



**UNIVERSITE SULTAN MOULAY SLIMANE**  
**Faculté des Sciences et Techniques**  
**Béni-Mellal**



**Centre des Études Doctorales : Sciences et Techniques**

**Formation Doctorale : Mathématiques et Physiques Appliquées**

**THÈSE**

Présentée par

**Bouzekri MOUSTAID**

Pour l'obtention du grade de  
**DOCTEUR**

*Spécialité : INFORMATIQUE*

---

**Contribution à la gestion des compétences en utilisant  
l'approche ontologique et la théorie des ensembles flous.**

---

Soutenue le 21 Novembre 2020 devant le jury composé de :

<b>Mr Said SAFI</b>	Professeur	Faculté Polydisciplinaire Béni Mellal	<b>Président</b>
<b>Mr Jilali ANTARI</b>	Professeur Habilité	Faculté Polydisciplinaire Taroudant	<b>Rapporteur</b>
<b>Mr Rachid EL AYACHI</b>	Professeur Habilité	Faculté des Sciences et Techniques Béni Mellal	<b>Rapporteur</b>
<b>Mr Mohammed ERRITALI</b>	Professeur Habilité	Faculté des Sciences et Techniques Béni Mellal	<b>Rapporteur</b>
<b>Mr Mohamed BASLAM</b>	Professeur Habilité	Faculté des Sciences et Techniques Béni Mellal	<b>Examineur</b>
<b>Mr Mohamed FAKIR</b>	Professeur	Faculté des Sciences et Techniques Béni Mellal	<b>Directeur de Thèse</b>



## DEDICACES

-A la mémoire de mon père. Puisse Dieu, le tout puissant, l'avoir en sa sainte miséricorde.

-A maman la plus forte, pour sa générosité, ses sacrifices pour me rendre heureux, et l'éducation digne dont elle m'a doté. Qu'elle trouve ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

-A ma femme qui m'a chaleureusement supportée et qui est toujours à mes côtés pour me soutenir et m'encourager, et qui demeure toujours ma source de force pour affronter les différents obstacles. Qu'elle trouve ici ma gratitude et mon affection.

-A mes enfants qui me donnent de l'amour et de la vivacité et à qui je souhaite tout le succès et la réussite.

- A toute personne avec qui je partage de l'amour et de l'amitié sincères.

## Remerciements

En premier lieu, je tiens à exprimer ma gratitude et reconnaissance envers mon Directeur de thèse, Professeur Mohamed FAKIR , pour m'avoir accueilli au sein du laboratoire de Traitement de l'Information et Aide à la Décision (TIAD), encadré et soutenu tout au long de période de préparation de mon doctorat au Département d'Informatique de la Faculté des Sciences et Techniques de Béni Mellal. Je le remercie de m'avoir apporté toute son expérience et ses compétences sans lesquelles ce travail n'aurait pas pu aboutir.

Je tiens à remercier Professeur Said SAFI pour avoir accepté de présider le jury et d'évaluer mon travail.

J'offre également de sincères remerciements au Professeur Mohamed BASLAM d'y avoir consacré tant de temps et de patience, pour sa disponibilité, son attention et son soutien qui sont sans doute des éléments majeurs qui m'ont permis de mener à bien cette thèse.

Je souhaite exprimer toute ma reconnaissance aux Professeurs Jilali ANTARI, Rachid EL AYACHI et Mohammed ERRITALI pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail en acceptant de le juger et pour le temps qu'ils ont consacré pour la lecture de cette thèse.

J'adresse mes profonds remerciements aussi à tous les membres du département informatique et du laboratoire TIAD.

Tous ceux qui ont participé à ce travail méritent tous mes remerciements.

## Résumé

L'efficacité du capital humain a été considérée auparavant comme un facteur qui n'a pas d'intérêt dans la création des richesses des pays. Les compétences étaient ignorées et importaient peu par rapport à l'effort physique humain dans la production des richesses. Cependant, depuis le début du XVIIIe siècle, avec l'avènement de l'économie de connaissance, l'intérêt est donné à la gestion des connaissances et des compétences qui sont perçues comme des facteurs de productivité et de compétitivité pour les entreprises.

Dans le cadre de son programme de réforme de l'administration publique, plusieurs initiatives ont été prises par le Maroc, visant l'instauration d'un nouveau système de gestion des ressources humaines dont la mise en place de la Gestion Prévisionnelle des Effectifs, des Emplois et des Compétences (GPEEC) dans les grands ministères constitue, l'un des piliers les plus importants dans cette réforme. De même, Sa Majesté Le Roi Mohammed VI, dans plusieurs Discours Royaux a mis, en relief le capital immatériel dans lequel le capital humain (personnalité du dirigeant, leadership, compétences individuelles) occupe une place importante.

Aussi, au cours des dix dernières années, la compétence a envahi plusieurs domaines tels que la psychologie cognitive, la sociologie, les sciences de gestion et l'informatique. Ceci a fait de la notion de compétence un thème de recherche pluridisciplinaire dont les travaux portent sur la proposition de définitions et des modèles variés pour sa gestion. Ces travaux s'intéressent à différents aspects de traitement de cette ressource dont les plus intéressants sont : l'identification des compétences, l'allocation des compétences et l'appariement entre les compétences des employés et les compétences exigées par les emplois ou les projets. Cependant, nous nous sommes aperçus un manque crucial de consensus et de normalisation au niveau des définitions et des modèles proposés pour gérer les compétences. De même, ces modèles demeurent empiriques ne s'appuyant pas sur des références théoriques. Par conséquent, il est difficile, voire inutile, de les transposer et de les appliquer au-delà de leur contexte d'origine. Ceci pose un véritable problème pour son traitement par les systèmes d'information des ressources humaines (SIRH) usuels basés sur les techniques classiques de l'ingénierie des systèmes d'information.

Pour répondre à cette problématique de gestion des compétences et aux différents enjeux énoncés, notre approche est orientée vers les techniques d'ingénierie des connaissances à travers l'utilisation d'une approche ontologique pour la modélisation, la théorie des ensembles

flous et les algorithmes des mesures sémantiques pour les traitements. En effet, la compétence est un sujet d'excellence de connaissances qualitatives et l'ontologie est le meilleur moyen actuel qui permet de structurer les différents concepts de l'entreprise et d'obtenir des définitions cohérentes et consensuelles des concepts. De même, la logique floue se prête à ce type d'application, car elle recouvre un ensemble de modèles et de techniques mathématiques qui permettent de modéliser les aspects qualitatifs du jugement humain et manipuler ces connaissances en langage naturel et de raisonner sur des variables linguistiques, c'est-à-dire, sur des variables qualitatives.

Dans un premier temps, nous avons défini une approche de construction d'ontologie par transformation d'un thésaurus. Ce type de ressources est développé par des experts du domaine et fait l'objet de consensus dans la communauté des professionnels du domaine. Il est aussi utilisé par les SIRH classiques comme structure pour gérer les compétences. Cette approche présente l'avantage de construire une ontologie en reposant sur un ensemble de termes du domaine qui sont identifiés par des experts et permet de définir une démarche pour la reprise de l'existant.

Ensuite nous avons proposé une définition de la compétence et un modèle en utilisant les différentes sources d'informations du Ministère de la Réforme de l'Administration et de la Fonction Publique du Maroc pour la production d'une ontologie spécifique à notre domaine d'étude et notre contexte. Cette ontologie est ensuite implémentée et peuplée au moyen d'un ensemble de programmes développés en java pour effectuer de l'expérimentation relative à l'optimisation de la correspondance entre les compétences exigées par les postes et celles acquises par le personnel de l'établissement en utilisant des algorithmes de calcul de la similarité sémantique basés sur la distance de Hamming, l'extension de l'indice de Jaccard nommé index de compétences et la similarité Wu-palmer.

Mots clés : compétences, thésaurus, ontologie, logique floue, distance Hamming, indice de Jaccard, index de compétences, Wu-Palmer

# Table des matières

<b>Liste des abréviations et des acronymes</b> .....	<b>1</b>
<b>Liste des figures</b> .....	<b>3</b>
<b>Liste des tableaux</b> .....	<b>4</b>
<b>Introduction générale</b> .....	<b>5</b>
<b>Chapitre 1 : Construction d'ontologie</b> .....	<b>9</b>
<b>1-Introduction</b> .....	<b>9</b>
<b>2-Définitions</b> .....	<b>9</b>
<b>3-Les composants d'une ontologie</b> .....	<b>11</b>
3.1-Concepts et instances.....	11
3.2-Propriétés.....	12
3.3-Relations .....	12
3.4-Axiomes .....	13
<b>4-Typologie d'ontologies</b> .....	<b>13</b>
4.1-Ontologies de représentation .....	14
4.2-Ontologies de haut niveau .....	14
4.3-Ontologies génériques .....	14
4.4-Ontologies de domaine .....	14
4.5-Ontologies d'application .....	14
<b>5-Langages de représentation et de manipulation d'ontologies</b> .....	<b>15</b>
5.1-Formalismes RDF (Resource Description Framework) .....	15
5.2-RDFS (Resource Description Framework Schema) .....	15
5.3-OWL (Ontology Web Language) .....	17
5.4-SPARQL (SPARQL Protocol And RDF Query Language).....	18
<b>6-Les approches de construction d'ontologies</b> .....	<b>19</b>
6.1-Méthodologies pour la construction d'ontologies en partant de zéro.....	19
6.2-Les approches de construction d'ontologies à partir de textes .....	<b>23</b>
6.2.1-Méthodologie Maedche et Staab .....	23
6.2.2-Méthodologie Cimiano et al.....	24
6.2.3-La méthode TERMINAE .....	24
6.2.4-La méthode Buitelaar et al. ....	25
6.2.5-La méthode Fortuna et al.....	25

<b>6.3-Les approches basées sur la réutilisation de ressources existantes .....</b>	<b>26</b>
6.3.1-Vocabulaire contrôlé .....	27
6.3.2-Terminologie .....	27
6.3.3-Classification .....	28
6.3.4-Thésaurus.....	28
<b>7-Transformation de thésaurus en ontologie.....</b>	<b>31</b>
<b>8-Notre contribution de transformation des thésaurus en ontologie .....</b>	<b>33</b>
<b>8.1-Méthodes de conceptualisation du lexique et de transformation des relations .....</b>	<b>33</b>
8.1.1-Règles de Chrisment et al.....	34
8.1.2-Règles de transformation de Hernandez .....	35
8.1.3- Règles de Miles.....	36
<b>8.2-Evaluation .....</b>	<b>36</b>
8.2.1-L'extraction des concepts et relations de ce thesaurus .....	39
8.2.2-Construction de l'ontologie.....	43
<b>Conclusion.....</b>	<b>44</b>
<b>Chapitre 2 : Modélisation des compétences.....</b>	<b>46</b>
<b>1-Introduction.....</b>	<b>46</b>
<b>2-La fonction Ressources Humaines .....</b>	<b>47</b>
<b>3-La gestion des compétences .....</b>	<b>48</b>
<b>3.1-Définition de la compétence .....</b>	<b>49</b>
3.1.1-Compétence est un processus.....	50
3.1.2-Compétence est un ensemble de ressources.....	50
3.2-La gestion prévisionnelle des emplois et des compétences et ses outils .....	52
<b>3.2-Modèles des compétences .....</b>	<b>53</b>
3.2.1-Modèle des compétences CRAI .....	53
3.2.2-Modèle qualitatif SARC (Situation-Acteur-Ressources- Compétence).....	55
3.2.3-Modèle systémique de la compétence (MSC) Boumane et al.....	57
3.2.4-Modèle Charles Foveau .....	58
3.2.5-Modèle de la compétence (F. Amourache Z.Boufaïda et L. Yahiaoui) .....	62
3.2.6-Modélisation par l'arbre des compétences ou connaissances .....	62
3.2.7-Modèle du Consortium HR-XML [59] .....	63
3.2.8-Modèle ESCO des compétences et des professions .....	65
<b>4-Synthèse et positionnement .....</b>	<b>65</b>
<b>5-Notre modèle ontologique.....</b>	<b>67</b>
<b>5.1-Méthode de construction de l'ontologie.....</b>	<b>67</b>
<b>5.2-Sources d'information et ressources termino-ontologique .....</b>	<b>67</b>
<b>5.3-Concepts associés au modèle.....</b>	<b>68</b>
5.3.1-Emploi.....	68
5.3.2-Poste.....	69
5.3.3-Métier .....	69

5.3.4-Filière .....	70
5.3.5-Famille de métiers .....	70
<b>5.4-Caractérisation et typologie des compétences .....</b>	<b>70</b>
<b>5.5-Le schéma conceptuel .....</b>	<b>74</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>75</b>
<b>Chapitre 3 : Techniques d'ingénierie des connaissances pour la gestion des compétences .....</b>	<b>76</b>
<b>1-Introduction : .....</b>	<b>76</b>
<b>2-Logique floue : .....</b>	<b>77</b>
2.1-Sous-ensembles flous.....	77
2.2-Fonction d'appartenance .....	78
2.3-Caractéristiques d'un sous-ensemble flou .....	79
2.4-Variables linguistique .....	80
2.5-Opérateurs sur les sous-ensembles flous .....	80
2.6-Le raisonnement en logique floue .....	82
2.7-Distances entre deux sous-ensembles flous .....	83
<b>3-Travaux connexes .....</b>	<b>84</b>
3.1-Identification et allocation des compétences.....	84
3.2-Indices des compatibilités floues.....	85
3.3-Méthode floue de Canos et Liern [76] .....	86
3.4-Méthode d'identification des compétences .....	87
3.5-Méthode Fitzpatrick &al. ....	88
3.6-Algorithmes d'appariement .....	88
3.6.1-Algorithmes d'appariement des Compétences Imane Boughedda et al .....	88
3.6.2-Algorithmes d'appariement des Compétences Leila Yahiaoui et al [81].....	89
<b>4-SIRH et outils dédiés à la gestion des compétences .....</b>	<b>90</b>
<b>5-Synthèse et positionnement .....</b>	<b>92</b>
<b>6-Méthode de traitement des compétences .....</b>	<b>93</b>
<b>6.1-Présentation des algorithmes proposés : .....</b>	<b>95</b>
6.1.1-Algorithmes utilisant la Distance de Hamming .....	97
6.1.2-Algorithmes utilisant les index de compétences.....	97
6.1.3-Algorithmes utilisant la similarité de Wu-Palmer.....	98
<b>6.2-Illustration.....</b>	<b>98</b>
6.2.1-Classement des candidats selon la Distance de Hamming :.....	99
6.2.2-Classement des candidats selon l'Index de compétences :.....	99
<b>Conclusion.....</b>	<b>100</b>

<b>Chapitre 4 : Implémentation et expérimentation .....</b>	<b>101</b>
<b>1-Introduction.....</b>	<b>101</b>
<b>2-Implémentation de l'ontologie.....</b>	<b>101</b>
2.1-Éditeur d'ontologies .....	101
2.2- Création de l'ontologie .....	102
<b>3- Processus de peuplement.....</b>	<b>103</b>
<b>4-Architecture de notre contribution .....</b>	<b>106</b>
<b>5-Expérimentation .....</b>	<b>107</b>
<b>6-Résultats des algorithmes.....</b>	<b>109</b>
6.1-Résultats de l'algorithme de distance de Hamming .....	109
6.2-Résultats de l'algorithme de l'index de compétences .....	110
6.3-Résultats de l'algorithme de la similarité de Wu Palmer .....	111
6.4-Représentation graphique des résultats.....	112
<b>7-Interprétations.....</b>	<b>114</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>115</b>
<b>Conclusion générale et perspectives .....</b>	<b>116</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>118</b>
<b>Liste des publications .....</b>	<b>124</b>
1-Publication dans des journaux internationaux indexés .....	124
2-Communications scientifiques aux congrès.....	124

## Liste des abréviations et des acronymes

GRH	Gestion des Ressources Humaines
SIRH	Systèmes d'Information des Ressources Humaines
GPEC	Gestion Prévisionnelle des Emplois et des Compétences
GPEEC	Gestion Prévisionnelle des Effectifs, des Emplois et des Compétences
FMESPP	Fonds de Modernisation des Etablissements de Santé Publics et Privés
INDH	L'Initiative Nationale pour le Développement Humain
RTO	Ressources Termino-Ontologiques
ACIEGE	Association des Centres d'Information des Grandes Ecoles de management
ESCO	European Skills, Competences, Qualifications and Occupations
IC	Ingénierie des Connaissances
OWL	Ontology Web Language
BFO	Basic Formal Ontology
W3C	World Wide Web Consortium
RDF	Resource Description Framework
RDFS	Resource Description Framework Schema
Turtle	Terse RDF Triple Language
SPARQL	Protocol And RDF Query Language
TOVE	Torento Virtual Enterprise
TALN	Traitement Automatiques des Langues Naturelles
VC	Vocabulaire Contrôlé
TG	Terme Générique
TS	Terme Spécifique
EP	Employer Pour
EM	EMployer
CO	Construction d'Ontologie
EO	Enrichissement d'Ontologie
PO	Peuplement d'Ontologie
SWAD	Semantic Web Advanced Development
MEDEF	Mouvement des Entreprises de France
ANACT	Agence Nationale pour Amélioration des Conditions de Travail

CRAI	Competence Modeling and Management
SARC	Situation-Acteur-Ressources-Compétences
MSC	Modèle Systémique des Compétences
HR-XML	Human Resources XML
LOD	Linked Open Data
RECAP	Référentiel des Emplois et des Compétences Communes aux Administrations
PPS	Père le Plus Spécifiques
DAML	DARPA Agent Markup Language
GUI	Graphical User Interface
API	Application Programming Interface
POS	Part-of-Speech
A-Box	Assertion Box
T-Box	Terminological box
R-Box	Role Box

## Liste des figures

Figure 1 : Modèles de connaissances des ressources terminologiques	27
Figure 2 : Différentes relations dans un thésaurus	30
Figure 3 : Structure d'un thésaurus selon la norme ISO 2788	30
Figure 4 : Schéma du thésaurus (ACIEGE) volet de la GRH	38
Figure 5 : Schéma de l'ontologie générée	43
Figure 6 : Schéma de l'ontologie avec OntoGraph	43
Figure 7 : La classe EMBAUCHE après la transformation	44
Figure 8 : Position de la gestion des compétences dans la scène des RH	49
Figure 9 : Modèle Entité-Relation CRAI	54
Figure 10 : Modèle de compétence SarC	55
Figure 11 : Schéma conceptuel UML du Modèle de compétence SarC	56
Figure 12 : Modèle Systémique de la Compétence MSC	58
Figure 13 : Modèle des compétences (Charles Foveau)	58
Figure 14 : Schéma du modèle des compétences (Charles Foveau)	60
Figure 15 : Schéma des compétences comportementales (Charles Foveau)	61
Figure 16 : Modèle de la compétence (F.Amourache Z.Boufaïda et L.Yahiaoui)	62
Figure 17 : Modèle d'arbre de connaissance	63
Figure 18 : Modèle de compétence du Consortium HR-XML	64
Figure 19 : Structures hiérarchiques des métiers	70
Figure 20 : Schéma simplifié de notre modèle	73
Figure 21 : Diagramme des relations binaires de l'ontologie	74
Figure 22 : Schéma comparant un ensemble floue avec un ensemble classique	78
Figure 23 : Quelques formes de la fonction d'appartenance	78
Figure 24 : Taxonomie pour les mesures de similarité basées sur les arcs	103
Figure 25 : Ontologie de compétence	103
Figure 26 : Exemple de CV traité	104
Figure 27 : Processus de peuplement de l'ontologie	106
Figure 28 : Architecture de notre contribution	107
Figure 29 : Distances de Hamming comparées aux Index de compétences	112
Figure 30 : Distances de Hamming comparées aux similarités Wu-palmer	112
Figure 31 : Index de compétences comparés aux similarités Wu-palmer	113
Figure 32 : Distances de Hamming vs Index de compétences vs similarités Wu-palmer	113

## Liste des tableaux

Tableau n°1 : Synthèse des travaux des transformations des thésaurus en ontologie	32
Tableau n°2 : Règles de transformation du thésaurus en ontologie	37
Tableau n°3 : Les relations du thesaurus GRH	42
Tableau n°4 : Niveaux de maîtrise et leurs significations	72
Tableau n°5 : Exemple d'une structure "Compétence-Performance"	87
Tableau n°6 : Candidat idéal ou l'objectif flou	98
Tableau n°7 : Les compétences acquises par les candidats	97
Tableau n°8 : Calcul des distances de Hamming	99
Tableau n°9 : Calcul des Index de compétences	99
Tableau n°10 : Classes de l'ontologie	102
Tableau n°11 : Description du poste du Directeur des ressources humaines	108
Tableau n°12 : Résultats de l'algorithme des distances de Hamming	109
Tableau n°13 : Résultats d'algorithme de l'index de compétences	110
Tableau n°14 : Résultats de l'algorithme de la similarité de Wu-Palmer	111

## Introduction générale

La fonction ressource humaine comprend une part importante de tâches administratives et répétitives telles que la paie, le contrôle des présences, la mise à jour des situations personnelles des collaborateurs,...Elle comprend aussi un ensemble de processus tels que le recrutement, la gestion des emplois et des compétences, l'évaluation, la mobilité et la formation.

La quantification des données manipulées par ces tâches et les processus et leur traitement complexe a permis leur prise en charge par des systèmes automatisés au fur et à mesure de la progression technologique, jusqu'à l'ère des systèmes d'information des ressources humaines « SIRH ».

Avec l'avènement du mouvement de l'économie immatérielle qui nous conduit vers une économie et une société du savoir, l'importance est donnée aux concepts des connaissances et des compétences. Par conséquent, la gestion efficace du «capital humain» est devenue une opération nécessaire et complexe pour les professionnels des ressources humaines. Ces derniers doivent se préoccuper des salariés en se focalisant sur leurs capitaux intellectuels (gestion des connaissances) et humains (gestion de ses compétences). A l'instar des entreprises privées, les établissements publics doivent livrer des résultats alignés sur les priorités gouvernementales. Ils doivent aussi évoluer dans leurs façons de faire avec les technologies, les progrès scientifiques, les effets de la mondialisation et les aspirations des employés et des citoyens.

Dans le domaine des ressources humaines, les compétences des employés sont liées aux connaissances. En effet, la compétence est un ensemble de connaissances en action dans un contexte donné. Elle est prise en charge par le processus intitulé la gestion prévisionnelle des emplois et des compétences « GPEC ». Ce processus de planification permet d'anticiper les besoins en compétences et en effectifs, d'analyser les ressources humaines actuelles et d'ajuster les besoins futurs et l'état actuel des ressources humaines pour planifier les mouvements des employés (recrutements, promotions, départs, mutations), le plan de formation et le budget annuel. La compétence est donc l'élément clé pour la maîtrise de la gestion des ressources humaines, car l'ensemble des processus en dépend. Sa gestion fait référence au processus de recherche, de contrôle et de sélection des personnes pour un emploi dans une organisation en analysant ses compétences.

Aussi, au cours des dix dernières années, la compétence a envahi le domaine de la gestion des ressources humaines. Plusieurs usages des compétences sont introduits dans les

activités des organisations telles que l'établissement de profils de compétences, la classification et la rémunération fondées sur les compétences et l'évaluation des rendements. Dans le secteur public comme dans le secteur privé, le développement des compétences est perçu comme un facteur incontournable de productivité et de compétitivité.

Dans ce contexte, plusieurs initiatives ont été prises. A titre d'exemple, en France, trois étapes récentes ont concrétisé, l'importance du concept de compétence :

– Le bilan de compétences créé en 1991 ;

– La Loi de Programmation pour la Cohésion Sociale du 18 janvier 2005 imposant la démarche de GPEC (gestion prévisionnelle des emplois et des compétences) dans le secteur privé.

- Introduction de la GPEEC (gestion prévisionnelle des effectifs et des emplois et des compétences) et la création en 2007, du Fonds de modernisation des établissements de santé publics et privés (FMESPP - budget : 10 millions d'euros).

Le Maroc, dans le cadre de son programme de réforme de l'administration publique s'est engagé au-delà de 2008, dans l'amélioration de l'efficacité de l'État grâce à l'instauration d'un nouveau système de gestion des ressources humaines. La mise en place de la Gestion Prévisionnelle des Effectifs, des Emplois et des Compétences (GPEEC) dans les grands ministères constitue l'un des perliers les plus importants dans cette réforme. L'Initiative Nationale pour le Développement Humain (INDH) est aussi une initiative novatrice au Maroc pour développement social et humain. De même, Sa Majesté Le Roi Mohammed VI dans son Discours Royal du Trône du 30 juillet 2014 a mis, en relief l'importance du concept du capital immatériel dans lequel le capital humain (personnalité du dirigeant, leadership, compétences individuelles, expérience, savoir-faire) occupe une place importante. Le Maroc s'est engagé par ailleurs dans des chantiers de la réforme de l'administration à travers la modernisation de la gestion des ressources humaines.

Or, nous nous sommes aperçus que les concepts de compétences manquent cruellement de consensus dans leurs définitions et que quand ils sont définis, ils ne le sont pas assez précisément pour pouvoir les traiter de façon automatique. Il s'agit de l'évolution de l'information vers la connaissance qui est encore trop peu utilisée dans les systèmes d'information et dans la pratique des individus et des organisations. Les ressources humaines sont donc confrontées à des défis de traitement des compétences que les systèmes d'information des ressources humaines « SIRH » usuels ne peuvent apporter des réponses. C'est pourquoi, il a fallu, avant de les représenter, les définir de la façon la plus précise possible.

Depuis les années 1960, l'évolution de l'informatique et de l'intelligence artificielle a amené à la création de plusieurs modèles de représentation des connaissances tels que les réseaux sémantiques, les modèles entités-relations, les modèles de flux d'information, les modèles orientés objets. Avec son apparition au début des années 1990, dans un grand nombre de domaines de recherche en informatique tels que le traitement automatique de la langue naturelle, la recherche d'information, le commerce électronique, le web sémantique, l'intégration des systèmes d'information, etc., la notion d'ontologie s'est rapidement imposée comme un moyen de représenter explicitement et de partager des objets d'un domaine ainsi que leur sémantique. L'ontologie tient donc un rôle particulier dans le processus de la gestion des connaissances et des compétences.

Or, la conception d'une telle ontologie du domaine des ressources humaines s'avère particulièrement difficile, car elle doit faire l'objet de consensus dans la communauté des professionnels de ce domaine. Un moyen très largement utilisé pour atteindre cet objectif est de partir d'éléments terminologique ou terminologique préexistants dans ce domaine : corpus textuels, thésaurus, taxonomies, les bases lexicales, fragments d'ontologies préexistants, des schémas de bases de données, etc. et de l'exploiter comme connaissance à priori pour la construction progressive d'une ontologie du domaine. La transformation des thésaurus est primordiale dans notre travail puisque, dans le domaine que nous étudions, ce type de ressources est très répandu. Les SIRH classiques utilisent généralement les thésaurus comme structure pour gérer la GPEC.

Pour répondre à cette problématique de gestion des compétences et aux différents enjeux énoncés, nous avons opté pour une approche ontologique, car la compétence est un sujet d'excellence de connaissance et que l'ontologie est le meilleur moyen actuel qui permet d'une part de structurer les différents concepts de l'entreprise et d'autre part d'obtenir des définitions cohérentes et consensuelles des concepts tout en supportant les diversités langagières. Néanmoins, les techniques classiques de l'ingénierie des systèmes d'information ne sont pas suffisantes pour assurer une gestion efficace des compétences en exploitant ce modèle. Il ne s'agit pas de simples opérations de stockage et de sélection d'informations, mais plutôt d'une extraction ou capture intelligente des connaissances. Par conséquent, le recours aux techniques d'ingénierie des connaissances est indispensable à travers l'utilisation d'algorithmes de découverte des connaissances, des mesures sémantiques, de l'annotation. En effet, la théorie des ensembles notamment la logique floue se prête à ce type d'application, car elle recouvre un ensemble de modèles et de techniques mathématiques qui permet de modéliser les aspects qualitatifs du jugement humain et manipuler ces

connaissances en langage naturel. Elle permet aussi de raisonner sur des variables linguistiques, c'est-à-dire, sur des variables qualitatives (grand, petit, moyen, loin, près, fort, etc.) ce qui va nous permettre de pouvoir manipuler ces connaissances en langage naturel.

Dans ce sens, notre contribution sera une approche ontologique avec un traitement automatique moyennant l'utilisation de la logique floue pour le développement d'un système informatique destiné au pilotage des compétences au niveau du secteur public.

Pour traiter cette problématique, notre rapport est organisé en quatre chapitres.

Le 1<sup>er</sup> chapitre présente les différentes notions liées aux ontologies. En outre, nous avons proposé une description détaillée des différents constituants décrivant les ontologies et leurs classifications, les langages de représentation et de manipulation d'ontologies. Ensuite, on s'est focalisé sur les différents types d'approches de construction d'ontologies. Les méthodes de construction d'ontologies proposent souvent la réutilisation et la réingénierie des ressources termino-ontologiques (RTO) déjà développées et abondantes dans certains domaines, pour en tirer profit et pour faciliter et accélérer le processus de construction d'ontologies. Aussi, la création d'ontologies en exploitant les thésaurus présente l'avantage de la reposer sur un ensemble des termes représentatifs du domaine qui sont identifiés par des experts comme le cas du thésaurus (ACIEGE) crée par l'Association des responsables des centres d'information des grandes écoles de management.

Le 2<sup>ème</sup> chapitre est consacré à la modélisation des compétences. Après une présentation succincte de la fonction des ressources humaines sa définition ainsi que ses missions et ses diverses composantes, nous avons ensuite procéder à une analyse détaillée de la composante compétence pour en dégager une synthèse sous la forme d'une définition et un modèle conceptuel de la compétence. Les principaux modèles de la littérature sont aussi revus.

Le 3<sup>ème</sup> chapitre traite les techniques d'ingénierie des connaissances à travers une présentation succincte de la logique floue et d'un ensemble d'algorithmes de traitement des compétences basés sur les différentes mesures. De même des algorithmes sont proposés pour l'implémentation et les tests d'évaluation au niveau du dernier chapitre.

Le 4<sup>ème</sup> chapitre est consacré à l'implémentation de l'ontologie et des algorithmes proposés. Dans ce chapitre nous avons présenté des techniques de peuplement de l'ontologie à partir d'un site Web formé de pages HTML et à partir de l'ontologie Européenne ESCO. Ensuite, les algorithmes ont été codés et puis testés pour la section de candidats pour un poste vacant.

# Chapitre 1 : Construction d'ontologie

## 1-Introduction

Le développement d'Internet a poussé la communauté scientifique à structurer le Web dans lequel une information est définie par un sens ou une sémantique bien déterminée, ce qui a fait naître le Web sémantique. Cette situation a fait émerger le développement des ontologies pour le Web et pour d'autres domaines de recherche tels que l'ingénierie des connaissances, la recherche d'information, le traitement de langage naturel, l'intégration des données, les systèmes d'information coopératifs, etc.

Les ontologies ont aujourd'hui une place importante dans la représentation et la modélisation des connaissances. Elles sont utilisées pour formaliser les connaissances d'un domaine et ainsi pour représenter de manière explicite ses connaissances au moyen d'un langage formel afin qu'elles puissent être manipulées automatiquement et partagées aisément par les hommes et les machines.

Dans ce chapitre, nous présentons un état de l'art portant sur les ontologies : ses définitions courantes, ses différents composants et les différentes approches de les construire. Ce chapitre contient aussi, une étude bibliographique sur les ressources termino-ontologiques (RTO) et les méthodes de transformation des thésaurus en ontologies. Une approche a été adoptée et a concerné la transformation d'un thésaurus de gestion des ressources humaines notre domaine de recherche en une ontologie.

## 2-Définitions

Historiquement, le terme "ontologie" est issu du domaine de la philosophie. Il remonte au moins à la Métaphysique d'Aristote et à la définition de la science. Il est la réunion de deux termes "onto" et "logie". Le premier terme "onto" signifie "je suis". Le second terme "logie" (ou "logos") est un suffixe grec qui signifie "science" ou "discours". Dans le domaine philosophique Aristote a défini l'ontologie comme la science de l'Être. Elle s'intéresse à la nature et l'organisation de la réalité [1]. Actuellement, le terme ontologie recouvre deux principaux usages : le premier pour désigner la discipline philosophique et le second pour désigner son utilisation en informatique notamment le domaine de l'ingénierie des connaissances. Nous nous cantonnerons désormais à l'utilisation informatique.

Dans le domaine de l'ingénierie des connaissances (IC), la notion d'ontologie a été introduite dans les années 1990 avec les travaux de Tom Grüber [2]. Plusieurs définitions de la notion d'ontologie ont été proposées dans la littérature. La définition la plus citée dans la

littérature scientifique est celle proposée par Grüber [2] qui définit une ontologie comme une : "spécification explicite d'une conceptualisation".

Une *conceptualisation* est une vue abstraite des entités réelles du monde que l'on veut représenter et de leurs relations. Elle fait référence à un modèle abstrait des phénomènes réels de ce monde. L'expression *spécification explicite* signifie que la conceptualisation est faite de façon non ambiguë dans un langage concret. Les concepts et les contraintes utilisés pour représenter le domaine de connaissances sont explicitement spécifiés indépendamment de tout point de vue particulier.

La définition de Gruber a ensuite été affinée par Guarino [3] en disant qu' "une ontologie est définie comme étant une spécification formelle d'une conceptualisation partagée". Le terme *formelle* fait référence au fait qu'une ontologie doit être compréhensible par les machines. Ces dernières doivent être capables d'interpréter la sémantique de l'information fournie, de vérifier automatiquement certaines propriétés de consistance et de faire certains raisonnements automatiques sur les ontologies et leurs instances. Une ontologie doit aussi représenter une connaissance consensuelle partagée et admise par tous les experts d'une communauté d'utilisateurs afin d'en garantir une utilisation plus large. La définition de Gruber a été aussi modifiée par Studer et ses collègues [4] en proposant une définition similaire à celle Guarino [3]. D'autres auteurs, offrent des définitions fondées sur l'approche qu'ils ont adoptée pour construire leurs ontologies. Selon Swartout et ses collègues [5] "une ontologie est un ensemble de termes structurés de façon hiérarchique, conçu afin de décrire un domaine et qui peut servir de charpente à une base de connaissances". Cette définition se base sur le fait qu'ils construisent des ontologies de connaissances spécifiques à des domaines en identifiant ses termes significatifs.

En 2003, Pierra [6] a introduit en plus des caractéristiques de l'ontologie de spécification formelle et de conceptualisation partagée, la notion d'identifiant unique de l'ontologie. La définition ainsi proposée est : "une ontologie est une représentation formelle, explicite, référençable et consensuelle de l'ensemble des concepts partagés d'un domaine sous forme de classes, de propriétés et de relations qui les lient". Le terme référençable signifie que tout concept de l'ontologie est associé à un identifiant permettant de le référencer de manière unique à partir de n'importe quel environnement.

Après plusieurs critiques et suggestions, en 2009, Gruber propose une nouvelle définition de l'ontologie [7] : " Dans le contexte de l'informatique et des sciences de l'information, une ontologie définit un ensemble de primitives de représentation qui permettent la modélisation d'un domaine de connaissance ". Les primitives de base de

représentation d'une ontologie sont généralement des classes (ou concepts), des attributs (ou propriétés), et des relations (ou des relations entre les membres de la classe) et les connaissances inférentielles.

Pour conclure cette section, nous pouvons donc affirmer que les définitions du terme ontologie abondent dans la littérature scientifique. Les définitions, dans leur diversité, offrent des points de vue souvent complémentaires sur un même concept.

Par ailleurs, nous retiendrons donc que les ontologies sont définies pour un objectif donné et un domaine particulier, indépendantes de tout contexte particulier, et non pour un objectif applicatif particulier. Elles sont définies à l'aide d'un formalisme de représentation, qui vise à définir l'ensemble des concepts, de relations et de propriétés logiques appartenant à un domaine donné partagé par une communauté d'acteurs, afin de permettre à des agents et des programmes informatiques de pouvoir interpréter et exploiter de manière intelligente ces connaissances. Les ontologies fournissent donc le vocabulaire partagé et consensuel entre les collaborateurs d'un domaine et définissent, de façon plus ou moins formelle, le sens des termes et les relations entre ces derniers.

Dans la section suivante, nous décrivons les principaux éléments constitutifs d'une ontologie.

### **3-Les composants d'une ontologie**

D'après les définitions précédentes, une ontologie est composée principalement des éléments suivants : des concepts, des relations entre ces concepts, des instances de concepts et des axiomes [8][9].

#### **3.1-Concepts et instances**

Un concept (ou classe au sens des standards du Web Sémantique) représente un ensemble d'objets qui peut représenter un objet matériel, un événement, une notion ou une idée [10]. Un concept possède un terme ou plusieurs, une notion et un ensemble d'objets. Les termes sont aussi appelés labels ou étiquettes du concept. La notion est appelée aussi intension du concept. Elle contient la sémantique du concept. Elle est exprimée en termes de propriétés et d'attributs, des règles et de contraintes. L'ensemble d'objets est appelé aussi extension du concept. Il regroupe les objets manipulés à travers le concept. Ces objets sont les instances du concept. Bachimont [11] utilise le terme concept formel pour désigner l'extension d'un concept et de concept sémantique pour désigner l'intension du concept. Certains travaux considèrent les instances comme des composants d'une ontologie tandis que d'autres

considèrent la somme d'une ontologie et des instances de ses concepts comme une base de connaissances [9].

Les concepts peuvent également disposer d'attributs permettant de décrire leurs Caractéristiques. Enfin, il peut exister des propriétés telles que l'*équivalence* pour exprimer que deux concepts représentent la même chose ou la *disjonction* pour exprimer l'incompatibilité entre deux concepts.

### 3.2-Propriétés

Les propriétés sont des éléments qui permettent de caractériser et de distinguer les instances d'une classe. Comme les classes, les propriétés possèdent toujours un identifiant et une définition comportant une partie textuelle et une partie formelle. Les propriétés peuvent être fortement typées, associées à un domaine et un co-domaine précis qui permettent respectivement de spécifier les classes susceptibles d'initialiser une propriété et de contraindre les domaines de valeurs des propriétés. Une propriété peut prendre ses valeurs soit dans des types simples, soit dans des classes. Les types de valeurs définissent des ensembles de valeurs dans lesquels les propriétés doivent prendre leurs valeurs, ainsi le cas échéant, que les opérations pouvant porter sur ces valeurs. Les types autorisés incluent toujours : des types simples (en particulier : entier, réel, caractère, booléen, etc.), les classes (de telles propriétés représentent alors des associations) et des collections, en général associées à des cardinalités minimum et maximum.

Outre ces éléments communs, les différents langages permettent d'exprimer des caractéristiques spécifiques sur les propriétés. Par exemple, OWL permet d'exprimer des caractéristiques algébriques (symétrique, transitive, la subsumption de propriétés, etc.). Une propriété est subsumée par une autre si le graphe de la relation binaire qu'elle représente est inclus dans le graphe de sa subsumante.

