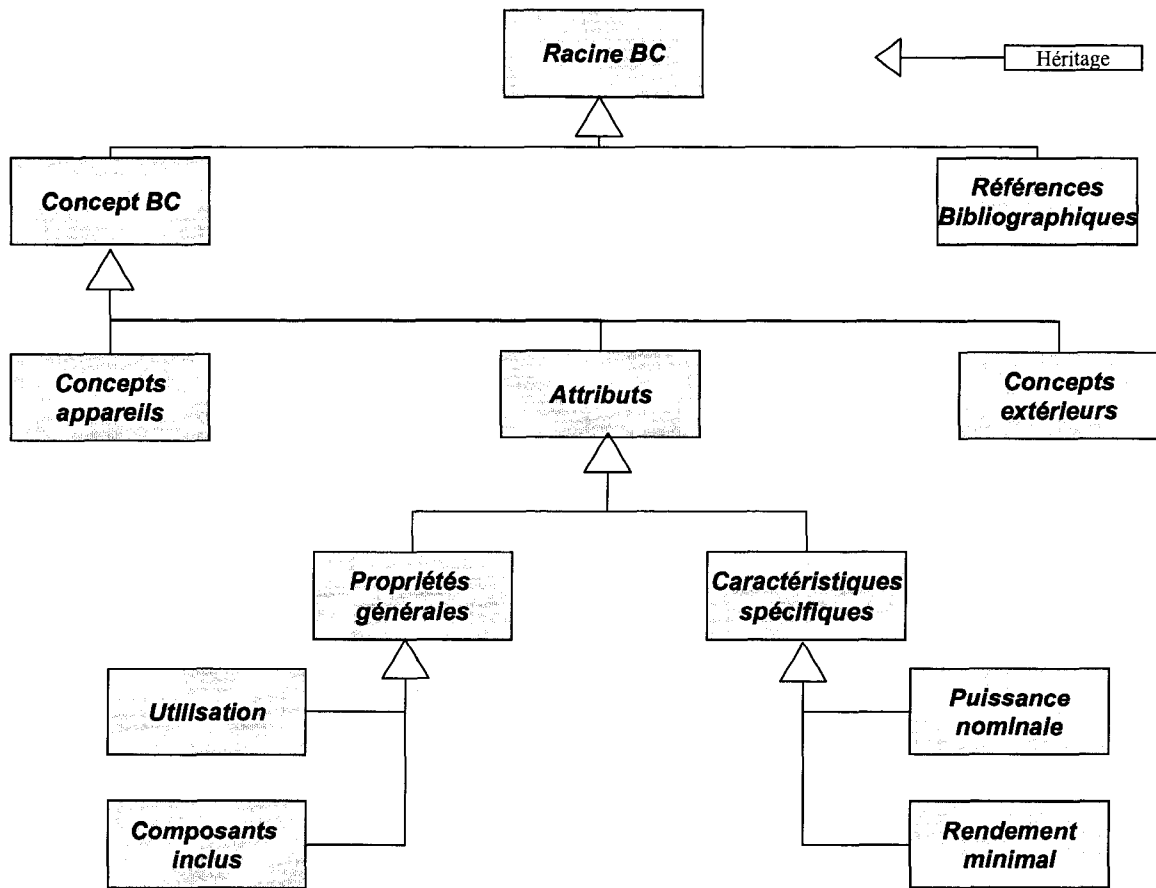


Figure 5.5 L'encadrement du concept *Attributs* dans la hiérarchie

5.3.2.1 Propriétés générales

Le sous-concept *Propriétés générales* de *Attributs* est un concept qui sert plutôt à l'organisation de l'information.

Il centralise les propriétés génériques définies par le *prototype primordial*. Autrement dit, les concepts se retrouvant comme sous-concepts de *Propriétés générales* sont utilisés comme propriétés dans tous les appareils électriques. Ils cherchent à définir, d'une façon conséquente, la conceptualisation d'un appareil électrique, donc le sens de ce concept. Ils assurent également l'uniformité entre tous les appareils en faisant une

structure de propriétés unique pour l'appareillage, malgré les caractéristiques très hétérogènes des équipements électriques.

Ils sont attribués dans le niveau du concept *Appareillage* (lieu d'implantation du *prototype primordial*) et ils sont légués tout au long de la classification des appareils.

Les sous-concepts de *Propriétés générales* sont les suivants :

- *Nom appareil;*
- *Utilisation;*
- *Propriétés appareils;*
- *Prix et coûts;*
- *Composants inclus;*
- **->A_Contraintes exploitation.*

5.3.2.1.1 Sous-concept *Utilisation de Propriétés générales*

Un des plus importants sous-concepts de *Propriétés générales* s'appelle *Utilisation*. Le but de ce concept est de donner une image simplifiée de l'appareil en regroupant ses caractéristiques les plus représentatives.

Le concept *Utilisation* peut servir, éventuellement, à faciliter les éventuelles inférences, sachant que ses sous-concepts sont en effet les caractéristiques de l'appareil habituellement employées par les utilisateurs pour faire un choix d'équipement. Il facilite l'inférence dans la base de connaissances parce qu'il simplifie la recherche en la ciblant sur une seule propriété.

Ses sous-concepts sont spécialement conçus pour réaliser des associations entre les appareils et des concepts appartenant à une autre taxonomie de la base de connaissances, celle des concepts extérieurs.

Par conséquent, ils représentent une solution pour articuler les taxonomies de la base de connaissances. Plus précisément, le concept *Utilisation* (membre de la taxonomie des

propriétés) facilite les associations entre les appareils (membres de la taxonomie d'appareillage) qui l'englobent comme propriété et les *Concepts extérieurs*.

Mis à part que la plupart de ses sous-concepts réalisent une relation avec des concepts extérieurs, *Utilisation* englobe aussi le concept nommé *Bibliographie*. Celui-ci réalise la liaison avec la taxonomie des références bibliographiques.

En conclusion, le concept *Utilisation* est une plaque tournante entre les quatre taxonomies de la base de connaissances.

Les sous-concepts d'*Utilisation* déjà implantés dans la base de connaissances sont :

- *->A_Technologie;
- *->A_Nombre_phase;
- *->A_Emplacement;
- *->A_Manufacturier;
- *->A_Fonctionnalité;
- *->A-Commande;
- *->A_Réglage;
- *->A_Rating_Tension;
- *->A_Rating_Puissance;
- *->A-Rating_Fréquence.

Leur nombre peut devenir plus grand si les utilisateurs de la base de connaissances désirent diversifier les types d'information sur les appareils.

L'appellation des sous-concepts d'*Utilisation* est éloquente, car elle est sujette à une convention. Les noms des sous-concepts d'*Utilisation* réalisent une réplique presque identique des sous-concepts de *Concepts extérieurs*. Par exemple, son sous-concept *->A_Fonctionnalité, fait référence au sous-concept *Fonctionnalité* de *Concepts extérieurs*. Cette propriété *->A_Fonctionnalité pourra se lier à un ou plusieurs sous-concepts de *Fonctionnalité*.

Utilisation est représentative pour toute propriété générique de l'appareil qui assure un lien entre l'appareil et d'autres types de concepts.

Le concept *Utilisation* est sujet à deux types de relation:

- L'Association collatérale avec les sous-concepts de *Concepts extérieurs* (expliqué à la section 6.3). comme l'illustre la figure 5.6.
- L'Agrégation des valeurs de propriétés qui a été conçue spécialement pour *Utilisation* (expliquée dans le chapitre 6.2)

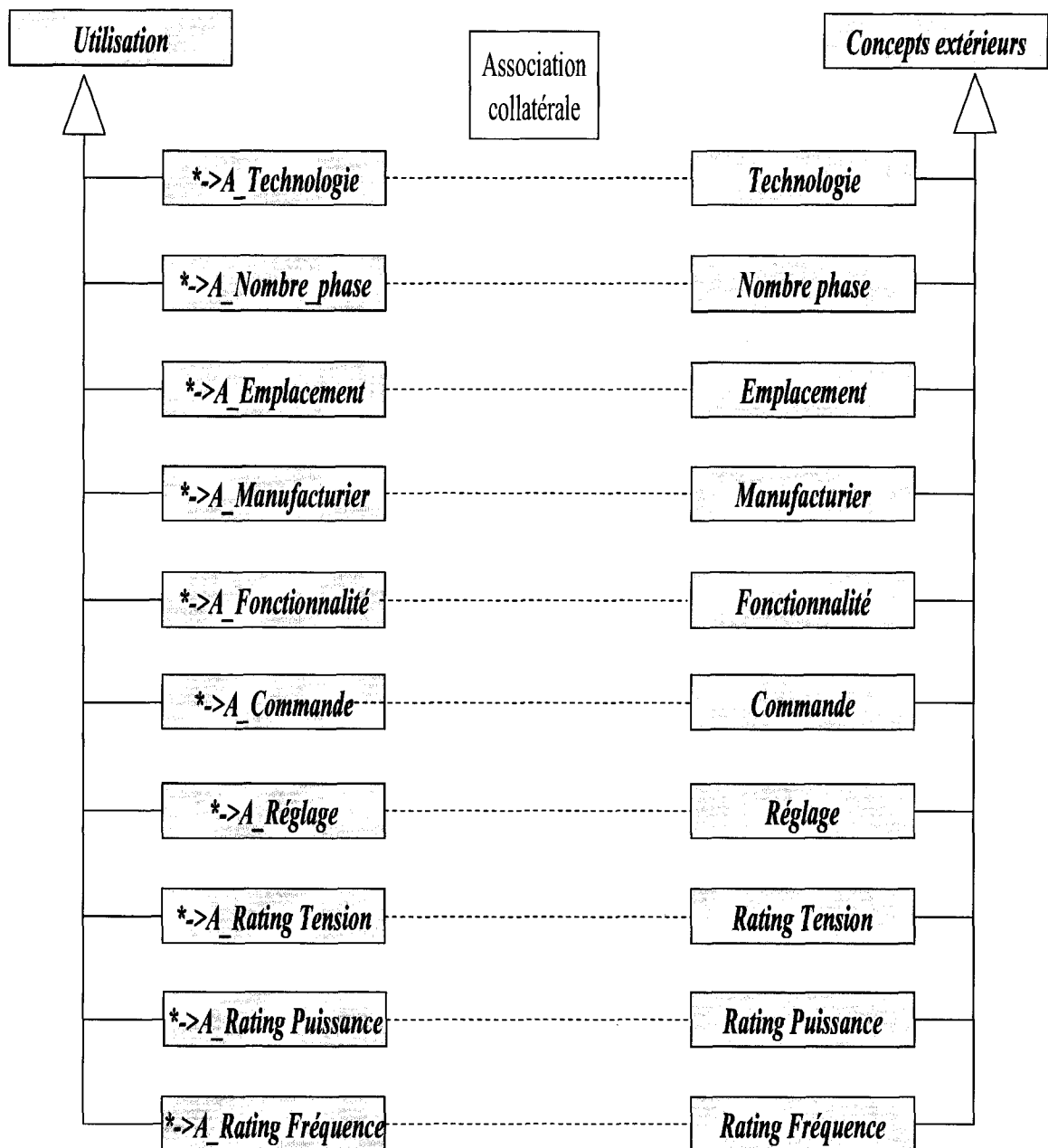


Figure 5.6 L'Association collatérale entre *Utilisation* et *Concepts extérieurs*

À titre d'exemple, pour le cas de l'IUT (*Transformateur Universel Intelligent*), la propriété **->A_Fonctionnalité d'Utilisation* a les valeurs suivantes (toutes des sous-concepts de *Fonctionnalité*) :

- *Transformation de tension;*
- *Limitation de courant;*
- *Changement Paramètres.*

La figure 5.7 donne un aperçu MDI du **->A_Fonctionnalité* de l'IUT.

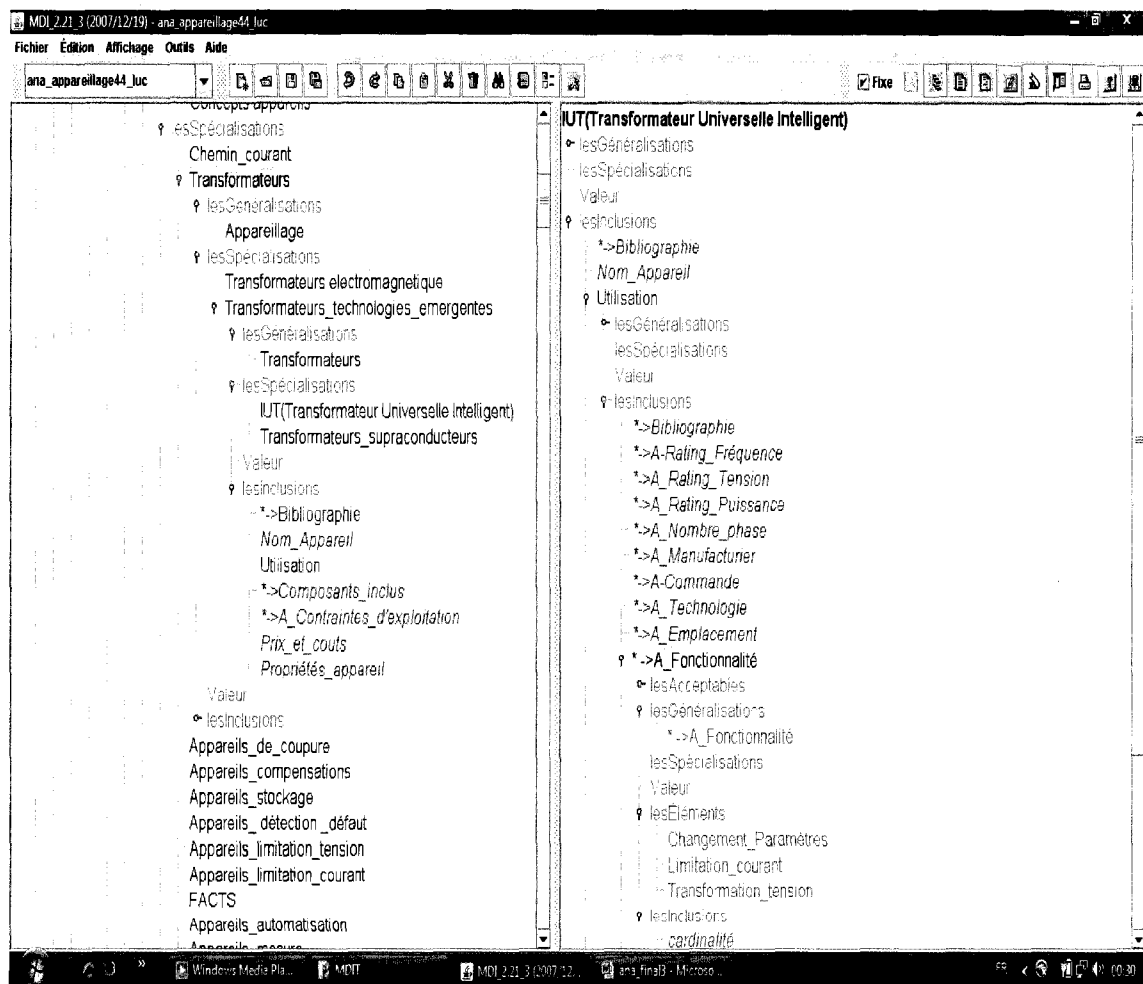


Figure 5.7 Aperçu MDI du **->A_Fonctionnalité* de l'IUT

5.3.2.1.2 Sous-concept *Nom Appareil de Propriétés générales*

Le sous-concept *Nom Appareil de Propriétés générales* sert à garder les appellations possibles de l'appareil dans divers contextes. Par exemple, pour l'individu *Transfo_gen_1*, la valeur de ce concept est :

- Nom en réseau;
- Transformateur monophasé TM1;
- No. SAP : 1243780;
- Nom en IRD : TR.