### 3.3-Relations

Au sein d'une ontologie, les concepts ainsi que les instances peuvent être reliés entre eux par des relations. Une relation est un lien entre des entités, exprimée souvent par un terme ou un symbole littéral et une signature. Les termes sont les labels ou les étiquettes de la relation. La signature précise le nombre d'instances de concepts que la relation lie, leurs types et l'ordre des concepts (c'est à dire la façon dont la relation doit être lue). Les relations sont souvent organisées et hiérarchisées à l'aide de la propriété de subsumption (relations « est un » ou « est une sorte de »). Cette relation, dite taxonomique, lie un élément supérieur (le concept plus général) et un élément inférieur (le concept spécifique). Un concept C1 subsume

un concept C2 si l'extension de C2 est incluse dans l'extension de C1. Autrement dit, toute propriété sémantique de C1 est aussi une propriété sémantique de C2. Les relations de méronymie (de type « partie de ») sont également utilisées pour structurer les concepts d'une ontologie. C'est une relation qui lie un couple de concepts dont l'un est une partie de l'autre. Dans une relation de méronymie, les propriétés du tout ne sont pas obligatoirement transmises à ses parties.

En plus des relations hiérarchiques et partitives, les concepts dans une ontologie peuvent entretenir d'autres types de relations : on parle de relations «associatives» ou «transversales».

### **3.4-Axiomes**

Les axiomes sont des contraintes ou les prédicats ou les règles qui s'appliquent sur les concepts (on parle dans ce cas d'axiome) ou les instances des classes de l'ontologie (on parle dans cet autre cas d'assertion) et qui permettent de restreindre les interprétations possibles d'une ontologie et/ou de déduire de nouveaux faits à partir des faits connus. Les axiomes permettent d'inférer de nouvelles connaissances à partir d'un ensemble de faits. Contrairement aux concepts et relations, l'expression des axiomes nécessite un langage qui supporte le raisonnement.

### **4-Typologie d'ontologies**

Cette section ne fournit pas une typologie exhaustive des ontologies. Néanmoins, elle présente les types d'ontologies les plus couramment utilisés afin d'avoir une idée des connaissances à inclure dans chaque type d'ontologie.

Les différentes typologies proposées pour distinguer les multiples ontologies existantes sont effectuées selon leur couverture, en fonction de leur granularité ou encore de leur niveau de formalisation. La granularité représente le niveau de détail de la conceptualisation de l'ontologie. Le niveau de formalisation s'intéresse aux différents langages utilisés pour représenter les ontologies.

Selon leur portée et des objectifs visés, différents types d'ontologies sont développés [12] [13] :

- Les ontologies de représentation,
- Les ontologies de haut niveau,
- Les ontologies génériques,
- Les ontologies de domaine et les ontologies d'application.

#### **4.1-Ontologies de représentation**

Elles modélisent les concepts impliqués dans la formalisation des connaissances. Elles fournissent les primitives nécessaires pour décrire les concepts des autres types des ontologies de domaine et des ontologies génériques. La Frame Ontology est un exemple d'ontologie de ce type qui rassemble les primitives de représentation des langages à base de frame [14] : classes, instances, propriétés, relations, restrictions, etc.

#### **4.2-Ontologies de haut niveau**

Elles visent à modéliser les concepts de haut niveau d'abstraction. Elles expriment des conceptualisations valables dans différents domaines et décrit les concepts généraux. L'ontologie Basic Formal Ontology (BFO) [15], est un des exemples de ce type d'ontologies.

#### **4.3-Ontologies génériques**

Elles sont appelées également méta-ontologies et décrivent des concepts généraux, indépendants d'un domaine ou d'un problème particulier. Elles décrivent des concepts génériques pour être utilisées dans des situations diverses, et pour servir une large communauté d'utilisateurs, mais moins abstraites que ceux décrits dans les ontologies de haut niveau. L'ontologie de Sowa [16] est une ontologie générique.

#### **4.4-Ontologies de domaine**

Les ontologies de domaine décrivent des connaissances d'un domaine spécifique. Le vocabulaire utilisé est généralement lié à un domaine de connaissances donné. Leurs concepts sont souvent définis comme une spécialisation des concepts des ontologies de haut niveau ou génériques. Les ontologies de domaine peuvent être définies comme des ontologies de tâches ou d'applications qui concernent des tâches réalisées dans un domaine particulier.

Les ontologies de domaine présentent des connaissances d'un domaine spécifique et leur réutilisation par des applications de ce domaine. C'est le type d'ontologies le plus courant en ingénierie ontologique. Elle est constituée de la terminologie du domaine d'application.

#### **4.5-Ontologies d'application**

Elles décrivent les structures des connaissances nécessaires à la réalisation des tâches dans un domaine particulier. Elles ont une portée limitée et sont généralement non réutilisables.

## 5-Langages de représentation et de manipulation d'ontologies

Plusieurs langages ont été développés pour la représentation et la manipulation d'ontologies. Dans cette section, nous faisons une rapide revue de ceux qui nous paraissent les plus importants parmi les standards et les recommandations du World Wide Web Consortium (W3C) tels que : le langage RDF/RDFS (Resource Description Framework et Resource Description Framework Schema), les langages OWL/OWL 2 (Ontology Web Language) le SPARQL.

### 5.1-Formalismes RDF (Resource Description Framework)

RDF (Resource Description Framework) est un des formalismes standards de représentation de connaissances [17]. A l'origine, il a été défini pour décrire des ressources du Web telles que les pages Web. Une ressource peut être toute chose ayant une identité. Le langage RDF permet de décrire des connaissances sous forme de ressources, propriétés et valeurs. En d'autres termes, c'est un formalisme utilisé pour représenter les propriétés d'une ressource et leurs valeurs grâce à des triplets de la forme : (sujet, propriété, valeur) ou (Sujet, prédicat, objet).

Cette structure langagière en triplet produit un énoncé. L'ensemble des énoncés forme le modèle. L'objet d'un énoncé peut servir de sujet à un autre énoncé. Les énoncés s'enchaînent donc les uns aux autres dans une cascade de la forme : Sujet/prédicat/(objet-sujet)/ prédicat/objet-sujet/prédicat pour ainsi former un graphe de ressources.

Dans ce graphe chaque triplet est représenté par un arc étiqueté entre deux sommets dont l'origine est son sujet et la destination sa valeur. Le prédicat doit nécessairement être identifié par une URI (Internationalized Resource Identifier), ce qui n'est pas forcément le cas pour le sujet et l'objet qui peuvent être aussi des nœuds anonymes. Les valeurs peuvent être des ressources ou des littéraux.

Plusieurs notations ont été développées afin de sérialiser un modèle RDF c'est-à-dire le traduire dans une notation interprétable et exploitable par un logiciel informatique. Parmi les notations les plus populaires nous notons [18] : Le RDF/XML (W3C, 2004b), le N-Triples (W3C, 2001), le Turtle (Terse RDF Triple Language) (W3C, 2012e), la notation-3 (N3)

### 5.2-RDFS (Resource Description Framework Schema)

Le schéma RDF est une extension sémantique du langage RDF permettant d'assurer des mécanismes pour la description des groupes de ressources similaires et des relations entre ces ressources. Il fournit donc un ensemble de primitives simples pour structurer les

connaissances d'un domaine en classes et sous-classes, propriétés et sous-propriétés avec la possibilité de restreindre leur domaine d'origine et leur domaine d'arrivée. Les constructeurs proposés se présentent comme suit [19] :

- Rdfs : class qui permet de déclarer une ressource RDF comme une classe pour d'autres ressources,
- Rdfs : subclassOf qui permet de spécifier une organisation hiérarchique des classes,
- Rdfs : property qui permet de spécifier des propriétés caractéristiques d'une classe,
- Rdfs : subProperty qui permet au concepteur de spécifier une organisation hiérarchique des propriétés,
- Rdfs : domain qui permet de spécifier le domaine d'une propriété i.e. à associer une propriété à une classe,
- Rdfs : range qui permet d'indiquer le co-domaine de valeur d'une propriété,
- Rdf : type qui permet de "typer" une ressource (ou instances RDF) à une propriété ou une classe définie en RDF Schéma.

RDFS fournit donc les éléments de base pour définir les ontologies et les vocabulaires pour structurer des ressources RDF. En d'autres termes, les triplets RDF sont des instances de RDFS. RDF Schéma est une extension du RDF. C'est un méta-vocabulaire, c'est-à-dire un vocabulaire qui permet d'en décrire d'autres. RDFS précise la notion de propriété définie par RDF en permettant de donner un type ou une classe au sujet et à l'objet des triplets. Pour cela, RDFS ajoute les notions de «domain», correspondant au domaine de définition d'une fonction, et le «range», son ensemble d'arrivée.

Cependant, RDFS souffre de quelques limites puisqu'ils ne permettent pas d'exprimer [19]:

- Des propriétés algébriques comme la transitivité, la symétrie.
- Des combinaisons booléennes de classes avec des opérateurs d'union, d'intersection et de complémentarité.
- La disjonction entre classes.
- La restriction de cardinalités : c'est-à-dire le nombre de valeurs qu'une propriété donnée peut avoir.

En conséquence, un autre langage, OWL (Web Ontology Language), a été proposé pour combler ce manque.

### 5.3-OWL (Ontology Web Language)

Le langage OWL est un langage pour représenter explicitement les ontologies. Il a été recommandé par le W3C comme un standard pour le web sémantique depuis 2004 en vue d'étendre l'expressivité du langage RDFS. Il est donc une extension de RDF Schémas basé sur RDF en fournissant un vocabulaire riche pour la description d'ontologies complexes. Il offre, en plus des primitives RDF(S), de nouvelles primitives permettant de définir des classes à l'aide de mécanismes ensemblistes (intersection de classes, union de classes, complément d'une classe), des relations entre les classes (disjonction, intersection, union, etc.), types de propriétés (propriété d'objet, annotation, etc.), la cardinalité, etc. Il permet également d'effectuer des déductions.

En fonction de la complexité d'expressivité, la calculabilité et l'implémentation du langage, le langage OWL est décliné en trois sous-langages possédant une expressivité ascendante à savoir : OWL-Lite, OWL-DL (Ontology Web Language-Description Logic) et OWL-Full [19]:

- OWL Lite : c'est le sous langage le plus simple et le moins expressif. Il supporte seulement une partie des constructeurs d'OWL. Il permet de représenter une hiérarchie de classes simples et d'exprimer des contraintes simples. Certaines propriétés comme la disjonction et l'union de classes ne sont pas supportées.
- OWL DL (OWL Description Logic) : Il est expressif qu'OWL Lite. OWL DL supporte tous les constructeurs du langage OWL, mais ils sont utilisés avec certaines restrictions. Par exemple, OWL DL ne permet pas la définition de relations transitives. Il se fonde sur la logique de description et supporte le raisonnement automatisé. Mais il n'est pas totalement compatible avec RDF/RDFS.
- OWL Full : C'est la version la plus complexe qui utilise toutes les constructions du langage OWL sans restrictions. C'est aussi le sous-langage qui assure le plus haut niveau d'expressivité. OWL Full est totalement compatible avec RDF. Il a l'avantage de pouvoir étendre le vocabulaire prédéfini (RDF ou OWL).

La compatibilité ascendante assure que toute ontologie OWL Lite valide est également une ontologie OWL DL valide, et toute ontologie OWL DL valide est également une ontologie OWL Full valide. En fonction des besoins de l'utilisateur, un sous langage d'OWL peut être plus approprié qu'un autre.

Le langage OWL a connu une extension et une révision, développé par le groupe WebOnt du W3C dénommé OWL 2. Il est devenu une recommandation du W3C

depuis le 11 Décembre 2012. A l'instar d'OWL, ce langage a été conçu pour faciliter le développement d'ontologies et leur partage via le Web. Sa syntaxe principale est RDF/XML. Sa structure générale est très similaire à OWL. Ainsi, toutes les ontologies OWL restent des ontologies OWL 2 valides, avec des déductions identiques. Comparé à OWL, OWL 2 intègre de nouvelles fonctionnalités et l'étend par des simplifications syntaxiques et l'augmentation de son niveau d'expressivité. Le langage OWL 2 comprend trois sous-langages ou profils différents : OWL 2 EL, OWL 2 QL, et OWL 2 RL. Chaque profil est défini comme une restriction syntaxique de la spécification structurelle d'OWL 2. Chaque profil a un niveau d'expressivité restreint qui lui permet de bénéficier de certains avantages en termes de performance ou de mise en œuvre.

#### **5.4-SPARQL (SPARQL Protocol And RDF Query Language)**

SPARQL est un langage de requêtes destiné à interroger les bases de triplets RDF, appelées aussi triplestores. SPARQL cible donc l'interrogation de meta-données RDF, structure de base du Web sémantique. Il est à RDF ce que le langage SQL est aux bases de données relationnelles. Il est un protocole W3C recommandé depuis le 15 janvier 2008.

Il utilise des patterns de graphe pour déterminer les triplets qui satisfont les conditions des requêtes. En principe, avec ce langage, on peut accéder à toute donnée représentée au format RDF. Il utilise une syntaxe inspirée de SQL et est à ce titre très similaire à ce langage. Le schéma général d'une requête SPARQL est de la forme suivante [19] :

déclaration de préfixes

PREFIX foo : <http://example.com/resources/> ...

# définition des jeux de données

FROM ...

# clause résultat

SELECT ...

# motif de la requête

WHERE { ... }

# modificateur de requête

GROUP BY

Une requête SPARQL permet d'extraire des triplets d'un graphe RDF vérifiant certaines conditions définies dans sa clause where. SPARQL possède également d'autres clauses telles que les opérateurs booléens (union, intersection), de filtrage sur les valeurs pour exprimer des requêtes plus complexes, mais plus spécifiques. SPARQL est souvent utilisé

conjointement avec des langages de programmation comme Java pour manipuler des données RDF dans des applications.

La recommandation du W3C relative au langage SPARQL se compose de :

- Un langage de requêtes avec une syntaxe basée sur des triplets
- Un format de présentation des résultats en XML
- Un protocole d'accès pour une base distante comme un service Web (SOAP)

Cette technologie d'interrogation permet aux utilisateurs de se concentrer sur leur recherche plutôt que sur la technologie et le format sur lequel repose le stockage des données.

Il fonctionne parfaitement avec les autres technologies du Web sémantique :

- RDF pour la représentation des données,
- RDFS (schéma RDF),
- OWL pour la création de vocabulaires.

## **6-Les approches de construction d'ontologies**

La construction d'une ontologie n'est pas une activité aisée, d'autant plus qu'il n'existe pas aujourd'hui une méthodologie communément admise [8], comme c'est le cas dans le domaine des bases de données par exemple, avec la démarche Entité/Association [19]. La méthodologie varie en fonction de l'usage qu'on veut faire de l'ontologie et des ressources disponibles à utiliser pour la construction. Elle intègre souvent un expert du domaine.

Plusieurs approches méthodologiques manuelles ou semi-automatiques ont été proposées pour guider le processus de construction d'ontologies.

Nous pouvons les classer en quatre grandes catégories [19] :

- i) Les approches de construction d'ontologies à partir de zéro ;
- ii) Les approches de construction d'ontologies à partir de textes ;
- iii) Les approches basées sur la réutilisation de RTO existantes ;

Nous présentons dans cette sous-section pour chaque approche les méthodologies qui sont considérées comme parmi les plus représentatives.

### **6.1-Méthodologies pour la construction d'ontologies en partant de zéro**

Les premières méthodologies de construction d'ontologies ont été proposées au milieu des années 1990 avec les travaux d'Uschold et King [10] et Gruninger et Fox Uschold [20]. La méthodologie d'Uschold et King fut la première à être proposée et constitue la base des autres méthodologies [21]. De plus, elle fournit un guide de construction et comprend quatre étapes [19] :

- La phase d'identification du but, de la portée et des utilisations prévues pour l'ontologie ;
- La phase de développement qui consiste à identifier les concepts, les relations du domaine d'intérêt et à les représenter explicitement dans un modèle formel. Cette phase prévoit également l'exploitation éventuelle d'ontologies existantes ;
- La phase d'évaluation visant à analyser l'ontologie résultante pour vérifier si elle satisfait les utilisations prévues ;
- La phase de documentation ayant pour but de faciliter la réutilisation et le partage de l'ontologie résultante.

Dans cette méthodologie, les activités et les techniques utilisées lors des différentes étapes sont peu détaillées. Par exemple, il n'y a pas d'indication sur la manière de déterminer les concepts clefs de l'ontologie.

La méthodologie standard du Modèle d'Entreprise (Enterprise Model Approach) Uschold et Gruninger [22].

Le processus de construction ainsi convenu comprend les étapes suivantes :

- Identification des différentes sources d'informations et les connaissances du domaine (bases de données, référentiels, textes, thésaurus, ontologie, ...)
- Transformation de ces sources en ontologie qui consiste à identifier le vocabulaire du domaine et ensuite déduire les concepts et les relations clés du domaine
- Développement : consiste à identifier les concepts, les relations du domaine d'intérêt et à les représenter explicitement dans un modèle formel. Cette phase prévoit également l'exploitation éventuelle d'ontologies existantes ;
- Modélisation préalable : on définit les entités à référencer, les concepts et les relations et, enfin, on valide et on adopte les résultats.
- Codage, avec un langage formel, de la conceptualisation capturée à l'étape précédente.
- Evaluation formelle : cette étape vise à analyser l'ontologie résultante pour vérifier si elle satisfait les utilisations prévues;

Ensuite, des méthodologies plus détaillées comme celle de Grüniger et Fox [20], Methontology de Lopez [8], de Noy et McGuinness [9] et celle plus récente de Sure et ses collègues sont apparues.

La méthodologie de Gruninger et Fox est utilisée dans le cadre du projet du développement de l'ontologie « TOVE » (Toronto Virtual Enterprise). Selon ces auteurs, le développement d'une ontologie doit être motivé par des scénarios. Ces scénarios consistent à poser le problème qui motive la construction. Un scénario de motivation est constitué par un ensemble de questions (appelées questions de compétence) écrites en langue naturelle et auxquelles doit répondre l'ontologie. Les termes extraits de ces questions sont utilisés pour spécifier la terminologie dans un langage formel.

Cette méthodologie a permis de développer des projets complexes dans le domaine de l'entreprise. Néanmoins, elle reste limitée, car ni les étapes ni les techniques utilisées ne sont présentées précisément.

Methontology de Lopez est une méthodologie de construction d'ontologie développée au Laboratoire d'intelligence artificielle de l'université polytechnique de Madrid. Cette approche adopte des techniques du génie logiciel dans son processus de développement et couvre ainsi tout le cycle de vie de l'ontologie.

Le processus de construction d'une ontologie par cette méthode est déterminé par les tâches suivantes :

- Préciser le but de l'ontologie, le niveau de formalité et la portée de l'ontologie,
- déterminer les connaissances de l'ontologie (concepts, relations ...) en se basant sur l'analyse des textes ou en se basant sur des outils d'acquisition de connaissances
- Implémenter l'ontologie avec un langage d'ontologies
- Maintenir et corriger l'ontologie.

Plusieurs ontologies dans divers domaines, ont été développées en utilisant cette méthodologie : l'ontologie CHEMICALS du domaine des éléments chimiques, l'ontologie (KA) des connaissances dans la communauté scientifique, etc.

Methodology inclus aussi :

- L'identification des processus de développement de l'ontologie,
- Le cycle de vie basé sur l'évolution de prototype,
- Les techniques de gestion de projet (planification, assurance et qualité), de développement (spécification, conceptualisation, formalisation, implémentation, maintenance) et des activités de support (intégration, évaluation, documentation).

Dans la méthode de Noy et McGuinness [9], les auteurs ont proposé une méthodologie itérative de construction d'ontologies qui comprend les sept étapes suivantes :

- Identification des besoins et délimitation du domaine de connaissances à modéliser,
- Réutilisation d'éventuelles ontologies existantes et pertinentes pour le domaine,
- Identification des termes importants pour l'ontologie cible,
- Définir respectivement les classes de l'ontologie et leur hiérarchie,
- Définir les attributs des classes (concepts) et les relations qu'elles entretiennent,
- Définir les propriétés associées aux relations telles que leurs domaines et co-domaines,
- Création d'instances.

Cette méthode est intéressante, car elle définit des principes très précis sur les choix de représentation des classes, instances, relations ainsi que leur structuration qui constituent le noyau d'une ontologie.

Pour construire la hiérarchie entre les concepts de l'ontologie, différentes stratégies peuvent être utilisées selon Uschold et Gruninger [22] :

- La méthode top-down où l'on commence par la définition des concepts les plus généraux pour ensuite définir leurs sous-concepts ;
- La méthode bottom-up qui commence par la définition des concepts les plus spécifiques qui sont ensuite subsumés par des concepts plus généraux ;
- La combinaison des deux méthodes en définissant d'abord les concepts les plus intéressants.

Jarrar et al. [23] décrivent une approche inspirée du domaine des bases de données, appelée DOGMA, pour la conception d'ontologies formelles. Cette approche prend en compte plusieurs considérations : la réutilisation et le partage de connaissances, le stockage et la gestion des ontologies de façon efficace, la coexistence de systèmes hétérogènes utilisant la même ontologie, etc. Une des idées clés de cette approche est d'aboutir à une ontologie représentant la sémantique du domaine indépendamment de la langue.

Dans ces méthodologies, les sources de connaissances sont généralement construites par des humains et notamment des experts du domaine d'application. Des techniques d'acquisition de connaissances spécifiques (réunions de brainstorming, interview d'experts, etc.) sont nécessaires. Toutefois, la connaissance de toute organisation se retrouve codifiée dans les objets qu'elle manipule, parmi lesquels figurent en bonne place les documents textuels. C'est pourquoi sont apparues plusieurs méthodes de construction d'ontologies semi-automatiques à partir de textes [24][25][26].

L'idée générale consiste en l'identification, à partir de documents, des concepts importants et des relations hiérarchiques et associatives entre ces concepts grâce à l'utilisation d'outils de traitement automatique des langues (TAL), d'extraction d'informations et parfois de ressources externes de connaissances.

## **6.2-Les approches de construction d'ontologies à partir de textes**

Les textes sont considérés comme de bonnes sources de connaissances. Plusieurs méthodes d'acquisition d'ontologie à partir de textes ont été développées et qui sont largement utilisées ces quinze dernières années : Buitelaar et al [27], Cimiano et Völker [28] et Aussenac-Gilles [29]. Les approches de construction d'ontologies à partir de textes sont basées sur les outils de traitement automatique des langues (TAL) ou des méthodes statistiques d'apprentissage automatique pour extraire des connaissances ontologiques à partir de textes [30]. Dans la pratique, ces deux techniques sont souvent combinées. Les techniques linguistiques permettent l'analyse des textes. Les méthodes statistiques et d'apprentissage automatique exploitent des informations telles que les fréquences documentaires des termes, leurs nombres d'occurrences dans le corpus et leurs cooccurrences.

Après l'étape préalable de constitution d'un corpus représentatif et adéquat du domaine, les techniques de TAL et des statistiques sont ensuite utilisées pour traiter le corpus afin d'extraire certains, voire tous les constituants de l'ontologie : les concepts, les relations, les instances et les axiomes.

Nous présentons dans ce qui suit quelques méthodologies qui sont considérées comme représentatives de cette catégorie dans la littérature.

### **6.2.1-Méthodologie Maedche et Staab**

C'est une méthode itérative pour l'acquisition semi-automatique d'ontologie, mais aussi pour l'enrichissement d'ontologies existantes [31]. Elle combine des techniques de TAL,

des techniques d'apprentissage automatique et des méthodes statistiques. Pour l'extraction des termes de l'ontologie, une méthode basée sur des mesures statistiques est appliquée suivi d'une méthode de clustering pour regrouper ces termes en concepts. La conceptualisation est automatique. L'ontologie est générée automatiquement et puis raffinée et enrichie avec l'aide d'un expert (ajout de nouveaux concepts pertinents, suppression de concepts non pertinents). Cette méthode a été implémentée dans l'outil de construction d'ontologies Text-To-Onto.

### **6.2.2-Méthodologie Cimiano et al.**

Elle combine des méthodes linguistiques (segmentation, lemmatisation, analyse grammaticale, etc.) et des techniques d'apprentissage automatique [28]. L'analyse linguistique permet d'extraire les éléments constitutifs de l'ontologie tandis que les algorithmes d'apprentissage servent à calculer leur pertinence. C'est une approche itérative où l'ontologie peut être raffinée et enrichie avant sa validation par des experts. Un outil nommé Text2Onto a été développé pour supporter cette méthodologie. Il consiste en une suite de modules développés en Java qui permettent d'extraire les concepts et des relations à partir de textes. Elle utilise la base de données lexicale WordNet pour extraire des synonymes et d'autres types de relations. Il intègre une fonctionnalité permettant de tenir compte des changements dans le corpus et permet ainsi de suivre l'évolution de l'ontologie en fonction des changements dans le corpus. L'outil dispose d'une interface graphique utilisateur avec plusieurs volets et est indépendant du langage de formalisation utilisé. Text2Onto est intégré dans l'environnement de développement Eclipse comme un plug-in, ce qui facilite son intégration dans d'autres éditeurs d'ontologies.

### **6.2.3-La méthode TERMINAE**

TERMINAE est développée par le groupe de recherche Terminologie et Intelligence Artificielle (TIA), qui est à la fois une méthodologie et un outil de construction semi-automatique d'ontologies à partir de textes [32]. Cet outil intègre un environnement d'étude terminologique, un environnement d'aide à la conceptualisation et un système de gestion d'ontologies. Il est basé sur des méthodes et des outils de TAL pour extraire les éléments de l'ontologie et ceux de l'ingénierie de connaissances pour représenter l'ontologie.

L'approche a été élaborée sur la base d'expériences pratiques dans plusieurs domaines. Elle couvre l'ensemble du processus de développement de l'ontologie qui comprend quatre phases :

- La constitution du corpus en sélectionnant les textes pertinents du domaine pour l'application
- L'étude linguistique à l'aide d'outils de TAL pour identifier des indices linguistiques de connaissance (termes, relations lexicales, classes sémantiques, etc.)
- La normalisation de l'ontologie ou conceptualisation (concepts et relations désambiguïsés)
- La formalisation afin de répondre aux exigences d'une interprétation logique.

La phase de conceptualisation est manuelle et guidée. L'outil Terminae utilise un formalisme des logiques de description pour représenter l'ontologie. Il peut intégrer les résultats de différents outils d'extraction terminologique. En plus, il permet le traitement de corpus multilingues.

#### **6.2.4-La méthode Buitelaar et al.**

Cette méthode est basée principalement sur la linguistique. Elle définit des règles linguistiques qui permettent d'extraire des concepts et des relations à partir de collections de textes annotés linguistiquement [27]. C'est une approche qui intègre l'analyse linguistique dans l'ingénierie ontologique. Elle supporte l'acquisition semi-automatique et interactive d'ontologies à partir de textes, mais aussi l'extension d'ontologies existantes. Cette méthodologie est associée à un plug-in (OntoLT) pour l'outil d'édition d'ontologies Protégé. OntoLT utilise des règles prédéfinies qui permettent d'extraire automatiquement des textes des classes et des relations candidates ou mêmes des instances qui seront par la suite validées et intégrées dans l'ontologie. L'ontologie extraite peut être explorée dans l'environnement de développement Protégé.

#### **6.2.5-La méthode Fortuna et al.**

Cette méthode s'appuie sur les techniques d'analyse sémantique et de clustering (k-means) pour suggérer des concepts, des relations entre ces concepts et des instances [33]. Elle est implémentée dans le système OntoGen (Editeur semi-automatique d'ontologie) pour la construction d'ontologies. OntoGen vise à aider l'utilisateur à identifier les primitives de l'ontologie à partir d'une collection de documents. Il offre une interface graphique avec plusieurs volets qui permettent à l'utilisateur de visualiser et d'explorer les concepts, mais aussi d'ajuster l'ontologie en ajoutant de nouveaux concepts ou en éditant ceux déjà existants

On peut donc conclure que les méthodes de construction d'ontologies à partir de textes sont basées principalement sur deux familles de techniques d'identification de concepts et de

relations : les approches statistiques et les approches linguistiques. Les approches statistiques consistent à étudier généralement les termes co-occurents par analyse de leur distribution dans le corpus ou encore par des mesures calculant la probabilité d'occurrences d'un ensemble de termes. Les relations peuvent être identifiées par des calculs de similarité entre leurs contextes syntaxiques, par prédiction à l'aide de réseaux bayésiens ou de techniques de Text Mining, ou encore à l'aide d'algorithmes d'apprentissage. Ces méthodes sont efficaces, mais elles nécessitent une intervention humaine fastidieuse pour le positionnement des concepts dans l'ontologie. L'approche linguistique peut être utilisée pour découvrir des concepts via des règles d'association.

### **6.3-Les approches basées sur la réutilisation de ressources existantes**

Ces approches s'intéressent à l'exploitation de l'ensemble ou d'une partie des informations contenues dans des ressources souvent informelles pour le développement de nouvelles ontologies ou l'enrichissement d'ontologies existantes. Elles cherchent à capturer les connaissances implicites contenues dans ces ressources et de les décrire dans un modèle formel pour faciliter et accélérer le processus de construction d'ontologies. Ces ressources sont des ressources terminologiques sémantiquement proches et parfois considérées, en fonction des applications et des domaines, comme des variantes ontologiques : le vocabulaire contrôlé, la terminologie, la taxonomie, la classification et le thésaurus. On les appelle aussi des systèmes d'organisation des connaissances.

Ces ressources ne définissent pas des concepts, mais uniquement des termes relatifs au vocabulaire lié à la connaissance représentée et ne font pas référence à des notions (intention du concept) et des objets (extension du concept).

La figure n°1 décrit le continuum de toutes ces ressources et présente leurs modèles de connaissances selon le niveau sémantique [34] par rapport à celui de l'ontologie. La partie basse de ce schéma correspond à une sémantique faible non formelle. La partie haute correspond à une sémantique forte et formelle.

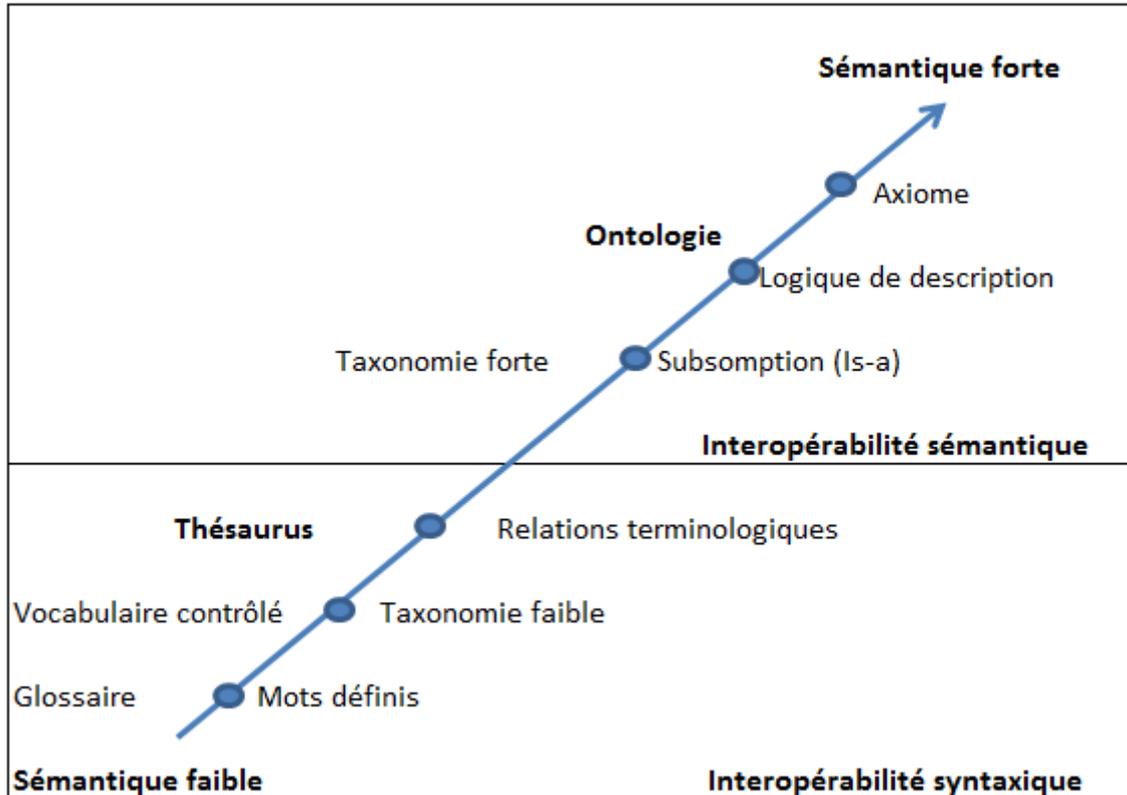


Figure n°1 : Les modèles de connaissances des ressources terminologiques [34].

### 6.3.1-Vocabulaire contrôlé

Un vocabulaire contrôlé est un ensemble de termes reconnus, normalisés et validés par une communauté. La signification des termes n'est pas forcément définie et il n'y a pas d'organisation logique entre les termes [35]. Ce vocabulaire peut être utilisé afin de labelliser des contenus documentaires. Les catalogues sont des exemples de vocabulaires contrôlés. Les termes doivent être définis de manière non ambiguë. Si plusieurs termes désignent la même notion, l'un d'entre eux représente le terme préféré et les autres sont ses synonymes. Les vocabulaires contrôlés sont souvent utilisés dans l'indexation contrôlée et la recherche d'information (RI).

Le vocabulaire contrôlé peut être présenté comme suit [36] :

Soit T un ensemble de termes d'un domaine, Un vocabulaire VC contrôlé est défini par  $VC = \{t_1, t_2, \dots, t_n / t_i \in T\}$ .

### 6.3.2-Terminologie

C'est un vocabulaire contrôlé dont les termes sont associés à des significations. Elle peut être considérée comme une langue de spécialité pour définir les termes d'un domaine

particulier [37]. Les termes sont liés par la relation d'hyponymie. Les définitions des termes dans une terminologie doivent être consensuelles et acceptées par une communauté. Donc, similairement à l'ontologie, son but est de permettre la compréhension du monde, et de faciliter ainsi la communication et le partage d'informations. Avec leur mise sur support informatique, les terminologies ont beaucoup évolué et sont parfois enrichies de relations entre termes, formant ainsi un réseau terminologique.

### 6.3.3-Classification

La classification n'inclue pas la définition des termes, l'importance est mise sur la distribution des termes dans des classes ou catégories qui les définissent. L'ensemble des instances mise en œuvre dans une classification est appelé nomenclature.

Une **taxonomie** : c'est un ensemble de concepts structurés par des relations de subsumption. Chaque instance d'une classe est aussi instance de ses superclasses.

### 6.3.4-Thésaurus

Un thésaurus est un ensemble de termes normalisés organisés suivant un nombre restreint de relations. Il existe deux types de termes dans les normes : les descripteurs (ou termes préférés ou termes vedettes) et les non-descripteurs. Tout nouveau terme est considéré par défaut non-descripteur. Les descripteurs sont constitués en regroupant les non-descripteurs synonymes et en sélectionnant celui qui représente le mieux le groupe. Sa construction et son développement sont régis par des normes afin d'uniformiser leur format de représentation. Ainsi, pendant les trois dernières décennies, plusieurs normes de construction de thésaurus issues d'organismes de normalisation ont vu le jour. Ces organismes sont, entre autres, l'Organisation internationale de normalisation (ISO), United Nations International Scientific Information System (UNISIST), la Fédération internationale des associations de bibliothécaires et des bibliothèques (IFLA) et les gouvernements britannique et américain. À l'heure actuelle, le thésaurus n'est pas seulement conçu comme langage d'indexation et de recherche documentaire, il est aussi employé en tant que : base de données terminologique, base de connaissances, langage pivot dans des systèmes interopérables.

On peut définir un thésaurus par un ensemble  $T$  de termes et un ensemble de relations  $\mathfrak{R}$  de  $T \times T$  par le couple  $(T, \mathfrak{R})$ [36].

Les termes d'un thésaurus sont reliés entre eux par des relations de types sémantiques. Les normes définissent également trois types de relations entre termes : relation d'équivalence, la relation de hiérarchie et la relation d'association.

Les deux premières relations sont composées de deux prédicats ayant des sens symétriques liant des termes du domaine : la relation d'équivalence (« utiliser plutôt » (UP) / « utiliser pour » (UPD)) ou (« employer » EM) / « employer pour » (EP)) et la relation hiérarchique (« est père de » ou « terme générique » (TG)/ « est fils de » ou « terme spécifique »(TS)).

La troisième relation est composée d'un unique prédicat et c'est une relation associative (« est lié à » (TA)).

La relation d'équivalence permet de choisir un terme descripteur comme représentant d'un ou plusieurs termes non-descripteurs. Ainsi, le terme descripteur (aussi appelé terme préféré ou terme vedette) est considéré comme équivalent aux autres non-descripteurs. La relation comporte deux prédicats symétriques : « Employé pour » « utilisé pour » lie un descripteur à d'autres termes non-descripteurs, et « Employer » « Utiliser plutôt » lie un non-descripteur à son descripteur.

La relation de hiérarchie, aussi nommée relation de subsumption, ou de taxonomie a pour rôle de hiérarchiser les descripteurs. Elle possède le prédicat de généralisation : « est père de », lie un descripteur avec un ensemble de descripteurs du domaine. Ainsi le terme de gauche du prédicat sera plus générique que le(s) terme(s) de droite. Ce terme permettra de représenter la relation de l'ensemble de termes avec le reste du domaine, comme une sorte d'« encapsulation » de termes. Le deuxième prédicat de la relation de hiérarchie est le prédicat de sémantique inverse au précédent, donc « est fils de » lie deux descripteurs entre eux (un fils n'ayant qu'un père). Au sens des thésaurus, il représente un terme plus spécifique que le terme en partie droite du prédicat.

La relation d'association a pour rôle de mettre en relation des descripteurs sans préciser la nature du lien. Elle permet de naviguer dans le domaine sans passer par la relation hiérarchique et donc de prendre des « raccourcis » lors de la recherche dans l'arborescence. Cette relation ne présente pas de restriction, elle peut mettre en relation deux descripteurs entre eux ou un descripteur à un ensemble de descripteurs.

Ces différentes relations sont présentées sur la figure N°2.