Il a été prévu permettre de spécifier l'appareil jusqu'au niveau du point de fonctionnement dans le réseau.

5.3.2.1.3 Sous-concept **->A_Contraintes exploitation de Propriétés générales*

Le concept-propriété **->A_Contraintes exploitation de Propriétés générales* sert à incorporer, dans l'appareil, les informations relatives à des difficultés identifiées dans son fonctionnement.

À ces fins, le premier pas a consisté à créer un concept extérieur, nommé *Contraintes exploitation*, permettant de définir, comme sous-concepts, les difficultés connues. Ensuite le concept propriété **->A_Contraintes exploitation* et des sous-concepts du *Contraintes exploitation* seront liés par une relation.

Cette propriété, **->A_Contraintes exploitation*, apparemment similaire aux sous-concepts d'*Utilisation*, est en réalité différente. Son volet est beaucoup moins intéressant, pour les logiciels externes ou pour les inférences, que celui d'*Utilisation*. Il a plutôt un rôle pédagogique ou un rôle de transmission d'expertise. Par ces finalités

distinctes, la définition de **->A_Contraintes exploitation* est plus simple que celle d'*Utilisation*, car il ne réalisera, par exemple, l'*Agrégation des valeurs de propriétés*.

5.3.2.1.4 Sous-concept *Propriétés appareil* de *Propriétés générales*

Le sous-concept *Propriétés appareil* de *Propriétés générales* est un des concepts les plus intéressants de la base de connaissances. Il a été conçu pour résoudre le problème délicat qu'était l'uniformisation des nombreuses et diverses propriétés d'appareillage. L'idée a été d'introduire, au niveau de *prototype primordial*, une propriété générique responsable d'accommoder toutes les propriétés concrètes. À la limite, nous pouvons considérer *Propriétés appareil* comme étant un crochet où s'attacheront les autres propriétés, électriques, mécaniques, thermiques, physiques, etc., de l'appareil. Ces propriétés concrètes sont définies à l'extérieur de l'appareil comme sous-concepts de *Caractéristiques spécifiques*, dans la taxonomie de propriétés. La propriété générique *Propriétés appareil* est un concept qui peut accepter seulement des sous-concepts du *Caractéristiques spécifiques*.

5.3.2.1.5 Sous-concept *Prix et coûts* de *Propriétés générales*

Le sous-concept *Prix et coûts* de *Propriétés générales* sert à gérer les prix et les coûts liés à l'appareil. Contrairement aux autres sous-concepts *Propriétés générales*, celui-ci ne fait pas référence à un concept extérieur. Il a été conçu en ayant certains sous-concepts prédéfinis qui ne prendront des valeurs qu'au niveau des individus. Parmi ces concepts prédéfinis, nous retrouvons : *A_prix_manufacturier*, *A_prix_maintenance* et *A_prix_operation*.

Nous prendrons donc en considération, comme point de départ, trois types de coûts : d'acquisition, de la maintenance et les coûts d'opération. Évidemment, il est très facile de

diversifier la palette des dépenses liées aux équipements. Remarquons que le volet flexibilité, pour la structure du modèle de l'appareil, est encore une fois atteint.

5.3.2.1.6 Sous-concept *Composants inclus* de *Propriétés générales*

Le sous-concept *Composants inclus* de *Propriétés générales* sert à connaître les parties composantes d'un appareil. Il a une vocation plutôt didactique. À cette fin, il réalise une relation avec les parties d'appareillage définies dans la branche *Composants* du *Concepts appareils*. Il accepte uniquement des sous-concepts de *Composant* pouvant se lier aux plusieurs d'entre eux.

Par contre, le concept *Composants inclus* n'acquiert pas *l'Agrégation des valeurs-éléments de propriété*.

5.3.2.2 *Caractéristiques spécifiques*

Le concept *Caractéristiques spécifiques* est une des deux facettes de la synergie à l'égard des propriétés dans la base de connaissances, l'autre étant *Propriétés générales*.

Comme déjà expliqué, nous avons facilité à chaque appareil d'englober une diversité illimitée de propriétés concrètes par la propriété générique *Propriétés appareil*. Sur ce plan, nous avons utilisé le concept *Caractéristiques spécifiques*. Ceci contient les concepts-propriétés qui couvrent toute la diversité des caractéristiques électriques, mécaniques, thermiques, etc. pouvant caractériser les appareils.

En utilisant une branche séparée pour définir les propriétés concrètes, nous assurons principalement deux choses :

- la rigueur et une certaine indépendance dans la définition des propriétés;
- la possibilité des utilisations multiples de la propriété sans avoir de redondances ou d'incohérences dans la définition de la propriété.

Une particularité du concept *Caractéristiques spécifiques* est qu'il englobe, dans sa structure, deux autres concepts établis comme ses propriétés :

- *Bibliographie*
- **->Correspondant CIM.*

Ainsi, ces derniers concepts-propriétés seront légués à toutes les propriétés concrètes d'appareil qu'un concept appareil englobe. À la limite cette approche peut être considérée comme étant le prototypage au niveau de la taxonomie des propriétés.

La manière de relier les sous-concepts de *Caractéristiques spécifiques* avec les appareils est réalisée, rappelons-le, par une relation développée à partir du « crochet » qui est constitué par *Propriétés appareil*.

À titre d'exemple, nous retrouvons parmi les sous-concepts de *Caractéristiques spécifiques* : *Fréquence nominale*, *Puissance nominale*, *Tension Nominale*, *Groupe de connexions*, etc. Ces propriétés peuvent être nombreuses et diversifiées.

La figure 5.8 donne un aperçu MDI des concepts *Propriétés Spécifiques* déjà implantés dans la base de connaissances.

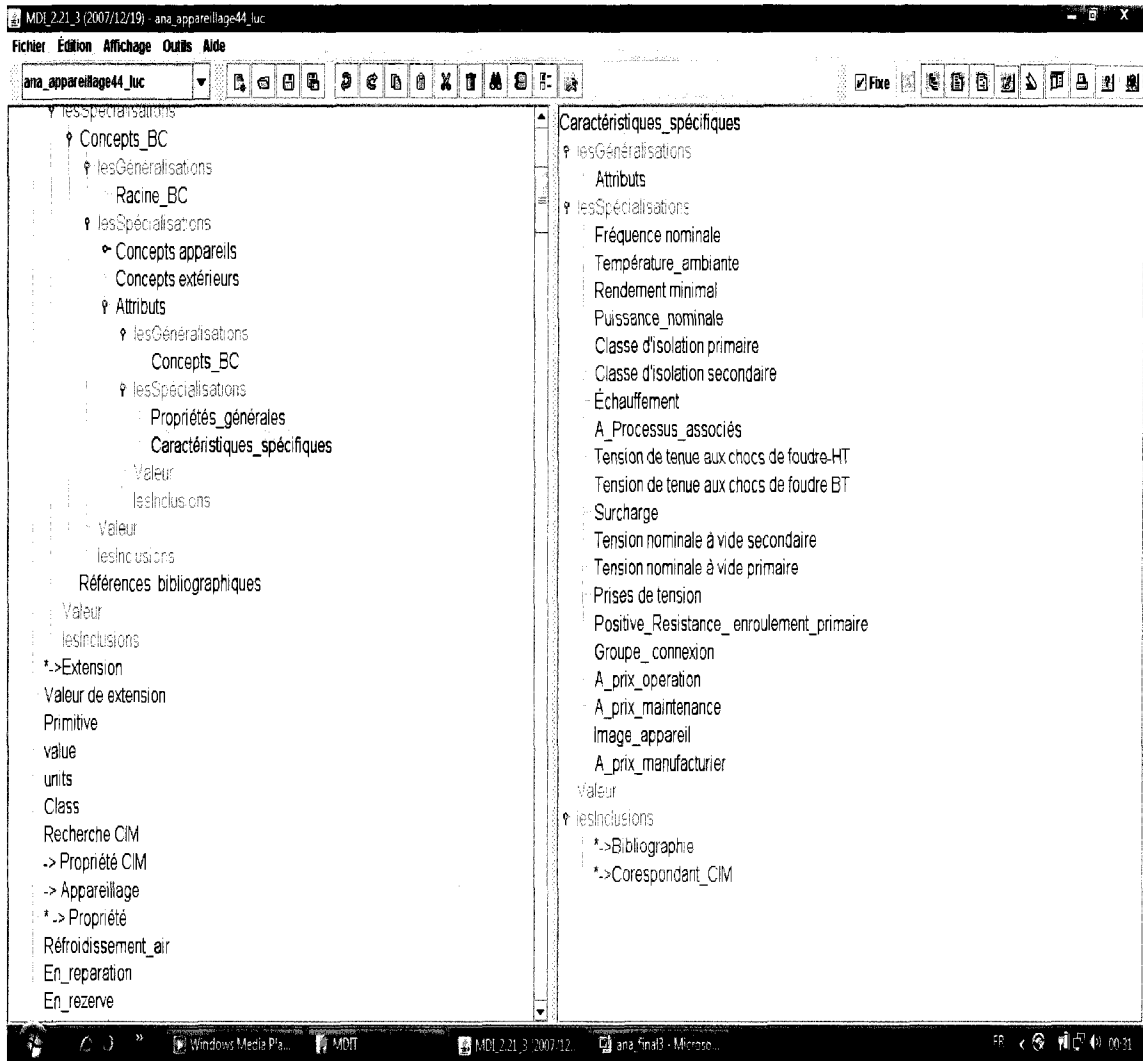


Figure 5.8 Aperçu des sous-concepts de *Caractéristiques spécifiques* en MDI

5.4 Taxonomie des bibliographies

Dans cette section, nous traitons de la quatrième taxonomie de la base de connaissances, celle des bibliographies. Après avoir passé en revue les trois premières taxonomies, toutes reliés aux aspects techniques de la base de connaissances, cette section introduit la taxonomie qui accomplit le volet documentation des connaissances.

Son importance est réelle, car une des finalités les plus importantes de la base de connaissances est celle d'être le livre de connaissances utilisé aux fins d'apprentissage. La motivation derrière son introduction dans la base de connaissances est la difficulté de retrouver avec facilité des documents bibliographiques ciblés sur un sujet précis. Les connaissances techniques sont répandues d'une manière assez aléatoire dans différents lieux, comme les livres, les divers documents, les bases de données, les bases de connaissances et les cerveaux des experts. Par conséquent, il devient nécessaire de gérer les connaissances de manière à ce qu'elles soient faciles d'accès et, bien sûr, informatisées.

5.4.1 Gestion des références bibliographiques dans la base de connaissances

Les références sont gérées dans une taxonomie ayant comme concept source *Références bibliographiques*. Cette taxonomie concerne les bibliographies qui documentent les concepts et facilite le côté pédagogique de la base de connaissances.

Les sous-concepts de *Références bibliographiques* ont leur propre prototypage, en ce sens qu'ils n'ont pas de propriétés, mais seulement des valeurs. Autrement dit, ils sont des concepts sans un sens propre. Par contre, leur sens réside dans l'association avec le concept technique correspondant et aussi dans leur valeur.

Une caractéristique de ces concepts est qu'ils prennent des valeurs au moment de leur définition. Ces valeurs sont, en effet, soit des liens hyper texte, soit des fragments de texte, soit des références à des fichiers documentaires, soit une combinaison de ces possibilités. Les documents sous forme de fichiers et qui se retrouvent sur le même support informatique que la base de connaissances, c'est-à-dire dans le même ordinateur, sont gardés dans un dossier spécifique qui s'appelle *Doc_appareillage*. Un document peut faire partie de la documentation de plusieurs concepts et ainsi, il n'y a pas de redondances.

Les concepts de *Références bibliographiques* développeront une structure mimant la structure des concepts techniques de la base de connaissances. Ils constituent une sorte de référentiel parallèle aux concepts techniques. Les sous-concepts de cette taxonomie ont une manière particulière et unificatrice d'être nommés. Leur appellation est composée du préfixe « *Ref_* » suivi du le nom du concept technique documenté. Par exemple, le concept qui fait la documentation du concept *Transformateurs* s'appelle *Ref_Transformateurs*. Ainsi, un lecteur qui regarde les bibliographies dans la base de connaissances peut intuitivement se rapporter aux concepts techniques, sans entrer dans les taxonomies techniques.

L'approche adoptée permet de consulter facilement et indépendamment les références, en gardant la perspective sur les concepts de la base de connaissances.

La figure 5.9 donne l'image de la valeur du concept *Ref_Transformateurs* de *Références bibliographiques*.

Afin de réaliser la documentation d'un concept technique, un concept référence bibliographique doit avoir la possibilité de bâtir une relation avec ce concept technique. Ce lien est réalisé à travers une propriété spéciale appelée *Bibliographie*.

5.4.2 Concept *Bibliographie*

Dans le but d'avoir des taxonomies indépendantes, mais parallèles pour les concepts techniques et les bibliographies, un concept « lien » entre les structures a été défini : le concept *Bibliographie*. Tout autre concept de la base de connaissances, à partir du deuxième niveau de la hiérarchie (c'est-à-dire tous les *Concepts appareils*, les *Concepts extérieurs* et les *Propriétés*), englobe cette propriété.

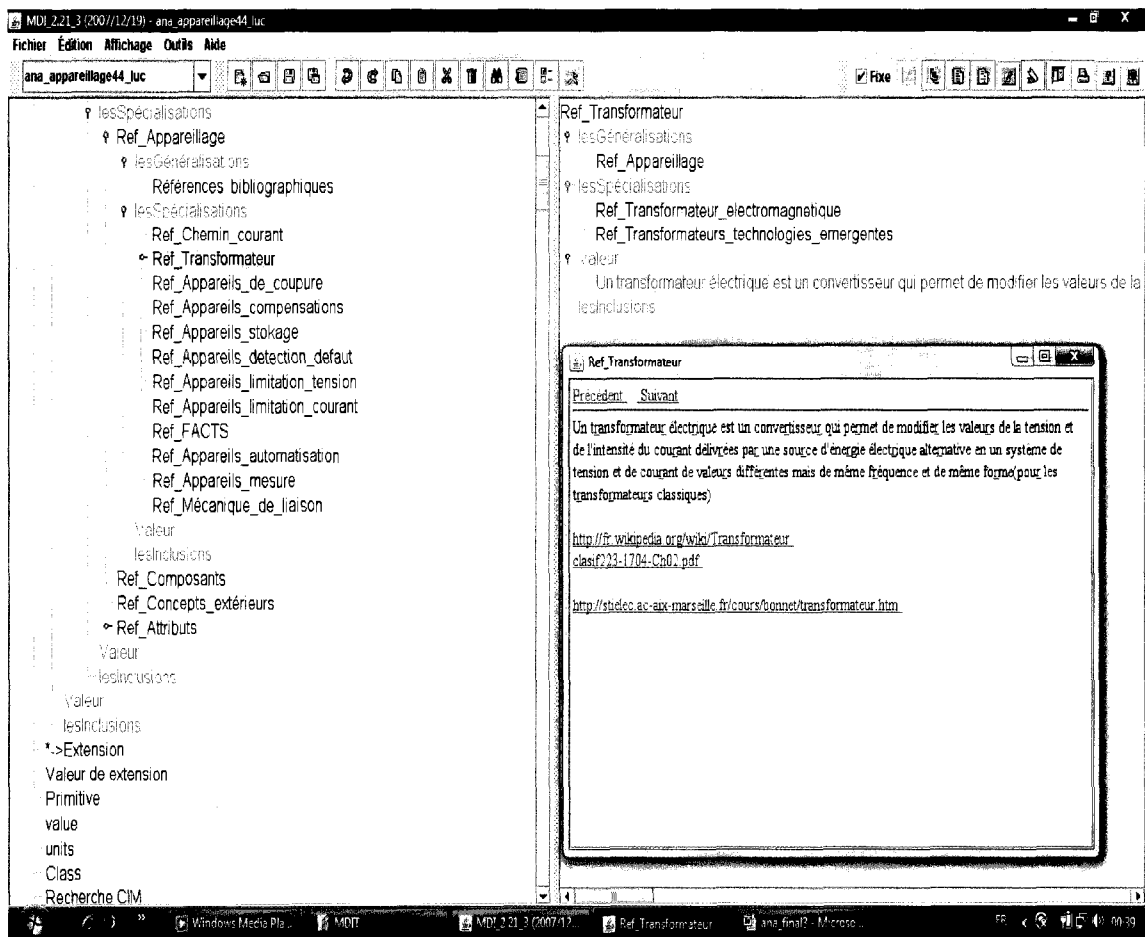


Figure 5.9 La valeur du concept *Ref_Transformateur*

Bibliographie peut accepter exclusivement les sous-concepts de *Références bibliographiques*. Ainsi, ce concept sert comme couplage entre les concepts techniques et les références bibliographiques.

Étant donné que chaque concept technique contient *Bibliographie*, il est possible d'accéder aux informations documentaires « sur place » (donc à l'intérieur du concept lui-même). Aussi bien, un lecteur peut se documenter dans la taxonomie *Références bibliographiques*, sans avoir besoin d'entrer dans les arborescences des concepts techniques où la diversité des informations est plus grande et la cohérence plus difficile à garder. Ainsi la base de connaissances peut être utilisée pour l'apprentissage et pour la préservation de l'expertise.

Chapitre 6 : Dynamique de la base de connaissances

Le chapitre précédent a introduit et expliqué les concepts les plus importants de la base de connaissances. Le chapitre 6 se concentre particulièrement sur les relations entre les concepts.

Une relation signifie une liaison entre les concepts. Sans les relier d'une manière appropriée, on ne pourrait jamais réaliser la description adéquate du champ d'intérêt de la base de connaissances. La compréhension du domaine réside dans les concepts de la base, mais en même temps dans les relations entre ces concepts.

Dans ce chapitre, nous présenterons un nouveau type de relation, *l'Agrégation des valeurs de propriétés*, ainsi qu'une méthode pour extraire des données.

6.1 Héritage

Une des plus importantes relations dans la base de connaissances est *l'héritage* [52].

L'héritage est un des mécanismes centraux spécifiquement utilisés dans la modélisation orientée objet, mais il est aussi utilisé dans la modélisation orientée prototype. *L'héritage* est le mécanisme par lequel, lors de la classification, un concept transmet des informations à ses sous-concepts. L'idée de *l'héritage* consiste dans le fait que des nouveaux objets-enfants peuvent être définis en se basant sur des objets-parents déjà existants. Pour les nouveaux objets, on doit déclarer seulement les propriétés qui ne sont pas communes, les autres étant léguées. Les informations transmises sont les propriétés du concept-parent, éventuellement avec leurs valeurs. Un nouveau sous-concept a la possibilité d'ajouter des propriétés, mais aussi d'en supprimer certaines.

La structure des concepts ainsi développée s'appelle taxonomie.

L'héritage peut être simple ou multiple. Dans le cas d'un *héritage* multiple, un sous-concept hérite de plusieurs concepts-parents. Le modèle d'appareil proposé ici peut

utiliser les deux formes d'*héritage* mentionnées en fonction des besoins. Par exemple, les appareils classiques ont un seul concept-parent duquel ils héritent, mais les appareils hybrides auront éventuellement deux ou plusieurs concepts-parents.

Dans cette base de connaissances, l'*héritage* est la modalité la plus puissante pour réaliser la transmission des propriétés des niveaux conceptuels vers leurs sous-concepts.

6.2 *Relation d'intension*

La relation entre un concept et ses propriétés est la relation d'*intension*. Les propriétés ont pour objet de caractériser le concept et de lui donner le sens. Dans le cas particulier du MDI la relation d'*intension* est une relation de type concept-concept.

6.3 *Association collatérale*

Très fréquemment, dans la modélisation conceptuelle, il est nécessaire de grouper des concepts ensemble, mais pas nécessairement parce qu'ils font partie de la même taxonomie. Il existe très souvent des concepts qui ne font pas vraiment partie de la même branche de classification, mais ils doivent être liés pour contribuer à la description du fonctionnement complexe du domaine. La relation entre *Appareillage* et *Concepts extérieurs* est un exemple ainsi que la relation entre *Appareillage* et *Composants*.

Nous précisons que l'*Association collatérale* est la relation entre des concepts qui font partie de taxonomies différentes de la base de connaissances.

La modélisation est en effet intéressée à associer le concept d'origine avec un ou plusieurs sous-concepts du concept cible. La particularité de cette relation est qu'elle lie deux concepts appartenant à deux taxonomies différentes, par l'intermédiaire d'une propriété.

La manière pratique de relier des concepts appartenant à des taxonomies différentes a été imposée, par MDI lui-même.

L'origine de l'*Association collatérale* est toujours une propriété du concept initial, d'habitude un concept appareil. La relation est réalisée à partir de cette propriété qui fera référence à d'autres concepts. Ces concepts référés constitueront en effet la valeur de la propriété. Cette relation peut être de type une à une, ou plus souvent, une à plusieurs.

6.4 Agrégation des valeurs de propriétés

Nous introduisons maintenant un nouveau type de relation spécifique à cette base de connaissances.

6.4.1 Problématique de l'Agrégation des valeurs de propriétés

Dans la modélisation des connaissances, il peut s'avérer difficile de connaître de façon exhaustive les concepts généraux sans avoir au préalable une description relativement détaillée des individus. En effet, au moment du développement de la classification, il est généralement impossible de connaître a priori toutes les valeurs d'une propriété pour un concept abstrait. De plus, en raison des progrès techniques, il est raisonnable de prévoir que de nouveaux appareils, avec de nouvelles caractéristiques, apparaîtront dans l'avenir.

En d'autres termes, les valeurs d'un concept abstrait sont difficiles à acquérir intégralement au moment de la création de la base de connaissances, et celles-ci peuvent changer avec toute nouvelle acquisition, devenant de plus en plus nombreuses et variées. Par exemple, le concept *Transformateurs* englobe une propriété appelée *Puissance nominale*, qui est léguée à tous ses concepts-enfants jusqu'au niveau des individus. Donc les transformateurs réels donnent des valeurs concrètes à la propriété *Puissance*

nominale. Au niveau du concept *Transformateurs* (et à tout niveau intermédiaire), si on veut donner des valeurs à la propriété *Puissance nominale*, la valeur affectée à cette propriété sera la réunion exclusive de toutes les valeurs de cette propriété existant dans les individus correspondants. La gestion manuelle de cet ensemble de valeurs serait laborieuse et peu pratique, car cela impliquerait de réviser les valeurs contenues dans la liste à chaque fois qu'un nouvel individu serait ajouté.

Dans l'optique de minimiser les opérations de maintenance, les approches classiques en modélisation des connaissances offrent les possibilités suivantes:

- Ne pas donner des valeurs aux propriétés dans les niveaux abstraits. Dans ce cas, on perd certaines informations potentiellement très intéressantes dans les niveaux conceptuels;
- Poser des valeurs initiales pour les propriétés des niveaux abstraits, mais en assumant le risque de ne pas couvrir complètement toute leur variété.

Les options ci-dessus n'étant pas satisfaisantes, nous avons proposé une approche novatrice qui permet de gérer automatiquement les valeurs des propriétés des concepts abstraits qui sont considérées comme les plus importantes.

Cette automatisation fonctionne tout simplement en actualisant l'ensemble des valeurs des propriétés des concepts-parents dans une hiérarchie donnée à chaque fois qu'un nouvel individu est créé au niveau le plus bas. Par conséquent, cela implique autant d'opérations d'union exclusive qu'il existe de niveaux hiérarchiques possédant ladite propriété.

Ce type d'opération dynamique a été réalisé via un nouveau type de relation, appelé *Agrégation des valeurs de propriétés*.

Soulignons que les propriétés jugées les plus appropriées pour acquérir ce mécanisme de gestion sont, pour le moment, les sous-concepts d'*Utilisation*. Dans notre modélisation, les valeurs de ces propriétés ne sont pas définies directement à l'intérieur du concept-propriété, mais sont plutôt indiquées par référence à des concepts indépendants représentant les valeurs possibles.

De point de vue pratique, pour réaliser l'*Agrégation des valeurs de propriétés*, une nouvelle routine a été développée en MDI. Elle s'appelle **->Extension*. Elle actualise les valeurs dans la hiérarchie de la base de connaissances en partant du bas et en allant vers le haut (contrairement à l'*héritage*).

L'utilisation de cette nouvelle fonctionnalité implique une approche de définition spéciale pour certaines propriétés, car celles-ci doivent englober le code qui réalise cette synchronisation.

En bout de ligne, cette base de connaissances comportera deux types de propriétés qu'on pourra aisément différencier sachant que:

- la plupart des propriétés prendront des valeurs uniquement au niveau des individus, et ces valeurs resteront à ce niveau.
- certaines propriétés jouissent de l'*Agrégation des valeurs de propriétés*, réalisée en propageant leurs valeurs des individus vers les concepts abstraits. Seules les propriétés les plus pertinentes (par exemple, pour le choix d'équipement) possèdent ce nouveau type de relation.

Par exemple, le concept *Propriétés appareil* n'acquiert pas l'*Agrégation des valeurs de propriétés*. Nous considérons que cela n'est pas justifié pour toutes les propriétés électriques de l'appareil, mais seulement pour les propriétés utiles en ce qui a trait au choix d'équipement (dans l'éventualité d'évaluer une architecture de réseau par exemple).

6.4.2 Réalisation de l'*Agrégation des valeurs de propriétés*

D'un point de vue pratique, la réalisation de l'*Agrégation des valeurs de propriétés* a nécessité la programmation d'une nouvelle routine appelée **->Extension*.

Elle a été introduite en MDI par les développeurs de ce logiciel pour répondre aux exigences de la base de connaissances d'appareillage.

Cette nouvelle routine est introduite dans les propriétés visées pour faire l'acquisition ascendante des valeurs.

Les propriétés qui englobent cette nouvelle routine sont pour le moment certains sous-concepts d'*Utilisation*. Néanmoins, *l'Agrégation des valeurs de propriétés*, une fois introduite en MDI, peut être utilisée pour n'importe quelle propriété, si cela est jugé pertinent.

La figure 6.1 traite de **->A_Rating_Puissance* qui est une propriété jouissant de *l'Agrégation des valeurs de propriétés*.

Il est observable que **->A_Rating_Puissance*, qui est un sous-concept d'*Utilisation*, a comme inclusion **->Extension*.

La figure 6.2 traite d'un résultat de *l'Agrégation des valeurs de propriétés*.

À titre d'exemple, deux individus du concept abstrait *Transformateurs* ont été munis de valeurs. Ces deux individus sont *Transfo_1* et *Transfo_2*. Ils donnent les valeurs suivantes au concept-propriété **->A_Rating_Puissance* : *25kVA* et *50kVA*.

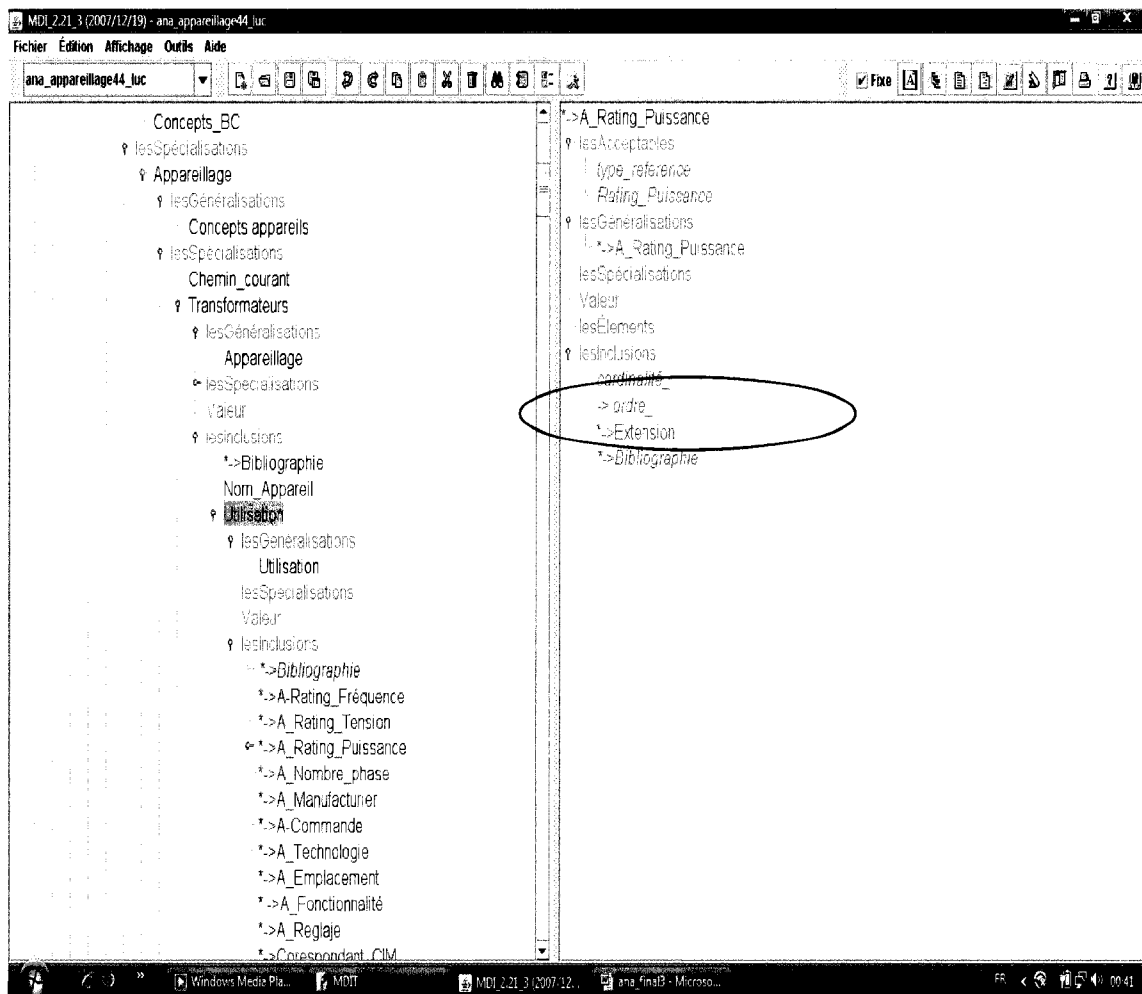


Figure 6.1 Aperçu MDI de l'Agrégation des valeurs de propriétés

L'Agrégation des valeurs de propriétés donne la possibilité de retrouver ces valeurs à un niveau plus conceptuel, comme celui de *Transformateurs* (et à tout autre niveau intermédiaire). Il suffit de se placer dans l'inclusion **->Extension* de propriété visée, **->A_Rating_Puissance*, et on y retrouve l'union exclusive de toutes les valeurs de la propriété spécifiée en bas de la hiérarchie.