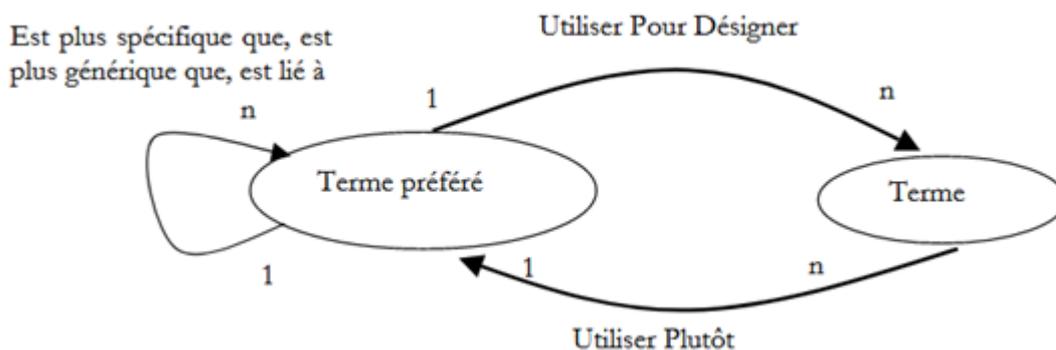


Figure 2 : Différentes relations dans un thésaurus [36]

Si les normes définissent bien ce que doit contenir un thésaurus et comment il doit être organisé, en revanche, elles ne précisent pas la structure syntaxique. Les normes ne définissent pas la manière de nommer ces éléments ni dans le cas de format électronique, la façon de les stocker. Les normes ne garantissent donc pas l'interopérabilité. En effet, des thésaurus qui sont conformes à la même norme pourront avoir des mises en forme totalement différentes. Ceci ne facilite pas l'exploitation de différents thésaurus au sein d'une même application.

Les relations sont représentées souvent par les notations symboliques suivantes [36] [38] :

- TG : terme générique, en anglais : BT : broader term
- TS : terme spécifique, en anglais : NT : narrower term
- EP : employé pour, en anglais : UF : use for
- EM : employé, en anglais : USE : Use
- TA : terme associé en anglais : RT : Related Term

Ces signes conventionnels interprétables par les humains le sont aussi par les machines depuis que les thésaurus ont fait l'objet d'une formalisation informatique.

Le schéma présenté dans la figure N°3 illustre ces relations symboliques.

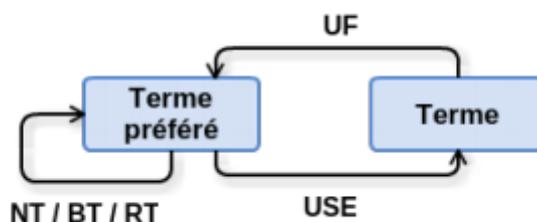


Figure 3 – Structure d'un thésaurus selon la norme ISO 2788 [38]

## 7-Transformation de thésaurus en ontologie

La transformation des thésaurus en ontologie fait l'objet de plusieurs travaux de recherche récents. Nous nous intéressons plus particulièrement aux différentes méthodes proposées de ladite transformation pour identifier les termes et ensuite proposer une approche servant pour la reprise de l'existant notamment les structures et les contenus des systèmes d'information des ressources humaines classiques qui intègrent les thésaurus comme des structure des connaissances pour la gestion des compétences.

La modélisation utilisée dans un thésaurus est particulièrement proche du formalisme utilisé pour définir une base de connaissances. Néanmoins, le niveau de formalisation des thésaurus est inférieur à celui des ontologies. La transformation vers un formalisme plus élevé impose de lever certaines ambiguïtés. C'est sur ce point que repose toute la difficulté de la transformation de thésaurus en bases de connaissances.

Nous avons identifié un ensemble de travaux qui s'intéressent à la transformation de thésaurus en ontologie dans divers domaines. Nous mettons en évidence un certain nombre de critères pour comparer les différents travaux étudiés [38] :

- ✓ Université/Laboratoire indique les différentes universités ou laboratoires impliqués dans la recherche;
- ✓ Usage : présente le but de l'ontologie générée, parmi trois possibilités : Recherche d'Information (RI), Intégration de Données (ID), Non défini (N)
- ✓ Domaine : indique le domaine dans lequel est appliquée la méthode ;
- ✓ Thésaurus utilisé(s) : précise le ou les thésaurus sur lesquels la méthode a été appliquée ;
- ✓ L'objectif global de la méthode :
  - Construction d'Ontologies (CO) : création de classes et de relations à partir de rien,
  - Enrichissement d'Ontologies (EO) : ajout de classes et de relations à une ontologie existante,
  - Peuplement d'Ontologies (PO) : création d'individus.

Auteurs	Usage	Domaine	Thésaurus	Objectif
Wielinga et al.	RI	Art et architecture	AAT	CO
Hahn	ID	Médecine	UMLS	CO et PO
Van Assem et al.	RI	Médecine	MESH(en), WordNet (en)	CO et PO
Soergel et al.	RI	Agriculture	AGROVOC (multi)	CO et PO
Hernandez et al.	RI	Astronomie		CO
Hepp et De Bruijn	RI	Produits et Services	UNPCS (en)	CO
Chrisment et al.	RI	Astronomie	IAU (multi)	CO
Villazón Terrazas et al.	N	Générique	ASFA (multi) /ETT (multi)	
Li	ID	Agriculture	MESH	CO et PO
Kless et al.	ID	Agriculture	AGROVOC	CO
Charlet et al.	RI	Urgence médicales	SNOMED (fr) UMLS (multi)	EO et PO
Fabien Amarger et al.	N	Agriculture	Agrovoc TaxRef	CO

Tableau n°1: Synthèse des travaux des transformations des thésaurus en ontologie

Il ressort du tableau ci-dessus que :

- La plupart des méthodes transforment les thésaurus en vue d'une utilisation dans un système de recherche d'information.
- Les domaines sur lesquels sont appliqués les méthodes sont divers, ce qui montre l'intérêt d'outils de transformation.
- La plupart des méthodes étudiées ont été appliquées sur un seul thésaurus, voire sur une partie du thésaurus pour les méthodes fastidieuses. Certains travaux comme le cas du Charlet et ses collègues ont utilisé plusieurs sources pour enrichir une seule et même ontologie.
- Les transformations ont principalement pour objectif la création d'ontologies. Seules certains travaux vont jusqu'au peuplement de l'ontologie.

## **8-Notre contribution de transformation des thésaurus en ontologie**

Dans la section suivante, nous nous intéressons plus particulièrement aux méthodes permettant de transformer un thésaurus en ontologie du domaine.

Ces méthodes visent à capturer la sémantique informelle du thésaurus plus particulièrement l'identification des termes ou concepts et des relations du thésaurus pouvant constituer des éléments de l'ontologie (concepts et relations entre concepts).

Ainsi, nous allons adopter une démarche qu'on va appliquer sur la composante de la gestion des ressources humaines du thésaurus du Management (ACIEGE). Ce Thésaurus est créé par l'Association des responsables des centres d'information des grandes écoles de management (ACIEGE) [39]. Il est basé sur les travaux de Van Dijk et de Georges Sandeau, les experts mondiaux en matière de thésaurus [40]. Il est mis à jour afin de l'adapter aux exigences du niveau croissant de l'enseignement des techniques de gestion, sans négliger la formation des futurs managers sur la recherche et l'utilisation rationnelle de l'information. Il est disponible en trois langues : français, anglais et espagnol et en différents formats.

Ce travail est très important dans nos travaux puisque, car ce type de ressources est très répandu dans le domaine que nous étudions, et de plus il est réalisé par des experts en la matière et utilisé comme structure d'organisation des termes dans les SIRH.

En se basant sur les travaux de recherche précités, nous constatons que les principales étapes de génération d'une ontologie à partir d'un thésaurus sont les suivantes :

- Conceptualisation du lexique du thésaurus : extraction des concepts
- Transformation des relations du thésaurus en relations ontologiques

La conceptualisation est une étape basée sur l'étude des termes pour extraire du thésaurus un premier ensemble de concepts de l'ontologie. Il consiste à regrouper les termes en concepts afin de générer les classes dans une ontologie. Les groupements des termes sont effectués à partir des termes préférés et de l'ensemble des termes auxquels sont liés par les relations d'équivalences.

### **8.1-Méthodes de conceptualisation du lexique et de transformation des relations**

Une fois les classes de l'ontologie extraites, les différentes relations du thésaurus peuvent également être transformées pour enrichir l'ontologie. En effet, les relations hiérarchiques dont les prédicats sont « est plus spécifique que » et « est plus générique que » du thésaurus témoignent d'une spécialisation ou d'une généralisation thématique entre classes. La plupart des travaux utilisent une transformation directe et simple de la hiérarchie

en sous classe. D'autres travaux proposent un traitement de la hiérarchie tout en prenant en compte les éventuelles ambiguïtés posées.

Les relations d'associations sont les plus difficiles à transformer, car leur sens n'est pas bien précisé au niveau des thésaurus. Elles peuvent en effet représenter tout type de relations ontologiques. Pour cela plusieurs approches de traitement des d'associations sont proposés à savoir le traitement automatique, le traitement manuel et parfois ne sont prises en compte lors de la transformation d'un thésaurus en ontologie.

Ces méthodes sont synthétisées par les règles de transformation qu'elles proposent comme suit :

### **8.1.1-Règles de Chrisment et al.**

Ces travaux proposent une méthodologie visant à transformer un thésaurus préexistant dans le domaine de l'astronomie en une ontologie légère de domaine qui sera utilisée pour indexer sémantiquement une collection de documents. Les règles de transformation se présentent comme suit [41] [37] :

**Règle R1** : Pour le prédicat « Employé pour »

« t1 employé pour t2 » dans le thésaurus

=> t1 et t2 correspondent à deux labels d'un même concept. Le concept lui-même porte le nom t1 (terme préféré).

**Règle R2** : Pour le prédicat « Employer »

« t3 employer t1 » dans le thésaurus

=> t1 et t3 correspondent à deux labels d'un même concept. Le concept lui-même porte le nom t1 (terme préféré).

**Règle 3** : Pour le prédicat « est fils de »

« t1 est fils de t2 » dans le thésaurus

=> soit le concept c1 (resp. c2) tel que t1 (resp.t2) label de c1 (resp. C2). c1 est « une sous-classe » de c2

**Règle 4** : Pour le prédicat « est père de » : « t1 est père de t2 » dans le thésaurus

=> soit le concept c1 (resp. c2) tel que t1 (resp. t2) label de c1 (resp. C2).

C2 est « une sous-classe » de c1.

**Règle 5** :

Pour le prédicat « est associé à » : « t1 est associé à t2 » dans le thésaurus

=> soit le concept c1 (resp. c2) tel que t1 (resp. t2) label de c1 (resp. C2).

c1 est « associé à » c2.

### 8.1.2-Règles de transformation de Hernandez

Cette approche s'inscrit dans le cadre d'un projet de coopération de l'équipe de recherche avec des astronomes (Masses de Données en Astronomie) pour transformer un thésaurus de l'astronomie nommé IAU en une ontologie. Cette ontologie est ensuite utilisée comme support pour la recherche d'information. Les règles ainsi proposées sont comme suit [36] :

#### **Règle R1 : Utilisation des relations explicites EM et EP**

Les groupements de termes sont réalisés à partir de chacun des termes préférés et de l'ensemble des termes auxquels ils sont liés par les relations du type « Employer » (EM) et « EP » (Employer Pour) :

Si  $t_3$  EM  $t_1$  alors  $t_1$  et  $t_3$  sont regroupés, avec  $t_1$  terme préféré

Si  $t_1$  EP  $t_2$  alors  $t_1$  et  $t_2$  sont regroupés, avec  $t_1$  terme préféré

#### **Règle 2 : Fermeture transitive des relations EM et EP**

Les groupements précédents sont ensuite agrégés à partir de la fermeture transitive des relations EM et EP. Dans le cas où un terme préféré à l'origine d'un premier groupement apparaît dans un autre groupement, tous les termes liés au terme préféré et le terme préféré lui-même sont ajoutés aux groupements auxquels il est lié par une des relations.

Si  $t_1$  EP  $t_2$  et  $t_2$  EP  $t_3$ , alors  $t_1$  EP  $t_3 \Rightarrow t_1, t_2$  et  $t_3$  sont regroupés, avec  $t_1$  terme préféré principal.

Si  $t_4$  EM  $t_5$  et  $t_5$  EM  $t_6$  alors  $t_4$  EM  $t_6 \Rightarrow t_4, t_5$  et  $t_6$  sont regroupés, avec  $t_6$  terme préféré principal.

#### **Règle 3 : Identifiant du concept :**

L'identifiant d'un concept est déterminé par le terme préféré à l'origine du groupement. Le choix de ce terme comme identifiant permet de garder un lien entre la future ontologie et le thésaurus. Les identifiants des concepts correspondent ainsi à des entrées du thésaurus. Un terme peut être polysémique (label de plusieurs concepts) dans le cas où il était lié dans le thésaurus à deux termes préférés distincts.

Si  $t_1, t_2, \dots$  et  $t_n$  regroupés avec  $t_1$  terme préféré principal

$\Rightarrow$  Création du concept  $c$  d'identifiant  $t_1$  et de labels  $t_1, t_2, \dots$  et  $t_n$

#### **Règle : 4**

Les relations de termes « est plus spécifique », « est plus générique » obéit à la règle :

Si t1 est plus spécifique que t2 avec t1 label du concept c1 et t2 label du concept c2 => c1 « est une sous-classe de » c2.

Elle entrainera la création de deux classes (concept), une étant une sous-classe de l'autre dans l'ontologie.

### **8.1.3- Règles de Miles**

Les travaux de ce dernier s'inscrit dans le cadre du projet initié par l'Union européenne dans le cadre du projet SWAD-Europe (W3C Semantic Web Advanced Development for Europe) sur la migration des thésaurus en proposant un schéma pour publier les thésaurus sur le Web Sémantique. Il consiste à capturer l'information implicitement présente dans les thésaurus sans ajouts d'autres. L'extraction des concepts du thésaurus repose sur les règles suivantes [42] :

Règle R1 : Chaque « terme préféré » devient un label préféré d'un concept,

Règle R2 : Les « termes non préférés » deviennent des labels alternatifs du concept,

Règle R3 : Un label peut être une chaîne de caractères, un symbole ou une image,

Règle R4 : Les relations de termes « est plus spécifique », « est plus générique » ou « est lié à » deviennent des relations sémantiques entre les concepts. Les concepts peuvent avoir des annotations telles que des notes les décrivant ou des définitions.

### **8.2-Evaluation**

Après cette présentation des différentes méthodes de transformations des thésaurus en ontologie. Il s'est avéré que ces méthodes permettent une conceptualisation du lexique du thésaurus via l'exploitation de l'ensemble des termes et l'application de certaines règles sur les associations du thésaurus pour générer une ontologie. **Ces** transformations sont souvent manuelles. Notre approche combine ces différentes méthodes pour créer notre ontologie :

-Pour les prédicats EM et EP : les trois règles de transformation de Hernandez.

-Pour les prédicats sont « est plus spécifique que » et « est plus générique que » les règles de Hernandez et celles Chrisment qui sont équivalentes,

-Pour les relations associatives une transformation manuelle.

Les règles ainsi retenues pour notre contribution relative à la transformation d'un thésaurus en une ontologie se présentent comme suit :

<b>Concepts</b>	Chaque terme préféré devient un concept avec un label préféré du concept,
<b>Labels</b>	Les termes non préférés deviennent des labels alternatifs du concept,
<b>Identifiant</b>	Si t1, t2,... et tn regroupés avec t1 terme préféré principal => Création du concept c d'identifiant t1 et de labels t1, t2,... et tn (rdf:about="identifiant_unique").
<b>TS/TG</b> -t1 fils de t2 -t1 père de t2	Deux concepts c1 et c2 avec deux labels resp. t1 et t2, reliés par une relation hiérarchique. (rdfs:subClassOf).
<b>EP</b> «t1 utilisé pour t2»	Regroupement de t1 et t2 avec le concept t1 et deux labels t1 et t2
<b>EM</b> « t3 employer t1 »	Regroupement de t1 et t3 avec le concept t1 (terme préféré) et deux labels t1 et t3.
<b>TA</b> « t1 est associé à t2»	Deux concepts c1 et c2 avec deux labels resp. t1 et t2, reliés par une relation est « associé à».

Tableau n°2 : Règles de transformation du thésaurus en ontologie

Nous allons appliquer cette approche au thésaurus du management (ACIEGE). La figure suivante présente ce thésaurus relatif au volet de la Gestion des Ressources Humaines. Ce thésaurus contient les différentes relations et concepts de ce domaine.

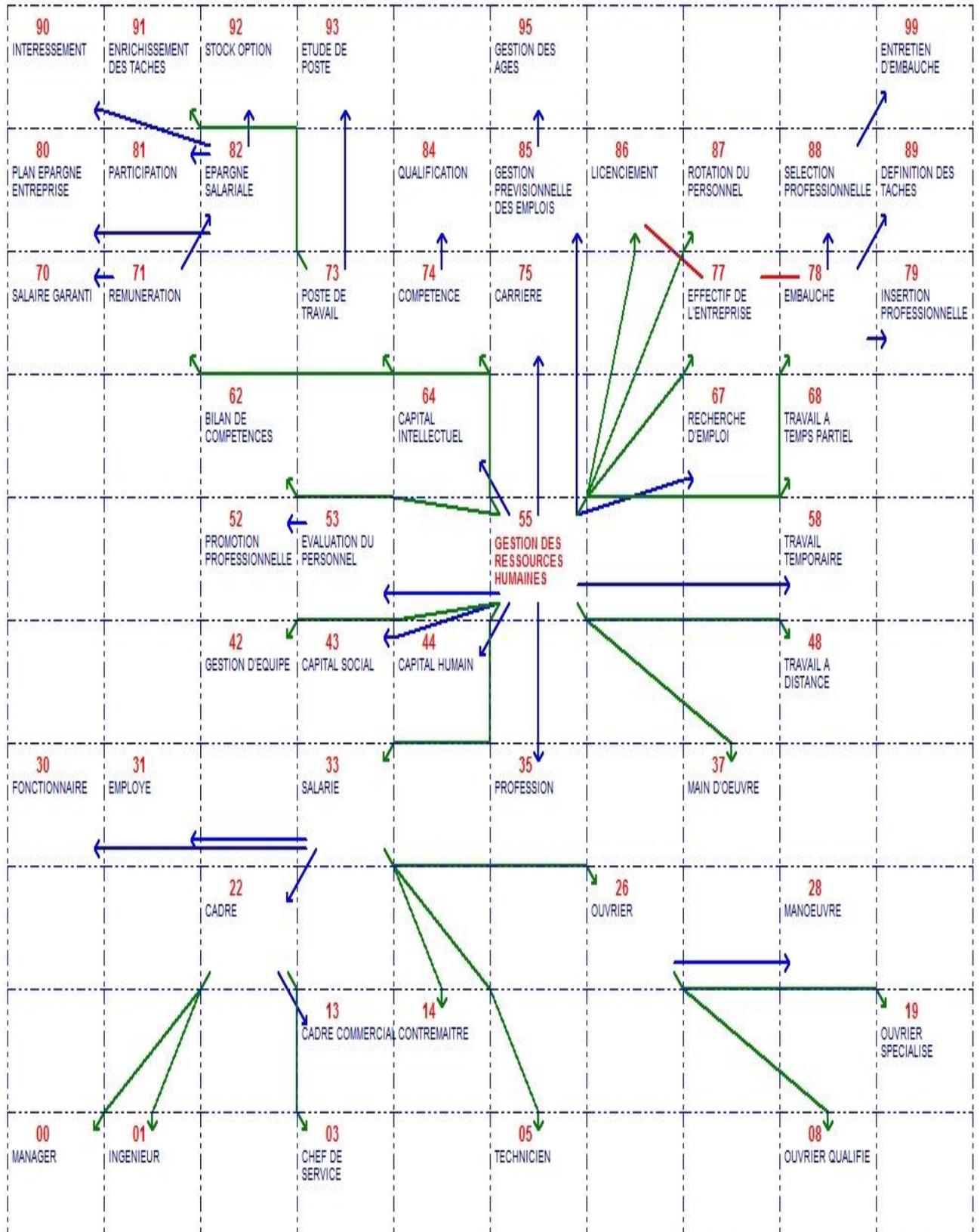


Figure 4: Schéma du thesaurus (ACIEGE) volet de GRH [39]

## 8.2.1-L'extraction des concepts et relations de ce thesaurus

L'extraction de différents concepts et relations sont définis dans le tableau n°3 suivant :

<u>BILAN DE COMPETENCES</u>	<u>INGENIEUR</u>
TG : GRH	TG : CADRE
<u>CADRE</u>	TR : INGENIEURIE
TG : SALARIE	<u>INSERTION PEROFESIONNELLE</u>
TS : CADRE COMMERCIAL	TG : EMBAUCHE
TS : CHEF DE SERVICE	TR : EMPLOI
TS : INGENIEUR	EP : INTEGRATION DU PERSONNEL
TS : CADRE INTERMIDIAIRE	<u>INTERSEMMENT</u>
TS : MANAGER	TG : EPARGNE SALARIALE
<u>CADRE INTERMEDIAIRE</u>	TR : RELATIONS DU TRAVAIL
TG : CADRE	<u>LICENCEMENT</u>
<u>CADRE COMMERCIAL</u>	TG : GRH
TG : CADRE	TR : EFFECTIF DE L'ENTREPRISE
<u>CAPITAL HUMAIN</u>	TR : CONTRAT DE TRAVAIL
TG : GRH	TR : CHOMAGE
EP : RESSOURCES HUMAINES	TR : MOBILITE PROFESSIONNELLE
<u>CAPITAL INTELECTUEL</u>	EP : OUT PLACEMENT
TG : GRH	EP : PLAN SOCIAL
TS : MANAGEMENT DES	<u>MAIN D'ŒUVRE</u>
CONNAISSANCES	TG : GRH
EP : RESSOURCES	TR : IMMIGRATION
INTELLECTUELLE	<u>MANAGER</u>
<u>CAPITAL SOCIAL</u>	TG : CADRE
TG : GRH	TR : CHEF D'ENTREPRISE
TR : COMMUNAUTE DE PRATIQUE	TR : MANAGEMENT
TR : RELATIONS	EP : DIRECTEUR
INTERPERSONNELLES	<u>MANŒUVRE</u>
TR : RESEAU SOCILA	TG : OUVRIER
EP : RESEAU PERSONNEL	

<p><u>CARRIERE</u></p> <p>TG : GRH</p> <p>TR : EGALITE PEOFESSIONNELLE</p> <p>EP : ANCIENNETE</p> <p>EP : CHANGEMENT DE METIER</p> <p>EP : PLAN DE CARRIERE</p> <p>EP : PROJET PROFESSIONNEL</p> <p>EP : RECONVERSION</p> <p>PROFESSIONNELLE</p> <p><u>CHEF DE SERVICE</u></p> <p>TG : CADRE</p> <p><u>COMPETENCE</u></p> <p>TS : QUALIFICATION</p> <p>TG : GRH</p> <p>TR : COMMUNITE DE PRATIQUE</p> <p>TR : VALIDATION DES AQUIS DE</p> <p>L'EXP.</p> <p><u>CONTREMAITRE</u></p> <p>TG : SALARIE</p> <p><u>DEFINITION DES TACHES</u></p> <p>TG : EMBAUCHE</p> <p>EP : DESCRIPTION DE POSTE</p> <p><u>EFFECTIF DE L'ENTREPRISE</u></p> <p>TG : GRH</p> <p>TR : EMBAUCHE</p> <p>TR : LICENCEMENT</p> <p><u>EMBAUCHE</u></p> <p>TG : GRH</p> <p>TS : DEFINITION DES TACHES</p> <p>TS : INSERTION</p> <p>PROFESSIONNELLE</p> <p>TS : SELECTION</p>	<p><u>OUVRIER</u></p> <p>TG : SALARIE</p> <p>TS : MANŒUVRE</p> <p>TS : OUVRIER QUALIFIER</p> <p>TS : OUVRIER SPECIALISE</p> <p><u>OUVRIER QUALIFIER</u></p> <p>TG : OUVRIER</p> <p><u>OUVRIER SPACIALISE</u></p> <p>TG : OUVRIER</p> <p>EP : OS</p> <p><u>PARTICIPATION</u></p> <p>TG : EPARGNE SALARIALE</p> <p><u>PLAN EPARGNE ENTREPRISE</u></p> <p>TG : APARGNE SALARIALE</p> <p><u>POSTE DE TRAVAIL</u></p> <p>TG : GRH</p> <p>TS : ENRECHISSEMENT DES</p> <p>TACHES</p> <p>TS : ETUDE D POSTE</p> <p>TR : ORGANISATION DU TRAVAIL</p> <p><u>PROFESSION</u></p> <p>TG : GRH</p> <p>TR : EMPLOI</p> <p>TR : CATEGORIE</p> <p>SOCIOPROFESSIONNELLE</p> <p>EP : METIER</p> <p><u>PROMOTION PROFESSIONNELLE</u></p> <p>TG : EVALUATION DU</p> <p>PERSONNEL</p> <p><u>QUALIFICATION</u></p> <p>TG : COMPETENCE</p>
--	--

<u>PROFESSIONNELLE</u>	<u>RECHERCHE D'EMPLOI</u>
TR : EFFECTIF DE L'ENTREPRISE	TG : GRH
TR : INFORMATION DU	EP : CV
PERSONNEL	EP : CURRICULUM VITAE
TR : CONTRAT DE TRAVAIL	EP : LETTRE DE CANDIDATURE
TR : MOBILITE PROFESSIONNELLE	<u>REMUNERATION</u>
EP : METHODE D'EMBAUCHE	TG : GRH
EP : QUESTIONNAIRE	TS : EPARGNE SALARIALE
D'EMBAUCHE	TS : SALAIRE GARANTI
EP : RECRUTEMENT	TR : REVENUE
<u>EMPLOYEE</u>	EP : SALAIRE
TG : SALARIE	<u>ROTATION DU PERSONNEL</u>
<u>ENRICHESSEMENT DES TACHES</u>	TG : GRH
TG : POSTE DE TRAVAIL	EP : TURNOVER
EP : ELARGISSEMENT DES	SALAIRE GARANTI
TACHES	TG : REMUNERATION
<u>ENTRETIEN D'EMBAUCHE</u>	EP : SMIG
TG : SELECTION	<u>SALARIE</u>
PROFESSIONNELLE	TG : GHR
TR : ENTRETIEN	TS : CADRE
<u>EPARGNE SALARIALE</u>	TS : CONTREMAITRE
TG : REMUNERATION	TS : EMPLOYEE
TS : INTERSSEMENT	TS : FONCTIONNAIRE
TS : PARTICIPATION	TS : OUVRIER
TS : PLAN EPARGNE ENTREPRISE	TS : TECHNICIEN
TS : STOCK OPTION	<u>SELECTION PROFESSIONNELLE</u>
TR : EPARGNE	TG : EMBAUCHE
<u>ETUDE DE POSTE</u>	TS : ENTRETIEN D'EMBAUCHE
TG : POSTE TRAVAIL	EP : ORGANISME SELECTION
TR : ETUDE DU TRAVAIL	PROFESSIONNELLE
	TR : PSYCHOMETRIE

<p><u>EVALUTION DU PERSONNEL</u></p> <p>TG : GRH</p> <p>TS : PROMOTION</p> <p>PROFESSIONNELLE</p> <p>EP : ENTRETIEN D'EVALUATION</p> <p><u>FOCTIONNAIRE</u></p> <p>TG : SALARIE</p> <p><u>GESTION D'EQUIPE</u></p> <p>TG : GRH</p> <p><u>GESTION DES AGES</u></p> <p>TG : GESTION PREVISIONNELLE</p> <p><u>GESTION DES RESSOURCES</u></p> <p><u>HUMAINE</u></p> <p>EP : GESTION DU PERSONNEL</p> <p>EP : GESTION INTERNATIONALE</p> <p>DU PERSONNEL</p> <p>EP : MUTATION DU PERSONNEL</p> <p>EP : POLITIQUE DU PERSONNEL</p> <p><u>GESTION PREVISIONNELLE DES</u></p> <p><u>EMPLOIS</u></p> <p>TG : GRH</p> <p>TS : GESTION DES AGES</p> <p>EP : GPEC</p>	<p><u>GRH</u></p> <p>TS : BILAN DE COMPETENCES</p> <p>TS : CAPITAL HUMAIN</p> <p>TS : CAPITAL INTELLECTUEL</p> <p>TS : CAPITAL SOCIAL</p> <p>TS : CARRIERE</p> <p>TS : COMPETENCE</p> <p>TS : EFFECTIF DE L'ENTREPRISE</p> <p>TS : EMBAUCHE</p> <p>TS : EVALUATION DU PERSONNEL</p> <p>TS : GESTION D'EGUIPE</p> <p>TS : GESTION PREVISIONNELLE</p> <p>DES EMPLOIS</p> <p>TS : LICENCIEMENT</p> <p>TS : MAIN D'OEUVRE</p> <p>TS : POSTE DE TRAVAIL</p> <p>TS : PROFESSION</p> <p>TS : RECHERCHE D'EMPLOI</p> <p>TS : REMUNERATION</p> <p>TS : ROTATION DU PERSONNEL</p> <p>TS : SALARIE</p> <p>TS : TRAVAIL A DISTANCE</p> <p>TS : TRAVAIL A TEMPS PARTIEL</p> <p>TS : TRAVAIL TEMPORAIRE</p> <p>TR : FORMATION CONTINUE</p> <p>EP : GESTION DU PERSONNEL</p> <p>EP : MUTATION DU PERSONNEL</p> <p>EP : POLITIQUE DU PERSONNEL</p>
---	--

Tableau n°3 : Les relations du thesaurus GRH

En appliquant les règles de transformation du thésaurus en ontologie que nous avons adopté sur les relations sus-indiquées dans le tableau n°3, nous obtenons l'ontologie dressée dans la page suivante.

## 8.2.2-Construction de l'ontologie

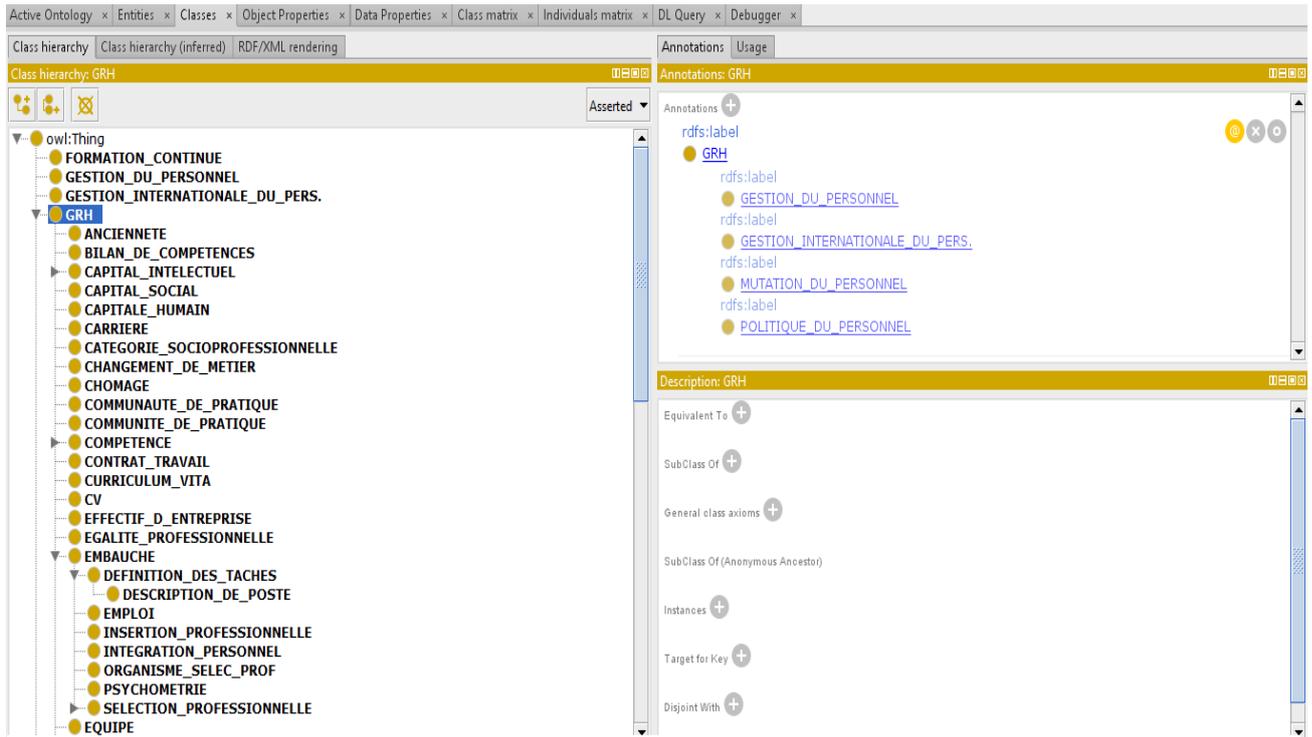


Figure 5 : Schéma de l'ontologie générée

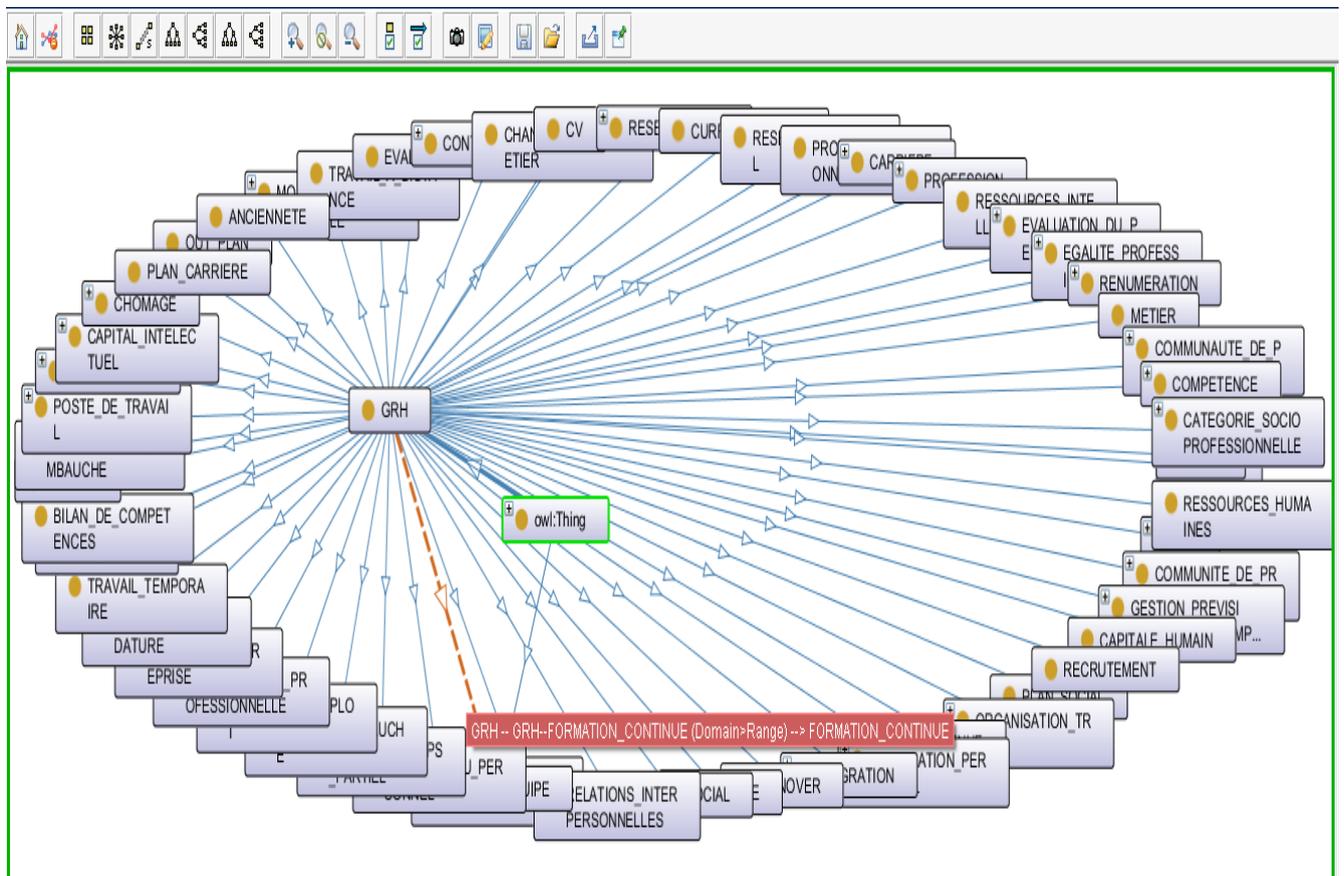


Figure 6 : Le schéma de l'ontologie avec OntoGraph

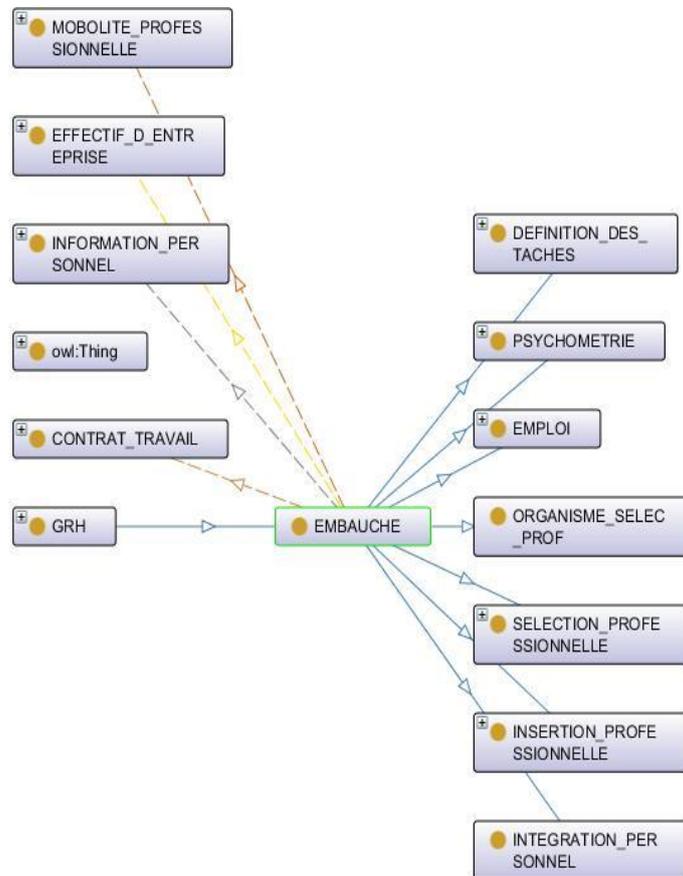


Figure 7 : la classe EMBAUCHE après la transformation

## Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre les différentes notions liées aux ontologies. En outre, nous avons proposé une description détaillée des différents constituants décrivant les ontologies et leurs classifications, les langages de représentation et de manipulation d'ontologies. Ensuite, on s'est focalisé sur les différents types d'approches de construction d'ontologies qui sont distinguées en fonction du support sur lequel elles se basent. Les méthodes de construction d'ontologies proposent souvent la réutilisation et la réingénierie des ressources termino-ontologiques (RTO) déjà développées et abondantes dans certains domaines, pour en tirer profit et pour faciliter et accélérer le processus de construction d'ontologies. L'idée est d'éviter de « réinventer la roue » en exploitant partiellement ou entièrement les contenus de ces sources de connaissances souvent implicites et informelles.

Aussi, la création d'ontologies en exploitant les thésaurus présente l'avantage de reposer l'ontologie sur l'ensemble des termes qu'ils contiennent et qui sont identifiés par des experts du domaine.