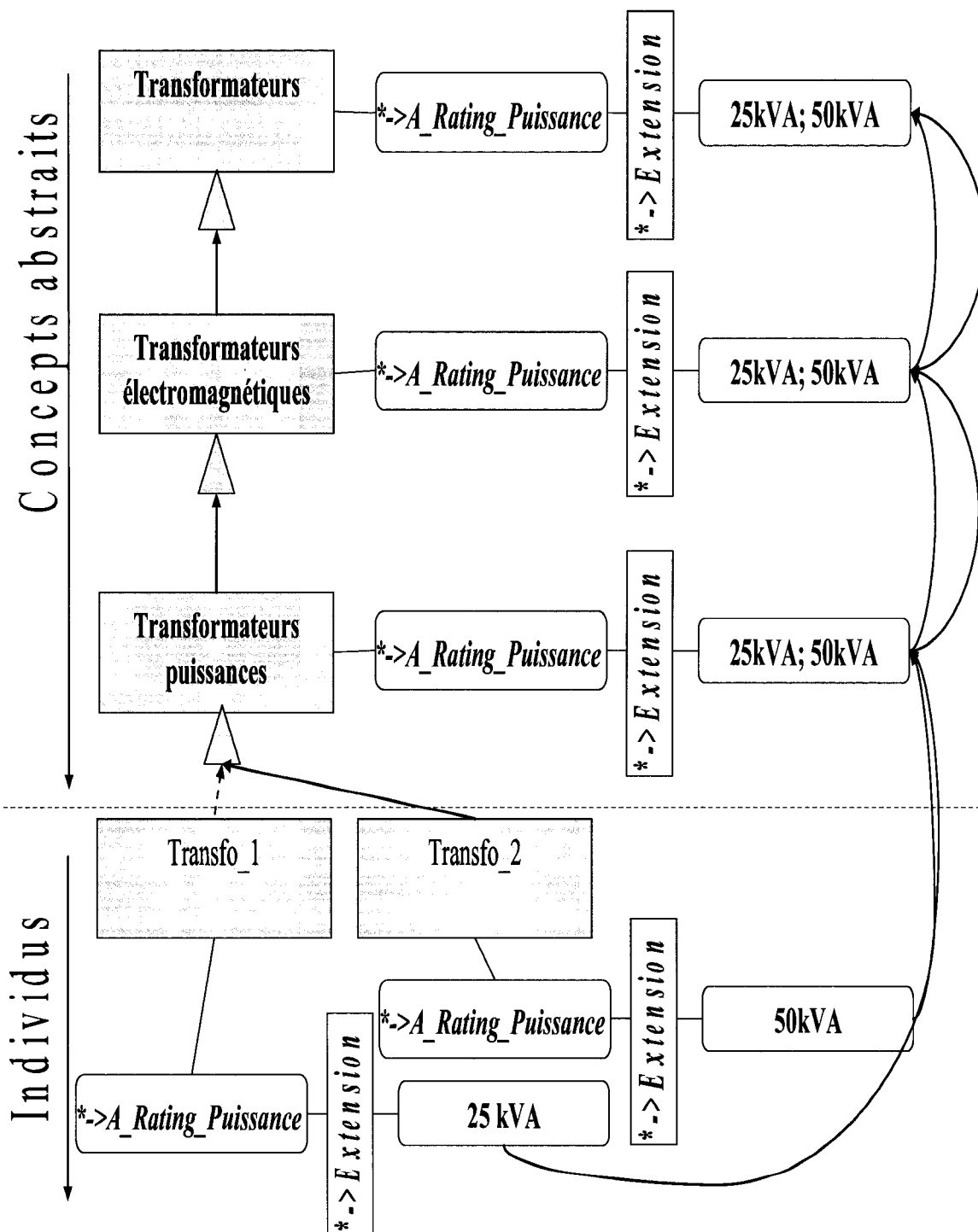


Figure 6.2 Exemple d'Agrégation des valeurs de propriétés

6.5 Méthode de récupération des données

Cette section introduit très brièvement une méthode de récupération des données. Précisons que celle-ci n'a pas été une priorité pour cette recherche, mais sa réalisation nous assure que la base de connaissances est fonctionnelle, qu'elle répond à son but de constituer un réservoir de données facilement utilisable.

6.5.1 Traduction des noms des propriétés

En considérant les finalités spécifiques de cette base de connaissances, les appareillages de réseau ont été modélisés d'une manière originale. Néanmoins, un des soucis importants pour la structuration de la base de connaissances a été l'intégration et l'interopérabilité avec les modèles déjà existants dans le domaine du réseau, notamment le modèle d'information commun CIM. Pour y arriver, nous avons prévu faciliter la réalisation d'une interface ultérieure avec le modèle d'information commun CIM.

Initialement, nous avons envisagé d'intégrer, dans chaque famille d'appareil, le modèle CIM correspondant. Cependant, cette option semblait trop lourde et inappropriée pour la première itération de la base de connaissances, surtout que les modèles d'appareils du modèle d'information commun CIM ne couvrent pas vraiment tous les appareils, par exemple, ceux à technologies émergentes.

Nous avons donc considéré que le moyen le plus approprié de s'adapter au modèle d'information commun CIM, au moins au départ, serait de faciliter la traduction des noms des concepts-propriétés, entre la base de connaissances et le modèle d'information commun CIM.

À cette fin, le premier pas a été de créer un endroit dans notre modèle pour le thésaurus du modèle d'information commun CIM. Celui-ci est le sous-concept *CIM* (*en italique*) de *Concepts extérieurs*. Comme déjà expliqué, *CIM* est une sorte de thésaurus de noms

des propriétés du modèle d'information commun CIM. Nous avons opté pour cette manière un peu contraignante afin d'assurer la cohérence dans la base de connaissances. Ainsi, les redondances et même les erreurs sont éliminées sinon faciles à contrôler.

Ensuite, nous avons utilisé le prototypage, cette fois pour l'organisation des propriétés elles-mêmes. Dans la structure des propriétés, un concept appelé **->Correspondant_CIM* a été introduit. Il sert à stocker l'appellation du modèle d'information commun CIM, concordant avec la propriété en question.

Le **->Correspondant_CIM* peut accepter comme valeur uniquement un seul sous-concept du CIM. Ainsi, nous réaliserons la correspondance entre l'appellation d'un certain concept-propriété dans la base de connaissances et dans le modèle d'information commun CIM. À la limite, on pourrait dire qu'on accomplit une sorte de « dictionnaire ». Par exemple, dans le modèle d'information commun CIM pour les transformateurs, la propriété similaire à *Puissance nominale* (ainsi nommée dans la base de connaissances) s'appelle *ratedMVA*. Pour faciliter la traduction entre les deux noms (*Puissance nominale* synonyme à *ratedMVA*), la propriété **->Correspondant_CIM* de *Puissance nominale* sera, *ratedMVA*. Notons que le concept *ratedMVA* est préalablement introduit comme sous-concept du concept extérieur CIM.

6.5.2 Recherche de la valeur d'une propriété dans MDI

Une fois le « dictionnaire » réalisé, nous avons dépassé les objectifs initiaux de cette recherche et nous avons demandé au développeur de MDI de programmer une routine afin de s'en servir (donc de retrouver les appareils qui ont une certaine propriété CIM, et ensuite de retrouver la valeur de la dite propriété).

Parmi les différentes techniques de recherche d'informations dans des bases de connaissances par un utilisateur, la plus populaire est celle de la recherche guidée. Le développeur de MDI a réalisé justement une telle recherche guidée pour trouver des informations. Cette méthode spécifique construit un dialogue avec l'utilisateur qui doit

préciser sa demande. MDI cherche ensuite à répondre le mieux possible à l'attente de l'utilisateur.

Pour la recherche guidée, il a fallu introduire, en MDI, une sous-routine, qui s'appelle *Recherche CIM*. Elle sert à retrouver les valeurs d'une propriété, synonyme d'une appellation du modèle CIM, pour un certain appareil de la base de connaissances.

Recherche CIM est caractérisée par trois choix. Chacun de ces choix a une mission bien précise :

- ->*Propriété CIM* sert à choisir le nom de la propriété du modèle d'information commun CIM;
- ->*Appareillage* sert à choisir l'appareil visé;
- ->*Propriété* sert à retrouver la correspondance du nom avec la base de connaissances et aussi sa valeur cherchée.

Une fois la demande précisée, donc une fois qu'on choisit la propriété CIM et l'appareil, ->*Propriété* affichera la valeur de cette propriété.

La réalisation de cette sous-routine doit être encore raffinée pour arriver à une recherche plus facile. Ceci sera fait dans le futur à mesure que le couplage avec les logiciels de calcul sera développé.

Chapitre 7 : Validation de la base de connaissances

Un aspect important après la conception de la structure de la base de connaissances est la validation, en autres mots le processus par lequel nous introduisons un certain nombre des données-connaissances dans la base de connaissances afin de vérifier la consistance de celle-ci.

7.1 Concepts du plus haut niveau implantés dans la base de connaissances

Nous avons commencé l'implantation dans la base de connaissances par les concepts de niveau très haut, qui sont les concepts sources des taxonomies, par exemple *Appareillage*, *Concepts extérieurs*, *Attributs* ou *Références bibliographiques*. Ensuite, nous avons implanté dans chacune des taxonomies certains concepts nécessaires pour faire la preuve de concept pour la base de connaissances. En ce qui concerne l'appareillage nous avons implanté les 12 concepts qui définissent les familles d'appareil et nous avons développé une seule branche de la taxonomie d'appareillage, la famille des transformateurs. Parallèlement avec le développement de la branche des transformateurs de la taxonomie d'appareils, nous avons également développé les autres taxonomies de la base de connaissances, en implantant des concepts utiles pour la compréhension des transformateurs. Par exemple :

- concepts d'architecture de réseau comme *Fonctionnalité*, *Technologie*, *Emplacement*, etc.;
- concepts exprimant des caractéristiques techniques de l'appareil, comme; *Puissance nominale*, *Tension nominale à vide*, *Classe d'insolation*, *Tension de tenue aux chocs de foudre*, etc.;

- concepts étant des parties composants d'un transformateur, comme : *Noyau, Enroulements, Changeurs des prises, etc.*;
- concepts exprimant des contraintes d'exploitation dans le réseau, comme : *Couplage Énergie transitoire, Réchauffement cuve, etc.*;
- concepts exprimant des aspects économiques, comme : *Prix et coûts*,
- Concepts qui constituent la documentation, comme : *Références bibliographiques*.
- Concepts liés à l'interchangeabilité des données avec d'autres logiciels, par exemple le concept *CIM*.

Observons qu'au fur et à mesure que ces concepts ont été présentés dans le mémoire, nous avons donné les exemples pour ceux-ci.

7.2 Prototypes implantés dans la base de connaissances

Car nous avons proposé une approche de modélisation de type prototype, l'implantation des connaissances a été faite sur le support offert par les prototypes.

Nous avons implanté dans la branche *Appareillage* le *prototype primordial* aussi bien que les concepts les plus généraux d'appareillages, en d'autres mots les familles d'appareils pouvant fonctionner dans un réseau électrique.

Dans ce qui suit, nous expliquons les prototypes implantés dans la branche de transformateurs. Graphiquement, la figure 8.1 représente l'exemple du concept *Transformateurs* avec ses sous-concepts appareils.

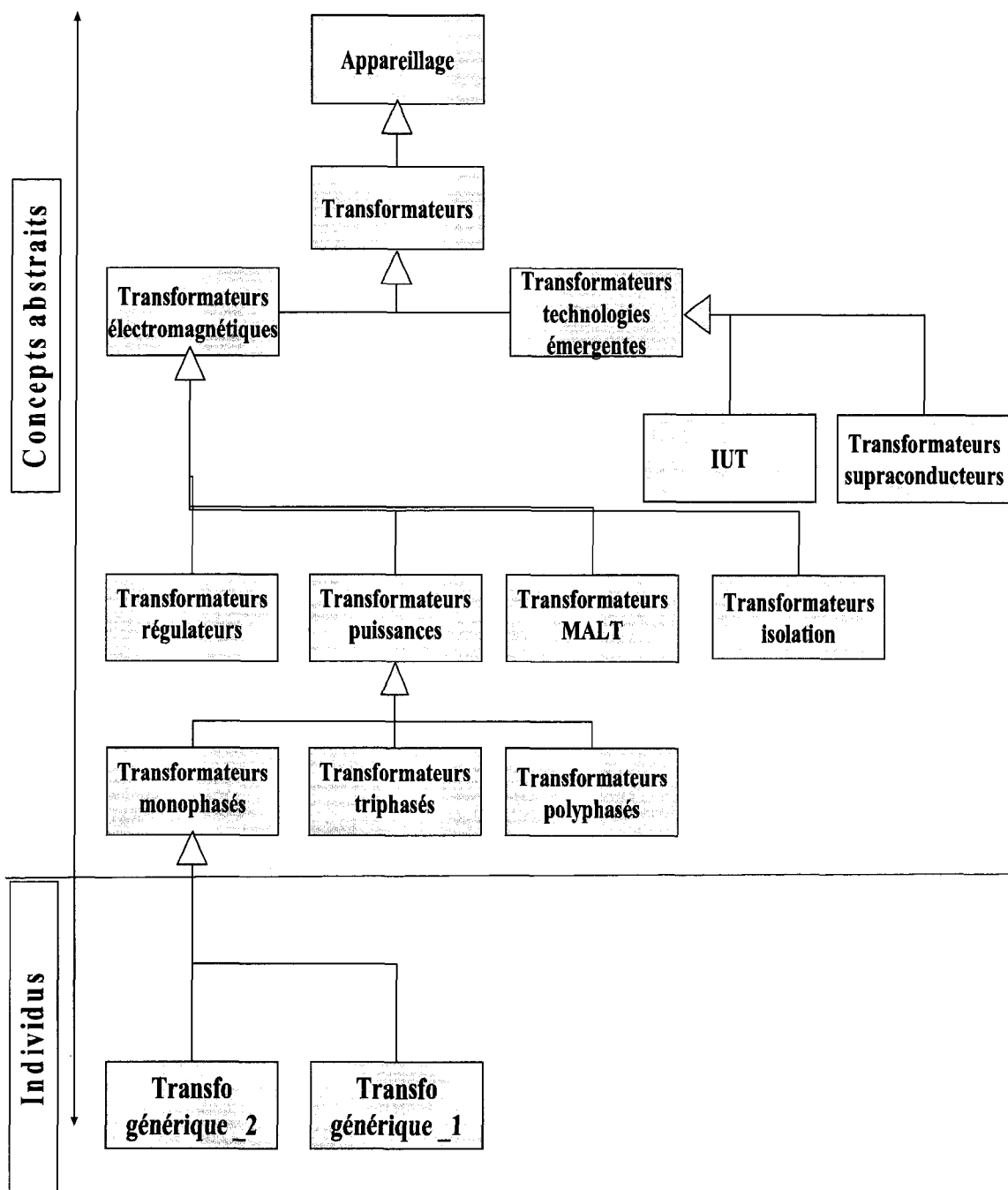


Figure 7.1 Exemple de classification du concept *Transformateurs*

Le concept *Transformateurs puissance* représente le *prototype de famille d'appareil* pour la branche *Transformateurs*. Comme tous les *prototypes de famille d'appareil*, du point de vue taxonomique, le concept *Transformateurs puissance* se retrouve dans une position intermédiaire dans la hiérarchie. Le concept *Transformateurs puissance* a comme abstraction un concept plus théorique comme *Transformateurs électromagnétiques* qui, à son tour, a comme abstraction le concept *Transformateurs*, soit le concept le plus général de cette famille d'appareils. Ainsi, à partir d'un niveau de conceptualisation plus élevé qu'un prototype donné, de nouvelles branches de la taxonomie peuvent se développer de façon relativement indépendante de ce prototype. Donc, *Transformateurs*, en plus de *Transformateurs électromagnétiques*, a d'autres sous-concepts comme *Transformateurs technologies émergentes* et ainsi de suite.