Pour notre projet, la transformation d'un thésaurus en ontologie est primordiale dans la mesure où il existe de nombreuses ressources terminologiques sous forme de thésaurus dans le domaine des ressources humaines du fait que leurs systèmes d'information classiques s'appuyant sur des thésaurus pour gérer certains processus comme ceux de la gestion des compétences.

Après une revue détaillée des principaux travaux de construction des ontologies à partir des thésaurus, nous avons opté pour une démarche simple qui combine les principales règles de transformation de l'ensemble des prédicats du thésaurus en constituants de l'ontologie. L'expérimentation a été faite sur le thésaurus (ACIEGE), le volet gestion prévisionnelle des emplois et des compétences. L'ontologie ainsi obtenue est implémentée dans l'éditeur protégé.

Ce travail ne vise pas seulement la mise en place d'une approche pour construire une ontologie à partir d'un thésaurus, mais identifier les différents termes et leurs relations qui sont utilisés dans le processus de la gestion prévisionnelle de la compétence. Il s'agit d'une étape préliminaire déjà recommandée par certaines méthodes de développement des ontologies telle que celle de Noy et Mcguinness.

## Chapitre 2 : Modélisation des compétences

### 1-Introduction

La prise de conscience du rôle important de la notion de compétence dans le pilotage des organisations, a fait de cette notion un thème de recherche privilégié dans plusieurs domaines tels que la psychologie cognitive, la sociologie, les sciences de gestion et l'informatique.

La compétence est donc une notion pluridisciplinaire est en plein essor dans le monde de la recherche et de l'entreprise. Elle a donné lieu à de nombreux débats dans les écrits scientifiques et à une diversité de définitions et de connotations.

Par ailleurs, l'absence d'un consensus autour de ses définitions a amplement favorisé l'adoption de plusieurs modèles jugés facilement assimilables et utilisables, en vue de décrire, évaluer et développer les compétences.

Dans le domaine des ressources humaines, la gestion des compétences a pris beaucoup d'importance au cours de ces dernières décennies, en faisant de lui un levier privilégié de la valorisation des ressources humaines et de la compétitivité de l'entreprise pour assurer la flexibilité de l'entreprise devant les changements du marché, des technologies, du contexte social, etc.

Cependant, nous nous sommes aperçus que les concepts de la compétence relatifs au domaine des ressources humaines, manquent cruellement de consensus dans leurs définitions et que quand ils sont définis ils ne le sont pas assez précisément pour pouvoir proposer une modélisation pour un système informatique.

Dans ce sens nous allons commencer ce chapitre par une présentation succincte de la fonction des ressources humaines sa définition ainsi que ses missions et ses diverses composantes. Nous allons ensuite procéder à une analyse détaillée de la composante compétence pour en dégager une synthèse sous la forme d'une définition et d'un modèle.

Pour suivre nos objectifs et répondre à cette problématique de gestion des compétences et aux différents enjeux énoncés, nous avons opté pour une approche ontologique, car la compétence est un sujet d'excellence de connaissance et que l'ontologie est le meilleur moyen actuel qui permet d'une part de structurer les différents concepts de l'entreprise et d'autre part d'obtenir des définitions cohérentes et consensuelles des concepts tout en supportant les diversités langagières. En partant de l'ensemble des concepts identifiés lors de la transformation du thésaurus (ACIEGE), nous allons procéder à l'enrichissement de cette ontologie par ajout de nouveaux concepts spécifiques à la gestion des compétences en

exploitant l'ontologie ESCO, le référentiel des emplois et des compétences élaboré par le Ministère de Réforme de façon à construire une ontologie complète et spécifique à la gestion des compétences au Maroc et plus particulièrement pour le secteur public.

## **2-La fonction Ressources Humaines**

La gestion des ressources humaines (GRH) est une discipline qui s'intéresse au facteur humain. Elle est la dernière fonction née des grandes fonctions de l'entreprise après la production, la finance et le marketing.

D'après Olivier Meier [43], « La gestion des ressources humaines est un ensemble de fonctions et de pratiques ayant pour objectif de mobiliser et développer les ressources du personnel pour une plus grande efficacité et efficience, en soutien de la stratégie d'une organisation (association, entreprise, administration publique, etc.). C'est une activité fonctionnelle de l'entreprise, de nature transversale (relation horizontale) par opposition à une activité hiérarchique (relation verticale). De manière synthétique, elle peut se diviser en deux grandes branches, d'un côté l'administration des ressources humaines (paye, juridique, contrat...) et de l'autre, la gestion des ressources humaines (gestion des emplois, programmes de recrutement, plans de carrières, mutations et promotion, analyse des postes et évaluation des personnes, gestion des rémunérations, gestion de la formation, communication, information et les conditions de travail) ... ».

Le terme de gestion des ressources humaines couvre donc une part importante de tâches administratives et répétitives telles que la paie, le contrôle des présences, le suivi des situations personnelles des collaborateurs,...et comprend aussi une multitude de processus tels que le recrutement, la gestion des emplois et des compétences, l'évaluation, la mobilité et la formation.

La définition de P. Roussel est la suivante [44]: « La gestion des ressources humaines est l'ensemble des activités qui visent à développer l'efficacité collective des personnes qui travaillent pour l'entreprise. L'efficacité étant la mesure dans laquelle les objectifs sont atteints, la GRH aura pour mission de conduire le développement des R.H. en vue de la réalisation des objectifs de l'entreprise. La GRH définit les stratégies et les moyens en RH, les modes de fonctionnement organisationnels et la logistique de soutien afin de développer les compétences nécessaires pour atteindre les objectifs de l'entreprise.». La GRH est donc une fonction qui mobilise plusieurs actions et outils pour aider les employés à être plus efficace.

Il en ressort à partir des définitions précitées que la gestion des ressources humaines a pour objectif de mobiliser et développer les ressources du personnel notamment ses

compétences nécessaires pour une plus grande efficacité et efficience afin d'atteindre les objectifs de l'entreprise. La notion des compétences est donc une notion clé de la gestion des ressources humaines.

### **3-La gestion des compétences**

Le vaste mouvement irréversible qui nous conduit vers une société dont l'économie est axée sur le savoir met en évidence la nouvelle importance que prennent l'apprentissage humain et l'acquisition des connaissances et des compétences. L'intérêt que soulève l'apprentissage ainsi que la gestion des connaissances et des compétences est un fait marquant de la décennie qui commence [45].

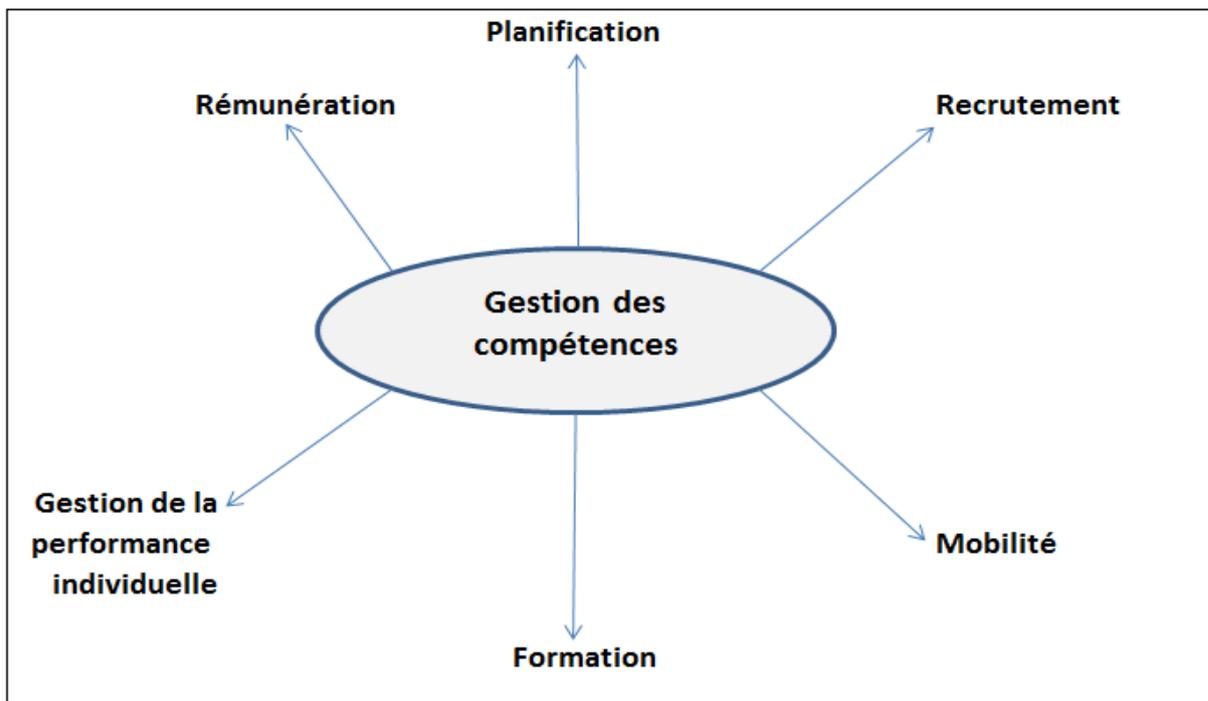
L'efficacité du capital humain a été considéré auparavant comme un facteur qui n'a pas d'intérêt dans la création des richesses des pays, les compétences et les savoirs de celui-ci étaient ignorés et importaient peu par rapport à l'effort physique humain dans la création des richesses. Cependant, depuis le début du XVIIIe siècle, on assiste à la prise en compte du capital humain en considérant, notamment, ses talents et ses compétences. Le développement des compétences est perçu comme un facteur incontournable de productivité et de compétitivité dans le secteur public comme dans le secteur privé. Dans ce contexte, plusieurs initiatives ont été prises. A titre d'exemple, en France, trois étapes récentes ont concrétisé, l'importance du concept de compétence :

- Le bilan de compétences créé en 1991 ;
- La Loi de Programmation pour la Cohésion Sociale du 18 janvier 2005 imposant la démarche de GPEC (gestion prévisionnelle des emplois et des compétences) dans le secteur privé.
- L'introduction de la GPEEC (gestion prévisionnelle des effectifs et des emplois et des compétences) et la création en 2007, du Fonds de modernisation des établissements de santé publics et privés (FMESPP - budget : 10 millions d'euros).

Le Maroc, dans le cadre de son programme de réforme de l'administration publique s'est engagé au-delà de 2008, dans l'amélioration de l'efficacité de l'État grâce à l'instauration d'un nouveau système de gestion des ressources humaines. La mise en place de la Gestion Prévisionnelle des Effectifs, des Emplois et des Compétences (GPEEC) dans les grands ministères constitue l'un des piliers les plus importants dans cette réforme. L'Initiative Nationale pour le Développement Humain (INDH) est aussi une initiative novatrice au Maroc pour développement social et humain. De même, Sa Majesté Le Roi Mohammed VI dans son Discours Royal du Trône du 30 juillet 2014 a mis, en relief l'importance du concept du capital

immatériel dans lequel le capital humain (personnalité du dirigeant, leadership, compétences individuelles, expérience, savoir-faire, compétences) occupe une place importante.

Il s'est avéré donc que la gestion des compétences a envahi la scène de la gestion des ressources humaines à travers l'établissement de profils de compétences, l'analyse des écarts, la classification, la rémunération et le recrutement fondées sur les compétences, l'évaluation du rendement, la mobilité, la planification et bien d'autres usages des compétences s'intègrent dans les activités des organisations. La gestion des compétences est donc au centre de la scène des RH (figure N°8).



**Figure 8 : position de la gestion des compétences dans la scène des RH**

### **3.1-Définition de la compétence**

Depuis les années quatre-vingt dix, la notion de compétence est de plus en plus utilisée dans différents domaines ou disciplines mais, il n'y pas de consensus autour de ses définitions. Ce qui pose un flou au niveau des méthodologies d'usage et par conséquent un véritable problème pour son traitement par les systèmes informatiques et en particulier les systèmes d'information des ressources humaines (SIRH). Il est donc important de présenter les principales définitions de la compétence de point vue managériale pour les appréhender.

Selon le dico du Manager D'après Olivier Meier [43], « La compétence est un ensemble de savoirs et de savoir-faire professionnels observables, analysables et pouvant être

soumis à l'évaluation, qui permettent aux acteurs de l'entreprise d'exercer dans de bonnes conditions les tâches qui leur sont confiées. La compétence peut donc se voir comme le potentiel d'une personne à exercer des tâches déterminées, par la mobilisation et la combinaison de ressources spécifiques. Une compétence est donc complexe, dans la mesure où elle intègre de la réflexion, des savoirs, des habiletés, des attitudes dans un processus qui doit déboucher sur une action donnée ». Le dictionnaire définit donc la compétence ensemble de savoirs et de savoir-faire professionnels ou comme potentiel d'une personne pour exercer des tâches bien déterminées dans des bonnes conditions. Une compétence est donc relative et reliée à un contexte, à une situation qui permet à l'individu d'agir. Cette définition permet de distinguer deux approches différentes relatives à la définition de la compétence soit comme un ensemble de ressources ou comme une façon d'agir. De ce fait, nous allons considérer deux grandes catégories des définitions.

### **3.1.1-Compétence est un processus**

Dans la littérature, il est assez courant de trouver des définitions qui comparent la compétence à un processus. C'est le cas entre autres pour Reinbold et Breillot [46] qui définissent la compétence comme « Le processus de production d'une performance économique sociale régulière et reconnue, dans un contexte délimité concrètement ».

Elle est un processus qui génère un produit fini qu'est la performance. L'opérateur compétent est celui qui est capable de mobiliser de façon efficace ses diverses ressources telles que des opérations de raisonnement, des connaissances, des activations de la mémoire, des évaluations, des capacités relationnelles ou des schémas comportementaux dans des contextes diversifiés ou dans des tâches de plus en plus complexes.

### **3.1.2-Compétence est un ensemble de ressources**

C'est le cas de la définition la plus habituellement utilisée qui définit la compétence comme une somme de savoirs, de savoir-faire et de savoir [47]. Cette définition est admise dans les dispositions réglementaires régissant la formation professionnelle et dans de multiples projets de gestion des emplois et des compétences (GPEC).

La définition retenue par l'Organisation Patronale représentant les dirigeants des Entreprises Françaises (le Mouvement des Entreprises de France : MEDEF) est la suivante : « Les compétences sont une combinaison de savoir-faire, d'expériences et de comportements s'exerçant dans un contexte précis. Elles se constatent en situation professionnelle. C'est donc à l'entreprise qu'il appartient de les repérer, de les évaluer, et de les faire évoluer. ».

Les Savoirs sont l'ensemble des connaissances acquises par l'apprentissage (les études) ou l'expérience (les stages par exemple). Les savoir-faire sont des compétences techniques liées à l'acte de réalisation des tâches. Les compétences comportementales ont trait aux comportements du collaborateur dans son environnement de travail. Il s'agit du savoir-être qui caractérise chaque individu.

Les approches anglophones sont légèrement différentes de celles Françaises. Elles distinguent les compétences seuils comme les connaissances et les savoir-faire basiques qui représentent les compétences minimales pour exercer dans un emploi, mais non pour y exceller, et les compétences différentielles qui sont les compétences comportementales et les savoir-faire pointus. On retrouve donc les compétences essentielles qui sont les savoirs (ou connaissance) et le savoir-faire ainsi que les compétences différentielles regroupées dans le savoir-être.

Pour le Ministère de la réforme de l'Administration et de la fonction publique, les compétences sont axées généralement sur trois savoirs : savoirs (connaissances), savoir-faire (habiletés) et savoir-être (attitudes et comportements). Le savoir-faire est défini comme une habileté à réaliser une chose, il est considéré comme une compétence technique.

Par ailleurs, les compétences techniques sont généralement présentes dans presque toutes les définitions (aussi bien anglophones (skill) que francophones (savoir-faire)) connues. Cet aspect est d'ailleurs facilement identifiable dans le contexte du travail du collaborateur. Le savoir-être est composé dans l'approche anglophone par les motivations, la rigueur, la communication et d'autres comportements qui peuvent améliorer ou diminuer la qualité du travail de chaque personne. Ces caractéristiques font partie de ce que l'on cherche à cerner dans les entreprises et elles sont de plus en plus souvent considérées comme facteurs de la réussite professionnelle. Aujourd'hui, la qualité d'un collaborateur ne se fera pas nécessairement sur ses connaissances théoriques (savoir) qui sont partagées par beaucoup de monde, mais davantage sur sa façon de vivre dans l'entreprise. Les compétences comportementales ont trait à la personnalité du collaborateur, en cela, elles posent de réels problèmes d'identification et d'évaluation.

On conclut donc que la compétence est composée des ressources et possède une structure hiérarchique. Elle varie dans le temps largement en fonction des emplois détenus, des situations vécues de travail et avec l'évolution des technologies, du cadre juridique, etc.

La gestion prévisionnelle des emplois et des compétences (GPEC) est un processus qui tente à gérer à la fois les compétences des employés et les emplois qu'ils occupent en les insérant dans une démarche commune.

### **3.2-La gestion prévisionnelle des emplois et des compétences et ses outils**

En tant qu'outil particulier de la GRH, la GPEC s'étend aujourd'hui sur l'ensemble des organisations privées ou publiques. En France, la GPEC est imposée dans la sphère du secteur privé par la loi du 18 janvier 2005 sous l'angle de l'adaptabilité des ressources humaines à l'évolution des moyens et des besoins de production ainsi que la GPEEC pour les organismes public qui est fortement associée aux politiques et aux démarches de modernisation de l'État. Si la GPEC est en France une obligation juridique, elle existe dans d'autres pays comme le cas du Maroc qui compte la mettre en place dans le cadre de son programme de réforme de l'administration publique.

Le Ministère de la réforme de l'Administration et de la fonction publique a présenté un référentiel des emplois-types et des compétences communes aux administrations publiques qui présente un modèle regroupant les savoirs, savoirs faire et les savoirs être requis et leurs niveaux de maîtrise pour la plus part des emplois types.

Dans la littérature, plusieurs définitions sont recensées à propos de la GPEC (Gestion Prévisionnelle des Emplois et des Compétences). Nous pouvons retenir quelques-unes d'entre elles en faisant ressortir les points essentiels de celles-ci.

L'Agence nationale pour l'amélioration des conditions de travail (Anact) [48] définit la GPEC comme une gestion anticipative et préventive des ressources humaines. Il s'agit d'une démarche d'ingénierie des ressources humaines visant à faire des salariés des ressources conformes aux attentes de l'entreprise. Elle vise à réduire les écarts entre les ressources disponibles (en effectifs et en compétences) et les besoins (quantitatifs et qualitatifs) et définit à cette fin des plans d'actions (formation, mobilité, recrutement) censés préparer les salariés aux emplois de demain ou les reconvertir lorsque leurs emplois sont appelés à disparaître.

Ainsi en 1993, D. Thierry et C. Sauret [49] pose cette définition : « La gestion prévisionnelle des emplois et compétences, c'est la conception, la mise en œuvre et le suivi de politiques et de plans d'actions cohérents :

visant à réduire de façon anticipée les écarts entre les besoins et les ressources humaines de l'entreprise (en termes d'effectif et de compétences) en fonction de son plan stratégique et impliquant les salariés dans le cadre d'un projet d'évolution professionnelle. ».

Henri Rouilleault [48], distingue deux volets dans la GPEC :

- Un de type collectif pour identifier des questions se rapportent à l'évolution des métiers, des emplois, des compétences, et définir des règles et des moyens pour simplifier l'ajustement des besoins aux ressources disponibles ;
- Un à caractère individuel pour anticiper le développement des capacités et de l'employabilité des salariés dans le cadre de son parcours professionnel.

La GPEC intervenant sur les postes de travail, les effectifs, les emplois et les compétences. Cette intégration permet de déployer au mieux les leviers de GRH comme la mobilité, la promotion, la formation, le recrutement et la carrière à travers l'adaptation des ressources humaines en fonction des besoins en capital humain évolutifs changeants de l'organisation.

La démarche GPEC s'appuie donc largement sur le concept de « compétence », envisagé comme une combinaison de ressources, dans une situation donnée [50] en associant désormais au volet quantitatif classique de la gestion des effectifs, le volet exclusivement qualitatif de la gestion des compétences.

## **3.2-Modèles des compétences**

Durant cette décennie plusieurs travaux de recherche ont porté sur la gestion des compétences dans différentes disciplines en proposant des modèles variés pour traiter les compétences.

### **3.2.1-Modèle des compétences CRAI**

Ce modèle des compétences (CRAI ou Competence Modeling and Management) a été proposé comme une base pour le développement d'un système d'information pour la gestion des compétences [51]. Il définit le concept de compétence et le positionne dans son contexte. Il distingue deux types de compétences : les compétences acquises par un ou plusieurs individus et les compétences requises nécessaires pour la réalisation d'une tâche ou d'une mission.

Ces compétences sont ensuite hiérarchisées en trois composantes : le savoir, le savoir-faire et le savoir- être [51].

- Le savoir : il s'agit de tout ce qui est appris à l'école ou acquis en formation. Il comprend : le savoir théorique (des théorèmes, des concepts, des lois ...), le savoir sur l'existant (les connaissances spécifiques sur un domaine donné ou sur l'environnement dans lequel la compétence est effectuée), le savoir procédural (des procédures, des méthodes ...).

- Le savoir-faire : correspond aux connaissances opérationnelles. Il s'agit de l'application pratique des procédures, des intuitions, des astuces. Il est catégorisé en : savoir-faire procédural c'est-à-dire l'application pratique des procédures et le savoir-faire empirique ou les capacités individuelles pour analyser le contexte, extraire des informations pertinentes et organiser le travail.
- Le savoir-être : Il s'agit du savoir qui caractérise chaque individu préoccupé par les aspects liés à l'exécution des tâches dans un contexte en mutation. Il comprend : Les aspects relationnels qui sont liés à toutes les relations individuelles au cours du travail. Les capacités cognitives : ce sont les capacités à réagir et à prendre la bonne décision face à des événements imprévus.

Le schéma suivant illustre ce modèle détaillé.

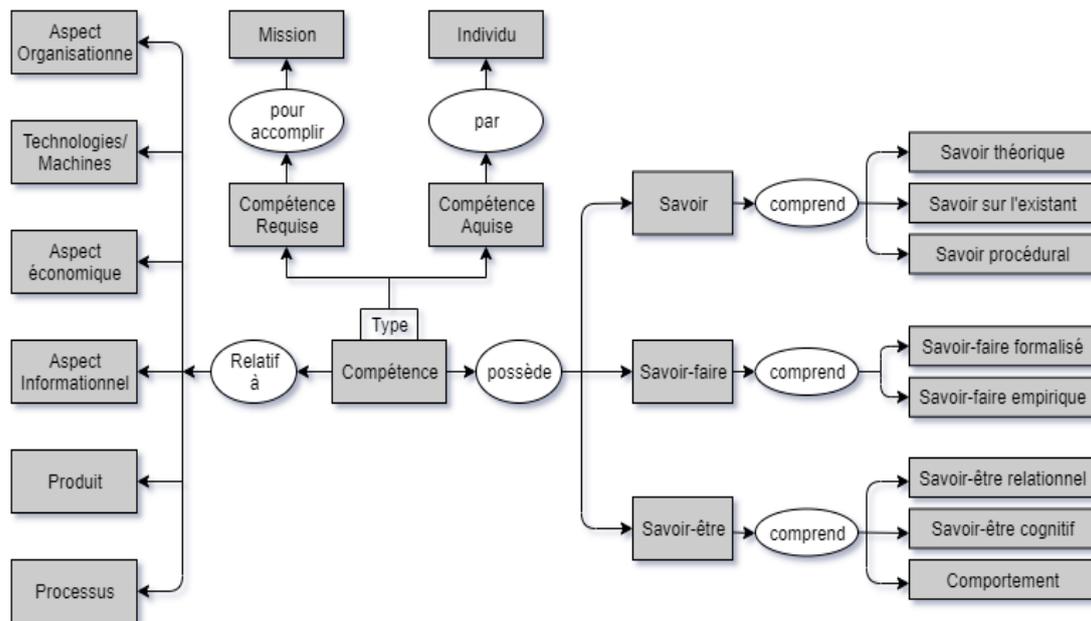


Figure 9 : Modèle CRAI (Harzallah & Vernadat) [51]

Les compétences sont donc structurées en ressources hiérarchisables en catégories et sous catégories. Il s'agit d'une hiérarchisation des compétences à deux niveaux. Les compétences se réalisent dans un contexte ce qui fournit des outils (équipement, réseaux relationnels, réseaux informationnels, etc.) et impose également des contraintes pour l'aboutissement de la compétence.

Ce modèle est implémenté sous forme d'une base de données relationnelle, implanté sous Access en 2001 et puis formalisé récemment en théorie des ensembles flous en 2017 [52].

### 3.2.2-Modèle qualitatif SARc (Situation-Acteur-Ressources- Compétence)

Ce modèle se base sur la définition suivante [53] « Une compétence est une aptitude sans cesse reconstruite d'un acteur, à mobiliser de manière efficiente un certain nombre de ressources immatérielles qu'il a intériorisées (connaissances, aptitudes psychologiques et sociales,...) et de ressources matérielles de son environnement (outils, instruments, sources d'informations, etc...), pour répondre aux objectifs et au contexte propre à une situation professionnelle ». Ce modèle est illustré sur la figure suivante.

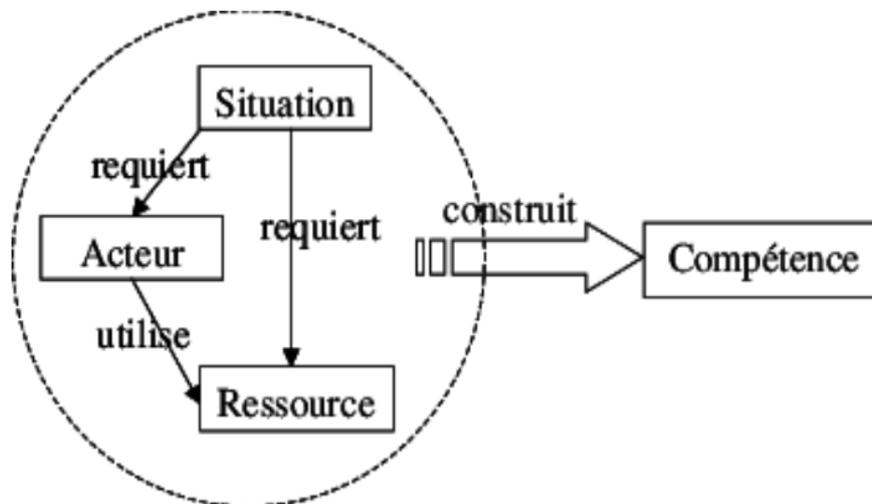


Figure 10 : Modèle de compétence SarC [53]

Ce modèle indique que la compétence émerge de l'interaction entre trois composantes essentielles : les situations, les acteurs et les ressources.

-La situation : Le concept de situation professionnelle est utilisé pour représenter des tâches à réaliser ou des problèmes à résoudre, ainsi que le contexte professionnel dans lequel ils apparaissent. Il est modélisé par les attributs suivants :

- Un ensemble de problèmes auxquels l'acteur est confronté ;
- Un objectif qui spécifie l'enjeu de la situation et le résultat à atteindre (variable observable qui permet de contrôler l'atteinte des objectifs) ;

- Un contexte c'est à dire un ensemble de facteurs contrôlables qui ont un impact sur la compétence. Le contexte pourra décrire par exemple des conditions de travail ou des contraintes subies par l'acteur (charge de travail, etc...).

-L'acteur : Les acteurs désignent les ressources humaines de l'entreprise, qu'elles soient individuelles ou collectives. L'acteur intègre la notion de ressource immatérielle.

-La ressource : décrit de manière exclusive les ressources de type matériel.

Ce modèle permet une séparation claire entre la description structurelle de la compétence, et sa description dynamique basée sur le lien entre la compétence et l'activité. Il distingue la compétence type et la compétence instanciée. La compétence type met en relation une situation avec un type d'acteur et un type de ressource. Cette compétence type pourra être instanciée plusieurs fois dans la même entreprise.

Ce modèle met également en évidence que la compétence ne peut pas être détenue par un acteur, puisqu'elle reste dépendante des ressources matérielles qu'il peut ou non utiliser, et de la situation professionnelle portée par l'organisation.

Une présentation conceptuelle de ce modèle selon le formalisme UML est dressée sur la figure n°11.

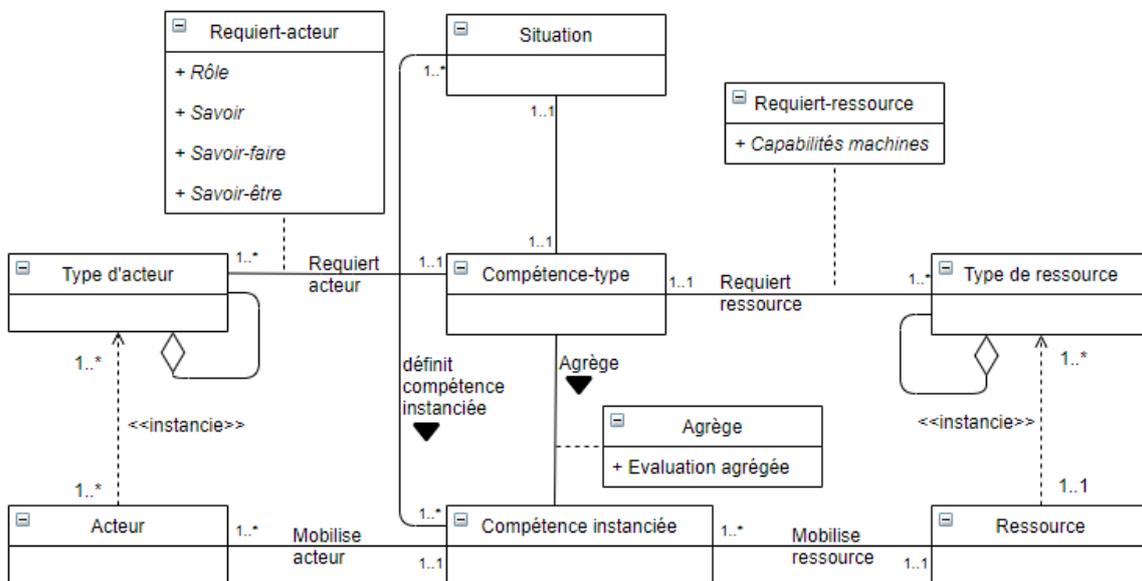


Figure 11 : Schéma conceptuel UML du Modèle de compétence SarC [53]

### 3.2.3-Modèle systémique de la compétence (MSC) Boumane et al

Le modèle de la compétence proposé résulte de l'interaction de l'acteur avec son contexte de travail [54]. C'est une construction qui intègre des éléments subjectifs (connaissances, savoir-faire, comportements) et des éléments objectifs (ressources de l'environnement). La compétence est identifiée par rapport à la situation professionnelle et en relation avec la mission à accomplir. Il s'appuie sur les concepts suivants [55] :

–Acteur : désigne un individu ou un groupe d'individus s'il s'agit d'une compétence collective.

–Activité : désigne ce que fait l'acteur, c'est une séquence d'actions, qui permet de fournir un produit matériel ou immatériel en consommant des ressources. Elle est exprimée en verbe d'action (fabriquer, planifier, vendre, ...etc.).

– Situation : correspond au contexte dans lequel se déroule l'action. Elle est caractérisée par les activités à réaliser, les critères de réalisation et la mission à remplir.

–Mission : elle indique la finalité de la situation de travail et sa contribution spécifique aux objectifs de l'entreprise.

–Schème : est un concept développé en psychologie cognitive, il est défini par Vergnaud [54] comme une organisation de l'activité composée de plusieurs catégories d'éléments : des buts et des anticipations, des règles d'action, des invariants opératoires et des processus d'inférence. Les invariants opératoires sont des catégories de pensée qui permettent de sélectionner l'information pertinente et des conceptions implicites constituant des hypothèses et des propositions. Les processus d'inférence permettent de s'adapter aux situations rencontrées. Un schème peut être simple ou constitué de plusieurs sous-schémes. Il s'applique à une classe de situations avec un caractère dynamique qui lui permet d'évoluer au fur et à mesure de l'action.

La figure 12 schématise la vue statique du modèle systémique de la compétence en langage UML.

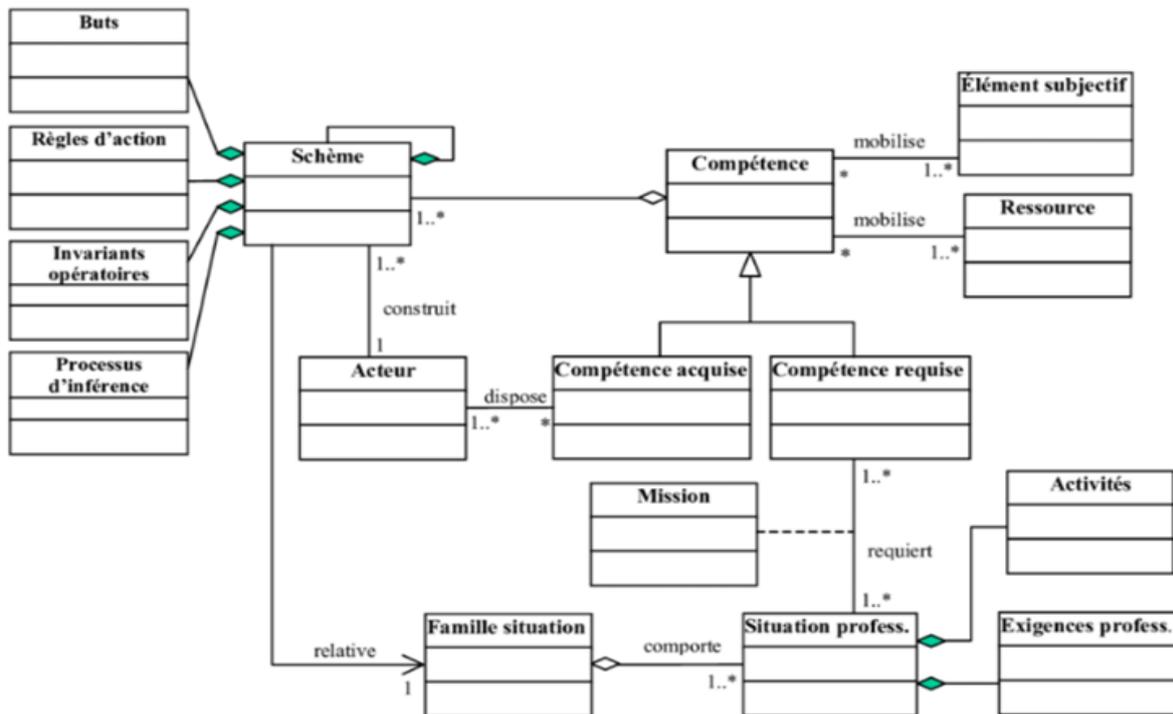


Figure 12 : Modèle Systémique de la Compétence MSC (Boumane, Talbi, & Tahon C.) [55]

### 3.2.4-Modèle Charles Foveau

Le modèle proposé considère la compétence comme une notion centrale de l'entreprise en interaction avec les métiers, les collaborateurs, les missions et les formations (figure n°13) [56]. Elle joue aussi le rôle d'un pont entre les différents concepts de l'entreprise. On peut donc trouver des relations entre les métiers, les formations, les collaborateurs et les missions. Le modèle distingue trois catégories de concepts :

- La première contient les concepts associés aux compétences,
- La deuxième contient les concepts associés aux métiers,
- La troisième contient les concepts organisationnels qui n'appartiennent pas aux deux premières catégories, mais dont on ne peut se passer (comme les missions ou les formations).

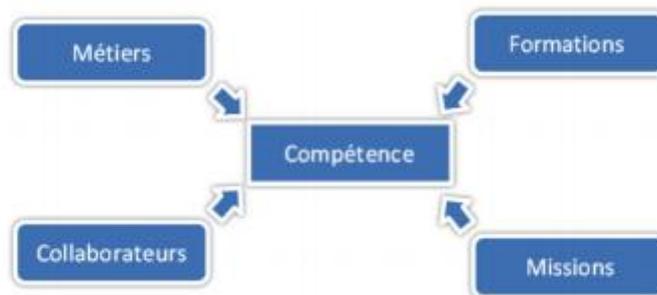


Figure 13 : modèle des compétences (Charles Foveau)

Le modèle définit pour chaque compétence son nom, sa définition, son type, sa durée de vie, son prérequis, ses indicateurs et les niveaux des maîtrises. Il considère que la compétence se manifeste sous la forme d'un comportement : le savoir-agir qui peut être technique (le savoir-faire) ou comportemental (le savoir-être).

Les compétences comportementales traduisent les différents comportements de l'individu dans le cadre de l'exécution de ses tâches au sein de son environnement.

Elles sont structurées en trois sphères :

-La sphère individuelle décrit le comportement du collaborateur en tant qu'individu et sa relation avec le travail. Elle se subdivise en deux parties une liée au travail et présente sa réflexion comme « concevoir, analyser ou synthétiser » et sa réalisation comme « être efficace, être rigoureux, être fiable » et l'autre concerne sa personnalité comme « s'adapter, évoluer ».

-La sphère relationnelle décrit le comportement du collaborateur en relation avec les autres, sa capacité à gérer et à communiquer. Elle se subdivise en trois composantes : sphère managériale, de communication et organisationnelle. Dans le sous-domaine lié au management, on trouvera les compétences comportementales comme être capable de « décider, organiser, animer, faire évoluer ». Dans le sous-domaine lié à la communication, on trouvera les compétences comportementales qui y sont dédiées, comme être capable de « communiquer, écouter, argumenter ».

-La sphère organisationnelle décrit le comportement du collaborateur par rapport à son organisation. On peut retrouver par exemple la compétence comportementale « avoir l'esprit d'entreprise ».

Les figures 14 et 15 présentent ce modèle.

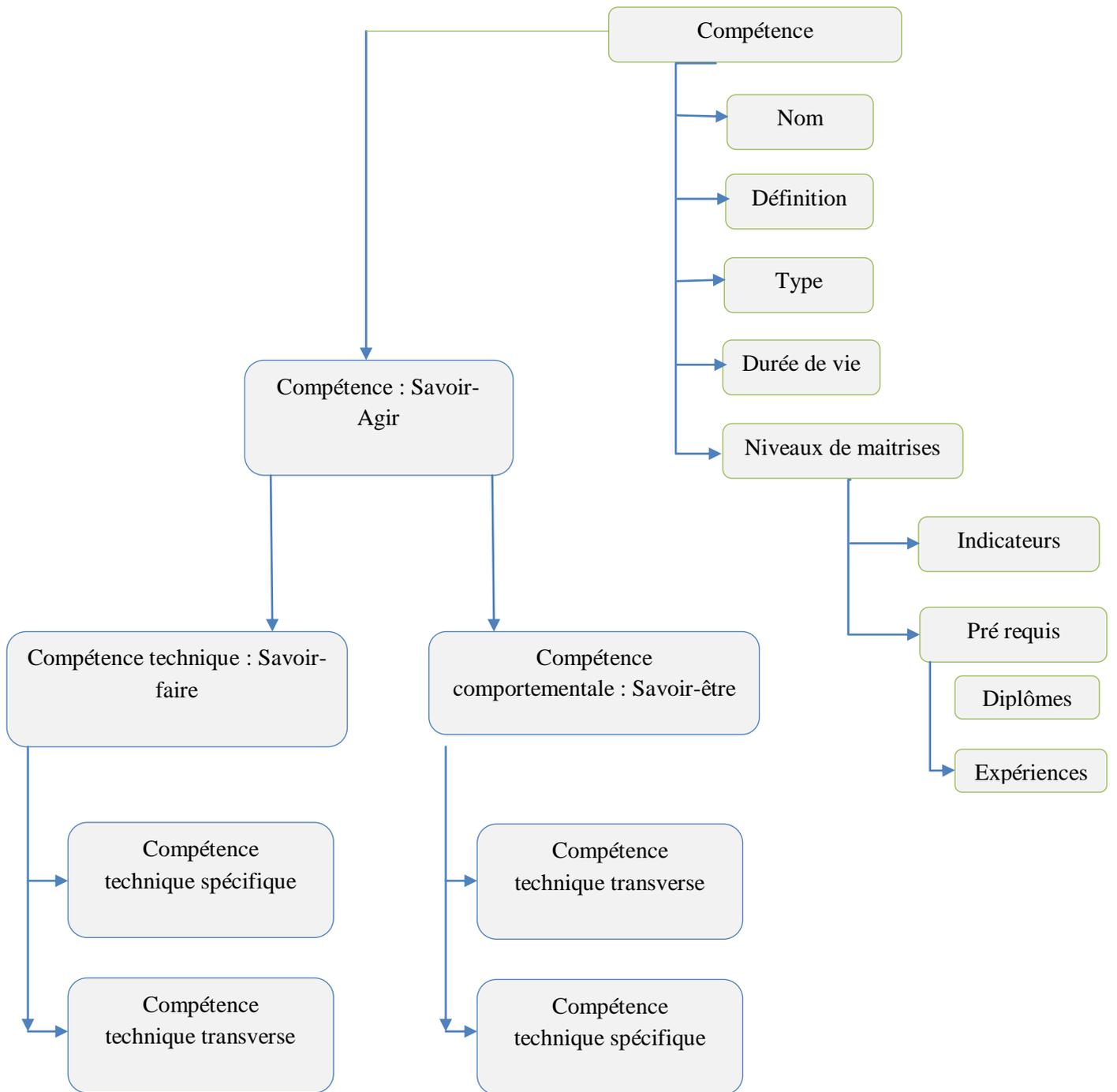


Figure 14 : Schéma du modèle des compétences (Charles Foveau) [56]

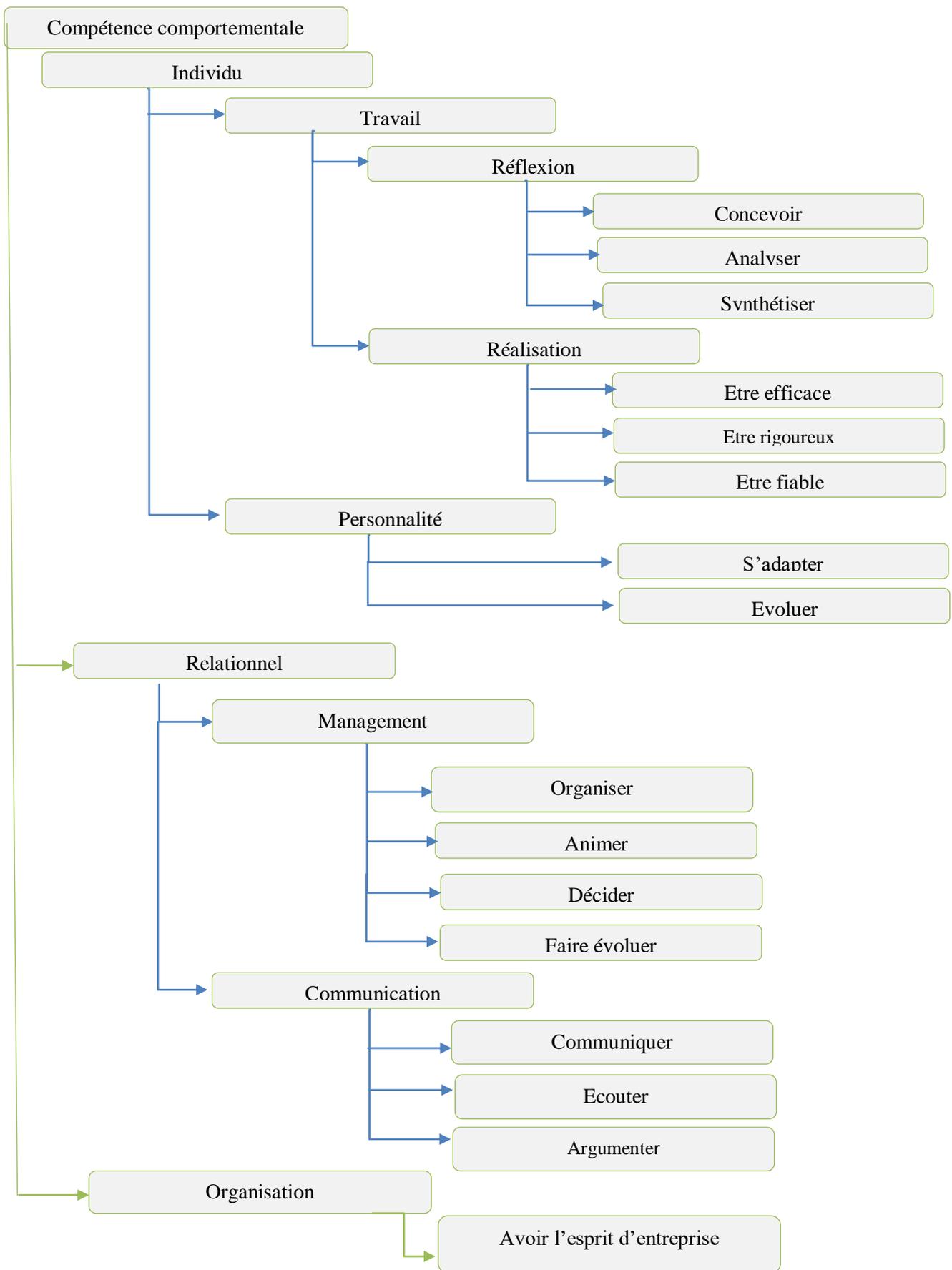


Figure 15 : Schéma des compétences comportementales (Charles Foveau) [56].

### 3.2.5-Modèle de la compétence (F. Amourache Z.Boufaïda et L. Yahiaoui)

Une compétence peut être identifiée comme un ensemble de connaissances mises en action dans la réalisation des tâches quotidiennes de l'entreprise. Elle se manifeste sous la forme d'un comportement (le savoir agir), et peut être scientifique et technique (Le savoir et le savoir-faire), comportementale (le savoir être) ou une habileté (habileté cognitive, physique, sensationnelle) [57]. La compétence scientifique/technique est spécifique, lorsqu'elle est propre à une spécialité particulière, sinon elle est considérée comme générale. La compétence scientifique et technique est caractérisée par un sujet et un niveau d'expertise. Le sujet peut être un « thème » ou un « outil technologie » lié à une spécialité spécifique. Quant au niveau d'expertise, il peut avoir l'une des valeurs suivantes : Notion, Application, Maîtrise ou Expert. La figure 16 illustre le modèle de la compétence proposé.

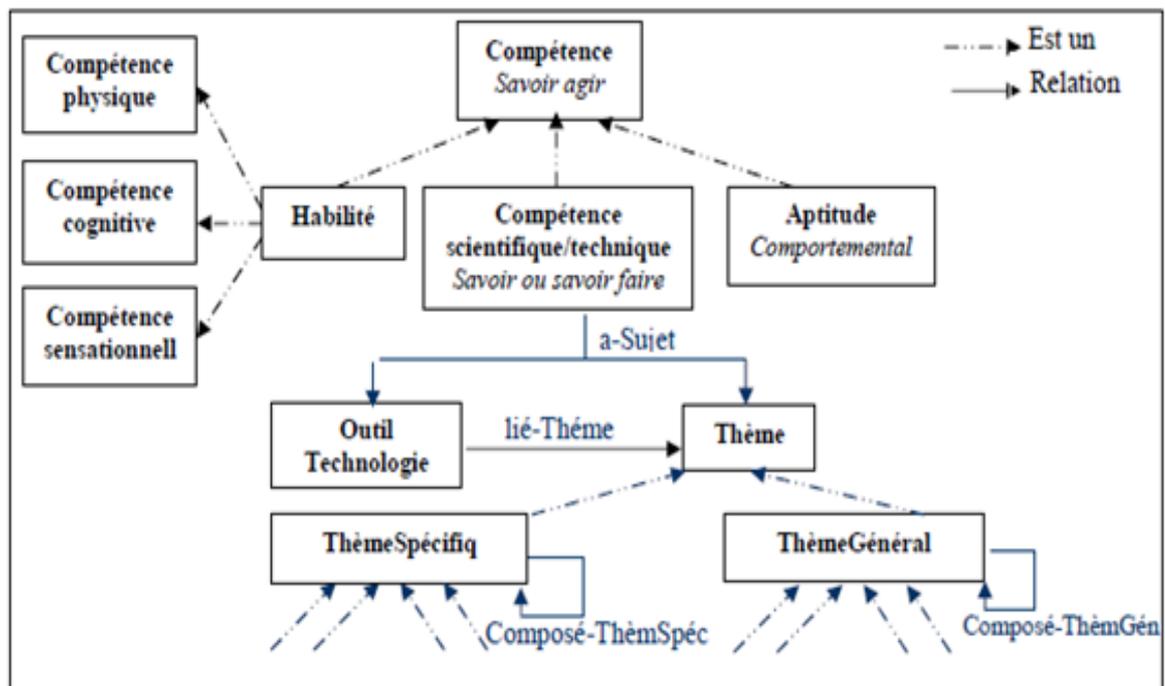


Figure 16 : **Modèle de la compétence** (F. Amourache Z.Boufaïda et L. Yahiaoui) [57]

### 3.2.6-Modélisation par l'arbre des compétences ou connaissances

La démarche des arbres de connaissances a été proposée par Michel Authier mathématicien et sociologue, et Pierre Lévy philosophe [58], suite à un projet pédagogique du gouvernement Français lancé en 1992. Les principes sous-jacents à cette élaboration sont à la fois mathématiques, philosophiques et sociologiques.

Cette démarche a été implémenté dans un progiciel appelé GINGO et puis l'outil SEE-K de la société TRIVIUM. Ce logiciel organise visuellement les compétences et savoirs des communautés. L'objectif des arbres de connaissances est de fournir une représentation cartographique des connaissances considérées comme des éléments d'un « capital humain » d'une organisation.

L'arbre de connaissances permet une représentation, sous la forme d'image électronique, dans laquelle chacun voit l'intégralité des compétences et des connaissances du groupe. Un Arbre de Connaissances est une représentation structurée des diverses connaissances, compétences, opinions possédées par un groupe de personnes. Une présentation simplifiée de cet arbre est dressée à la figure N°17.

Deux notions ont été introduites par cette démarche : les brevets et les blasons. Les brevets d'une personne présentent ses centres d'intérêts, ses expériences, ses savoir-faire, ses besoins et ses aspirations. Une liste ordonnée de brevets constitue le blason. Les arbres sont constitués de brevets. C'est à partir de ces listes qu'on produit l'arbre automatiquement, à l'aide d'un algorithme mathématique pour visualiser les connaissances de l'ensemble de l'organisation, identifier les individus possédant des connaissances critiques, évaluer les compétences et de planifier des actions de la politique RH.

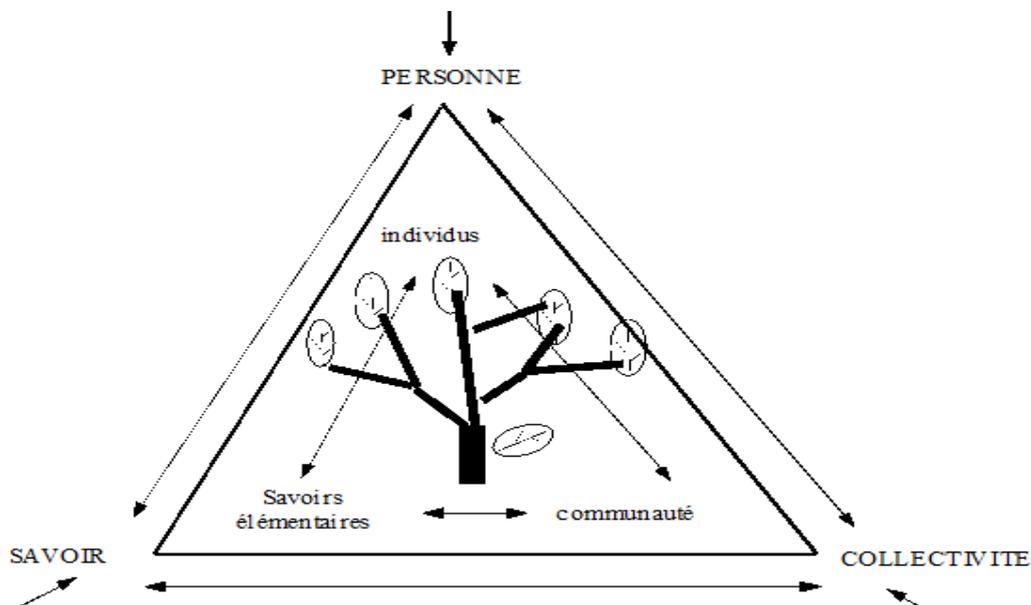


Figure 17 : Modèle d'arbre de connaissance [57]

### 3.2.7-Modèle du Consortium HR-XML [59]

Le consortium HR-XML est une organisation indépendante, sans but lucratif, créé en 1999 à l'initiative d'une centaine d'entreprises issues de 22 pays opérant dans les services liés

à la gestion des ressources humaines. Ces entreprises sont des sociétés éditrices de solutions logicielles de gestion de ressources humaines comme Oracle, PeopleSoft, Microsoft, IBM, Sun, SAP, etc.....Elles s'intéressent au développement et à la promotion d'une gamme normative de spécifications basées sur le langage XML (Extensible Markup Language), qui permettent de traiter électroniquement et d'automatiser les échanges de données sur les ressources humaines

Parmi les nombreuses spécifications produites, certaines sont dédiées à la standardisation des formats structurés de données de publication d'offres d'emploi et de CV, permettant ainsi leur rediffusion.

Quant au modèle de la compétence, la principale difficulté a été de développer son modèle afin de permettre une taxonomie des compétences communes pour les professions, les secteurs, les diplômes, etc... En effet, les divergences sur les définitions des compétences constituent une barrière à l'échange de données et aux différentes problématiques d'extractions, de représentations et d'exploitation des différents référentiels. En effet, comment être capable de partager des compétences quand le vocabulaire qui est utilisé n'a pas le même sens pour tous ? Le problème central est donc terminologique et seule sa résolution peut rendre les différents référentiels métiers consensuels, cohérents et partageables.

La Figure 18 présente le modèle de compétence de l'initiative du consortium HR-XML et ses différents attributs comme son nom, son niveau, son poids (car une compétence peut être plus importante qu'une autre et donc avoir un poids supérieur).

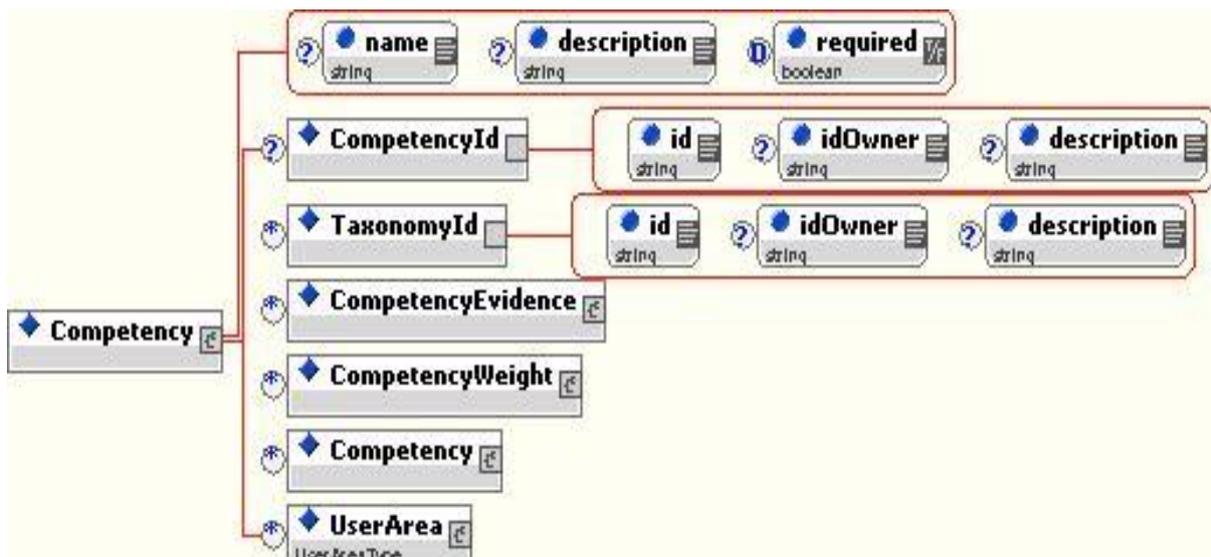


Figure 18 : Modèle de la compétence du Consortium HR-XML [56],[59]

### **3.2.8-Modèle ESCO des compétences et des professions**

L'ESCO (European Skills, Competences, Qualifications and Occupations) est une classification multilingue des aptitudes, des compétences et des professions permettant de recenser et catégoriser ces derniers [60]. Il s'inscrit dans le cadre d'un projet européen multilingue permettant la classification des compétences, des métiers et des certifications, afin de créer une harmonisation européenne en matière de recrutement. Il permet donc de décrire, d'identifier et de classer les professions, les aptitudes et les certifications pertinentes pour le marché européen du travail, l'éducation et la formation.

Il est publié sur un portrait web en ligne et peut être consulté gratuitement. Sa terminologie de référence commune rend le marché du travail européen plus efficace et intégré, et permet une aux mondes du travail et de l'éducation de communiquer plus efficacement. Il permet aussi d'améliorer le fonctionnement du marché du travail et combler les lacunes de communication entre les différents pays. ESCO est au format SKOS-RDF, en tant qu'un espace de données LOD (Linked Open Data), dans les 24 langues officielles de l'Union Européenne, Islande, Norvège, arabe et anglais. Cette caractéristique d'Open Data permet de la connecter à d'autres sources de données.

ESCO est composée de 5 modules inter-reliés [60] :

- (i) professions,
- (ii) connaissances,
- (iii) aptitudes,
- (iv) compétences et qualifications,
- (v) hiérarchie de la classification internationale des professions.

### **4-Synthèse et positionnement**

A partir de cette revue de la littérature concernant la notion de compétence, les concepts manipulés et les différents modèles proposés pour le pilotage des compétences, nous allons présenter une synthèse de ces différents travaux pour ensuite positionner plus précisément notre contribution et présenter notre démarche.

Cette revue de la littérature a montré que la définition de la compétence et de ses propriétés n'est pas encore stabilisée, certaines divergences persistent encore sur les différentes expressions de la compétence et sur les ressources qui la composent. Aussi, ces modèles diffèrent sur de nombreux points, notamment sur l'objectif final qu'ils poursuivent et dans la manière dont ils implémentent leurs modèles : les techniques classiques de l'ingénierie des systèmes d'information ou les techniques d'ingénierie des connaissances.

Cependant, ces travaux visent à fournir un langage standardisé, basé généralement sur le langage UML, pour décrire les référentiels de compétences des entreprises et partagent certains concepts et relations qui sont utilisés pour modéliser la compétence.

Les principaux concepts partagés [61] :

- Entité (acteur) : tous les modèles de la littérature soulignent la notion d'acteur, c'est à dire l'entité (qui peut être un individu ou une équipe) qui produit des résultats en réalisant des activités et en mettant en pratiques les compétences acquises. Certains modèles gardent le terme dynamique d'acteur (i.e. celui qui agit), d'autres préfèrent considérer le concept plus statique d'individu en précisant les caractéristiques dynamiques dans les relations avec d'autres concepts. En effet, les individus existent toujours, alors la compétence de l'acteur est dépendante de l'action.
- Mission : ce concept est aussi couramment utilisé par les modèles précédemment cités, et désigne la fonction essentielle de l'entité. Ce terme est souvent utilisé pour détailler le champ d'activités qu'un individu doit maîtriser, mais aussi les compétences exigées des métiers qu'une entité doit posséder.
- Aspect : Ce concept définit le domaine de connaissance couvert par la mission. Certains modèles, utilisent le concept d'aspect pour définir les domaines de connaissances (ou métier) couverts par la mission et qui doivent être maîtrisés par la compétence. D'autres modèles, utilisent la notion de rôle, basée sur le travail définie comme un ensemble de fonctions que l'entité doit remplir. Ces concepts sont finalement assez symétriques : l'entité joue différents rôles pour effectuer sa mission, et la mission est composée de plusieurs aspects que l'entité se doit d'appréhender.
- Connaissances et ressources environnementales : Les auteurs des différents modèles de la littérature ne trouvent pas de consensus autour du concept utilisé pour décrire les éléments sur lesquels l'entité agit pour construire et utiliser une compétence. Certains travaux considèrent que la compétence est seulement un construit utilisant savoir, savoir-faire et savoir être, tandis que d'autres représentent la compétence comme un levier permettant à l'entité d'utiliser ses ressources environnementales pour agir, sans détailler les connaissances à utiliser pour créer ce levier.
- Situation : certains modèles partagent ce concept qu'il est intéressant de noter. La notion de situation (ou contexte) prend en compte le cadre de réalisation de la mission, où les connaissances et les ressources sont disponibles ou non pour l'entité, et où la compétence peut ou non s'implémenter. En effet, une compétence n'existe que si les conditions du contexte d'apprentissage ou d'usage permettent son émergence.

- Les principales relations :

- Le lien entre la compétence requise et la compétence acquise : la compétence est considérée comme l'interface entre la mission et l'entité. Cette relation est utilisée pour évaluer la compétence, en mesurant l'adéquation entre ce que l'entité acquiert et ce que la mission requiert.
- Le lien avec l'activité et le concept de résultat : certains modèles conservent partiellement une vue «processus» de la compétence, liant l'activité et ce processus. D'une certaine manière, l'activité peut être vue comme l'usage de la compétence dans une situation particulière par une entité afin de réaliser sa mission.

## **5-Notre modèle ontologique**

### **5.1-Méthode de construction de l'ontologie**

Pour la construction de notre ontologie, notre approche a été déduite de la méthode de Noy et Mcguinness [9].

Le processus convenu pour construire notre ontologie comprend les étapes suivantes :

- Enumérer les termes importants dans l'ontologie : Il consiste à collecter tous les termes à traiter et poser ses définitions si nécessaire. Cette collecte nécessite l'exploitation de l'ensemble des sources d'informations officielles ou les ressources terminologiques comme les thésaurus pour notre cas. En effet, une ontologie doit être consensuelle partagée et admise par tous les experts d'une communauté d'utilisateurs afin d'en garantir une utilisation plus large.

-Intégrer d'autres ontologies : pour notre cas nous allons utiliser l'ontologie ESCO

-Définir les concepts et les relations,

-Créer les instances des classes

### **5.2-Sources d'information et ressources termino-ontologique**

Les principales sources d'information utilisées pour notre modèle sont :

-Le référentiel des emplois et compétences communs aux administrations publiques (RECAP), établi, publié et mis en ligne récemment par le Ministère de la réforme de l'Administration et de la fonction publique, dans son site web [62]. Il permet d'identifier et décrire de façon harmonieuse les emplois et les compétences dans l'établissement. Il s'agit d'une sorte de standardisation des métiers de l'administration publique à travers la description de tous les emplois communs au sein de la fonction publique, mais aussi de ceux qui sont spécifiques à certains départements en vue d'assurer un partage dans la terminologie et les

intitulés des compétences, des emplois et des activités attribuées à chaque emploi et à limiter les coûts de toute opération d'élaboration des référentiels départementaux séparates. Cette mise en œuvre du RECAP est de nature à engendrer une dynamique de progrès managérial au niveau du secteur public et permet à l'Administration nationale de faire face aux défis multiples que lui impose l'environnement actuel international, régional et local, caractérisé par la complexité et la multitude des incertitudes.

Le référentiel incitera les administrations à adopter de la gestion prévisionnelle des emplois et des compétences qui n'est pas appliquée actuellement dans les pratiques de gestion des ressources humaines.

- Un autre support a été exploité. Il s'agit du guide méthodologique pour la gestion prévisionnelle des emplois et des compétences [63] qui a été élaboré dans le cadre d'un partenariat entre le Maroc représenté par le Ministère de la réforme de l'Administration et de la fonction publique et la banque mondiale. Ce guide s'inscrit dans le cadre du programme de réforme de l'administration publique défini par le Maroc.

- L'ontologie créée par transformation du thésaurus du Management Gestion des ressources humaines établit par l'Association des responsables des centres d'information des grandes écoles de management (ACIEGE).

-L'Ontologie Européenne des compétences ESCO,

### **5.3-Concepts associés au modèle**

Nous présentons dans cette section les notions de base associées à notre modèle. Nous allons proposer des définitions : l'emploi, le poste, le métier et la famille de métiers.

#### **5.3.1-Emploi**

Le terme emploi émane de la notion d'emplois types développé dans les conventions collectives. Un emploi-type détaille ce qu'un groupe de salariés doit faire dans le cadre de l'emploi qu'il occupe, en termes de missions, d'activités et de tâches. Un emploi est associé à une ou plusieurs missions, faisant appel à des situations de travail nécessitant la réalisation d'activités. Ces dernières sont subdivisées en tâches correspondant aux différentes opérations devant être effectuées.

Elle est également appelée description de poste ou description de fonction, correspond à un document faisant la synthèse des tâches devant être effectuées dans un emploi, un poste

ou une fonction donnée. Les termes d'emploi, de poste et de fonction renvoient tous à la liste de tâches que l'on effectue dans son travail.

Il indique également comment les emplois sont inter-reliés en faisant état du poste occupé par le supérieur immédiat, ou des postes qui sont en lien avec l'emploi décrit.

L'agrégation de tous les emplois donne naissance à des schémas reflétant l'organisation de plusieurs postes ou emplois ensemble. Elle signale l'interdépendance d'un poste à l'autre.

Pour le recrutement ou la promotion interne, des profils de poste seront décrits à partir des caractéristiques essentielles des emplois types et de spécifications propres au poste à pourvoir

### **5.3.2-Poste**

Le « Qui fait quoi ? » nous semble indispensable aujourd'hui compte tenu des évolutions des entreprises pour permettre à chacun de mieux se positionner et de connaître son rôle et ses missions dans un contexte donné.

Le terme poste est issu du vocabulaire militaire et renvoie à un travail régulier et à son lieu d'exercice. Si l'usage du terme poste s'est imposé avec Taylor sous l'idée de travail posté, l'usage du mot fonction est apparu beaucoup plus tardivement dans le jargon des entreprises. Souvent, les entreprises utilisent de manière interchangeable ces termes, selon la culture de l'entreprise et la terminologie utilisée dans la convention collective dont dépend l'organisation.

Un poste est la contextualisation d'un emploi dans l'entreprise. Un poste est donc un emploi occupé ou non par un collaborateur. Il est essentiellement géographique et permet d'associer des données comme les adresses ou les numéros de téléphone afin de joindre les collaborateurs. La description de poste nous renseigne également de la place du salarié dans l'organigramme, l'emploi auquel on est nommé dans une hiérarchie et le lieu où on exerce.

Ces dernières années nous avons pu constater que des notions provenant du profil de poste ou de l'emploi type figuraient dans la description de poste du salarié, en particulier, les compétences et les qualités requises pour tenir le poste.

### **5.3.3-Métier**

Un métier est lié à une pratique et à un savoir reconnu dans le monde professionnel indépendamment de toute organisation. Il est associé à des domaines de compétences qui participent à sa définition.

Chaque métier regroupe des emplois qui correspondent à la mise en œuvre de compétences issues des domaines de compétences associés à ce métier.

### 5.3.4-Filière

Nous définissons la filière comme le regroupement d'un ensemble de corps de métiers qui contient des activités qui lui sont propres. Les filières ne sont pas présentes dans toutes les organisations.

### 5.3.5-Famille de métiers

Une famille de métiers regroupe des métiers liés par des domaines de compétences similaires. Les métiers issus d'une famille de métiers sont relativement proches les uns des autres.

Nous pouvons conclure qu'il y'a des relations hiérarchiques entre ces différents concepts schématisés dans la figure n°19 avec la structure suivante :

Filière → Famille de métiers → Métiers → Emplois → Postes

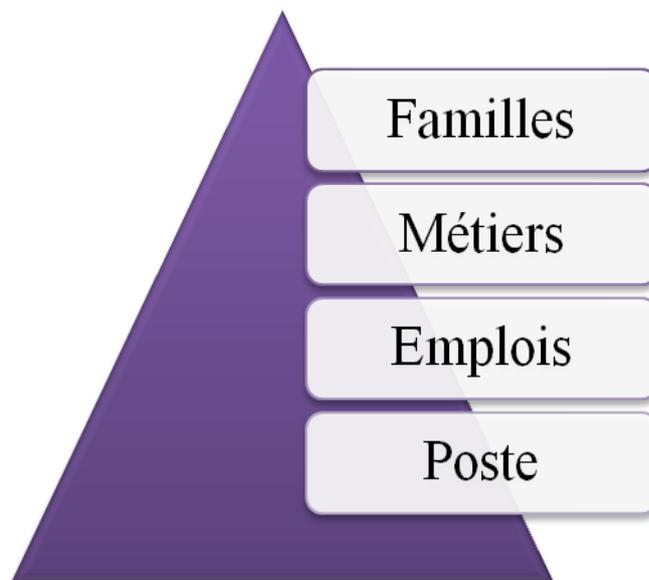


Figure 19 : Structures hiérarchiques des métiers

## 5.4-Caractérisation et typologie des compétences

Contrairement aux outils de gestion des emplois qui se centre sur des tâches indépendantes de l'individu, les outils de gestion des compétences visent à reconnaître les qualités de l'individu et à identifier ses compétences (savoirs, savoir-faire et savoir-être) qui, combinés ensemble, permettent à un individu de réussir son intervention dans divers emplois. Il s'agit donc dans ce cas de se centrer sur l'individu, sur son talent, pour repérer une liste

d'emplois potentiels pouvant lui convenir, selon les contributions qu'il est en mesure d'apporter à l'entreprise.

Les compétences seront décrites moyennant des composants évaluables par des mesures quantitatives ou qualitatives signalant le niveau de maîtrise de ces composants. Il s'agit d'un ensemble d'indicateurs défini par les responsables des différents emplois et par les ressources humaines qui correspondent aux différentes manifestations visibles de la compétence. Cette description permet de manipuler la compétence à travers des éléments tangibles pouvant être représentés et évalués [54]. Par conséquent on peut définir une typologie des composants et une échelle d'évaluation des niveaux de maîtrise. Les indicateurs correspondent concrètement à des mises en œuvre de la compétence dans une tâche donnée. Plusieurs manifestations ont été proposées dans la littérature pour indiquer les composants de la compétence et leurs manifestations [64] [56].

Les niveaux des maîtrises correspondent à certaines connaissances que le collaborateur doit posséder pour atteindre un niveau de compétence. Ils sont déterminés en fonction du degré d'autonomie exigé des titulaires, de la complexité des activités, de l'étendue de la mission et son impact sur les résultats globaux de l'Administration, et de l'importance de l'éventail des relations fonctionnelles internes et externes que les titulaires sont appelés à assumer.

En fonction des organisations, le nombre de niveaux de maîtrise peut différer en général entre 4 et 6. A chaque indicateur correspond un niveau de maîtrise. Il s'agit de définir des échelles de mesure des composants des compétences selon leur importance dans la réalisation de la mission correspondante. Elaborée dans les années cinquante, la taxonomie des objectifs pédagogiques de Bloom [65] est l'une des plus anciennes références d'évaluation des ressources de la compétence. Initialement, la taxonomie proposée fournit une aide à la précision des exigences des professeurs vis-à-vis des résultats de leurs élèves. La robustesse des principes organisateurs de cette taxonomie en accord avec des théories psychologiques reconnues fait que cette taxonomie est toujours d'actualité dans les applications de référentiels en milieu professionnel et en formation. D'autres échelles de mesures sont proposées par Pépiot [66] et Michel S., Ledru M [54].

Pour notre modèle, nous avons opté pour le référentiel du Ministère de la réforme de l'administration et de la fonction publique, qui considère la compétence avec les composants les plus communément utilisés dans le domaine des ressources humaines et en génie industriel qui sont les termes du triplet : savoir, savoir-faire et savoir être (aptitude et qualités

professionnelles). Ce référentiel arrête pour chaque poste les manifestations des différentes compétences avec quatre niveaux d'évaluation inspirés de la taxonomie de bloom.

Niveaux	Significations
I	Expertise
II	Maîtrise totale théorique et pratique
III	Maîtrise des connaissances essentielles avec capacité de leur mise en œuvre pratique dans le contexte ordinaire de l'Administration
IV	Connaissance des éléments de base et leur application à des situations simples ou répétitives

Tableau n°4 : Niveaux de maîtrise et leurs significations

Nous pouvons donc synthétiser que les compétences sont structurés hiérarchiquement tout d'abord en savoir, savoir-faire et savoir être et puis catégorisées en manifestations avec des niveaux de maîtrise. Cette structuration est faite conformément au guide marocain RECAP pour la gestion des emplois et des compétences. Nous distinguons aussi la compétence acquise détenue par la personne et celle requise ou exigée par le poste. La figure suivante présente un schéma simplifié de notre modèle.

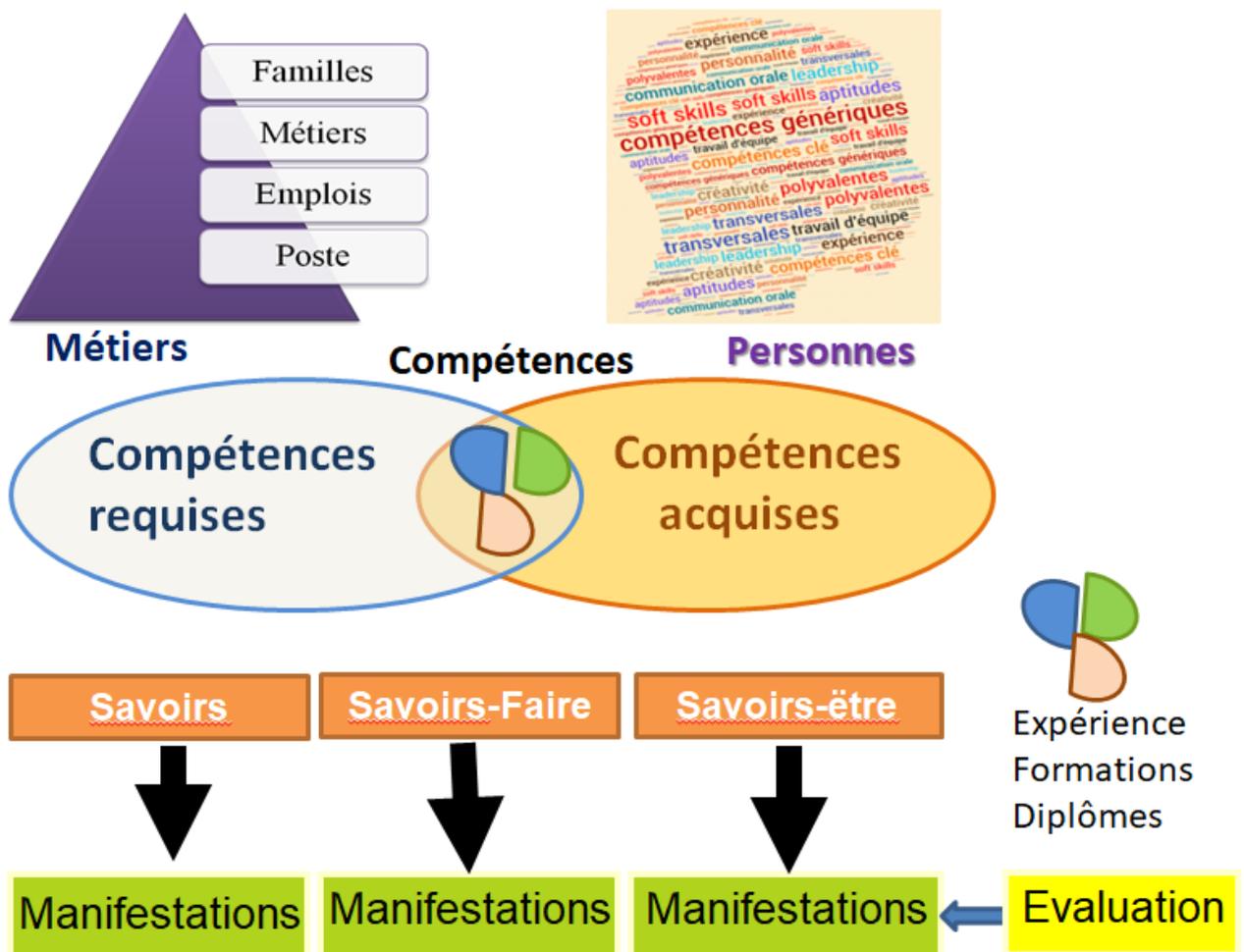


Figure 20 : Schéma simplifié de notre modèle

En prenant en compte l'ensemble des termes identifiés dans ce domaine se rapportant aux métiers, les formations, les diplômes,... nous avons établi le modèle conceptuel présenté ci-après dans la figure n°22.

Ce modèle est constitué des composantes suivantes :

- Compétence : décrit les compétences relatives aux domaines.
- Personnes : décrit les caractéristiques personnelles les plus importantes possédées par les personnes ;
- Métiers : décrit les concepts relatifs aux métiers d'un domaine donné ;
- Formations : décrit les formations suivies
- Diplômes : décrit les concepts relatifs aux diplômes du domaine
- Postes : décrit les postes de l'établissement

## 5.5-Le schéma conceptuel

Dans cette étape, nous construisons le diagramme des relations binaires. Les classes sont représentées par des rectangles et les relations par des arcs orientés.