Si l'on revient à la construction de la taxonomie, en plus de définir les abstractions du prototype *Transformateurs puissance*, nous lui définissons une sous-classification, des concepts-enfants. Ceux-ci appartiennent à la même famille et, parmi eux, nous retrouvons *Transformateurs puissance monophasés*, *Transformateurs puissance triphasés* et *Transformateurs puissance polyphasés*. Ensuite, leurs sous-concepts sont définis en structurant une arborescence jusqu'au dernier niveau.

Cependant, le concept *Transformateurs puissance*, (le *prototype de la famille* des transformateurs), est d'un autre point de vue un appareil. Il hérite donc la structure générale des propriétés du *prototype primordial*, mais il enrichit cette structure en introduisant des propriétés spécifiques pour sa famille. Ces propriétés introduites au niveau *Transformateurs puissance* seront léguées à tous ses concepts-enfants.

Au dernier niveau de la base de connaissances nous avons implanté des *transformateurs génériques*, donc des transformateurs fictifs, d'ailleurs représentatifs pour des transformateurs réels. Ces *transformateurs génériques* peuvent être utilisés pour faciliter l'acquisition des appareils réels qui ont des propriétés et des valeurs presque similaires. Il est connu qu'il existe beaucoup des appareils qui ont des caractéristiques très semblables avec des différences minimales, par exemple le manufacturier. Ainsi, chaque

transformateur générique peut fonctionner comme un prototype qui sera utilisé ensuite par le mécanisme du clonage.

7.3 Enrichissement de la base de connaissances

La structure de la base de connaissances est flexible, car elle permet d'ajouter des nouveaux concepts sans difficulté. Le souci de placer le concept dans la taxonomie appropriée revient à l'acquisiteur de connaissances. La raison qui simplifie l'ajout de nouveaux concepts est l'utilisation des prototypes. Par exemple, les appareils, qui se retrouvent, sans exception, dans la taxonomie *Appareillage*, se réapproprient le *prototype primordial*. Ce prototype leur donne une première structure qui est prédéfinie et uniforme pour n'importe quel appareil. Une fois l'appareil placé dans une famille d'appareil, il bénéficie en plus du *prototype de famille d'appareil*. Les associations prédéfinies par les prototypes, lient l'appareil avec les autres taxonomies de la base de connaissances et facilitent beaucoup le travail.

Les associations de l'appareil avec les autres types de concepts sont facilitées et les redondances sont éliminées, car tout concept préalablement introduit peut être réutilisé. Par exemple, des propriétés comme *Tension nominale* ou *Fréquence nominale* se retrouveront probablement dans tous les appareils, par contre elles seront introduites une seule fois et ensuite réutilisées.

La modélisation que nous proposons est capable d'accommoder sans modification importante des appareils à technologies émergentes. Par exemple, un limiteur supraconducteur, se placera dans la branche *Appareils limitation courant* conformément à sa fonction principale dans le réseau. Il héritera la structure du *prototype primordial*, comme tout autre appareil. Il héritera aussi la structure du prototype de sa famille d'appareil. Grâce à ces structures préliminaires, beaucoup d'informations sont déjà en place. En plus de ces connaissances communes pour tous les limiteurs, il aura la possibilité d'avoir des fonctions adjacentes qui ne sont spécifiques pour les limiteurs

classiques. Même pour ce qui est de très spécifique pour une technologie émergente il existe une certaine probabilité de retrouver des informations déjà introduites dans la base de connaissances et de les réutiliser. Ainsi, le limiteur supraconducteur bénéficiera, par exemple, des toutes les connaissances sur la supraconductivité qui sont déjà implantées dans la base de connaissances.

En ce qui concerne les appareils ordinaires, qui sont très nombreuses mais ils ont éventuellement des caractéristiques ressemblantes il existe la possibilité de réutiliser par clonage les *prototypes génériques*.

7.4 Consultation de la base de connaissances

MDI est conçu pour naviguer avec une certaine facilité parmi les concepts déjà introduits. MDI met à la disposition de ses utilisateurs une interface qui permet d'effectuer des opérations qui sont requises pour le développement d'une base de connaissances, parmi lesquelles on retrouve la création de concepts, le changement de type, le retrait, la suppression, etc. Cette interface a une approche de manipulation directe. Cela facilite aussi la consultation des connaissances.

L'interface, est composée de deux volets :

- Le volet gauche déploie l'arbre qui permet de repérer les concepts à partir d'une racine. L'arbre ne présente pas réellement la structure de connaissances, car il serait impossible de représenter toutes les relations dans une image bidimensionnelle. L'arbre fonctionne de façon dynamique. Chacun de ses nœuds représente un concept. L'utilisateur du MDI peut déterminer la relation qu'il veut approfondir à partir de ces concepts.
- Le volet de droite montre le concept sélectionné dans l'arbre de gauche sous la forme d'une arborescence, ayant ce concept pour racine. Il est utilisé pour approfondir l'exploration de ce concept. On peut l'observer ou le modifier. Le

volet de droite peut également prendre la forme d'un éditeur de valeur ou d'un visualisateur HTML.

Toutefois, pour consulter la base de connaissances d'appareillage d'une manière efficace, il est nécessaire d'avoir des instructions, donc de savoir en grandes lignes quels sont les types d'informations, dans quelle taxonomie se retrouvent les appareils ou les concepts de réseau, etc.

Pour retrouver un concept dans la base de connaissances, il est possible de faire des recherches à partir d'un mot. MDI, retrouvera un concept qui est effectivement nommé comme ce mot. S'il existe des différences mineures, MDI ne donne pas des suggestions, et la recherche est infructueuse. Ceci peut éventuellement être amélioré, mais pour cette étape nous suggérons d'utiliser un guide de consultation basé sur la conceptualisation du modèle d'appareil et sur la vue d'ensemble de la base de connaissances.

En prenant en considération que la consultation de la base de connaissances sera faite par des utilisateurs informés sur le modèle d'appareil, la structure de la base de connaissances facilite elle-même la consultation, car elle :

- est basée sur un modèle uniforme d'appareil;
- englobe seulement quatre taxonomies principales, qui organisent d'une manière claire diverse types des connaissances;
- élimine les redondances entre les concepts et entre les documents bibliographiques;
- fait une distinction entre les connaissances techniques et les connaissances bibliographiques, en les relie. Dans le même temps les concepts-bibliographies peuvent être consultés soit dans le concept technique soit dans la taxonomie de *Références bibliographiques*;
- donne la possibilité de retrouver avec facilité les appareils qui sont associés à des divers autres concepts. Par exemple, il est facile de retrouver tous les appareils en technologie SF6.

En considérant les aspects mentionnés dans ce chapitre, nous considérons que la preuve de concept pour la base de connaissances est faite. Sans doute que le travail déjà fait est

perfectible, par contre il constitue le point de départ, une première itération, qui doit être suivie par d'autres pour arriver à un résultat vraiment utilisable.

CONCLUSION

La contribution de cette recherche, dans le cadre d'un projet stratégique et pluridisciplinaire ayant comme partenaires l'IREQ (Institut de recherche d'Hydro-Québec) et l'École Polytechnique de Montréal, est d'avoir conçu et implanté la structure d'une base de connaissances pour modéliser les équipements électriques du réseau.

Notre recherche a permis de jeter les bases d'une méthode originale de représentation des connaissances relatives aux appareillages de réseaux électriques. Cette base de connaissances rend possible la centralisation des informations, souvent difficiles à retrouver, aux fins d'apprentissage ou pour les utiliser comme données d'entrée pour d'autres logiciels d'analyse des systèmes électriques.

La création de la base de connaissances est un travail conceptuel à la frontière de trois disciplines : le génie électrique, l'ingénierie de connaissances et l'informatique.

Le modèle d'appareillage développé, concrétisé par la structure de haut niveau de la base de connaissances, permet de constituer une classification dynamique des appareils autant génériques que spécifiques, de les caractériser et de les mettre en relation avec leurs fonctions dans le réseau. L'accent a été mis sur la synergie entre l'appareillage et le réseau électrique.

Nous avons développé une approche innovatrice, de type « prototype » pour la structure de la base de connaissances qui la rend évolutive et réutilisable. En outre, la manière dont est conçue cette structure facilite les inférences dans la base de connaissances. Les concepts techniques englobés dans base de connaissances sont étroitement liés à une structure bibliographique présentant l'ensemble des références considérées utiles.

L'implantation de cette base de connaissances a été faite dans un outil propriétaire de l'IREQ, appelé MDI. Nous avons contribué au perfectionnement de cet outil, utilisé par Hydro-Québec pour la modélisation des connaissances, par la spécification d'une nouvelle routine.

Parmi les nouveautés introduites par cette modélisation, mentionnons une façon de relier les concepts dans une base de connaissances : *l'Agrégation des valeurs de propriétés*.

Ce travail reste un premier essai, sans doute perfectible, à la réalisation d'une base de connaissances avec des finalités particulières du projet ARCH.

Néanmoins, ce travail ouvre la porte à beaucoup d'autres avenues qui permettront à plus long terme, de constituer un patrimoine de connaissances dédié à la préservation et la restitution de l'expertise du domaine. Ce patrimoine pourra servir à l'intégration des données dispersées provenant d'autres sources. Ces données, une fois centralisées dans la base de connaissances, seront faciles à retrouver et à utiliser par d'autres logiciels de réseau.

La base de connaissances sera possiblement utilisée pour des études complexes ayant des exigences particulières. À ce sujet, nous considérons qu'elle est capable d'accommoder les évolutions ultérieures.

Une direction de perfectionnement, autant pour la modélisation proprement dite que pour MDI, serait de reconsidérer *l'Agrégation des valeurs de propriétés* et de trouver une manière plus facile de l'utiliser.

La modélisation proposée ne considère pas, pour le moment, les phénomènes dynamiques du réseau. Néanmoins, la structure de la base de connaissances peut être, facilement ajustée. Le progrès technique pourra être représenté par des hypothèses sur les dates d'entrée en marché, les taux de progrès des performances des appareils ou les performances reliées à la capacité installée. Des nouvelles propriétés, liées aux phénomènes d'évolution dans le temps, pourraient être englobées éventuellement dans le modèle. Ces changements ne requièrent pas la modification du noyau de la structure de la base de connaissances.

Cette base de connaissances pourrait contribuer si complétée, dans un système d'intelligence artificielle capable de comprendre le sens de l'appareillage électrique et de justifier l'implantation des nouveaux appareils, à englober des technologies émergentes.

RÉFÉRENCES

- [1] International Energy Agency, "*Présentations sur le futur des réseaux de distribution*" 2004,
<http://www.iea.org>.
- [2] G. Simard, "*Plan d'évolution de l'automatisation du réseau de distribution – Horizon 2005-2020*", Hydro-Québec Distribution, VP-Réseau, Rapport 30012-05-044, 2005.
- [3] G.C. Schoonenberg et A.R.A. Pikkert et F.V. Overbeeke, "*Future Concepts for Medium Voltage Distribution Networks: a new philosophy*", CIRED - International Conference on Electricity Distribution, 1999.
- [4] A. Meier von, *Electric power systems : a conceptual introduction*, IEEE Press, Wiley-Interscience, 2006.
- [5] J. Dallaire, "*Plan de déploiement des automatismes sur le réseau de distribution - norme A.21.1*", Hydro-Québec Distribution, 2006.
- [6] R. Naggar et M. Huneault et M. Germain et C. Girard et M. Toupin, "*Architectures de réseaux moyenne tension*", Rapport Institut de Recherche d'Hydro-Québec, 2006.
- [7] L. Edvinsson et M. Malone, *Le Capital immatériel de l'entreprise*, Maxima, (Paris), 1999.
- [8] M. Grudstein, "*De la capitalisation des connaissances au renforcement des compétences dans l'entreprise étendue*", 2004,
<http://perso.orange.fr/michel.grundstein/News/GCCGINantes0212v2.PDF>.
- [9] W. H. Kersting, *Distribution system modeling and analysis*, Boca Raton, (Florida) 2007.

- [10] M. Volle, *"A propos de la modélisation"*, 2004,
<http://www.volle.com/travaux/modelisation2.htm>.
- [11] M. Huneault, *"État de l'art sur les techniques et les outils de planification des réseaux de distribution"*, Rapport Institut de Recherche d'Hydro-Québec, 2003.
- [12] M. Fowler et K. Scott, *Le tout en poche: UML*, Pearson Éducation, (France), 2001.
- [13] J. Martin et J.J. Odell, *Object-Oriented Methods: A Foundation (UML Edition)*, Prentice Hall, 1998.
- [14] P. Roques et F. Vallée, *UML en action*, Eyrolles, 2003,
<http://www.volle.com/travaux/cdc.htm>.
- [15] J. Rumbaugh et I. Jacobson et G. Booch, *The Unified Modeling Language Reference Manual*, Addison-Wesley, 1999.
- [16] D. Becker, *"Common Information Model (CIM): CIM 10 Version"*, Final Report 2001.
- [17] P. Duignan, *"Outcomes theory knowledge base"*, 2005,
<http://www.parkerduignan.com/ot/>.
- [18] *Définition de la base de connaissances*,
<http://dict.die.net/knowledge%20base/>
<http://www.definethat.com/define/966.htm>
www.agtivity.com/def/knowledge_base.htm
- [19] L. Dekker, *"FROME : Représentation multiple et classification d'objets avec points de vue"*, Ph.D, Université des sciences et technologies de Lille, (France), 1994,
<http://www.lifl.fr/~carre/thdekker/th1.ps.Z>.

- [20] P. F. Patel-Schneider et I. Horrocks et F. vanHarmelen, "*Proposed OWL Knowledge Base Language*", 2002,
<http://www.cs.vu.nl/~frankh/spool/OWL-first-proposal/frame.html>.
- [21] L. Razmerita et A. Angehrn et A. Maedche, "*Ontology-based User Modeling for Knowledge Management Systems*", 2004,
[www.calt.insead.edu/.../documents/2003-UM-Ontology based user modeling for Knowledge Management Systems.pdf](http://www.calt.insead.edu/.../documents/2003-UM-Ontology%20based%20user%20modeling%20for%20Knowledge%20Management%20Systems.pdf).
- [22] *Introduction à la nature des ontologies informatiques, leur cycle de vie et les méthodes associées*, Cours INRIA, 2005,
ftp://ftp-sop.inria.fr/acacia/cours/essi2005/Cours_02_Partie_A.pdf.
- [23] J- L. Ermine, "*Capter et créer le capital savoir, Réalités Industrielles*", Série Annales des Mines, pp 82-86, 1998.
- [24] T. Davenport, "*Knowledge Management and others articles*", 2006,
<http://www.tomdavenport.com/>.
- [25] A. deVos et C.T. Rowbotham, "*Knowledge Representation for Power System Modelling*", Langdale Consultants – PICA, 2001,
<http://www.langdale.com.au/PICA/KRforPSM.pdf>
- [26] J- L. Ermine, "*La gestion des connaissances, un levier de l'intelligence économique*", Revue d'Intelligence Economique, n° 4, 1999.
- [27] J- L. Ermine, *Les systèmes de connaissances* Éditions Hermès, 2 ieme édition, 2000.