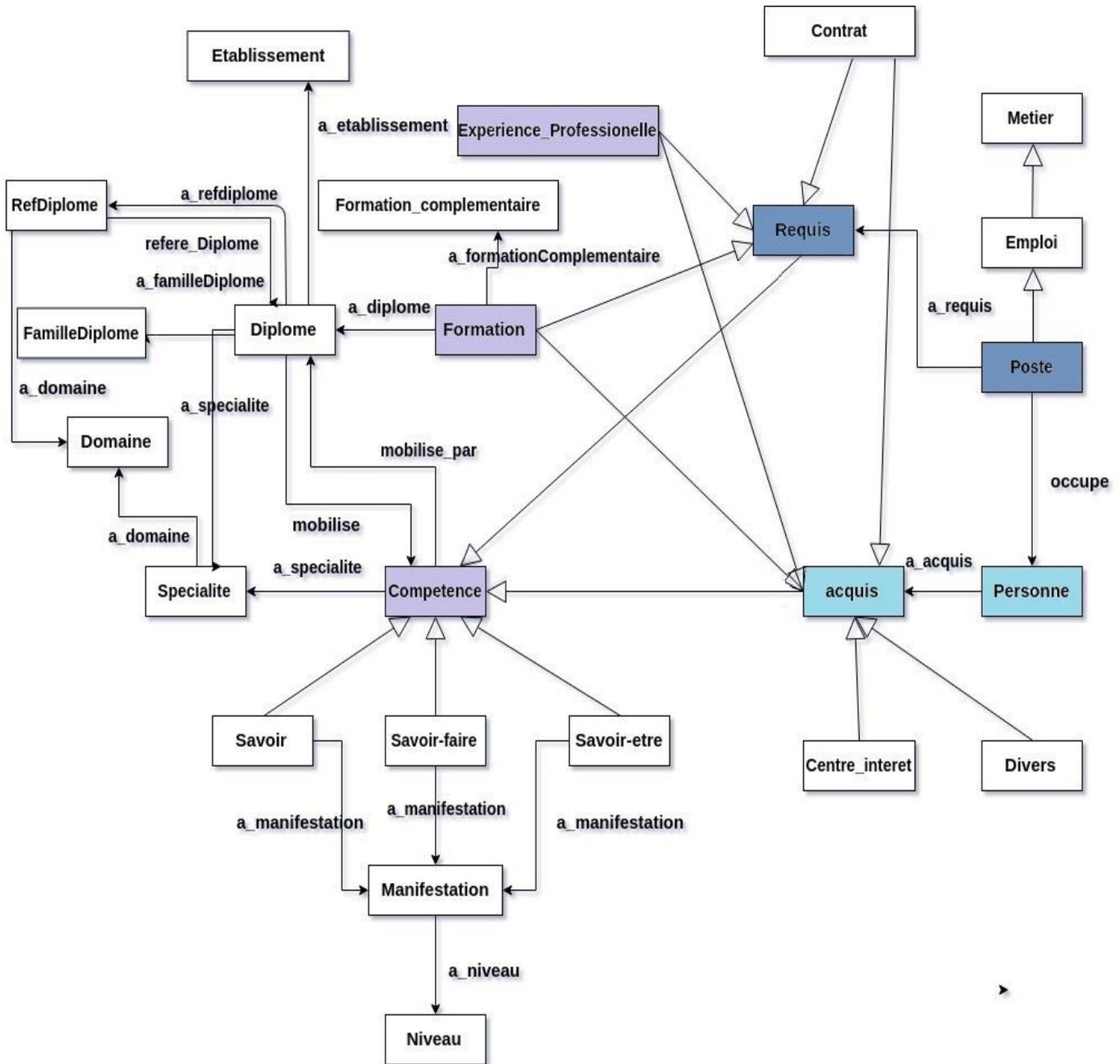


Figure 21 : diagramme de l'ontologie

## Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre l'importance de la notion de la compétence dans le pilotage des organisations et l'intérêt que le monde de la recherche et de l'entreprise lui réservent. En outre, nous avons constaté qu'il y'a une absence d'un consensus autour de ses définitions avec de nombreux débats dans les écrits scientifiques et à une diversité de définitions et de connotations. Ceci a amplement favorisé l'adoption de plusieurs modèles en vue de décrire, évaluer et développer les compétences.

Dans ce sens, nous avons procédé à une étude bibliographique des différentes approches de modélisation des compétences. Ces approches utilisent différentes expressions de la compétence et des ressources qui la composent. Certaines de ces approches renseignent sur la composition interne de ces compétences, mais peu renseignent sur la manière dont sont définis les composants de cette compétence et leurs niveaux de maîtrise, ce qui pose un véritable problème pour exploiter ces modèles et les utiliser pour le développement d'un système automatique de pilotage de gestion des compétences.

Par conséquent, nous avons proposé un modèle de compétence en exploitant les différentes sources d'information du domaine relatif au secteur public. Ce modèle considère la compétence comme une structure hiérarchique composée de triplets de ressources : savoir, savoir-faire et savoir être et puis catégorisée en manifestations avec des niveaux de maîtrise. Cette structuration est faite conformément au guide marocain RECAP recommandé par le Ministère de la réforme de l'Administration et de la fonction publique pour la gestion des emplois et des compétences. Nous distinguons aussi la compétence acquise détenue par la personne et celle requise ou exigée par le poste. En prenant en compte l'ensemble des termes identifiés dans ce domaine. Nous concluons que notre modèle de compétence s'articule sur les concepts en interaction d'une façon directe ou indirecte avec la compétence qui sont les personnes, les métiers, les formations, les diplômes et les postes. Enfin, ce modèle a été traduit sous forme d'un schéma conceptuel d'ontologie exprimé sous forme d'un schéma simplifié en langage UML.

## **Chapitre 3 : Techniques d'ingénierie des connaissances pour la gestion des compétences**

### **1-Introduction :**

La gestion des compétences porte sur un nombre important de connaissances de l'entreprise et de ses individus et comprend plusieurs processus complexes et lourds à mener. Dans ce sens, nous avons élaboré un modèle ontologique des compétences. Néanmoins, les techniques classiques de l'ingénierie des systèmes d'information ne sont pas suffisantes pour assurer une gestion efficace des compétences en exploitant ce modèle. Il ne s'agit pas de simples opérations de stockage, de mises à jour et de sélections d'informations, mais plutôt d'une extraction ou capture intelligente des connaissances. Par conséquent, le recours aux techniques d'ingénierie des connaissances est indispensable à travers l'utilisation d'algorithmes de découverte des connaissances, des mesures sémantiques, de l'annotation,....

La logique floue a connu un intérêt important dans les systèmes à base de connaissances au cours de ces dernières années. Elle fournit un formalisme mathématique permet d'implémenter un savoir-faire humain ou des règles heuristiques, sous forme de programmes informatiques.

Par ailleurs, de nombreux travaux de recherche prennent pour objet la gestion des compétences. Ceux-ci, dans le domaine des ressources humaines, s'intéressent aux différents aspects de cette ressource dont les plus intéressants sont l'identification des compétences, l'allocation des compétences, le "team building", la gestion prévisionnelle des emplois et des compétences et l'appariement entre les compétences des employés et les compétences exigées par les postes.

Ces travaux proposent des méthodes mathématiques ou heuristiques pour reproduire le raisonnement de l'expert GRH. L'outil privilégié dans ces approches est la théorie de la logique floue.

Ce chapitre sera consacré tout d'abord à la logique floue, et ensuite aux travaux connexes et enfin nous proposons une contribution sous forme d'algorithme que nous allons développer pour une implémentation ultérieure.

## **2-Logique floue :**

La logique floue recouvre un ensemble de modèles et de techniques mathématiques [67]. Elle est développée par Lofti A. Zadeh en 1965 à partir de sa théorie des sous-ensembles flous (TSF) [68].

Les sous-ensembles flous présentent une approche mathématique pour représenter l'imprécision de la langue naturelle. Ils peuvent être considérés comme une généralisation de la théorie des ensembles classiques. La logique floue est aussi appelée logique linguistique, car ses valeurs de vérité sont des mots du langage courant : "plutôt vrai, presque faux, loin, si loin, près de, grand, petit..." [69]. Bien que vieux de plus de 50 ans, les ensembles flous n'ont abouti à des applications notables, que depuis les dix dernières années [67].

### **2.1-Sous-ensembles flous**

La théorie des ensembles a été créée par le mathématicien allemand George Cantor qui définit les ensembles comme des collections des objets, de notre intuition ou de notre intellect, bien spécifiés et tous différents [70]. Cantor a introduit la notion de l'univers de discours qui est l'ensemble référentiel contenant tous les éléments qui appartiennent à un contexte spécifié.

Si  $U$  est un ensemble de référence, ses éléments qui possèdent une même propriété constituent, d'après la théorie des ensembles, un même sous-ensemble classique  $A$  de  $U$ . Ainsi, l'élément qui n'est pas caractérisé par cette propriété va appartenir au sous-ensemble complémentaire de  $A$ . L'appartenance d'un élément à un sous-ensemble en théorie des ensembles classiques est booléenne.

Toutefois, dans certaines situations, un élément de  $U$  peut satisfaire la propriété seulement en partie. Il ne s'agit pas d'un sous ensemble au même sens du terme qu'un ensemble de Cantor. La notion d'ensemble floue peut exprimer cette imprécision en indiquant avec quel degré un élément appartient à un sous-ensemble de  $U$ . Pour cela, en 1965, Zadeh a défini l'ensemble flou comme « une collection telle que l'appartenance d'un élément quelconque à cette collection peut prendre toutes les valeurs entre 0 et 1 » [68],[70]. Ainsi, tout élément de  $U$  appartient à un sous-ensemble flou avec un degré d'appartenance. Ce degré d'appartenance peut-être égal à 1 en cas d'appartenance absolue. Il s'agit donc d'une extension de la théorie des ensembles classiques en ce qui concerne l'appartenance d'un élément à un ensemble.

La figure n°21 présente les valeurs de l'appartenance à un ensemble classique et à un ensemble flou.

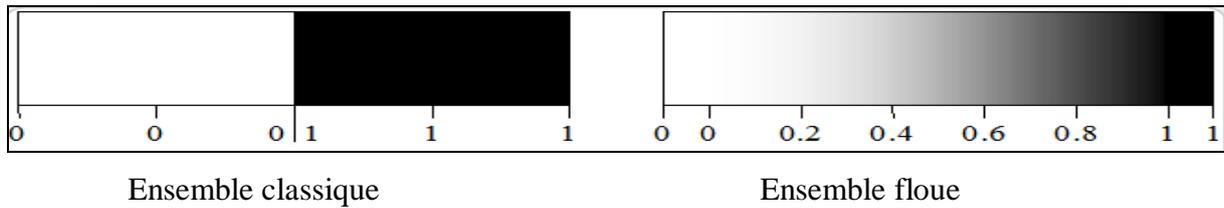


Figure 22: Ensemble flou et ensemble classique

## 2.2-Fonction d'appartenance

Un sous-ensemble ordinaire (ou classique) A inclus dans U peut être défini par la fonction caractéristique  $\mu_A : U \rightarrow \{0,1\}$ .

Un élément  $x \in U$  est un élément de A si et seulement si :  $\mu_A(x) = 1$ .

Un élément  $x \notin U$  n'est pas un élément de A si et seulement si :  $\mu_A(x) = 0$ .

Un sous-ensemble flou A inclus dans U est défini par la fonction d'appartenance qui permet de déterminer le degré d'appartenance d'un élément au sous-ensemble flou donné A. Cette fonction d'appartenance, notée en général :  $\mu_A(u)$ .

L'indice A correspond au sous-ensemble flou étudié et l'argument u se rapporte à l'élément de U. A tout élément  $u \in U$ , nous associons la valeur  $\mu_A(u)$  telle que :

$$\mu_A : U \rightarrow [0, 1]$$

où  $\mu_A$  mesure le niveau ou le degré d'appartenance d'un élément de l'univers de discours U au sous-ensemble flou A.

Un sous ensemble flou peut être présenté comme suit :

$$A = \{ (x, \mu_A(x)) \mid x \in U \}$$

La fonction d'appartenance peut prendre différentes formes, dont les plus utilisées sont de types : triangulaires, trapézoïdales ou en forme de cloche Gaussiennes [70] [71].

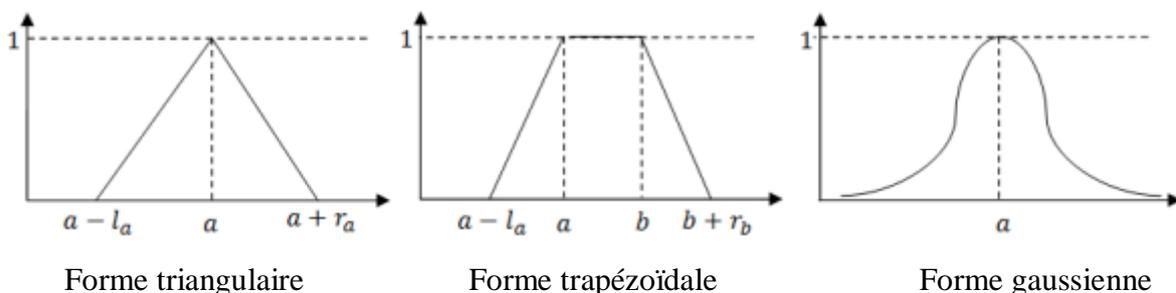


Figure 23: quelques formes de la fonction d'appartenance

La Fonction d'appartenance de forme triangulaire s'exprime de la façon suivante [71] :

$$\mu_A = \begin{cases} \frac{(u - a + l_a)}{l_a}, & \text{si } a - l_a < u \leq a \\ \frac{(a + r_a - u)}{r_a}, & \text{si } a < u \leq a + r_a \\ 0, & \text{sinon} \end{cases}$$

Avec  $a$  le centre,  $l_a$  l'étendue à gauche  $r_a$  l'étendu à droite

### 2.3-Caractéristiques d'un sous-ensemble flou

Les ensembles flous diffèrent des ensembles classiques par le biais de quatre principales caractéristiques [71] :

- **Le support :**

Le support d'un sous-ensemble flou de  $A$  de  $U$ , est l'ensemble de tous les éléments qui lui appartiennent au moins un petit peu. Il est noté  $\text{Supp}(A)$  et se présente comme suit :

$$\text{Supp}(A) = \{ u \in U / \mu_A(u) \neq 0 \}$$

- **La hauteur :**

La hauteur du sous-ensemble flou  $A$  de  $U$ , notée  $h(A)$ , est le plus fort degré avec lequel un élément de  $X$  appartient à  $A$ . Il s'exprime comme suit :

$$h(A) = \sup_{u \in U} \mu_A(u)$$

- **Le noyau :**

Il correspond à l'ensemble des éléments de  $U$  appartenant de façon absolue au sous-ensemble flou  $A$  c'est-à-dire tous les éléments pour lesquels la fonction d'appartenance de  $A$  vaut 1 :

$$\text{Noy}(A) = \{ u \in U / \mu_A(u) = 1 \}$$

- **La cardinalité :**

La cardinalité d'un sous-ensemble flou  $A$  de  $U$ , noté  $|A|$ , est le nombre d'éléments appartenant à  $A$  pondéré par leur degré d'appartenance. Il s'agit du degré global avec lequel les éléments de  $U$  appartiennent à  $A$ .

$$\text{Formellement, pour } A \text{ fini : } |A| = \sum_{u \in U} \mu_A(u)$$

Si  $A$  est sous-ensemble ordinaire de  $U$ , sa cardinalité est le nombre d'éléments qui le composent, selon la définition classique.

•  **$\alpha$  –coupe :**

Le sous-ensemble ordinaire  $A_\alpha$  de  $U$  associé à  $A$  pour le seuil  $\alpha$ , est l'ensemble des éléments qui appartiennent à  $A$  avec un degré au moins égal à  $\alpha$ . On dit que  $\alpha$  est l' $\alpha$  – coupe de  $A$ .

$$\text{Formellement : } A_\alpha = \{x \in U \mid \mu_A(x) \geq \alpha \}$$

## 2.4-Variables linguistique

La théorie de logique floue est basée sur des variables floues appelées des variables linguistiques. Une variable linguistique prend les valeurs qui sont des mots ou des phrases utilisées couramment dans une langue naturelle ou un langage artificiel [68].

Une variable linguistique est représentée par le triplet :  $(V, U, T(V))$

$V$  désigne le nom de la variable,

$U$  est l'univers du discours associé à la variable  $V$  (appelé aussi référentiel),

$T(V) = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$  est l'ensemble des valeurs linguistiques de la variable  $V$  appelées également termes linguistiques ou étiquettes linguistiques, utilisées pour caractériser  $V$ .

## 2.5-Opérateurs sur les sous-ensembles flous

Les opérations sur les sous-ensembles flous s'inspirent des opérations mathématiques classiques et ont pour objectif de gérer des combinaisons logiques entre des notions floues.

Si  $A$  et  $B$  sont deux sous-ensembles flous de  $U$  et  $\mu_A(u)$  et  $\mu_B(u)$  leurs fonctions d'appartenance, nous pouvons définir cinq opérations [71] :

a) Egalité :

$A$  et  $B$  sont égaux si leurs fonctions d'appartenance prennent la même valeur pour tout élément de  $U$  :

$$A = B \text{ ssi } \forall u \in U \quad \mu_A(u) = \mu_B(u)$$

b) Complément :

Le complément du sous-ensemble flou  $A$  noté  $\bar{A}$  est défini par :

$$\forall u \in U \quad \mu_{\bar{A}}(u) = 1 - \mu_A(u)$$

c) Inclusion :

$A$  est inclus dans  $B$ , ( $A \subseteq B$ ), si leurs fonctions d'appartenance sont telles que :

$$\forall u \in U, \mu_A(u) \leq \mu_B(u)$$

d) Intersection :

L'intersection de A et B correspond à l'opérateur logique et, et notée  $A \cap B$  telle que :

$$\mu_{A \cap B}(u) = \min(\mu_A(u), \mu_B(u))$$

e) Union :

L'union de A et B de U correspond à l'opérateur logique ou, et notée  $A \cup B$  telle que :

$$\mu_{A \cup B}(u) = \max(\mu_A(u), \mu_B(u))$$

Les opérateurs de minimisation et de maximisation utilisés respectivement pour l'intersection et l'union sont proposés par Zadeh [68]. Toutefois, ces opérateurs ne sont pas les seuls pour définir respectivement l'union et l'intersection de deux sous-ensembles flous. La théorie des ensembles flous donne une très large gamme d'opérateurs pour définir l'intersection et l'union appelés T-normes et T-conormes.

Les T-normes définissent la classe générale des opérateurs d'intersection pour les sous-ensembles flous dont les plus utilisés sont [70] :

- Produit algébrique :

$$\mu_{A \cap B}(u) = \mu_A(u) * \mu_B(u)$$

- Produit borné :

$$\mu_{A \cap B}(u) = \max(0, \mu_A(u) + \mu_B(u) - 1)$$

- Produit drastique :

$$\mu_{A \cap B}(u) = \mu_A(u) \quad \text{Si } \mu_B(u) = 1$$

$$\mu_{A \cap B}(u) = \mu_B(u) \quad \text{Si } \mu_A(u) = 1$$

$$\mu_{A \cap B}(u) = 0 \quad \text{Si } \mu_A(u) * \mu_B(u) < 1$$

- Produit d'Einstein :

$$\mu_{A \cap B}(u) = \frac{\mu_A(u) * \mu_B(u)}{2 - [\mu_A(u) + \mu_B(u) - \mu_A(u) * \mu_B(u)]}$$

- Produit d'Hamasher :

$$\mu_{A \cap B}(u) = \frac{\mu_A(u) * \mu_B(u)}{\mu_A(u) + \mu_B(u) - \mu_A(u) * \mu_B(u)}$$

Pour l'union de deux sous-ensembles flous, les T-conormes ou S-normes proposent les opérateurs suivants [70] :

- Somme algébrique :

$$\mu_{A \cup B}(u) = \mu_A(u) + \mu_B(u) - \mu_A(u) * \mu_B(u)$$

- Somme bornée :

$$\mu_{A \cup B}(u) = \min(1, \mu_A(u) + \mu_B(u))$$

- Produit drastique :

$$\mu_{A \cup B}(u) = \mu_A(u) \quad \text{Si } \mu_B(u)=0$$

$$\mu_{A \cup B}(u) = \mu_B(u) \quad \text{Si } \mu_A(u)=0$$

$$\mu_{A \cup B}(u) = 1 \quad \text{Si } \mu_A(u) * \mu_B(u) > 1$$

- Produit d'Einstein :

$$\mu_{A \cup B}(u) = \frac{\mu_A(u) + \mu_B(u)}{1 + \mu_A(u) * \mu_B(u)}$$

- Produit d'Hamacher :

$$\mu_{A \cup B}(u) = \frac{\mu_A(u) + \mu_B(u) - 2 * \mu_A(u) * \mu_B(u)}{1 - \mu_A(u) * \mu_B(u)}$$

Nous pouvons alors vérifier que l'opérateur de maximisation de Zadeh est le plus petit des T-conormes et que l'opérateur de minimisation de Zadeh est donc la plus grande des T-normes. Les opérateurs min et max sont souvent les plus utilisés actuellement dans le monde de la logique floue pour définir respectivement l'intersection et l'union des sous-ensembles flous par le fait qu'ils préservent presque toute la théorie des ensembles classiques.

## 2.6-Le raisonnement en logique floue

A partir des données réelles, l'objectif de la logique floue est de travailler dans l'univers du flou pour modéliser au mieux les comportements humains face à certains problèmes. La logique floue devra passer dans l'univers des réels pour répondre à ces problèmes.

Le mécanisme de la logique floue s'articule autour de trois grandes étapes : la fuzzification, l'inférence floue et défuzzification.

La fuzzification est l'étape qui permet de passer du monde réel au monde flou, c'est-à-dire d'affecter à des données réelles, une qualification dans le langage naturel. L'objectif est de quantifier le flou : transformer des valeurs numériques en données floues. Elle permet de fournir à chaque variable des ensembles flous et les fonctions d'appartenance s'y rapportant. L'objectif est de quantifier le flou : transformer des valeurs numériques en données floues. Le choix du nombre des ensembles flous et de la forme de la fonction d'appartenance n'est pas évident. Durant cette phase, les informations issues du système sont tout d'abord normalisées et puis transformées en qualifications linguistiques, en utilisant des règles sémantiques définies par des experts.

L'inférence est de construire des règles de décisions et de trouver pour chacune d'entre-elles la fonction d'appartenance. Elle est généralement construite à partir des règles.

La défuzzification est l'inverse de la fuzzification et permet de transformer les sorties floues issues de l'inférence en une valeur numérique.

## 2.7-Distances entre deux sous-ensembles flous

Les distances (Euclidienne, Hamming,...) connues entre les ensembles classiques peuvent être facilement étendues aux ensembles flous. Les mesures fondées sur les distances sont des généralisations de modèles géométriques de distance.

De manière générale, une distance (ou métrique) sur un ensemble X est une fonction  $d : X \times X \rightarrow \mathbb{R}$  qui satisfait les conditions suivantes [72]:

Pour trois objets a, b et c :

- (P1)  $d(a,b) = d(b,a)$  symétrie,
- (P2)  $d(a,b) = 0$  ssi  $a = b$  identité des indiscernables,
- (P3)  $d(a,b) \geq 0$  non-négativité,
- (P4)  $d(a,c) \leq d(a,b) + d(b,c)$  inégalité triangulaire.

Une distance entre deux sous-ensembles flous d'un même ensemble de référence est une évaluation de ce qui sépare ces deux ensembles. Elle permet d'apprécier leur ressemblance ou leur dissemblance. Plusieurs distances entre ensembles flous ont été proposées dans la littérature. Un premier genre de ces distances consiste à étendre le modèle géométrique aux ensembles flous en utilisant leurs fonctions d'appartenance utilisées sur des points ou des intervalles. Ce modèle est fondé en particulier sur le modèle générique des distances de r-Minkowski défini comme suit [72]:

$$d_r(A, B) = \left( \int_{-\infty}^{+\infty} |f_A(x) - f_B(x)|^r dx \right)^{1/r}$$

Ou dans sa version discrète :

$$d_r(A, B) = \left( \sum_{x \in X} |f_A(x) - f_B(x)|^r \right)^{1/r}$$

Selon la valeur de r, on retrouve les familles de distances les plus connues :

-Si  $r=1$ , la distance de Manhattan ou Hamming

-Si  $r=2$ , la distance euclidienne

-Si  $r= \infty$ , la distance de Tchebychev.

Les distances les plus utilisées sont celles de Hamming et euclidienne.

-Distance de Hamming :

La définition générale de la distance de Hamming est la somme des valeurs absolues des différences entre les fonctions d'appartenance des objets correspondants.

Si A et B sont deux ensembles flous dans le même ensemble de référence E, la distance Hamming entre eux est [70] :

$$D(A,B) = \sum_{i=1}^n | \mu_A (xi) - \mu_B (xi) |$$

Ou n est le nombre d'éléments dans l'ensemble de référence E. cette définition s'étend très bien aux ensembles classiques.

La distance relative tient compte du nombre d'éléments de l'ensemble de référence est s'exprime par la formule suivante [70] :

$$D(A,B) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n | \mu_A (xi) - \mu_B (xi) |$$

### 3-Travaux connexes

A travers une étude bibliographique sur les approches de gestion des compétences, nous retenons les travaux de recherche les plus intéressants visant à fournir des algorithmes mathématiques pour la gestion des compétences dans les domaines des ressources humaines susceptibles d'être automatisés. Nous les structurons selon les axes suivants :

-Identification et allocation des compétences

-Appariement entre les compétences des employés et les compétences exigées

-Systèmes d'information des ressources humaines et outils dédiés à la gestion des compétences

#### 3.1-Identification et allocation des compétences

L'identification et l'allocation des compétences sont des processus qui sont au cœur de la problématique du pilotage des compétences.

En effet, l'identification des compétences est conçue comme un processus qui permet de découvrir les compétences que les employés détiennent face aux compétences requises pour la bonne exécution des tâches, des missions et des activités de l'organisation. Il consiste à dresser l'inventaire des compétences dont dispose l'entreprise réellement à un instant donné. Elle permet de relier le développement des ressources humaines aux stratégies

Organisationnelles. Elle est donc une étape inéluctable dont dépendent les décisions de gestion des compétences à tous les horizons.

L'allocation des compétences et le team building concernent l'affectation des ressources humaines aux missions qui correspondent le mieux à leurs compétences, la construction des meilleures compositions des équipes de telle sorte à obtenir un rendement optimal de ces dernières. Dans le passé on parlait de qualifications pour cet axe de pilotage. Les premiers travaux de recherche qui traitent les problèmes d'affectation utilisaient des approches formelles émanant essentiellement du domaine de l'ordonnancement. Cependant, ces travaux considèrent la ressource humaine de la même manière qu'une ressource matérielle qu'ils appréhendent uniquement en termes de disponibilité et de capacités [73], [74].

Récemment, cet axe est couvert par des travaux qui proposent des méthodes basées essentiellement sur la logique floue. On peut notamment citer la méthode De Korvin [75], qui utilise le principe de compatibilités floues pour la définition des équipes de projet sur la base des compétences individuelles des acteurs et leur compatibilité (ou capacité) à travailler ensemble dans un projet. On note aussi la méthode floue de Canos et Liern [76] qui utilise des techniques de distanciation de type distance de Hamming et de calcul de la similarité pour résoudre les problèmes d'affectation. La méthode de la logique floue est parfois combinée avec d'autres outils comme c'est le cas pour la méthode proposée par Tseng [77] qui combine une approche floue avec l'approche Grey d'aide à la décision. Fitzpatrick [78] combinent une approche heuristique et une méthode mathématique pour l'aide à la formation des équipes de projet comportant un ensemble d'acteurs possédant des compétences différentes.

Un autre point de vue est celui adopté par Ley et Albert [79] qui proposent une méthode d'identification des compétences basée sur la théorie de « Competence-Performance Theory ».

Nous allons détailler certaines méthodes qui ont utilisé des algorithmes qui peuvent nous intéresser dans la proposition de notre approche.

### **3.2-Indices des compatibilités floues**

Dans le domaine du management de projet, De Korvin & al. [75], proposent une méthode pour la définition des équipes qui travaillent sur des projets multi-phases. Cette méthode est axée sur la base des compétences individuelles des acteurs et leurs capacités à travailler ensemble dans un projet. La méthode exploite les informations suivantes : les différents objectifs du projet en les décomposant en phases successives, les activités à réaliser

par phase, les compétences requises par les activités pour les différentes phases du projet et les compétences acquises par les acteurs de l'organisation.

L'approche utilise le principe de la logique floue et le principe de compatibilité floue pour choisir le membre qui possède la valeur maximale de similarité et proposer enfin les membres d'équipe potentiels pour chaque phase du projet .

L'algorithme général de la méthode est le suivant [54] :

- ✓ Définir les différentes phases du projet  $P_i$ ,
- ✓ Définir les différents acteurs candidats  $X_j$ ,
- ✓ Décrire les phases du projet en termes de compétences requises par le biais des ensembles flous
- ✓ Décrire les acteurs candidats en termes de compétences acquises :  

$$X_j = \sum_{k=0, n} ((\text{niveau acquis de la compétence } C_{jk} \text{ par } X_j) / (\text{type de compétence } C_{jk}))$$
- ✓ Définir le degré de compatibilité entre les compétences acquises par un acteur et celles requises par une phase de projet :  $\text{Comp}[X_j, P_i](u) = \max X_j(S)$  où :  $u$  est la valeur floue du niveau requis de compétence et  $X_j(S)$  les valeurs floues du niveau acquis,
- ✓ Définir le degré de compatibilité global par la méthode de défuzzification sur l'ensemble des valeurs  $u_k$  :  $g_{ij} = \sum_k [\text{Comp}[X_j, P_i](u_k)] / \sum_k (u_k)$
- ✓ Sélectionner l'ensemble d'individus  $X_j$  possédant le meilleur score de compatibilité  $g_{ij}$
- ✓ Calculer la valeur de la compétence combinée du nouveau groupe ainsi formé à l'aide d'un opérateur d'agrégation  $X_{j1i} \oplus X_{j2i} \oplus \dots$
- ✓ Evaluer le niveau de compétence manquant pour  $P_i$ ,
- ✓ Sélectionner l'individu qui optimise certaines contraintes spécifiques telles que le coût d'acquisition des compétences etc.

### 3.3-Méthode floue de Canos et Liern [76]

Dans cette méthode, les auteurs utilisent la sélection des candidats basées sur la logique floue à travers la classification des candidats par des mesures de distances entre ses compétences supposées acquises et celles requises par les postes vacants en utilisant les techniques de distanciation de type la distance de Hamming.

Il s'agit d'un système d'aide à la décision permet de résoudre les problèmes d'affectation de personnes aux emplois pour répondre à des objectifs et des caractéristiques bien définis des postes.

La situation des données de la méthode se présente ainsi comme suit [54] :

- On dispose de k postes vacants représentés chacun par un ensemble de compétences requises R exprimées dans l'ensemble de référence  $X = \{ x_1, x_2, \dots, x_R \}$ ,
- Un ensemble de candidats  $Cand = \{ P_1, P_2, \dots, P_n \}$ .

Le profil de l'acteur idéal à sélectionner pour un poste est celui pour lequel sa distance à ce poste est minimale.

### 3.4-Méthode d'identification des compétences

Les auteurs proposent une méthode d'identification des compétences basée sur la théorie de "Competence-Performance Theory" [79], qui appartient à la famille des théories des espaces de connaissances. Un espace de connaissances est une structure mathématique composée des états des connaissances dans un certain domaine d'activité. Un état de connaissance est formalisé sous forme d'ensembles de tâches qu'une personne est capable de réaliser.

Le système "Compétence-Performance" proposé se compose d'une matrice des contributions des différentes compétences à chaque tâche et d'un graphe arborescent représentant les différentes combinaisons de (tâches-compétences) (Tableau n°5) [54]. L'espace de compétence correspond à l'union de tous les états possibles.

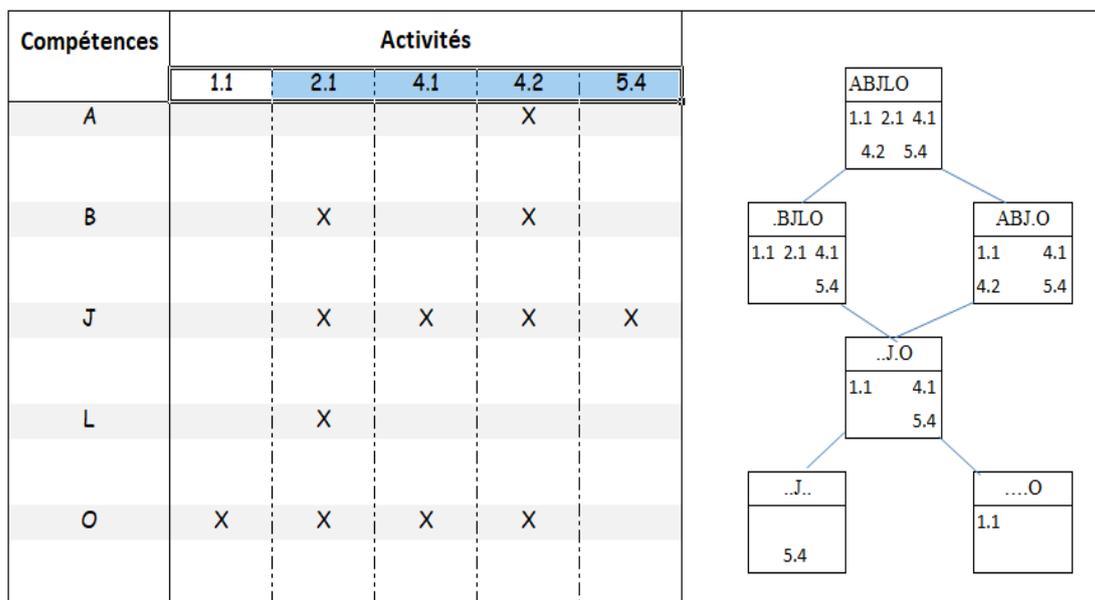


Tableau n°5 : Exemple d'une structure "Compétence-Performance" [79]

Par exemple, pour les tâches (1.1, 2.1, 4.1, 4.2, 5.4), nous avons les états de compétences  $\{ \{O\}, \{B,J,L,O\}, \{J,O\}, \{A,B,J,O\}, \{J\} \}$ .

Une fois, les différents espaces de compétences sont définis, un graphe arborescent est constitué regroupant chaque état de l'espace de compétence à l'ensemble de tâches pouvant être réalisé avec cet état. Le graphe dans la partie droite du tableau 4 est une explicitation de cette arborescence.

Dans la dernière étape, une fonction "sommaire" est définie qui décrit le lien de dépendance entre cette compétence et les autres compétences. Cette forme de représentation permet proposer des conclusions du type : Si un acteur a prouvé qu'il a bien exécuté une tâche alors on peut supposer qu'il en serait de même pour les autres qu'elles font appel aux mêmes états de compétences.

### **3.5-Méthode Fitzpatrick &al.**

Les auteurs utilisent une approche heuristique et une méthode mathématique pour construire de façon itérative, des équipes de projet à partir d'un domaine de travail comportant un ensemble d'acteurs possédant des compétences différentes [78]. Il consiste à placer à chaque fois un acteur dans une équipe et vérifier s'il y a adéquation.

## **3.6-Algorithmes d'appariement**

### **3.6.1-Algorithme d'appariement des Compétences Imane Boughedda et al**

Dans l'objectif d'automatiser la procédure d'affectation des modules aux enseignants dans un parcours de spécialité informatique, l'approche proposée est un algorithme d'appariement entre les compétences acquises par les enseignants et celles requises pour enseigner un module à travers la combinaison de l'annotation sémantique basée sur une ontologie des CVs et des descriptifs des modules. L'algorithme proposé exploite notamment les mesures de Wu-Palmer et de Dice [80].

Dans une ontologie, le principe de calcul de la similarité de Wu-Palmer [80] s'appuie sur les distances  $N_1$  et  $N_2$  qui séparent les concepts  $C_1$  et  $C_2$  du concept subsumant (le père le plus spécifique) (PPS) et la distance  $N$  qui sépare le PPS au concept racine (figure N°23).

La similarité entre  $C_1$  et  $C_2$  est donnée par :

$$\text{Similarité Wul - Palmer } (C1, C2) = \frac{2 * N}{(N1 + N2 + 2 * N)}$$

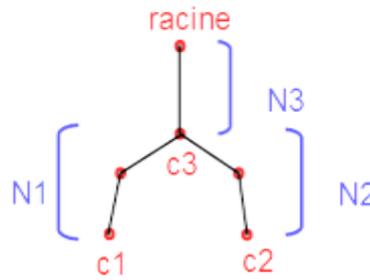


Figure 24 : Exemple de taxonomie pour les mesures de similarité basées sur les arcs

### Similarité de Dice :

La similarité de Dice entre deux entités est définie par le nombre  $N_c$  des objets communs entre ces deux entités  $E1$  et  $E2$  ayant respectivement  $N1$  et  $N2$  objets comme suit :

$$\text{Similarité Dice } (E1, E2) = \frac{2 * N_c}{(N1 + N2)}$$

### 3.6.2- Algorithme d'appariement des Compétences Leila Yahiaoui et al [81]

Ce travail concerne l'e-recrutement en utilisant les techniques d'annotation sémantique des CVs et des offres d'emploi. Le principe de base consiste à modéliser formellement le contenu de ces documents en termes de leurs acquis au niveau des CVs ou leurs requis le cas des offres d'emploi, à l'aide d'un référentiel commun entre les recruteurs et les chercheurs d'emploi. Une ontologie de domaine est construite. Ensuite des algorithmes d'appariement sont développés selon le degré de rapprochement (pourcentage) : l'appariement superficiel et l'appariement basé sur la compétence.

L'appariement superficiel prend en considération les requis ou les acquis avec lesquels les documents ont été annotés. La recherche d'un requis du poste de travail dans l'ensemble des acquis du candidat (CV) se fait avec exactitude (existe ou non) [81]. Un coefficient de pondération est associé à chacun des types de requis/acquis afin de valoriser son importance dans le calcul du degré d'appariement en question.

L'appariement basé sur la compétence s'intéresse aux compétences sous-jacentes aux documents annotés. Le principe consiste à chercher chacune des compétences requises (de l'offre d'emploi) dans l'ensemble des compétences acquises (CV). Un coefficient de

pondération est associé à chacun des types de compétences. Il est bien clair que les degrés de rapprochement calculés reflètent la correspondance entre le métier et le diplôme en question.

Si cette compétence existe, un poids sera cumulé. Un coefficient de pondération est associé à chacun des types de compétences.

#### **4-SIRH et outils dédiés à la gestion des compétences**

Historiquement cantonnés au traitement de la paie, les systèmes d'information des ressources humaines (SIRH) se structurent progressivement pour intégrer la gestion de temps et des activités (GTA) et la gestion administrative du personnel (GA ou GAP) et depuis 2000 d'autres processus tel que le processus de la gestion prévisionnelle des emplois et de compétences. Nous distinguons actuellement deux types d'architecture des SIRH dans les entreprises [82] :

- Le progiciel unique qui prend en compte tous les processus RH, mais qui comporte souvent des lacunes nécessitant l'apport de développement interne,

- La cohabitation de plusieurs progiciels dédiés de type « best of breed » interfacés entre eux autour d'un progiciel maître qui gère les dossiers individuels.