- [28] H. Lieberman, *Using prototypical objects to implement shared behavior in object-oriented systems*, ACM Press, (New York), 1986.
- [29] A. H. Borning, *Classes versus prototypes in object-oriented languages*, IEEE Computer Society Press, (Los Alamitos), 1986.
- [30] *Modélisation cognitive et résolution de problèmes*, Cours INSA, (Lyon), 2005,
<http://www.if.insa-lyon.fr/chercheurs/gcaplat/resume.html>.
- [31] D. Bardou, *"Inheritance Hierarchy Automatic (Re)organization and Prototype-Based Languages"*, 2004,
<ftp://ftp.inrialpes.fr/pub/romans/publications/bardou00a.ps.gz>.
- [32] W.T. Jones, *A History of Western philosophy: The Classical Mind*, Harcourt Brace Jovanovich, (San Diego), 1970.
- [33] J. Petteri Pesonen, *"Psychological Criticism of The Prototype-Based Object-Oriented Languages"*, University of Helsinki ;Faculty of Arts;Departement of Cognitive Science; Bachelor of Arts Thesis, 2001,
<http://www.helsinki.fi/~jppesone/papers/kandi.html>.
- [34] A. Taivalsaari, *"Classes Versus Prototypes: Some Philosophical and Historical Observations"* ResearchIndex, The NECI Scientific Literature Digital Library, 1996,
<http://citeseer.nj.nec.com/taivalsaari96classes.html>
- [35] G. Rossum van, *"Python Tutorial"*, 2006,
<http://docs.python.org/tut/>.
- [36] L. Médini, *"Conception et réalisation d'un livre de connaissances électronique sous forme de document hypermédia"*, Rapport de projet de DEA, Orsay, et INSTN, 1997.

- [37] J. R. Fisher, "*Prolog Tutorial*", 2006,
http://www.csupomona.edu/~jrfisher/www/prolog_tutorial/pt_framer.html.
- [38] D. Brickley et R.V. Guha, "*RDF Vocabulary Description Language 1.0: RDF Schema*", W3C Recommendation, 2004,
<http://www.w3.org/TR/2004/REC-rdf-schema-20040210/>.
- [39] O. Lassili et R. Swick, "*Resource Description Framework (RDF) Model and Syntax Specification*", W3C Recommendation, 1999,
<http://www.w3.org/TR/1999/REC-rdf-syntax-19990222/>.
- [40] G. Schreiber, "*A UML Presentation Syntax for OWL Lite*", 2002,
<http://hcs.science.uva.nl/usr/Schreiber/docs/owl-uml/owl-uml.html>.
- [41] S. Bechhofer et I. Horrocks et P. F. Patel-Schneider, "*Tutorial on OWL*",
<http://www.cs.man.ac.uk/~horrocks/ISWC2003/Tutorial/>.
- [42] *What is PROTEGE-OWL?*, Stanford University, 2003,
<http://protege.stanford.edu/>.
- [43] L. Vouligny, "*MDI – Modélisation dynamique des connaissances conception, développement et implantation*", Rapport Institut de Recherche d'Hydro-Québec, 2003.
- [44] L. Vouligny et R. Naggar et C. Langheit et R. St-Arnaud, "*A Dynamic Development System for Knowledge Applications in Engineering*" Rapport Institut de Recherche d'Hydro-Québec, 2004.
- [45] J-F. Balaguer, "*Less Is More1: The Power Of Simplicity*", 2002,
<http://jerry.c-lab.de/vrml99/vrml99papers/balaguer.pdf>

- [46] T. Gönen, *Electric Power Distribution System Engineering*, McGraw-Hill, (San Francisco), 1986.
- [47] H. L. Willis, *Power distribution planning reference book*, Marcel Dekker, (New York), 2004.
- [48] T. Short, *Electric Power Distribution Handbook*, Boca Raton, (Florida), 2004.
- [49] P. Lagonotte, *Les installations électriques*, Hermes Science, (Paris), 2000.
- [50] T. Wildi, *Electrotechnique*, Presses de l'Université Laval, (Québec) 2000.
- [51] A. J. Pansini, *Electrical distribution engineering.* , Boca Raton, (Florida), 2007.
- [52] A. Taivalsaari, *On the notion of inheritance* ACM Press, (New York), 1996.

ANNEXES

Annexe 1 : Article accepté et présenté à la 21eme Conférence Canadienne de Génie
Électrique et Électronique, Niagara Falls, May 2008

Annexe 2 : Détails sur MDI

Annexe 1

**Article accepté et présenté à la 21^{ème} Conférence Canadienne de Génie
Électrique et Électronique
Niagara Falls
May 2008**

MODÉLISATION DES APPAREILLAGES ÉLECTRIQUES DANS UNE BASE DE CONNAISSANCES DYNAMIQUE

Ana Popescu^{1,2}, Raouf Naggar², Frédéric Sirois¹, Mario Germain²

¹ École Polytechnique de Montréal, Montréal (QC), H3C 3A7 Canada

² Institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ), Varennes (QC), J3X 1S1 Canada

RÉSUMÉ

Cet article présente le résultat de travaux réalisés dans le cadre d'un projet stratégique et pluridisciplinaire, ayant comme partenaires Hydro-Québec et l'École Polytechnique de Montréal, et visant à concevoir et développer une base de connaissances pour modéliser les équipements électriques dans le contexte de leur fonctionnement en réseau.

L'originalité du travail réside dans la structure de la base de connaissances, qui développe des taxonomies relativement autonomes mais interreliées. Celles-ci portent sur les connaissances concernant l'appareillage lui-même et sur l'information relative au réseau électrique. Afin de faciliter l'acquisition progressive des connaissances, nous avons introduit une relation spéciale qu'on appelle l'agrégation des valeurs de propriétés. La gestion des références a été réalisée dans un référentiel taxonomique parallèle, ce qui permet l'accès facile et sans redondance à la documentation ainsi qu'un apprentissage interactif. Nous avons ainsi obtenu une structure de base de connaissances

fiable, flexible et informatisée, qui se prête bien aux inférences. L'implantation de la base de connaissances utilise un logiciel propriétaire appelé MDI, qui répondait bien au fait que les connaissances évoluent en proposant un environnement informatique en mesure d'accepter des changements dynamiques tout en gardant une cohérence dans le sens de l'information.

Mots clés — Appareillage électrique, Architecture des réseaux, Base de connaissances, Ingénierie des connaissances, Modélisation, Réseaux de distribution électriques.

1. INTRODUCTION

Partout dans le monde, les réseaux de distribution d'électricité sont appelés à s'adapter à des conditions de plus en plus exigeantes. La complexité des aspects à prendre en compte dans l'analyse de l'évolution du réseau électrique exige des outils à la hauteur de ces impératifs. D'un autre côté, dans cette ère d'information, la nécessité de préserver l'expertise déjà acquise devient primordiale, car la connaissance est le plus important facteur du succès à long terme des individus et des organisations. L'apprentissage facile et efficient s'avère un autre impératif dans un domaine où la complexité des connaissances est un réel défi. Une façon de mitiger ces exigences consiste à faire appel à des systèmes à base de connaissances.

2. BASES DE CONNAISSANCES

2.1. Gestion des connaissances

L'accumulation du savoir dans les grandes entreprises rend vite difficile, voire impossible, la gestion et le classement manuel de tout le patrimoine de connaissances documenté ou non. L'exploitation de ce capital intellectuel devient aujourd'hui un enjeu majeur pour améliorer efficacement leur productivité. La gestion des connaissances est

une discipline qui propose une approche intégrée d'identification, de gestion et de partage de tous les actifs de connaissances d'une organisation. Elle utilise en général la modélisation conceptuelle, qui est définie comme le processus consistant à organiser les informations d'un domaine dans une hiérarchie de concepts afin d'assurer une compréhension meilleure et plus facile de cette sphère d'intérêt. Gérer la complexité des connaissances d'un domaine d'expertise implique la conception et l'utilisation des bases de connaissances.

2.2. Modélisation des connaissances

Pour des systèmes complexes tels que les réseaux électriques, il n'est pas possible de représenter tous les aspects avec des méthodes numériques. La modélisation des connaissances s'avère donc être la solution considérée généralement comme la plus appropriée. Elle est extrêmement importante et critique pour l'analyse des problèmes de performance, d'optimisation et de sûreté de fonctionnement. Une telle modélisation du réseau gère donc la partie complexe du problème. Celle-ci ne requiert pas nécessairement la compréhension détaillée de chaque élément. Le modèle est une représentation virtuelle du système réel, qui est réalisé, dans notre cas, dans le cadre d'une base de connaissances.

2.3. Bases de connaissances

Les bases de connaissances facilitent le partage et la réutilisation des connaissances. Le but d'une base de connaissances est de modéliser et stocker de manière informatique un ensemble de connaissances, idées, concepts ou données et de permettre leur consultation ou utilisation. Une base de connaissances est une ressource informatique qui donne l'opportunité de l'utiliser pour des finalités diverses. Elle peut éventuellement englober une partie de l'expertise du domaine qui peut servir à l'apprentissage plus rapide et plus

ciblé, ou elle peut servir pour avoir de l'information centralisée, toute prête à être utilisée par des logiciels externes.

2.4. Logiciel MDI

Une recherche préliminaire parmi les logiciels permettant l'implantation de bases de connaissances nous a permis d'identifier que le logiciel MDI, un logiciel conçu à l'IREQ, répondait le mieux à nos besoins. En effet, notre préoccupation majeure dans la modélisation était d'avoir la possibilité d'effectuer des changements dynamiques reflétant l'évolution des connaissances tout en gardant une cohérence dans le sens de l'information modélisée.

MDI permet d'implanter une modélisation orientée prototype, car il gère l'*héritage* à partir des individus et il permet la modélisation par classification multiple et dynamique. De plus, MDI est à la fois un outil d'édition des connaissances et un outil de navigation dans la structure de la base de connaissances permettant de visualiser les relations entre les concepts et de présenter dynamiquement les propriétés héritées. Cette approche facilite la maintenance et l'ajout de connaissances deux activités coûteuses à réaliser dans les systèmes à base de connaissances.

3. STRUCTURE DE LA BASE DE CONNAISSANCES D'APPAREILLAGE ÉLECTRIQUE

3.1. Conception du modèle

La plus grande partie de ce travail a consisté à développer une modélisation générique d'appareillage en mesure de faciliter à la fois la conservation des connaissances déjà acquises et l'ajout de connaissances relatives aux technologies émergentes. Notre modèle permet de représenter aussi bien des appareillages réels de réseaux que des

concepts plus abstraits tels que l'utilisation des appareillages dans un réseau (régulation de tension, coupure des courants de court-circuit, etc.). Les éléments clefs de l'approche développée sont:

- La structure de la base de connaissances, qui permet de développer des taxonomies relativement indépendantes concernant les appareillages, les composants, les concepts d'architecture du réseau et la bibliographie.
- La possibilité d'enrichir en tout temps les connaissances, grâce à l'orientation prototype adoptée, sans avoir besoin de changer le noyau de la structure.
- La possibilité de faire une acquisition des connaissances de bas niveau, mais qui peut avoir des échos sur les niveaux plus conceptuels en utilisant un développement original: *l'Agrégation des valeurs de propriétés*.

3.2. Taxonomie adoptée et développement du prototype

L'ensemble des concepts du domaine est organisé dans une taxonomie. Cette structure hiérarchique forme un réseau de concepts qui se transmettent des informations par le mécanisme d'*héritage*. Les branches de ce réseau contiennent d'une part des concepts abstraits, et d'autre part des individus réels de ces concepts. Les informations transmises aux sous-concepts sont les propriétés (et éventuellement les valeurs) du concept parent. Dans la stratégie de réalisation de la taxonomie adoptée dans cette recherche, les appareils sont modélisés à partir de prototypes. Un prototype est la représentation d'une famille d'appareils, i.e. un assemblage structurel de toutes les caractéristiques se rapportant à un concept. La spécification de cet assemblage se fait par des propriétés. Un prototype est un moule à partir duquel on fabrique d'autres concepts. La représentation informatique du prototype est une structure de données arborescente qui peut être interprétée comme le plan d'organisation de la description des sous-concepts et des individus découlant du concept. Un prototype est muni de prérogatives de généralisation sur l'ensemble de ses individus, car il contient l'ensemble des caractères potentiellement utiles à la description des individus et il définit leur structure initiale. Les prototypes sont

différents des classes (spécifiques pour l'orienté objet), parce qu'ils sont dynamiquement classe ou individus en fonction du contexte. Les prototypes d'appareillages ont été développés à partir des appareils les plus connus du domaine et les super-concepts ont été définis par l'abstraction correspondant à la généralisation de ces prototypes comme le montre la figure 1.

L'utilisation de l'approche orientée prototype donne une flexibilité accrue dans la définition des concepts et la possibilité de supporter les appareils du futur. À partir du prototype, chaque partie de la classification a été développée. L'activité de modélisation devient ensuite itérative: elle se fait niveau par niveau, chaque concept étant décomposé, et ainsi de suite. Du point de vue de MDI, la taxonomie est réalisée avec la relation de généralisation-spécialisation. Au niveau d'individus, certaines caractéristiques sont spécifiques à MDI: un individu n'est pas différent d'un concept quelconque de la base de connaissances, sauf qu'elle est le dernier niveau dans la classification. Cette distinction est fondamentale dans le modèle proposé, car elle permet de considérer la croissance de la base de connaissances sans difficulté. Une instance peut devenir tout de suite un concept abstrait, à partir duquel on développe une nouvelle partie d'arborescence. Dans cette optique, les individus déjà implantés dans la base de

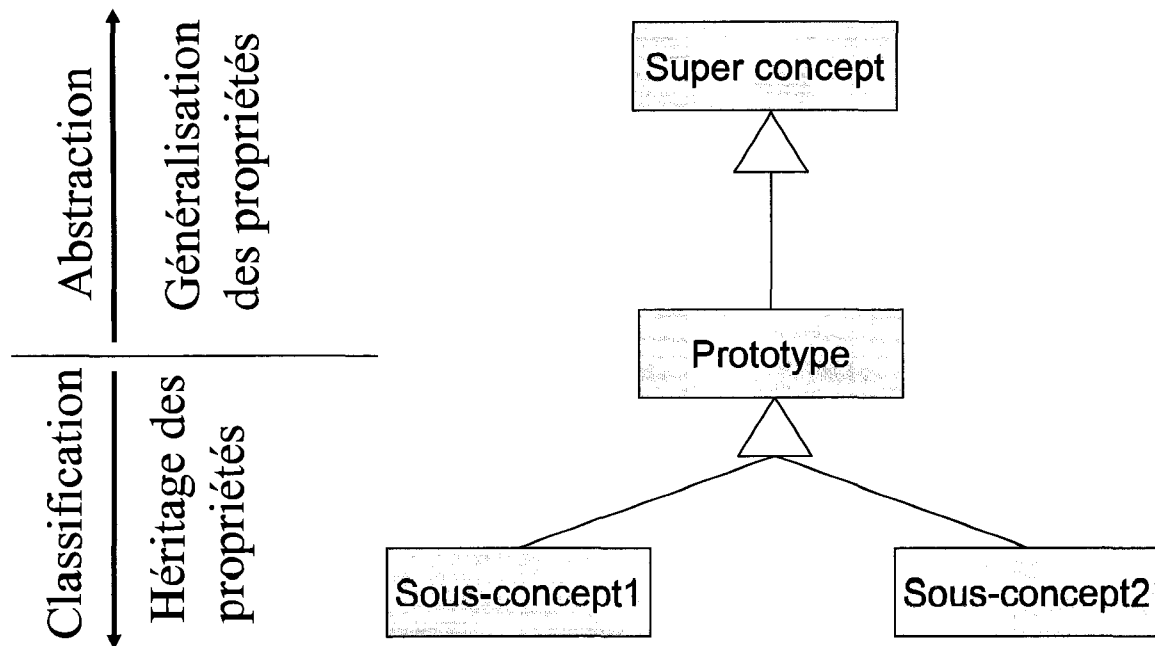


Figure 1 Le prototype et ses développements

connaissances sont en fait des appareils génériques. Les appareils génériques sont des appareils fictifs qui, contrairement aux concepts abstraits, ont des valeurs concrètes pour les propriétés. La fonction de ces appareils génériques est d'être utilisés pour cloner des appareils réels, qui ont les mêmes propriétés et des valeurs assez proches pour ces propriétés.