Les solutions globales, génériques, qui sont censées permettre à toutes les organisations de couvrir tous leurs besoins en matière de GRH, sont le plus souvent lourdes et coûteuses et ne correspondent pas nécessairement pour autant aux besoins spécifiques d'un secteur d'activité, aux règles particulières d'une convention collective ou d'un règlement intérieur, ou aux règles légales et réglementaires en usage dans le pays. Ces contraintes s'accroissent au niveau de la gestion des ressources humaines du secteur public. Des coûts induits de ces dysfonctionnements sont :

- L'improductivité du travail engendrant de nombreuses heures de travail gâchées en tâches d'exécution inutiles ou en doublons de tâches ;

- La non-qualité des résultats, liée aux erreurs de reports ou d'interprétation des données et aux retards dans la disponibilité des résultats ;

- La non-disponibilité des résultats, dans les délais requis, faute de posséder les données nécessaires ou d'être en mesure d'effectuer les traitements requis pour ces données.

Concernant la configuration à base de plusieurs progiciels, elle est la plus avantageuse, car elle permet la prise en compte rapidement des évolutions réglementaires ainsi que technologiques avec l'ajout des nouveaux outils. Néanmoins, cette configuration pose souvent le problème d'interopérabilité entre ces progiciels.

Quant à l'intégration du concept de compétence dans les systèmes d'information des ressources humaines, il fait partie des processus RH apparus à partir des années 2000 à travers la GPEC (Gestion prévisionnelle des emplois et des compétences). Comme le souligne B. Just dans son livre intitulé Pas de DRH sans SIRH [82], la GPEC « devient extrêmement complexe en période d'incertitude, alors qu'elle présente un véritable atout concurrentiel. Nous comprenons donc qu'il y'a une complexité pour intégrer le module Postes - Emploi - Compétences dans le SIRH ».

Sur le plan informatique, les SIRH s'appuient généralement sur les bases de données relationnelles et sur plusieurs dizaines voire centaines de programmes écrits dans différents langages de programmation.

Selon, Michelle Gillet Patrick Gill dans son livre les systèmes d'information des ressources humaines les SIRH utilise les thésaurus et une codification de niveaux permettant de croiser [83] :

- Les compétences possédées par les personnels ;
- Les activités menées par les personnels dans les postes qu'ils occupent ;
- Les profils des postes.

Les résultats ainsi attendus sont comme suit :

- La recherche d'une personne, appartenant au personnel ou présente dans le fichier des candidatures, qui posséderait le profil recherché pour pourvoir un poste ;
- La définition des caractéristiques d'une offre, externe ou interne, pour un appel à candidature sur un poste vacant ;
- La mesure des écarts entre les compétences d'une personne et les exigences du poste qu'elle occupe afin d'éviter d'avoir des personnes sur-profilées ou sous-profilées par rapport à leur poste ;

Signalons aussi, qu'il existe de très nombreux logiciels dédiés à la gestion des compétences. Ces outils ayant pour objectifs d'aider les organisations à gérer leurs compétences en proposant certaines fonctionnalités. Néanmoins, rares sont les outils offrant les différentes fonctionnalités souhaitables.

L'utilisation des systèmes d'information des ressources humaines (SIRH) ou les logiciels dédiés à la gestion des compétences pour la GPEC se heurtent aux difficultés suivantes :

- Les référentiels qu'exploitent ces progiciels reposent généralement sur les référentiels types et n'apportent pas de méthodologie dédiée pour les construire et les structurer. Or, chaque entreprise a sa politique spécifique pour la gestion des emplois et des compétences. Il est donc

très difficile de pouvoir adapter ces référentiels types aux différents établissements. La gestion des compétences est propre à la culture de chaque entreprise au langage d'entreprise et à ses diversités langagières.

-Une lourdeur et une complexité des solutions du marché, sont constatées. Même si certains résultats sont satisfaisants, la somme de travail nécessaire est colossale, en particulier, pour l'exploitation et la mise à jour des référentiels des métiers et des compétences. La simplicité de l'outil étant un critère primordial.

-Les progiciels exploitent des référentiels qui ne reposent pas sur une structuration robuste. Les structures les plus utilisées sont des bases de données et des thésaurus qui sont caractérisées par une faible sémantique.

Face à cette situation, jusqu'à présent beaucoup d'acteurs, font de la GPEC, mais en faisant recours à l'utilisation d'outils non dédiés comme des tableurs ce qui pose problème de disponibilité des données les plus pertinents pour la prise de décision.

## **5-Synthèse et positionnement**

Les différents travaux scientifiques étudiés précédemment proposent essentiellement des méthodes mathématiques ou heuristiques pour le traitement des compétences. L'outil privilégié dans ces approches est la logique floue. Pour les méthodes dédiées au Team Building, nous identifions deux stratégies de raisonnement. La première, itérative de Fitzpatrick, consiste à placer à chaque fois un acteur dans une équipe et vérifier s'il y a adéquation. La deuxième est directe et repose sur le calcul des distances entre ce qui est requis par les missions et ce qui est acquis par les acteurs candidats de De Korvin, Canos et Boughedda.

Il en ressort donc que la gestion des compétences comprend plusieurs processus complexes. Les techniques classiques de l'ingénierie des systèmes d'information en matière de structuration en bases de données relationnelles, et d'exploitation par le langage de requêtes ne sont pas suffisantes pour assurer une gestion efficace des compétences. Pour cela, il nous semble intéressant d'investiguer au niveau des techniques d'ingénierie des connaissances (IC) et de les appliquer à la gestion des compétences (GC). En effet, la compétence est un type de connaissance de l'entreprise, à acquérir, à représenter, et à exploiter. Notre approche ontologique basée sur le choix de l'ontologie s'inscrit dans ce sens. L'ontologie se trouve au cœur des systèmes d'ingénierie des connaissances SIC : elle permet une présentation formalisée des connaissances.

Quant au traitement automatique de la gestion des compétences, la théorie des ensembles notamment la logique floue se prête à ce type application, car elle recouvre un ensemble de modèles et de techniques mathématiques qui permettent de modéliser les aspects qualitatifs du jugement humain et manipuler ces connaissances en langage naturel. Elle permet aussi de raisonner sur des variables linguistiques, c'est-à-dire, sur des variables qualitatives (grand, petit, moyen, loin, près, fort, etc.) ce qui va nous permettre de pouvoir manipuler ces connaissances en langage naturel.

Dans ce sens, notre contribution sera une approche ontologique avec un traitement automatique moyennant l'utilisation la logique floue pour le développement d'un système informatique destiné au pilotage des compétences dans le domaine des ressources humaines. Le détail de notre approche sera présenté dans la partie suivante.

## 6-Méthode de traitement des compétences

Dans l'objectif de proposer une méthode pour automatiser la gestion des compétences, nous allons procéder à optimiser la correspondance entre les postes vacants et le personnel de l'établissement.

Dans ce sens, et en vue de développer un système d'aide à la décision, les compétences sont représentées sous la forme de l'ontologie que nous allons exploiter comme base de connaissance et les traitements sont effectués en faisant recours aux techniques des ensembles flous.

Pour cela, nous définissons l'Univers de discours  $U$  et les sous ensembles flous  $A$  et  $B$  comme suit :

-L'univers de discours  $U$  comme l'ensemble des compétences.

$$U = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$$

-Le sous ensemble flou  $A$  contenant les compétences des candidats.  $A$  est inclus dans  $U$  et défini par la fonction d'appartenance  $\mu_A : U \rightarrow [0, 1]$

Où  $\mu_A$  mesure le niveau ou le degré d'appartenance d'un élément de l'univers de discours  $U$  au sous-ensemble flou  $A$ .

Le sous ensemble flou  $A$  peut être présenté comme suit :

$$A = \{ (x_i, \mu_A(x_i)) \mid x_i \in U \quad i=1, \dots, n \}$$

-Le sous ensemble flou  $B$  qui représente les compétences exigées pour les postes.  $B$  est inclus dans  $U$  et caractérisé par la fonction d'appartenance  $\mu_B : U \rightarrow [0, 1]$

Où  $\mu_B$  mesure le niveau ou le degré d'appartenance d'un élément de l'univers de discours  $U$  au sous-ensemble flou  $B$ .

Le sous ensemble flou B peut être présenté comme suit :

$$B = \{ (x_i, \mu_B(x_i)) \mid x_i \in U \quad i=1, \dots, n \}$$

Pour notre cas, les compétences sont hiérarchisées sous forme de manifestations. Les fonctions d'appartenance expriment donc les niveaux de maîtrise des manifestations des compétences acquises par les candidats et celles requises par les postes. Le système d'évaluation choisie et celui inspiré de la taxonomie de bloom qui est similaire à celui du secteur public au Maroc et peut être exprimée sous forme d'un entier ou sous forme d'un intervalle de valeurs. Il convient donc de procéder à la normalisation de ces niveaux de maîtrise dans l'intervalle [0, 1].

Par ailleurs, pour optimiser la correspondance entre les compétences exigées par les postes vacants et celles acquises par le personnel de l'établissement, nous allons comparer les deux sous-ensembles flous A et B. Dans ce sens, nous allons aborder deux familles de mesures :

- Mesures métriques fondées sur les distances
- Mesures ensemblistes

Pour la première approche, nous allons utiliser la distance floue de Hamming. D'autres définitions de la distance peuvent être envisagées (Euclidean, Tchebichev, etc.), mais la distance de Hamming a enregistré des résultats favorables dans le domaine des ressources humaines [84] [85].

La seconde approche consiste à considérer les opérations ensemblistes (l'union, l'intersection, la négation) afin de comparer deux ensembles. L'une des premières propositions vient de Jaccard [72], qui exprime la similarité entre les ensembles par le rapport entre la cardinalité (la taille) de l'intersection et la cardinalité de l'union :

$$S(A,B) = |A \cap B| / |A \cup B|$$

Cette définition est ensuite étendue par plusieurs chercheurs comme Tversky dans ses travaux basés sur une approche psychologique [86], Santini et Jain [87] et Tolia [88] qui proposent une version floue du modèle de Tversky pour lequel l'intersection et l'union sont modélisées par les opérations min et max, respectivement. Dans le domaine des ressources humaines, Gil-Aluja [84] [85] a introduit un opérateur d'agrégation basé sur l'indice de Jaccard. Nous utilisons dans notre travail cet opérateur pour mesurer la similarité entre les

ensembles flous représentant des compétences. Cette approche généralise la similarité de Jaccard au traitement des ensembles flous exprimés sous forme d'intervalles.

Parallèlement aux mesures de comparaison des sous-ensembles flous, nous allons présenter un algorithme basé sur la mesure de la similarité sémantique dans l'ontologie. De façon générale, une mesure sémantique est une application de l'ensemble  $C \times C$  des paires de concepts d'une ontologie dans  $\mathbb{R}^+$  qui permet d'évaluer quantitativement la proximité ou l'éloignement sémantique de deux concepts [89]. Différentes mesures sémantiques ont été proposées dans la littérature pour évaluer quantitativement l'importance de la liaison sémantique entre les paires de concepts. Nous nous intéressons aux approches basées sur les arcs et qui utilisent les structures de l'ontologie. Cependant, son choix reste un problème délicat. Une comparaison entre les méthodes des mesures de similarité a été effectuée par Dekang Lin [90] et a conclu que la mesure de Wu et Palmer [91] a l'avantage d'être simple à calculer et présente des performances. En effet, Si  $X$  et  $Y$  deux éléments de l'ontologie dont nous allons calculer la similarité et  $N1$  et  $N2$  les distances qui les séparent au nœud racine. L'indice de similarité de Wu et Palmer est :

$$Sim(X, Y) = \frac{2 * N}{2 * N + N1 + N2}$$

Nous allons baser notre algorithme sur la mesure de similarité Wu Palmer en introduisant des pondérations en fonction des tests de possession par les candidats des compétences exigées.

## 6.1-Présentation des algorithmes proposés :

Considérons  $R$  compétences  $X_i$  ,  $m$  postes de travail  $W_i$  qui exigent des compétences  $X_i$  et  $n$  candidats  $P_i$  qui possèdent des compétences  $X_i$ . Nous exprimons cette situation comme suit :

$$X = \{X_1, \dots, X_R\} \quad \text{Equation 1}$$

$$\text{Cand} = \{P_1, \dots, P_n\} \quad \text{Equation 2}$$

$$\text{Postes} = \{W_1, \dots, W_m\} \quad \text{Equation 3}$$

A ces compétences nous les associons des niveaux d'évaluation de maîtrise de cette compétence. Pour permettre aux responsables des ressources humaines, un choix optimal de sélection des candidats, il est nécessaires d'adopter une évaluation des niveaux de compétences sous forme d'intervalles. Les compétences acquises par les candidat  $P_j$  ou requises par les postes  $W_j$  peuvent donc être présentées selon l'approche d'évaluation comme suit :

-Niveau de maîtrise exprimé par valeur :

$$P_j = \{(x_i, a_{x_i}^j)\} \text{ avec } a_{x_i}^j \in [0,1] \quad \text{Equation 4}$$

$$\mu_{x_i}(P_j) = a_x^{1j} \quad \text{Equation 5}$$

$a_{x_i}^j$  : représente la valeur de niveau de maîtrise relatif à la compétence  $X_i$  du candidat  $P_j$

$$W_j = \{(x_i, b_{x_i}^j)\} \text{ avec } b_{x_i}^j \in [0,1] \quad \text{Equation 6}$$

$$\mu_{x_i}(W_j) = a_{x_i}^j \quad \text{Equation 7}$$

$b_{x_i}^j$  : représente le niveau de maîtrise relatif à la compétence  $X_i$  exigé par le poste  $W_j$ .

-Niveaux de maîtrise exprimés par des intervalles :

$$P_j = \{(x_i, [a_{x_i}^{1j}, a_{x_i}^{2j}])\} \text{ avec } [a_{x_i}^{1j}, a_{x_i}^{2j}] \subseteq [0,1] \quad \text{Equation 8}$$

$$\mu_{x_i}(P_j) = [a_x^{1j}, a_x^{2j}] \subseteq [0,1] \quad \text{Equation 9}$$

$$W_j = \{(x_i, [b_{x_i}^{1j}, b_{x_i}^{2j}])\} \text{ avec } [b_{x_i}^{1j}, b_{x_i}^{2j}] \subseteq [0,1] \quad \text{Equation 10}$$

$$\mu_{x_i}(w_j) = [a_{x_i}^{1j}, a_{x_i}^{2j}] \subseteq [0,1]$$

Les deux sous-ensembles flous A et B sont munis des fonctions d'appartenance exprimées comme suit :

$$- \mu_A(x) = [a_x^1, a_x^2] \quad \text{Equation 11}$$

$$- \mu_B(x) = [b_x^1, b_x^2] \quad \text{Equation 12}$$

### 6.1.1–Algorithme utilisant la Distance de Hamming

Il consiste à minimiser la distance de Hamming entre les ensembles flous des candidats potentiels et celui du poste correspond au candidat idéal.

La distance de Hamming s'exprime ainsi comme suit :

$$d(A, B) = \frac{1}{2n} \left( \sum_{i=1}^n (|a^1_{x_i} - b^1_{x_i}| + |a^2_{x_i} - b^2_{x_i}|) \right) \quad \text{Equation 13}$$

Si les bornes des intervalles sont égales, on obtient la distance de Hamming pour le cas de l'évaluation par valeur.

### 6.1.2-Algorithme utilisant les index de compétences

Dans le domaine des ressources humaines, Gil-Aluja [84] [85] a introduit un opérateur d'agrégation basé sur l'indice de Jaccard. Cet opérateur nommé index de compétences utilise les opérateurs ensemblistes l'union et l'intersection entre les compétences du candidat et celle du poste vacant considéré par l'auteur le candidat idéal I. Il s'exprime pour une compétence  $X_i$  comme suit :

$$\mu_I^{x_i}(P_j) = \frac{\text{longueur}([b^1_{x_i}, b^2_{x_i}] \cap [a^1_{x_i}, a^2_{x_i}])}{\text{longueur}([b^1_{x_i}, b^2_{x_i}] \cup [a^1_{x_i}, a^2_{x_i}])} \quad \text{Equation 14}$$

$$\text{Si } [a^1_{x_i}, a^2_{x_i}] \subset [b^1_{x_i}, b^2_{x_i}] \text{ alors } \mu_I^{x_i}(P_j) = 1 \quad \text{Equation 15}$$

$$\text{Si } [b^1_{x_i}, b^2_{x_i}] \text{ et } [a^1_{x_i}, a^2_{x_i}] \text{ ne chevauchent pas alors } \mu_I^{x_i}(P_j) = 0 \quad \text{Equation 16}$$

Si  $[b^1_{x_i}, b^2_{x_i}]$  et  $[a^1_{x_i}, a^2_{x_i}]$  chevauchent on a

$$\text{une inclusion floue avec un taux d'imprécision } \frac{a^2_{x_i} - b^1_{x_i}}{b^2_{x_i} - a^1_{x_i}} \quad \text{Equation 17}$$

Si l'on considère que toutes les compétences sont d'importance égale, on définit l'index de compétences en tant que :

$$U_I(P_j) = 1/n \sum_{i=1}^n \mu_I^{x_i}(P_j) \quad \text{Equation 18}$$

Nous allons utiliser cet opérateur dans notre travail pour mesurer la similarité entre les ensembles flous représentant les compétences. Il exprime une extension de l'indice de Jaccard au traitement des ensembles flous exprimés sous forme d'intervalles. Pour le traitement des compétences, il est nommé index de compétences [84]. L'idée principale est que plus il y a d'intersection entre un candidat et le candidat idéal, plus le candidat est celui qui convient le mieux au poste.

### 6.1.3-Algorithmme utilisant la similarité de Wu-Palmer

Cet algorithme permet le calcul de la similarité entre les concepts présentant les manifestations des compétences en se basant sur les structures de l'ontologie : concepts et relations entre les compétences acquises et celles requises.

L'algorithme teste si les compétences exigées avec celles des candidats et évalue dans le cas échéant la similarité entre ces compétences. La similarité totale est ensuite déterminée.

### 6.2-Illustration

L'optimisation de la correspondance entre les compétences exigées par les postes vacants et celles acquises par le personnel de l'établissement, consiste à sélectionner le candidat qui convient le mieux pour occuper un poste considéré comme candidat idéal [84] ou l'objectif flou[92]. Pour illustrer cela nous allons définir un poste vacant et nous allons classer les candidats selon leurs degrés de correspondance à ce poste en utilisant la distance de Hamming et l'index de compétences. Les données de cette illustration sont inspirées des travaux d'Alluja [84]. Les tableaux n°6 et n°7 ci-après présentent respectivement les manifestations et leurs niveaux d'évaluation exprimés en compétences pour l'objectif flou et les candidats.

	compétence 1		compétence 2		compétence 3		compétence 4		compétence 5		compétence 6		compétence 7	
Candidat idéal /Objectif flou	0,30	0,70	0,60	0,80	0,70	1,00	0,50	1,00	0,80	0,80	0,40	0,70	0,70	1,00

Tableau n°6 : Candidat idéal ou l'objectif flou

	compétence 1		compétence 2		compétence 3		compétence 4		compétence 5		compétence 6		compétence 7	
<b>Candidat 1</b>	0,4	0,4	0,5	0,7	0,6	0,7	0,3	0,5	0,8	0,8	0,2	0,4	0,6	0,6
<b>Candidat 2</b>	0,2	0,4	0,6	0,6	0,7	0,9	0,5	0,7	0,7	0,8	0,2	0,5	0,4	0,6
<b>Candidat 3</b>	0,4	0,5	0,3	0,5	0,8	0,9	1	1	0,5	0,6	1	1	0,3	0,5
<b>Candidat 4</b>	0,1	0,1	0,2	0,4	0,2	0,2	0,5	0,6	0,6	0,8	0,3	0,4	0,2	0,5
<b>Candidat 5</b>	0,2	0,4	0,1	0,3	0,5	0,6	0,2	0,3	0,2	0,5	0,2	0,2	0,8	0,9
<b>Candidat 6</b>	0,3	0,4	0,5	0,6	1	1	0,3	0,4	0,4	0,7	0,5	0,5	1	1
<b>Candidat 7</b>	0,1	0,3	0,8	0,8	0,4	0,5	0,4	0,5	1	1	0,3	0,5	0,5	0,7
<b>Candidat 8</b>	0,2	0,2	0,2	0,5	0,3	0,5	0,5	0,6	0,8	0,9	0,7	0,9	0,3	0,7

Tableau n°7 : Les compétences acquises par les candidats

### 6.2.1-Classement des candidats selon la Distance de Hamming :

Distance	Candidat 1	Candidat 2	Candidat 3	Candidat 4	Candidat 5	Candidat 6	Candidat 7	Candidat 8
<b>Candidat Idéal</b>	<b>0,193</b>	<b>0,157</b>	<b>0,279</b>	<b>0,350</b>	<b>0,343</b>	<b>0,200</b>	<b>0,243</b>	<b>0,279</b>

Tableau n°8 : Calcul des distances de Hamming

Le candidat n° 2 est celui qui a la distance Hamming minimale par rapport au poste vacant. Le classement des candidats selon la distance de Hamming se présente ainsi comme suit :

**P2<P1<P6<P7<P8<P3<P5<P4 → P2 est le candidat optimum au poste**

### 6.2.2-Classement des candidats selon l'Index de compétences :

Index de compétence	Candidat 1	Candidat 2	Candidat 3	Candidat 4	Candidat 5	Candidat 6	Candidat 7	Candidat 8
<b>Candidat Idéal</b>	<b>0,333</b>	<b>0,486</b>	<b>0,571</b>	<b>0,143</b>	<b>0,171</b>	<b>0,464</b>	<b>0,321</b>	<b>0,429</b>

Tableau n°9 : Calcul des index de compétences

Le candidat n°3 est celui qui a un index de compétences le plus important donc celui qui une correspondance proche à celui du poste vacant.

Le classement des candidats selon la distance de Hamming se présente comme suit :

**P4<P5<P7<P1<P8<P6<P2<P3 → le candidat P3 convient mieux au poste**

Les deux approches partagent le classement des candidats avec un pourcentage de 60%.

## **Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons étudié de nombreux travaux de recherche qui prennent pour objet la gestion des compétences. Ceux-ci, dans le domaine des ressources humaines, s'intéressent aux différents aspects de cette ressource dont les plus intéressants sont l'identification des compétences, l'allocation des compétences, le "team building", la gestion prévisionnelle des emplois et des compétences et l'appariement entre les compétences des employés et les compétences exigées par les postes.

Ces travaux proposent essentiellement des méthodes mathématiques ou heuristiques pour le traitement des compétences. Pour les méthodes dédiées au Team Building, nous identifions deux stratégies de raisonnement. La première, itérative de Fitzpatrick, consiste à placer à chaque fois un acteur dans une équipe et vérifier s'il y a adéquation. La deuxième est directe et repose sur le calcul des distances notamment celle de Hamming ou la similarité de Dice ou de Wu-Palmer et concerne principalement les travaux de De Korvin, Canos et Boughedda. L'outil privilégié dans ces approches est souvent la logique floue.

Dans ce sens nous avons présenté succinctement la théorie des ensembles flous sur laquelle notre contribution va être axée. En effet, cette théorie se prête à la gestion des compétences qui porte sur un nombre important de connaissances de l'entreprise et de ses individus. Aussi, elle recouvre un ensemble de modèles et de techniques mathématiques qui permettent de modéliser les aspects qualitatifs du jugement humain et manipuler ces connaissances en langage naturel.

Ce chapitre est achevé avec la proposition de trois algorithmes basés sur l'utilisation des mesures métriques, ensemblistes et sémantiques pour comparer les compétences acquises et celle requises en vue d'optimiser la prise de décision relative à la sélection du meilleur candidat qui remplit les conditions en matière de compétence. La mise en œuvre de ces algorithmes sera présentée dans le chapitre suivant intitulé implémentation et expérimentation.

## **Chapitre 4 : Implémentation et expérimentation**

### **1-Introduction**

Nous allons dans ce chapitre traiter l'implémentation du modèle ontologique de gestion des compétences conçu, son peuplement ou son instanciation qui consiste à associer des instances à ses concepts et ses relations. Nous décrivons aussi l'approche du peuplement de l'ontologie à partir du Web. Ensuite, nous allons procéder à la manipulation de cette ontologie au moyen des algorithmes d'appariement entre les compétences acquises et celles requises pour une sélection optimale des candidats aux postes vacants. Les principaux logiciels et bibliothèques permettant d'effectuer ces traitements sont également présentés dans ce chapitre.

### **2-Implémentation de l'ontologie**

L'ontologie de gestion des compétences conçue est créée en utilisant le logiciel Protégé. Nous allons donc présenter brièvement ce logiciel.

#### **2.1-Éditeur d'ontologies**

Les différents articles et rapports traitant le domaine de la gestion des connaissances listent un grand nombre d'éditeurs d'ontologie (plus de 90 éditeurs) dont Protégé est l'un des logiciels les plus renommés [93]. Son développement a été initié en 1995 par l'Université en informatique médicale de Stanford et distribué en open source. Protégé dédié à OWL, mais il est hautement extensible pour manipuler des formats très divers. Il permet aussi de créer ou d'importer des ontologies écrites dans les différents langages d'ontologies tel que : RDF-Schéma, OWL, DAML, OIL, ...etc. Cela est rendu possible grâce à l'utilisation de plugins qui sont disponibles en téléchargement pour la plupart de ces langages.

Il possède une interface utilisateur graphique (GUI) lui permettant de manipuler aisément tous les éléments d'une ontologie : classe, méta-classe, propriété, instance, ...etc.

Protégé fournit une interface de programmation d'application (API) écrite en JAVA. Cette interface est une bibliothèque de méthodes facilitant l'accès aux bases de connaissances de Protégé et automatisant le développement de programmes informatiques.

Il est adopté par les développeurs et les experts de domaine pour construire des systèmes basés sur les connaissances (Ontologies) dans la résolution des problèmes et la prise de décision.

## 2.2- Création de l'ontologie

L'ontologie pour la gestion des compétences est l'un des apports majeurs de cette thèse. En effet, elle est créée en fonction d'un besoin et d'un objectif précis à savoir la gestion des compétences. Les principales classes de l'ontologie sont présentées dans le tableau suivant :

Classes	Descriptions
Poste	Décrit les postes
Requis	Décrit les compétences requises des postes, les expériences, les formations.
Personne	Décrit les caractéristiques personnelles
Acquis	Décrit les acquis des personnes soit leurs compétences, les formations, les expériences, ...
Contrat	Décrit le contrat du travail
Expérience	Décrit l'expérience professionnelle acquise ou requise.
Formation	Décrit les formations acquises ou requises
Diplôme	Décrit les diplômes du domaine
Référentiel du Diplôme	Décrit les référentiels des diplômes
Famille de Diplôme	Décrit les familles de diplômes
Établissement	Décrit l'établissement d'un diplôme
Formation Complémentaire	Décrit des formations complémentaires requises ou acquises
Spécialité	Décrit spécialité d'une compétence ou d'un diplôme
Domaine	Décrit le domaine du diplôme ou le domaine de spécialité de la compétence
Compétence	Décrit tout type de compétence
Savoir	Décrit le savoir
Savoir Faire	Décrit le savoir-faire
Savoir Etre	Décrit les compétences comportementales
Manifestation	Les manifestations de chaque type de compétence
Niveau	Décrit le niveau de maîtrise de chaque manifestation
Métier	Décrit les métiers du domaine
Emploi	Décrit l'emploi type

Tableau n°10 : Classes de l'ontologie

Cette ontologie est implémentée au niveau du logiciel Protégé. Le schéma dressé ci-après est édité de ce logiciel.

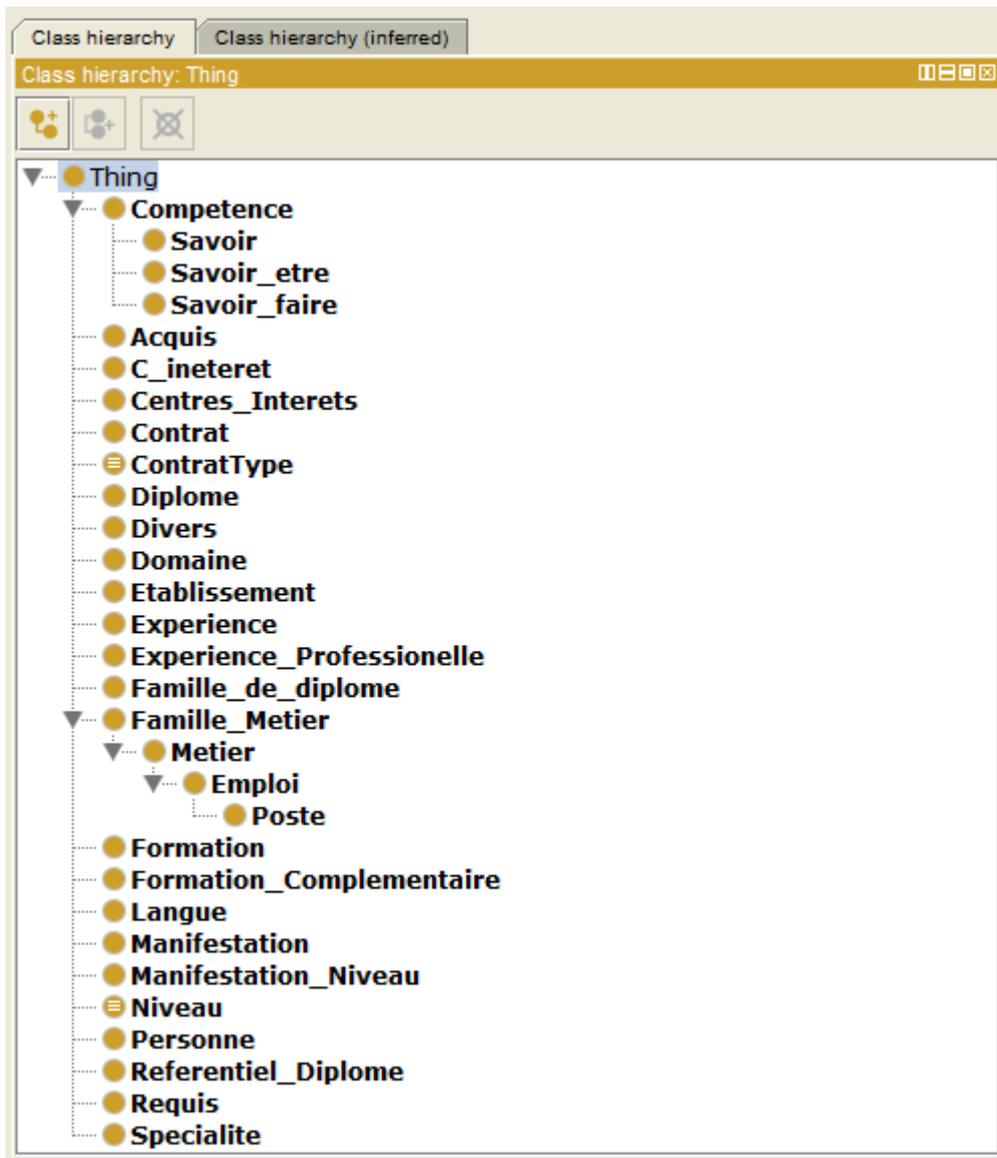


Figure 25 : ontologie de compétence

### 3- Processus de peuplement

Nous allons exploiter l'ontologie professionnelle (ESCO) et le site web Marocain de dépôts des CV ([www.emploi.ma](http://www.emploi.ma)) pour instancier l'ontologie. Ce site est utilisé pour extraire les compétences des candidats (Formation, expériences professionnelles, diplômes,...). Il est constitué par des pages Web structurées en format HTML et ne dispose pas d'API Web qui nous fournit des données structurées des candidats. On est donc confronté au problème d'identification des instances qui est un problème majeur dans le processus de peuplement d'une ontologie. Cette tâche n'est pas évidente et nécessite le recours aux techniques de traitement automatique du langage naturel (TALN). Nous avons

donc développé un programme informatique. Le choix a été porté sur le langage Java avec l'éditeur de développement intégré (Eclipse-Jee 2019).

En effet, ce langage est utilisé pour les développements spécifiques. Son intérêt repose sur sa portabilité, quel que soit le système d'exploitation et de sa richesse en outils et plugins exploités dans le domaine du Web sémantique. Il fournit également des bibliothèques qui permettent de manipuler les ontologies ( Java OWL API) et d'exploiter les différentes sources de données ( Web, textes, langage naturel,..) .

La technique du web crapping basée sur la bibliothèque HtmlUnit de Java est utilisée. Elle nous permet d'extraire les données des pages du site Web non structurées et chercher les informations ciblées avec le langage de requetes XPATH [94][95]. Les données ainsi récupérées sont transformées en données structurées facilement exploitables.

Le schéma suivant présente un exemple de données récupéré du site Web et traité par la technique du web crapping.

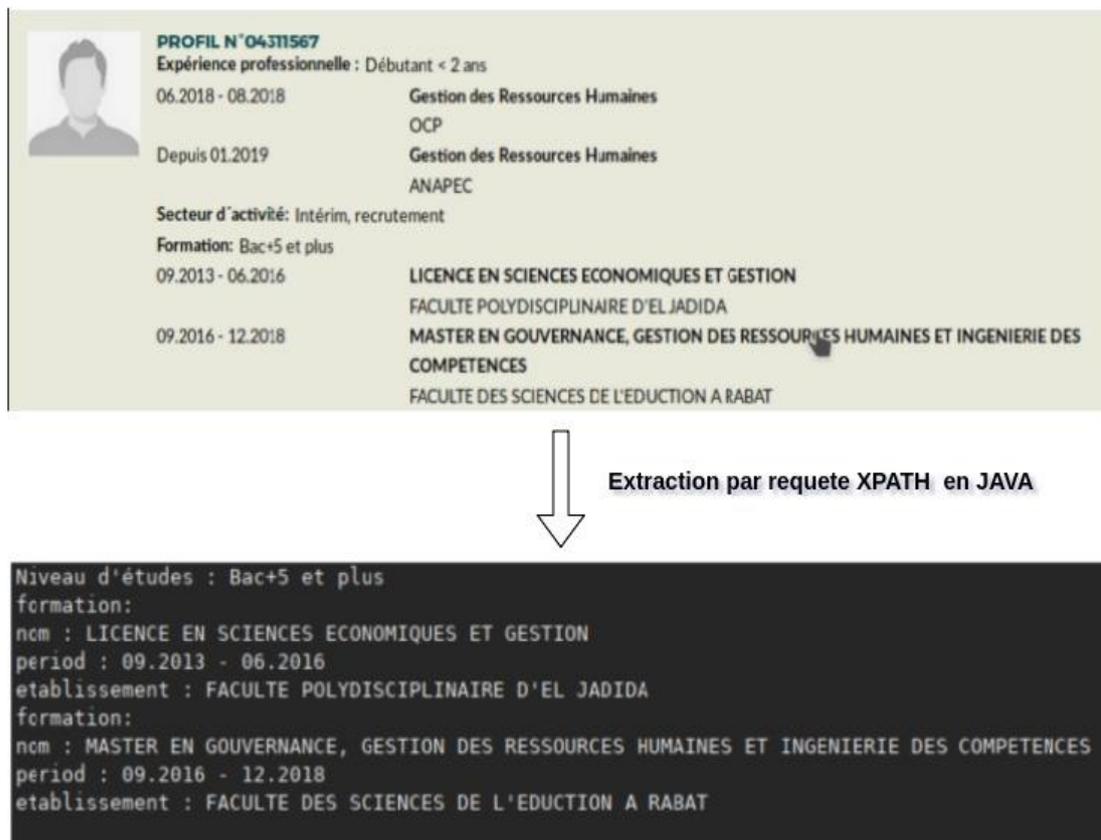


Figure 26 : Exemple de données récupérées.

Les données extraites sont enregistrées dans un fichier texte et puis sérialisées sous forme d'objet Java.

Ces fichiers ont subi des traitements en faisant recours aux outils de traitement automatique de langue naturelle (TALN) notamment la bibliothèque (apache OpenNLP). Elle prend en charge les tâches TALN les plus courantes, telles que la détection de langue, la segmentation de phrases, l'extraction d'entités nommées, le marquage POS et la création de Token. Un code java est développé pour le nettoyage et l'épuration des données en supprimant les ponctuations et les caractères d'arrêt en exploitant un dictionnaire des mots d'arrêt (stopwords) et des séparateurs qui apparaissent dans plusieurs champs et plus généralement la technique du TLN (part of speech POS) pour identifier les compétences de type savoir et savoir-faire, car cette dernière commence par un verbe.

Pour le cas des informations des exigences des postes, elles sont récupérées de l'Ontologie ESCO. Elles se rapportent essentiellement à la description des postes et ses compétences exigées en termes des différents savoirs et sont récupérées sous forme d'un fichier JSON par le biais du Web ESCO API fournit par la plate forme de l'ESCO. Cette ontologie est considérée pour notre cas comme factuelle car on va utiliser seulement ses instances.

La figure n°27 présente de façon détaillée, le processus de peuplement.