3.3. Vue d'ensemble sur la structure de la base de connaissance

La base de connaissances a été réalisée dans une approche hybride, c'est-à-dire comportant différents composants, uniques en leurs genres, ayant potentiellement chacun leur propre formalisme. Nous avons donc formalisé d'une manière presque indépendante les connaissances liées aux appareillages d'une part, et celles liées aux architectures des réseaux d'autre part. Les bibliographies et les propriétés ont aussi leur

manière propre d'être formalisées. L'image d'ensemble de l'appareil en contexte réseau est obtenue en les réunissant tous dans une structure cohérente. La structuration commence avec le concept *Racine_BC* qui englobe tous les autres concepts. Trois autres concepts lui succèdent: *Concepts_BC*, *Propriétés* et *Références bibliographiques*. *Concepts_BC* englobe tous les concepts techniques du modèle, *Propriétés* sert à caractériser les autres concepts et *Références bibliographiques* contient la documentation. La figure 2 présente une vue d'ensemble de la structure de base de connaissances, qui montre bien les relations entre les concepts techniques et les concepts plus généraux.

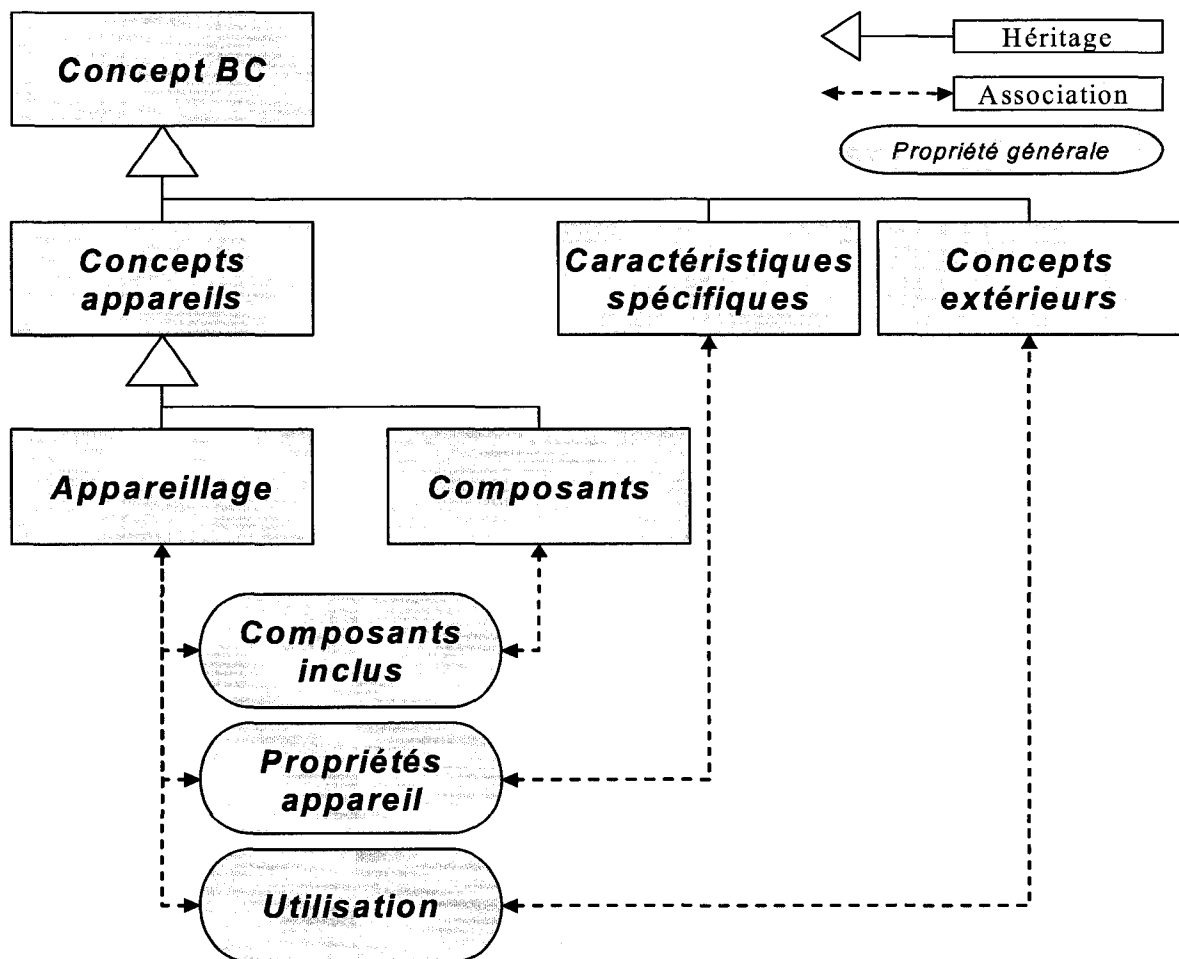


Figure 2 Vue d'ensemble sur les concepts dans la base de connaissances

Le concept *Concepts_BC* fait appel à trois grands sous-concepts: *Concepts appareils*, *Concepts extérieurs* et *Caractéristiques spécifiques*. Ces concepts ont comme rôle d'organiser les types d'informations nécessaires dans le modèle. Ils tracent une sorte de ligne de démarcation entre les concepts relatifs à l'appareillage proprement dit et les autres concepts utiles dans la définition du modèle d'appareil, mais qui n'en font pas vraiment partie. Ils interagissent entre eux pour compléter l'image d'un appareil et pour indiquer son rôle ou sa fonctionnalité dans l'architecture du réseau.

L'approche de définition des propriétés est spécifique. Dans notre modélisation, les propriétés sont définies elles mêmes comme des concepts et cela représente une différence fondamentale entre la modélisation prototype en MDI et la modélisation orientée objet. Une difficulté rencontrée dans la modélisation fut de normaliser les caractéristiques d'appareils tout en s'accommodant de leur très grande diversité. La solution trouvée consiste à définir des *Propriétés générales* communes à tous les appareils. Celles-ci sont englobées ensuite d'une manière obligatoire dans tous les appareils. Elles assurent la cohérence et la flexibilité du modèle et leur rôle primordial est de réaliser des associations de type référence avec d'autres concepts tels que *Concepts Extérieurs*, *Composants* ou *Caractéristiques spécifiques*, permettant ainsi de représenter cette diversité.

La première des trois branches de *Concept_BC* est *Concepts appareils*, qui sert à rassembler les connaissances d'appareillage électrique. À son tour, elle se développe en deux branches: les appareillages se retrouvent dans la branche *Appareillage*, et les parties d'appareil qui sont assez importantes pour avoir des caractéristiques indépendantes (par exemple le noyau, les enroulements ou le changeur de prises d'un transformateur), se retrouvent dans la branche *Composants*.

La deuxième branche de *Concept_BC*, appelée *Concepts extérieurs*, sert à gérer des concepts liés à l'architecture du réseau ou au fonctionnement des appareils dans le réseau. Tous les concepts non intrinsèques aux appareillages sont définis dans cette branche. Les *Concepts extérieurs* sont mis en relation avec les appareils se retrouvant dans la branche *Appareillage* à travers certaines de leurs propriétés telles que *Utilisation*.

La troisième branche de *Concept_BC*, appelée *Caractéristiques spécifiques*, sert à expliciter et à documenter d'une manière rigoureuse et sans redondance l'énorme diversité des caractéristiques des appareils.

3.4. Gestion des références

La gestion des informations pratiques et des références bibliographiques dans la base de connaissances est réalisée en parallèle à la gestion des connaissances. L'aspect important qu'est la gestion des références est présenté sous forme graphique à la figure 3.

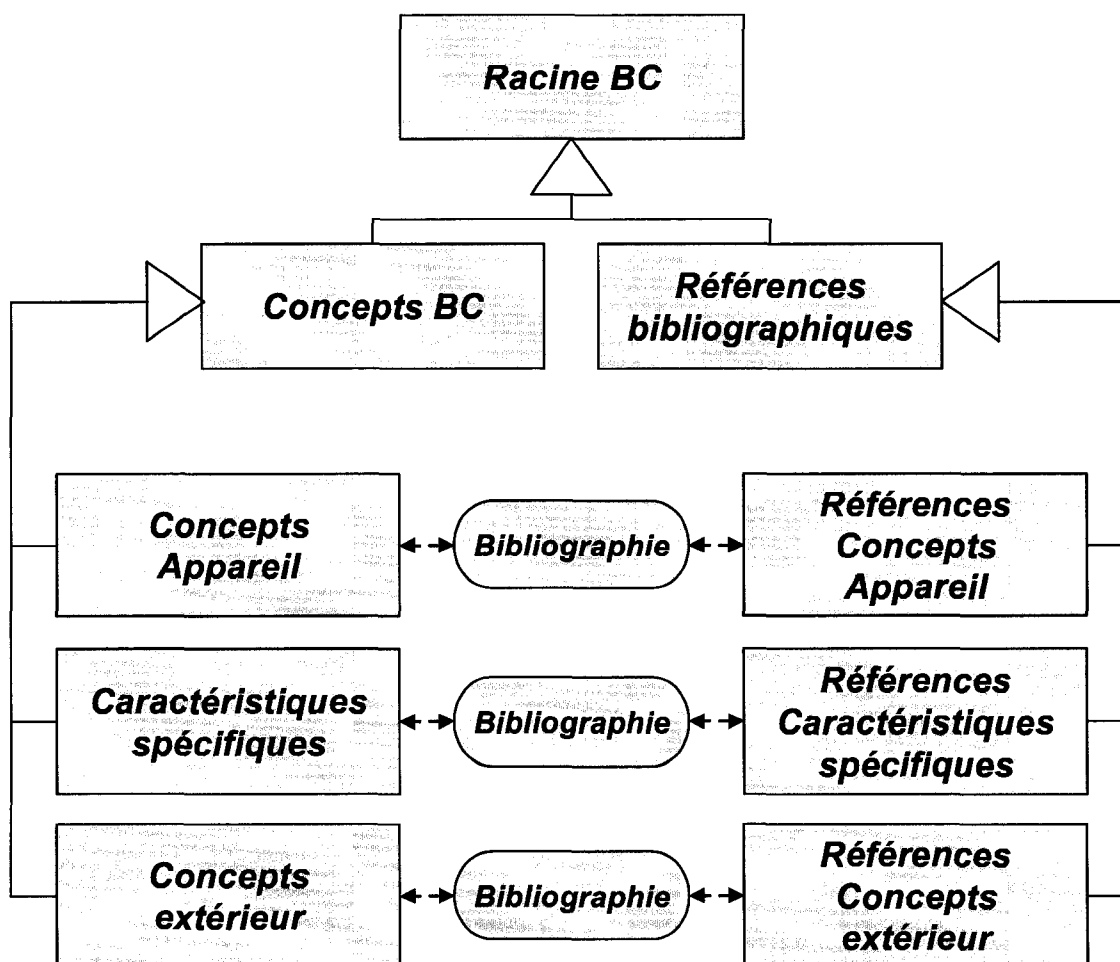


Figure 3 La gestion des références

Les références sont gérées dans une branche spécifique de *Racine_BC*, appelée *Références bibliographiques* dont les sous-concepts se développent en une structure mimant la structure des concepts techniques. Elles sont liées aux concepts techniques par l'intermédiaire d'une propriété nommée *Bibliographie*, qui est obligatoire pour tous les *Appareils*, *Composants*, *Concepts extérieurs* et *Propriétés*.

Adopter une telle approche présente l'avantage de faciliter la consultation des références. Chaque concept de *Références bibliographiques* a une valeur, et cette valeur est une collection de documents, de liens hypertexte et de fragments documentaires.

4. AGRÉGATION DES VALEURS DE PROPRIÉTÉS

Dans le cadre de ce projet, une fonctionnalité originale a été développée dans MDI. Elle est appelée *Agrégation des valeurs de propriétés* et offre la possibilité de transférer les valeurs de certaines propriétés du niveau individus vers des niveaux plus conceptuels. Cette fonctionnalité était essentielle ici pour les raisons données ci-dessous.

Dans la modélisation des connaissances, il peut s'avérer difficile de connaître de façon exhaustive les concepts généraux sans avoir au préalable une description relativement détaillée des individus. En effet, au moment du développement de la classification, il est généralement impossible de connaître a priori toutes les valeurs d'une propriété pour un concept abstrait. Des plus, en raison des progrès techniques, il est raisonnable de prévoir que de nouveaux appareils, avec de nouvelles caractéristiques, apparaîtront dans l'avenir. En d'autres termes, les valeurs d'un concept abstrait sont difficiles à acquérir intégralement au moment de la création de la base de connaissances, et celles-ci peuvent changer avec toute nouvelle acquisition, devenant de plus en plus nombreuses et variées. Par exemple, le concept *Transformateurs* englobe une propriété appelée *Puissance nominale*, qui est léguée à tous ses concepts-enfants jusqu'à niveau des individus, donc les transformateurs réels. Ces individus donnent des valeurs concrètes à la propriété *Puissance nominale*. Au niveau du concept *Transformateurs* (et à tout niveau

intermédiaire), si on veut instancier la propriété *Puissance nominale*, la valeur affectée à cette propriété sera la réunion exclusive de toutes les valeurs de cette propriété existant dans les individus correspondantes. La gestion manuelle de cet ensemble de valeurs serait laborieuse et peu pratique, car cela impliquerait de réviser les valeurs contenues dans la liste à chaque fois qu'un nouveau individu serait ajouté.

Dans l'optique de minimiser les opérations de maintenance, les approches classiques en modélisation des connaissances offrent les possibilités suivantes:

- Ne pas donner des valeurs aux propriétés dans les niveaux abstraits. Dans ce cas, on perd certaines informations potentiellement très intéressantes dans les niveaux conceptuels;
- Poser des valeurs initiales pour les propriétés des niveaux abstraits, mais en assumant le risque de ne pas couvrir complètement toute leur variété.

Les options ci-dessus n'étant pas satisfaisantes, nous avons proposé une approche novatrice qui permet de gérer automatiquement les valeurs des propriétés des concepts abstraits qui sont considérées comme les plus importantes.

Cette automatisation fonctionne tout simplement en actualisant l'ensemble des valeurs des propriétés des concepts parents dans une hiérarchie donnée à chaque fois qu'un nouvel individu est créé au niveau le plus bas. Par conséquent, cela implique autant d'opération d'union exclusive qu'il existe de niveaux hiérarchiques possédant ladite propriété.

Ce type d'opération dynamique a été réalisé via un nouveau type de relation, appelé *Agrégation des valeurs de propriétés*.

À cette fin, une nouvelle routine a été développée en MDI. Elle s'appelle **->Extension*. Elle actualise les valeurs dans la hiérarchie de la base de connaissances en partant du bas et en allant vers le haut (contrairement à l'*héritage*). L'utilisation de cette nouvelle fonctionnalité implique une approche de définition spéciale pour certaines propriétés, car celles-ci doivent englober le code qui réalise cette synchronisation.

En bout de ligne, il existera donc deux types de valeurs dans cette base de connaissances, qu'on pourra aisément différencier sachant que:

- la plupart des propriétés prendront des valeurs uniquement au niveau des individus, et ces valeurs resteront à ce niveau.
- certaines propriétés jouissent de *l'Agrégation des valeurs de propriétés*, réalisée en propageant les valeurs des individus vers les concepts abstraits. Seules les propriétés les plus pertinentes possèdent ce nouveau type de relation.

5. CONCLUSIONS

Ce projet a permis de jeter les bases d'une méthode de représentation des connaissances relatives aux appareillages de réseaux électriques.

Le modèle développé permet de constituer une classification dynamique des appareils autant génériques que spécifiques, de les caractériser et de les mettre en relation avec leurs fonctions dans le réseau.

La base de connaissances ainsi développée est étroitement liée à une structure bibliographique présentant l'ensemble des références considérées utiles.

De plus, le projet a contribué au perfectionnement de l'outil MDI utilisé par Hydro-Québec pour la modélisation des connaissances.

Ces travaux permettront, à plus long terme de constituer un patrimoine de connaissances pouvant être consultées et utilisées par des ingénieurs et exploitants de réseaux dans des systèmes à bases de connaissances.

6. REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier MM. Luc Vouligny et Alexandre Bouffard d'Hydro-Québec pour leur soutien dans l'utilisation de l'outil MDI et l'approche orientée prototype.

7. RÉFÉRENCES

- [1] Ermine, J.-L., *Les systèmes de connaissances*, Éditions Hermès, 2ième édition, 2000.
- [2] Ermine, J.-L., *Capter et créer le capital savoir*, Réalités Industrielles, Série Annales des Mines, pp. 82-86, Novembre 1998.
- [3] Ermine, J.-L., *La gestion des connaissances, un levier de l'intelligence économique*, Revue d'Intelligence Économique, no. 4, pp 98-111, avril 1999.
- [4] Kim, S., *Les rôles des professionnels de la connaissance dans la gestion de la connaissance*, <http://www.ifla.org/IV/ifla65/papers/042-115f.htm>, 1999.
- [5] Amsterdam, U.O., *KADS-An Advanced and Comprehensive Methodology for Integrated KBS Development*, <http://www.commonkads.uva.nl/frameset-commonkads.html>.
- [6] Vouligny, L., MDI – *Modélisation dynamique des connaissances conception, développement et implantation*, Rapport Institut de Recherche d'Hydro-Québec, 2003.
- [7] Vouligny L., Naggar R., Langheit C., St-Arnaud R., *A Dynamic Development System for Knowledge Applications in Engineering*, Proceedings 8th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics, IIS 2004, Vol. XIV, pp. 207-212.
- [8] Taivalsaari, A., *Classes Versus Prototypes: Some Philosophical and Historical Observations*, Research Index, The NECI Scientific Literature Digital Library, 1996.
- [9] Taivalsaari, A., *On the notion of inheritance*, ACM Press, New York, NY, U.S.A., 1996.

Annexe 2

Détails sur MDI

1. Objet de modélisation en MDI

MDI est un outil d'implantation de bases de connaissances conçu en JAVA, donc réalisé dans une approche orientée objet. Par contre, MDI, avec ses développements, donne la possibilité de faire une implantation orientée prototype.

Le principe de base de MDI est d'utiliser un objet de modélisation, un prototype. En MDI, comme la compilation s'effectue au moment de l'exécution, cela donne l'avantage d'une modélisation dynamique.

La modélisation avec MDI consiste à identifier les concepts et à établir les relations entre ces différents concepts. MDI permet d'implanter des structures multidimensionnelles en utilisant ses relations. MDI a son propre langage dont nous nous servirons.

Le logiciel offre, comme support à la modélisation, un premier concept qui constitue *l'objet de modélisation*. *L'objet de modélisation* permet de représenter des concepts et il s'appelle *Idée* dans le langage MDI. L'*Idée* a été développée en MDI pour constituer le moulage de tous les autres concepts implantés. Les autres concepts sont obtenus initialement comme *clones*⁴ de l'*Idée* et ensuite personnalisés.

L'*Idée* possède ce qu'en MDI on appelle des *attributs* et des *vecteurs*. L'un des *attributs* est utilisé pour conserver le nom du nouveau concept résultat et un autre est utilisé pour contenir sa valeur. Les *vecteurs* de l'*Idée* sont conçus pour établir les relations entre les concepts de la base de connaissances. Les *vecteurs* peuvent contenir des concepts implantés ou des références à des concepts implantés.

Un concept peut émettre des restrictions du côté de certains *vecteurs*. Nous utiliserons beaucoup cette facilité.

⁴ Clone=concept-issu qui constitue la copie conforme d'un autre concept-parent

La figure A4.1 présente le diagramme de *vecteurs* de l'*Idée* de MDI.

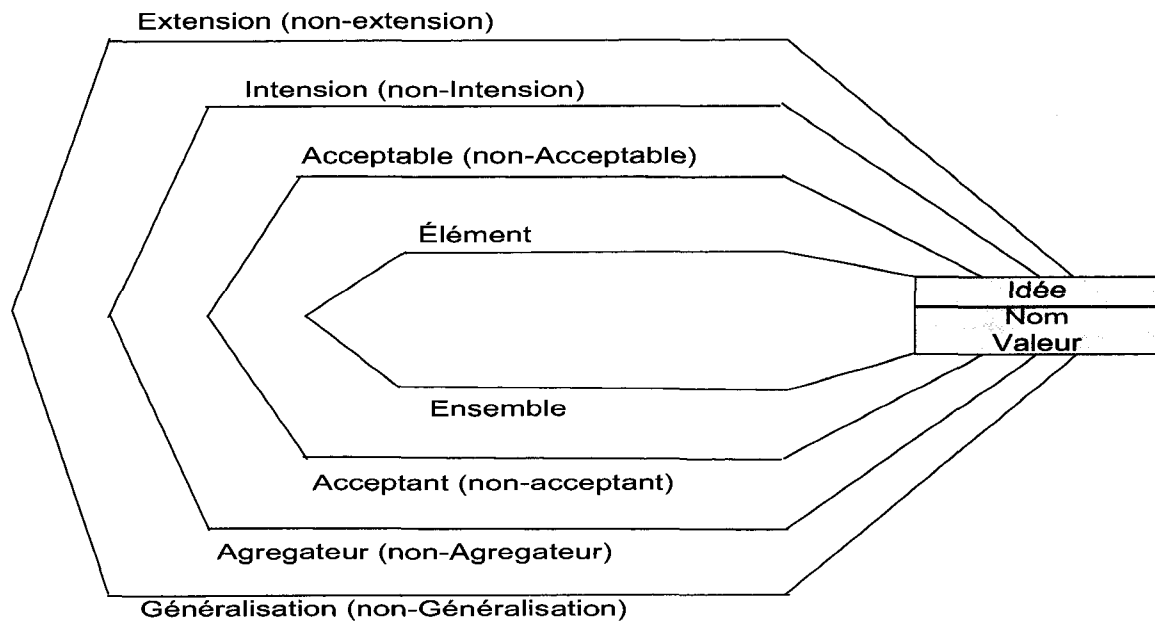


Figure A 4.1 Diagramme de vecteurs de l'Idée

Voici les principaux *vecteurs* de l'*Idée* et leur utilité.

- *Généralisations* – utilisé pour contenir les concepts qu'un sous-concept spécialise.
- *Extensions* ou *Spécialisations* – utilisé pour contenir les sous-concepts d'un concept.
- *Intensions* ou *Inclusions* – utilisé pour contenir les propriétés d'un concept.
- *Agrégateurs* – utilisé pour contenir les concepts qui intègrent un certain concept comme propriété.
- *Éléments* – utilisé pour contenir les concepts qui constituent les valeurs possibles d'un certain concept (comme les concepts de type *ensemble_de*⁵ ou de type *référence*). Ils sont soumis à des contraintes données par les *Acceptables*.

⁵ Ensemble_de= Concept qui est composé de plusieurs autres concepts.

- *Ensembles* – utilisé pour contenir les concepts *ensemble_de* ou *type_référence* dont un concept *élément* ou *référence* fait partie.
- *Acceptables* – utilisé pour contenir les concepts qui seront acceptés dans un *ensemble_de* ou dans un *type_référence*.
- *Acceptants* – utilisé pour contenir les concepts *ensemble_de* ou *type_référence* qui acceptent un certain concept.

Entre les *vecteurs*, il existe les relations suivantes de réciprocité :

- *Généralisations* – *Spécialisations*
- *Inclusions* – *Agrégateurs*
- *Éléments* – *Ensembles*
- *Acceptables* – *Acceptants*

Pour chaque *vecteur* en MDI, il existe un *non-vecteur*. Par exemple, il y a les *Généralisations*, mais aussi les *NonGénéralisations*, etc.

En MDI, il existe quelques concepts prédéfinis qui servent à faciliter la définition cohérente d'autres nouveaux concepts. Voici ces concepts :

- *type_chaine* – si un concept spécialise le concept *type_chaine*, sa valeur sera considérée comme étant une chaîne de caractères;
- *type_nombre* – si un concept spécialise le concept *type_nombre*, sa valeur sera considérée comme étant un nombre entier;
- *type_float* – si un concept spécialise le concept *type_float*, sa valeur sera considérée comme étant un nombre décimal normal;
- *type_double* – si un concept spécialise le concept *type_double*, sa valeur sera considérée comme étant un nombre décimal double précision.
- *type_référence* – si un concept spécialise le concept *type_référence*, son *élément* sera considéré comme étant une référence à un autre concept;
- *ensemble_de* – si un concept est de type *ensemble_de*, il possède comme *éléments* d'autres concepts qu'on y ajoute et qui y sont acceptables. Un ensemble a deux propriétés spéciales :

- *cardinalité_* – est un concept de *type_nombre* qui permet de spécifier le nombre de concepts participants dans les relations. La valeur de cardinalité par défaut est nulle;
- *ordre_* – est un concept de *type_référence* qui permet de spécifier l'ordonnement d'un ensemble. L'ordonnement peut être soit croissant soit décroissant. Par défaut, MDI ne fait pas d'ordonnement.

Il existe aussi en MDI un type de concept prédéfini, nommé *action_*, qui a comme rôle d'exécuter une sous-routine de programmation. La partie de programme qui sera exécutée par le concept *action_* se retrouve dans une propriété spécifique de ce type de concept qui s'appelle *code_*. Ce type de concept est aussi connu dans le langage MDI comme *idée active*. Il existe plusieurs concepts de type *idée active* déjà implantés en MDI et leur nombre est en croissance avec toutes les améliorations que MDI subit. Précisons que pour cette base de connaissances, le créateur d'MDI a spécialement développé deux concepts *idée active* afin d'accommoder la modélisation proposée.

2. Relations en MDI

En MDI, il y a quatre principaux types de relations qui sont employées pour la modélisation : *l'intension*, *l'extension*, *l'ensemble* et *la référence*.

Dans MDI, la relation d'*intension* s'appelle, *inclusion* et elle est réalisée à partir du vecteur *Inclusion*.

Les relations entre les concepts et leurs propriétés sont représentées d'une façon particulière dans MDI, car les propriétés sont elles-mêmes des concepts. Les relations d'*intension* sont donc des relations concept-concept.

L'*intension* exprime le fait qu'un concept caractérise un autre concept. Plus simplement, les *intensions* d'un concept sont ses propriétés.

Le concept-intension, qui est en effet une propriété pour un autre concept, peut :

- prendre une valeur;
- développer une sous-classification;

- prendre d'autres concepts qui agissent comme ses *intensions*. Ceux-ci peuvent prendre des valeurs dans le concept initial lui-même ou encore peuvent hériter les valeurs.
- accepter des *éléments* (s'il est de type *ensemble_de*)

Comparativement à la modélisation classique, MDI permet de spécifier une *non-intension*. Un concept pourrait donc spécialiser un autre, mais ne pourrait pas avoir une de ses propriétés.

Dans MDI, l'*extension*, exprime le fait qu'un concept est une *spécialisation* d'un autre concept. Un concept se relie à d'autres par la relation d'*extension* pour réaliser la taxonomie. La relation d'*extension* est réalisée, en MDI, à partir des *vecteurs Spécialisations et Généralisations*.

Les *spécialisations* sont des liens entre deux concepts indiquant une relation de sous-catégorisation, c'est-à-dire des concepts répondant à la même définition générale, mais en la spécialisant par :

- des propriétés ou relations plus restrictives. Par exemple, le «*Transformateurs puissance*» est une *spécialisation* de «*Transformateurs électromagnétique*».
- des propriétés ou relations supplémentaires. Par exemple, le «*Transformateurs à technologies émergentes* » est une *spécialisation* de «*Transformateurs*», mais qui est plus complexe qu'un transformateur classique.

Dans la catégorie des *spécialisations*, on retrouve les individus, qui sont exemplaires du monde réel. Elles possèdent les mêmes propriétés et relations conceptuelles que leur concept-parent, mais donnent des valeurs particulières à certaines propriétés. Par exemple, certains transformateurs monophasés *ABB* et *SIEMMENS* sont des individus du concept «*Transformateur monophasés*».

La *spécialisation* permet de se focaliser davantage sur certains objets ayant des caractéristiques communes.

À l'inverse, la *généralisation* est réalisée par une démarche qui consiste à abstraire un ensemble de concepts considérés de façon comparable sans aller dans les détails. La conception de la *généralisation* peut combiner des techniques très diverses comme :

- la sélection;
- la symbolisation;
- la simplification ;

Tout concept peut toujours être spécialisé dynamiquement dans MDI. L'*extension* d'un concept hérite de toutes les *intensions* du concept qu'il spécialise.

Les concepts dont l'identification est *ensemble_de* et *type_référence* sont spéciaux.

Dans MDI, les concepts *ensemble_de* sont des collections, c'est-à-dire, ils sont des concepts ayant comme *éléments* d'autres concepts. Le MDI permet de spécifier les concepts qui seront acceptables comme *éléments*. L'ensemble peut posséder une *inclusion* spéciale, la cardinalité, qui permettra d'empêcher l'ajout d'un *élément* lorsque l'ensemble a atteint la limite du nombre d'*éléments* maximum spécifié par la cardinalité.

La *référence* exprime le fait qu'un concept a une liaison avec un autre concept, sans le posséder ou en faire partie. Les concepts de *type_référence* sont créés pour réaliser des références à d'autres concepts.

MDI assure la combinaison de ces caractéristiques en permettant des concepts qui sont des *ensembles de références*.

Ces types de relations propres à MDI et ont été adaptés à la modélisation spécifique pour l'appareillage.