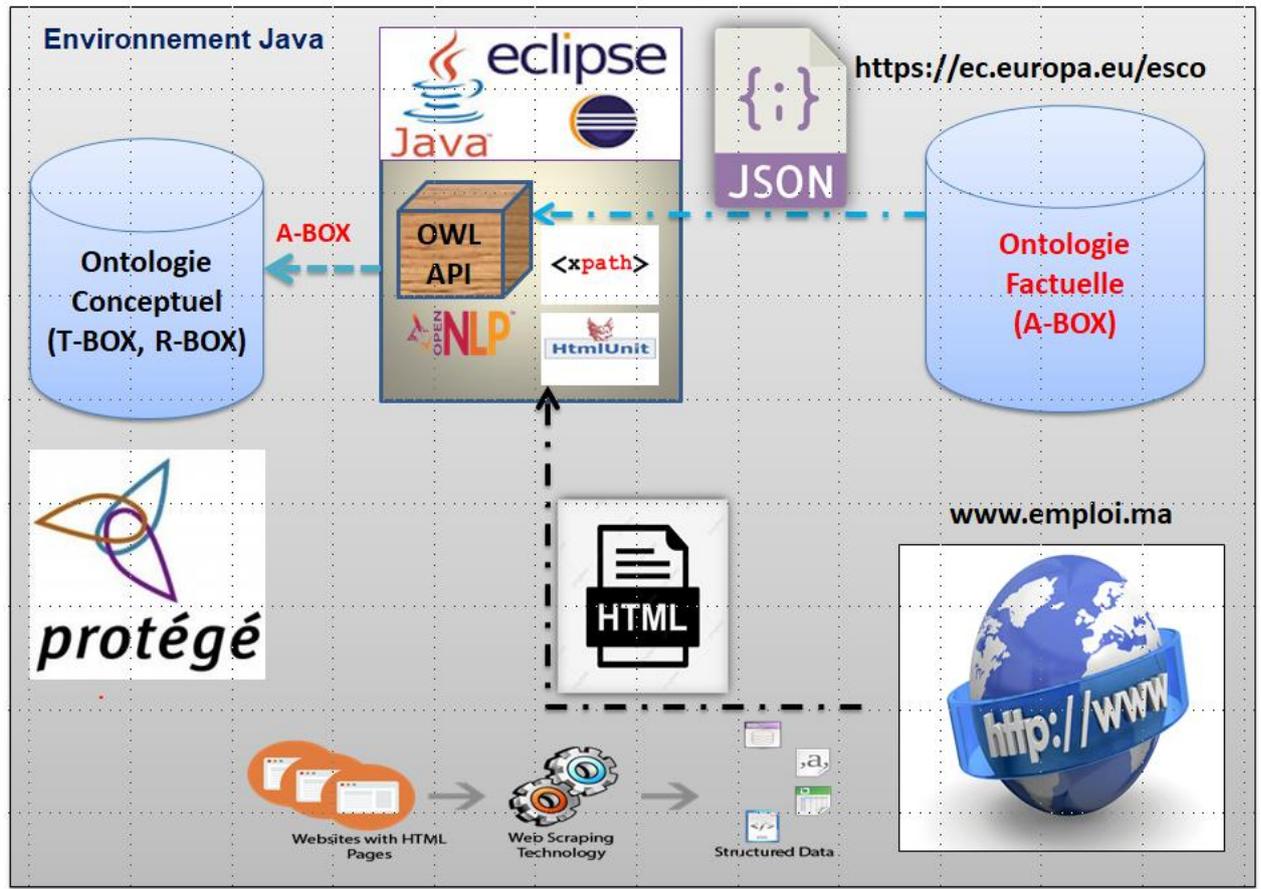


Figure 27 : Processus de peuplement

#### 4-Architecture de notre contribution

Nous allons présenter explicitement les liens entre les différentes composantes (ontologies, ressources externes, méthodes et traitements) de notre contribution et comment elles sont mise en œuvre pour le bon fonctionnement de notre solution. Les étapes représentent le processus de gestion des compétences consistent en :

- Extraction des informations du profil des candidats à partir du site web des emplois du Maroc ([www.emploi.ma](http://www.emploi.ma)) : les compétences, les parcours scolaires, les expériences professionnelles,....
- Traitement des informations extraites des profils des candidats : Développement du code Java.
- Peuplement : Instanciation des différentes classes et sous classes telles que (personne, Acquis, compétences acquises, poste, requis,..).
- Appariement : Dans cette étape, le calcul des similarités entre les compétences acquises et celles requises en utilisant les algorithmes proposés qui sont implémentés sous forme de programme Java. .

Le schéma illustrant cette architecture est dressé dans la figure suivante.

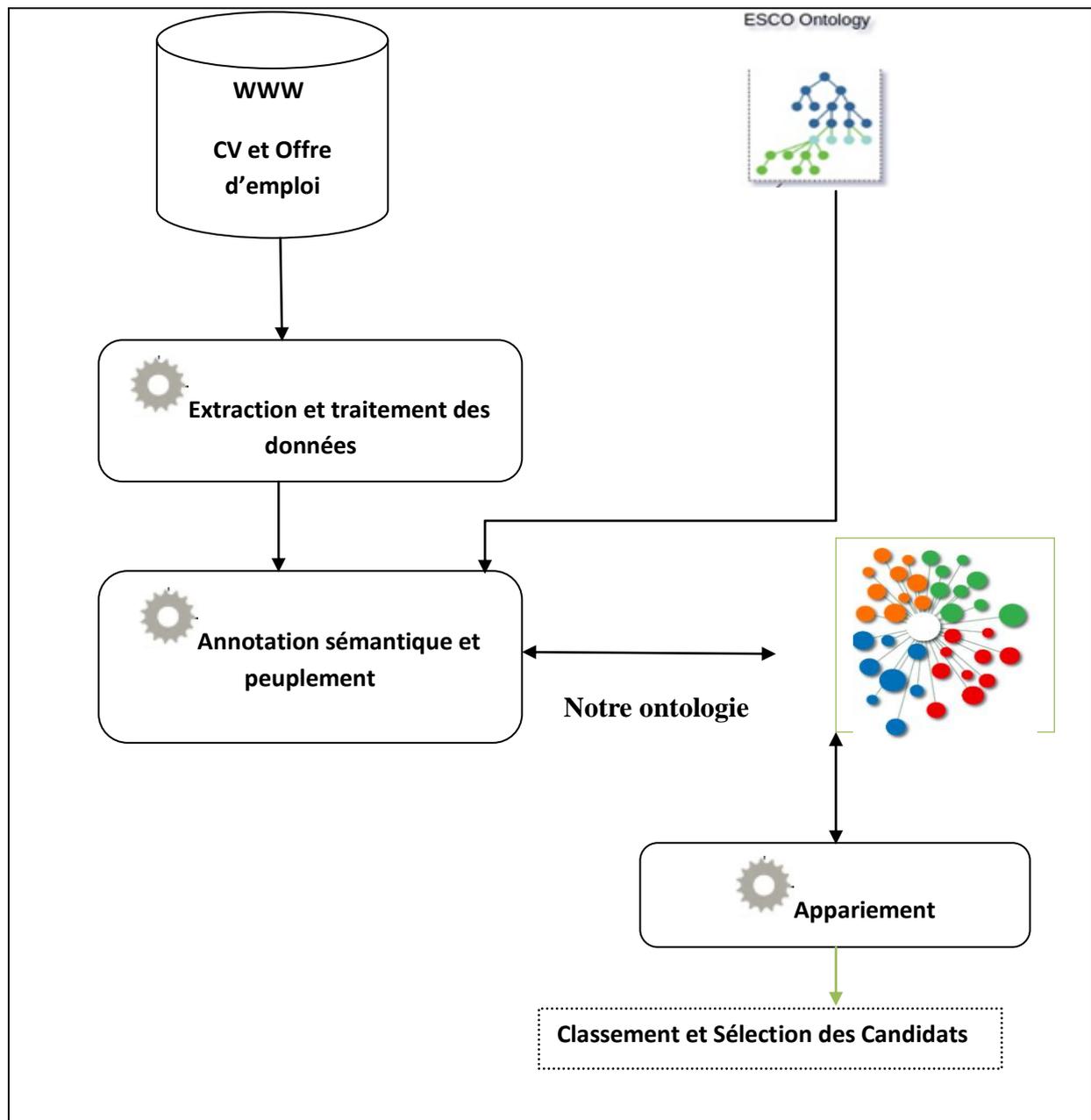


Figure 28 : Architecture de notre contribution

## 5-Expérimentation

Nous allons explorer notre ontologie après son peuplement à partir de l'ontologie professionnelle Européenne (ESCO) et le site web Marocain de dépôts des CV. Nous allons considérer un poste vacant comme objectif flou. Il s'agit du poste de Directeur des ressources humaines dont sa description est récupéré du référentiel des emplois et des compétences marocain RECAP.

Nous allons procéder ensuite à la recherche des candidats qui conviennent de façon optimale pour occuper ce poste en utilisant les trois algorithmes proposés codés en langage Java. La description du poste et les résultats des algorithmes sont dressés ci-après.

**-Description du poste de Directeur des ressources humaines :**

Code du poste	2423	
Titre du Poste	directeur des ressources humaines/directrice des ressources humaines	
Missions du Poste	Les responsables des ressources humaines planifient, conçoivent et mettent en œuvre des processus liés au capital humain des entreprises. Ils élaborent des programmes de recrutement, d'entrevue et de sélection des employés en fonction d'une évaluation préalable du profil et des compétences requises dans l'entreprise.	
Formation de base	Bac +5	
Formation spécifique	Gestion des ressources humaines	
Expérience Professionnelle	10 ans en tant que gestionnaire du personnel	
Compétence	Contenu	Niveau
Savoir-faire	-Appliquer les politiques d'une entreprise	Compétent (II)
	-Coordonner les activités opérationnelles	Expert (I)
	-Déterminer les ressources humaines nécessaires	Expert (I)
Savoir	-Droit du travail	Compétent (II)
	-Gestion des ressources humaines	Compétent (II)
	-Législation sociale	Compétent (II)
Savoir-être	-Attentif aux besoins des autres	Compétent (II)
	-Grande capacité d'écoute active	Compétent (II)
	-Patient et persévérant	Compétent (II)

Tableau n°11 : Description du poste du Directeur des ressources humaines

## 6-Résultats des algorithmes

On a sélectionné 40 candidats pour notre offre d'emploi pour interpréter les résultats retenus par les trois algorithmes.

### 6.1-Résultats de l'algorithme de distance de Hamming

Id	distance de hamming
3649899	0.5277777777777778
4374701	0.5
4399862	0.5
4408526	0.4722222222222227
1252413	0.4722222222222215
4404883	0.4444444444444445
4363994	0.4444444444444444
4402975	0.4305555555555556
4220956	0.4027777777777785
4412288	0.4027777777777773
4360982	0.3888888888888884
2887976	0.375
4409976	0.3611111111111111
4413460	0.3472222222222227
4388065	0.3472222222222227
4413352	0.3472222222222227
4097172	0.3472222222222227
3899467	0.3472222222222215
308832	0.3472222222222215
4407745	0.3333333333333333
4371882	0.3194444444444444
4308071	0.3194444444444444
3928162	0.29166666666666674
3423186	0.29166666666666667
4311567	0.29166666666666667
3906148	0.29166666666666663
4399892	0.2777777777777785
4379665	0.2777777777777785
4089649	0.2777777777777785
4412311	0.2777777777777778
4360826	0.2777777777777778
4359249	0.2777777777777773
4244107	0.2638888888888889
4415248	0.23611111111111113
3221949	0.23611111111111113
4396379	0.23611111111111108
1052739	0.2222222222222224
4406239	0.1944444444444445
793140	0.1805555555555558
1094648	0.1666666666666667

Tableau n°12 : Résultats de l'algorithme de Hamming

Les candidats sont classés selon l'ordre décroissant des distances. Les meilleurs candidats sont ceux dont les distances sont minimales.

## 6.2-Résultats de l'algorithme de l'index de compétences

Id	Indice de competence
4244107	0.4487179487179487
4371882	0.38461538461538464
793140	0.38461538461538464
4363994	0.38461538461538464
4406239	0.3589743589743589
4396379	0.3589743589743589
4399892	0.3333333333333333
308832	0.3333333333333333
4409976	0.3205128205128205
4089649	0.3205128205128205
4415248	0.3076923076923077
4097172	0.3076923076923077
3221949	0.3076923076923077
3928162	0.2948717948717948
2887976	0.2692307692307692
4360982	0.2692307692307692
4308071	0.2564102564102564
1052739	0.2564102564102564
3423186	0.2564102564102564
1094648	0.2564102564102564
4412311	0.24358974358974358
4388065	0.23076923076923078
4412288	0.23076923076923078
4311567	0.23076923076923078
4404883	0.21794871794871792
4407745	0.19230769230769232
4359249	0.19230769230769232
4379665	0.17948717948717946
4220956	0.16666666666666666
3899467	0.16666666666666666
4413460	0.15384615384615385
4408526	0.15384615384615385
3649899	0.1282051282051282
4360826	0.1282051282051282
1252413	0.11538461538461539
4413352	0.11538461538461539
4402975	0.10256410256410256
4399862	0.07692307692307693
3906148	0.07692307692307693
4374701	0.0641025641025641

Tableau n°13 : Résultats de l'algorithme de l'index de compétences

Les candidats sont classés par ordre décroissant de l'index de compétences. Les candidats qui conviennent mieux sont ceux qui correspondent à l'index de compétences le plus élevé.

### 6.3-Résultats de l'algorithme de la similarité de Wu Palmer

Id	similarite totale basee sur palmer
3649899	0.8640000000000004
4413352	0.8400000000000004
2887976	0.8400000000000004
4220956	0.8160000000000004
4311567	0.7920000000000004
3423186	0.7920000000000004
4404883	0.7440000000000003
4406239	0.7200000000000003
4379665	0.6960000000000003
4374701	0.6720000000000003
4308071	0.6240000000000002
3928162	0.6240000000000002
4412288	0.6000000000000002
3906148	0.5520000000000002
4399862	0.5040000000000001
4396379	0.4800000000000001
1252413	0.4560000000000007
3899467	0.4560000000000007
4412311	0.4560000000000007
4363994	0.4560000000000007
4359249	0.40800000000000014
4244107	0.3840000000000001
4371882	0.3600000000000001
4409976	0.3600000000000001
308832	0.3600000000000001
4388065	0.3360000000000001
4360826	0.3120000000000006
4097172	0.3120000000000006
4408526	0.264
4402975	0.264
1052739	0.2160000000000003
4407745	0.168
4399892	0.12
3221949	0.12
4415248	0.12
793140	0.096
1094648	0.072
4413460	0.024
4089649	0.024

Tableau n°14 : Résultats de l'algorithme de la similarité de Wu Palmer.:

Les candidats sont classés par ordre décroissant de la similarité de Wu Palmer. Les candidats possédant des similarités importantes sont ceux ayant des compétences similaires à celles du poste.

## 6.4- Représentation graphique des résultats

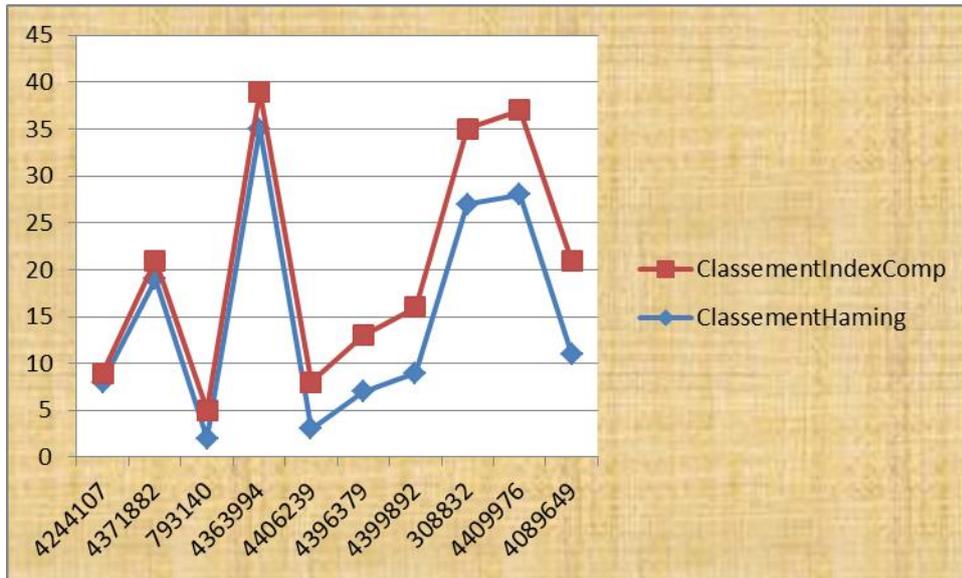


Figure 29 : Distances de Hamming comparées aux index de compétences

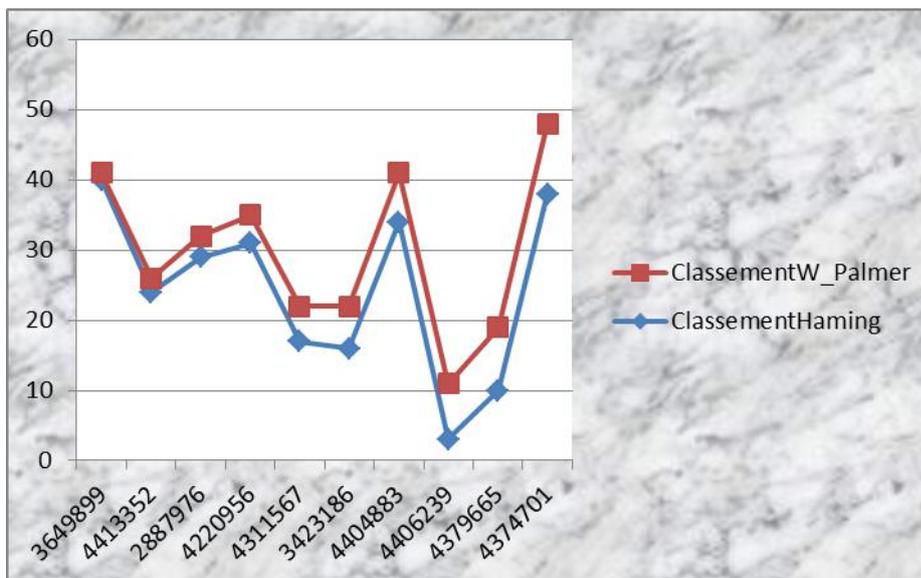


Figure 30 : Distances de Hamming comparées aux similarités Wu-palmer

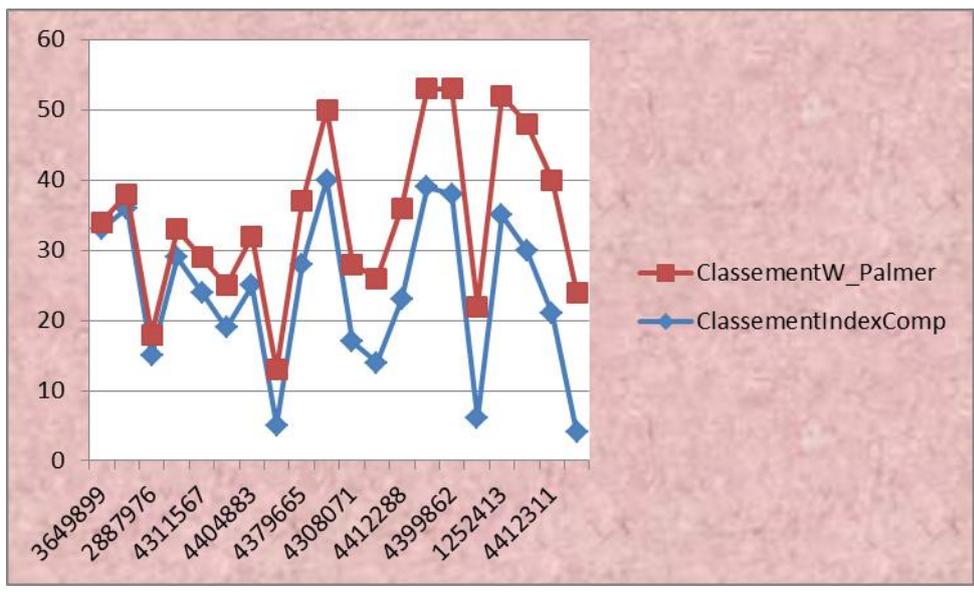


Figure 31 : Index de compétences comparés aux similarités Wu-palmer

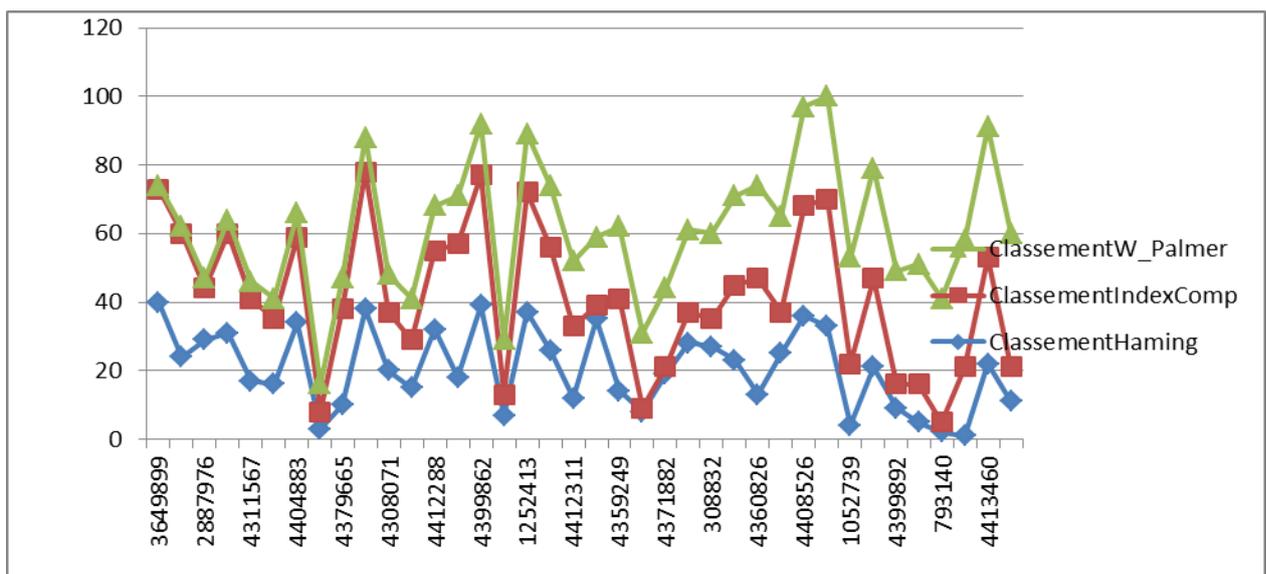


Figure 32 : Distances de Hamming vs Index de compétences vs similarités Wu-palmer

## 7-Interprétations

Si on suppose que nous allons sélectionner 10 candidats pour des entrevues avec des experts pour retenir le meilleur candidat, nous constatons les résultats suivants :

-Les trois algorithmes partagent un nombre de candidats sélectionnés au sein de cet échantillon. Ce nombre reste lié aux algorithmes comparés.

-L'algorithme de distance Hamming et celui de l'index de compétences partage 6 candidats sur 10 (60%). Ceci est dû principalement au fait que l'algorithme de l'agrégateur de d'index de compétences mesure l'intersection entre le candidat et le poste et donc il ne tient pas compte des distances quand ces deux ensembles ne chevauchent pas.

-L'algorithme basé sur la mesure de Wu-Palmer partage avec celui de la distance de Hamming 3 candidats sur 10 (30%) et avec celui de l'index de compétences 4 candidats sur 10 (40%). En effet, l'algorithme basé sur la similarité de Wu-Palmer vise essentiellement à détecter la similarité entre deux concepts par rapport à leur distance de leur père le plus spécifique (PPS), ne prend pas en considération la distance entre les compétences des candidats et du poste lorsque PPS n'est pas atteint. De même, cet algorithme ne tient pas compte du niveau d'évaluation de la manifestation de la compétence bien que nous l'avons pondéré avec un test de possession par les candidats des compétences exigées.

## Conclusion

Les résultats précédents montrent que les deux algorithmes utilisant la théorie des ensembles flous à savoir l'algorithme basé sur la distance de Hamming et celui de l'opérateur d'agrégation d'index de compétences convergent principalement avec 60%. La divergence est constatée lorsque les deux sous-ensembles flous représentant les compétences acquises et requises qui sont disjoints. Cette divergence peut être limitée en améliorant cet index en procédant à des tests des différentes expressions des opérateurs ensemblistes de l'union et de l'intersection du domaine de la logique floue.

Quant à l'algorithme basé sur la mesure de la similarité Wu–Palmer, elle est intéressante, mais présente une limite, car elle vise essentiellement à détecter la similarité entre deux concepts par rapport à leur distance de leur PPS. Plus ce subsumant est général, moins ils sont similaires (et inversement). Cependant, elle ne capte pas les mêmes similarités que la similarité conceptuelle symbolique, ce qui est à notre sens inadéquat dans le cadre de recherche d'information où il faut ramener tous les fils d'un concept. Elle nous donne plus du sens est des spécifications lorsque les candidats et les offres ont des relations de similarité entre eux, ce type d'appariement doit être utilisé lorsque le recruteur veut des listes des candidats plus longues. Cet algorithme peut être amélioré en introduisant d'autres pondérations pour la prise en compte des niveaux des compétences et des bases de données lexicales.

Les résultats de la distance de Hamming sont les plus satisfaisants mais il ne traite pas les tests sur le chevauchement des ensembles représentant les compétences acquises et requises chose qui est utilisée par l'index de compétences. En effet, ce dernier prend la valeur nulle s'il n'y a pas de chevauchement entre les deux compétences et la valeur 1 en cas d'inclusion traditionnelle. Nous concluons donc la combinaison des deux algorithmes.

## Conclusion générale et perspectives

La prise de conscience du rôle important de la notion de la compétence dans le pilotage des organisations, a fait de cette notion un thème de recherche privilégié dans plusieurs domaines. Elle a donné lieu à de nombreux débats dans les écrits scientifiques et à une diversité de définitions et de connotations. Par ailleurs, l'absence d'un consensus autour de ses définitions a amplement favorisé l'adoption de plusieurs modèles variés en vue de décrire, évaluer et développer les compétences.

Dans le domaine des ressources humaines, la gestion des compétences a pris beaucoup d'importance au cours de ces dernières décennies, en faisant de la compétence un levier privilégié de la valorisation des ressources humaines et de la compétitivité de l'entreprise pour assurer la flexibilité de l'entreprise devant des changements du marché, des technologies, du contexte social, etc.

Cependant, nous nous sommes aperçus que les concepts de la compétence relatifs au domaine des ressources humaines, manquent cruellement de consensus dans leurs définitions et que quand ils sont définis ils ne le sont pas assez précisément pour pouvoir proposer une modélisation pour un système informatique.

Dans ce sens nous avons procédé à une analyse détaillée de la composante compétence pour en dégager une synthèse sous la forme d'une définition et d'un modèle de la compétence. Nous avons opté pour une approche ontologique, car la compétence est un sujet d'excellence de connaissance et que l'ontologie est le meilleur moyen actuel qui permet d'une part de structurer les différents concepts de l'entreprise et d'autre part d'obtenir des définitions cohérentes et consensuelles des concepts tout en supportant les diversités langagières. En partant de l'ensemble des concepts identifiés lors de la transformation du thésaurus (ACIEGE), nous avons procédé à l'enrichissement de cette ontologie par ajout de nouveaux concepts spécifiques à la gestion des compétences en exploitant le référentiel des emplois et des compétences élaboré par le Ministère de la réforme de l'Administration et de la fonction publique de façon à construire une ontologie complète et spécifique à la gestion des compétences au Maroc et plus particulièrement pour le secteur public.

Ensuite, nous avons étudié de nombreux travaux de recherche qui prennent pour objet la gestion des compétences. Ceux-ci, dans le domaine des ressources humaines, s'intéressent aux différents aspects de cette ressource dont les plus intéressants sont l'identification des compétences, l'allocation des compétences, le "team building", la gestion prévisionnelle des emplois et des compétences et l'appariement entre les compétences des employés et les

compétences exigées par les postes. Ces travaux proposent essentiellement des méthodes mathématiques ou heuristiques pour le traitement des compétences. Nous identifions deux stratégies de raisonnement. La première, itérative consiste à placer à chaque fois un acteur dans une équipe et vérifier s'il y a adéquation. La deuxième est directe et repose sur le calcul des distances notamment celle de Hamming ou similarité telle Dice ou Wu-Palmer, entre ce qui est requis par les missions et ce qui est acquis par les acteurs candidats. L'outil privilégié dans ces approches est souvent la logique floue.

Dans ce sens nous avons présenté la logique floue sur laquelle notre contribution a été axée, car la logique floue se prête à la gestion des compétences qui porte sur un nombre important de connaissances de l'entreprise et de ses individus. Aussi, la logique floue recouvre un ensemble de modèles et de techniques mathématiques qui permet de modéliser les aspects qualitatifs du jugement humain et manipuler ces connaissances en langage naturel. Trois algorithmes sont enfin proposés et évalués après leurs codifications.

Nous avons aussi peuplé l'ontologie créée par celle de la communauté Européenne ESCO et le site Web d'emploi au Maroc.

Ensuite, des tests de sélection des candidats pour un poste vacant de directeur des ressources humaines par les algorithmes présentés à savoir l'algorithme de la distance de Hamming et celui de l'index de compétences, ont donné des résultats satisfaisants. Toutefois, l'algorithme de Wu-Palmer présente une limite, car elle vise essentiellement à détecter la similarité entre deux concepts par rapport à leur distance de leur PPS.

IL est donc recommandé de poursuivre cette recherche en développant les aspects suivants :

-La création de ressources sémantiques propres à notre pays dans le cadre de partenariat entre les professionnels et les laboratoires universitaires de recherche : telles que les ontologies pour la gestion des ressources humaines, car notre pays a ses spécificités en matière de référentiels des diplômes, des métiers,...

-La théorie des ensembles flous se prête bien au traitement des connaissances de l'entreprise grâce aux modèles et techniques mathématiques qui présentent pour modéliser les aspects qualitatifs. Il est donc jugé utile de favoriser son développement dans les thèmes de la recherche scientifique se rapportant à d'autres aspects des ressources humaines.

-Pour pallier aux limitations de l'algorithme basé sur l'index de compétences, il est proposé de l'améliorer en faisant recours à d'autres opérateurs de l'intersection et de l'union des sous-ensembles flous (T-normes, T-conormes)

-La combinaison de l'index de compétences et de la distance de Hamming est recommandée.

## Bibliographie

- 1 Guarino, N., Giaretta, P., 1995. Ontologies and knowledge bases: Towards a terminological clarification, in: *Towards Very Large Knowledge Bases: Knowledge Building and Knowledge Sharing*. IOS Press
- 2 Gruber, T.R., 1993a. Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing, in: *International Journal of Human-Computer Studies -Special issue: the role of formal ontology in the information technology*, Volume 43
- 3 Guarino, N., 1998. *Formal Ontology and Information Systems*. IOS Press
- 4 Studer, R., Benjamins, V.R., Fensel, D., 1998. Knowledge Engineering: Principles and Methods. *Data Knowl Eng* 25, 161–197
- 5 Swartout, B., Patil, R., Knight, K. and Russ, T. (1997). *Toward Distributed Use of Large-Scale Ontologies*. Symposium on Ontological Engineering. USA, Association for the Advancement of Artificial Intelligence - AAAI.
- 6 G. Pierra 2003, Context-Explication in Conceptual Ontologies : The PLIB Approach, Proc. of 10th ISPE International Conf. on Concurrent Engineering: Research and Applications (CE'03), pp 243-254
- 7 Gruber 2009 : *Ontology in the Encyclopedia of Database Systems*, Ling Liu and M. Tamer Özsu (Eds.), Springer-Verlag, 2009
- 8 Gómez-Pérez, A., 1999. *Ontological Engineering : A State Of The Art*.
- 9 Noy, N.F., McGuinness, D.L., 2001. *Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology*.
- 10 Uschold, M., King, M., 1995. *Towards a Methodology for Building Ontologies*, Presented at Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing, Held in Conjunction with IJCAI-95
- 11 Bachimont, B. (2000), *Engagement sémantique et engagement ontologique : conception et réalisation d'ontologies en ingénierie des connaissances : Evolutions récentes et nouveaux défis*.
- 12 Diallo, G., 2006 : *Une architecture à base d'ontologies pour la gestion unifiée des données structurées et non structurées*. Thèse : Université Joseph Fourier –Grenoble.
- 13 Mizoguchi, R., 2003. Part 1: Introduction to Ontological Engineering. *New Gen Comput* 21, 365–384
- 14 Gruber, T.R., 1993b. A Translation Approach to Portable Ontology Specifications. *Knowl Acquis* 5, 199–220
- 15 Grenon, P. and Smith, B. 2004- SNAP and SPAN: Towards dynamic spatial ontology. *Spatial Cognition and Computation*
- 16 Sowa, J.F., 2000. *Knowledge Representation: Logical, Philosophical and Computational Foundations*. Brooks/Cole Publishing Co., Pacific Grove, CA, USA
- 17 Lassila, O., Swick, R.R., Wide, W., Consortium, W., 1998. *Resource Description Framework (RDF) Model and Syntax Specification*

- 18 Michel HÉON 2010-Web sémantique et modélisation ontologique (avec G-OWL) Guide du développeur Java sous Eclipse
- 19 Khadim Drame 2014 : Contribution à la construction d'ontologies et à la recherche d'information : application au domaine médical, Thèse de doctorat L'Université de Bordeaux Spécialité : Informatique et Santé
- 20 Gruninger, M., Fox, M.S., 1996. The Role of Competency Questions in Enterprise Engineering
- 21 Rokia Bendaoud 2009 : Analyses formelle et relationnelle de concepts pour la construction d'ontologies de domaines à partir de ressources textuelles hétérogènes, Thèse de Doctorat de l'université Henri Poincaré – Nancy 1 (spécialité informatique)
- 22 Uschold, M., Gruninger, M., 1996. Ontologies: Principles, methods and applications. *Knowl. Eng. Rev.* 11, 93–136.
- 23 Mustafa Jarrar and Robert Meersman 2002 Formal Ontology Engineering in the DOGMA Approach. Proceedings of the International Conference on Ontologies, Databases, and Applications of Semantics
- 24 Biébow, B., Szulman, S., 1999. TERMINAE: A Linguistics-Based Tool for the Building of a Domain Ontology. *Knowl. Acquis. Model. Manag.* 11th Eur. Workshop EKAW 99 Dagstuhl Castle Ger. May 26-29 1999 Proc.
- 25 Maedche, A., Maedche, E., Staab, S., 2000. The TEXT-TO-ONTO Ontology Learning Environment, in: Software Demonstration at ICCS-2000 -Eight International Conference on Conceptual Structures.
- 26 Fortuna, B., Mladenic, D., Grobelnik, M., 2006. Semi-automatic Construction of Topic Ontologies, Springer Berlin Heidelberg,
- 27 Buitelaar, P., Olejnik, D., Sintek, M., 2004. A Protege Plug-in for Ontology Extraction from Text Based on Linguistic Analysis, in: In Proceedings of the 1st European Semantic Web Symposium (ESWS.)
- 28 Cimiano, P., Völker, J., 2005. Text2Onto A Framework for Ontology Learning and Data-driven Change Discovery
- 29 Aussenac-Gilles, N., Despres, S., Szulman, S., 2008. The TERMINAE Method and Platform for Ontology Engineering from Texts, in: Proceedings of the 2008 Conference on Ontology Learning and Population : Bridging the Gap Between Text and Knowledge. IOS Press, Amsterdam, The Netherlands
- 30 Zouaq, A., Nkambou, R., 2010. A Survey of Domain Ontology Engineering : Methods and Tools, in: Nkambou, R., Bourdeau, J., Mizoguchi,Eds.), *Advances Intelligent Tutoring Systems, Studies in Computational Intelligence.* Springer Berlin Heidelberg
- 31 Maedche, A., Staab, S., 2001. Ontology Learning for the Semantic Web. *IEEE Intell. Syst.* 16, 72–79
- 32 Koehn, P. et al. : open source toolkit for statistical machine translation. Presented at the Proceedings of the 45th Annual Meeting of the ACL on Interactive Poster and Demonstration Sessions, Association for Computational Linguistics,
- 33 Bourigault, D., Fabre, C., 2000. Approche linguistique pour l'analyse syntaxique de corpus. *Cah. Gramm.* 25, 131–151.

- 34 Jean Charlet et Gérald Kembellec 2016, Du web sémantique au web des données, quels enjeux professionnels ? Information, données & documents 2016/2 (Volume 53)
- 35 Lassila, D. McGuinness, 2001. The role of frame-based representation on the semantic Web, Rapport technique KSL-01-02, Knowledge Systems Laboratory, Stanford University
- 36 Nathalie HERNANDEZ 2006 : ontologies de domaine pour la modélisation du contexte en recherche d'information thèse de Doctorat de l'Université Paul Sabatier Spécialité Informatique
- 37 Gilles Hubert, Josiane Mothe, Pascal Will 2015 : Produire une ontologie à partir d'un thésaurus – méthode et outil- Institut de Recherche en Informatique de Toulouse
- 38 Fabien Amarger 2015 : Vers un système intelligent de capitalisation de connaissances pour l'agriculture durable : construction d'ontologies agricoles par transformation de sources existantes thèse de Doctorat de L'Université de Toulouse
- 39 Gautier Auburtin 2004 : Conception et mise en place d'un système documentaire pour un groupe de recherche en Management Interculturel
- 40 Jacques Chaumier 2010 : grande figure A.D.B.S. « Documentaliste-Sciences de l'Information » 2010/3
- 41 Chriment, C., Haemmerlé, O., Hernandez, N., and Mothe, J. 2008 Méthodologie de transformation d'un thesaurus en une ontologie de domaine. Revue d'Intelligence Artificielle, 22(1) :7-37
- 42 Alistair Miles et al. 2005 - SKOS Core: Simple Knowledge Organization for the Web
- 43 Olivier Meier 2009 : Dico du Manager Collection : Fonctions de l'entreprise, Dunod
- 44 Jacques Igalens P. Roussel juin 1999 : Méthodes de recherche en gestion des ressources humaines Editeur Economica Collection Recherche En Gestion
- 45 Gilbert Paquette 2002 : Modélisation des connaissances et des compétences Presses de l'Université du Québec.
- 46 M.F. Reinbold J.M. Breillot 2000- Gérer la compétence dans l'entreprise Editeur L'harmattan Collection Dynamiques D'entreprises
- 47 Guy Le Boterf 2008-2010 : Repenser la compétence : pour dépasser les idées reçues : quinze propositions Livre de Groupe Eyrolles - Editions d'organisation
- 48 ROUILLEAULT Henri juillet 2007 - Anticiper et concerter les mutations : rapport sur l'obligation triennale de négocier sur la GPEC
- 49 Dominique Thierry, Sauret C. 1993 : La Gestion prévisionnelle et préventive des emplois et des compétences Collection : Pour l'Emploi Edition de l'Harmattan
- 50 Defélix C. (2003), « Ce que gérer les compétences veut dire », in Guenette A. M.
- 51 Boucher X., Harzallah M., Vernadat F., 2003 "Articulation entre compétences et connaissances en génie industriel", congrès International de Génie Industriel, Québec, Canada
- 52 Mounira Harzallah 2017 : Contributions à l'Ingénierie des Connaissances Construction et Validation d'Ontologie et Mesures Sémantiques
- 53 X.Boucher, P.Burlat 2003, « Vers l'intégration des compétences dans le pilotage des performances de l'entreprise », Journal Européen des Systèmes Automatisés (JESA), V37

- 54 BELKADI Farouk 2006 : Contribution au pilotage des compétences dans les activités de conception : Thèse de Doctorat en Automatique (Ecole Doctorale Sciences Physiques pour l'Ingénieur et Microtechniques)
- 55 Boumane, A., Talbi, A., & Tahon C., B. D. (2006). Contribution à la modélisation de la compétence. MOSIM. Rabat. MOSIM'06 - du 3 au 5 avril 2006 – Rabat- Maroc « Modélisation, Optimisation et Simulation des Systèmes : Défis et Opportunités »
- 56 Charles-Emmanuel Foveau 2007 Référentiels des compétences et des métiers : une approche ontologique thèse de doctorat Informatique, Chambéry
- 57 F.Amourache, Z.Boufaïda, L.Yahiaoui 2008 -Construction d'une ontologie basée compétence pour l'annotation des Cvs/Offres d'emploi, Dans 10th Conference on Software Engineering and Artificial Intelligence (MCSEAI), Maghrébin Conférence on Information Technologies (28-30 avril), Oran, Algérie. 2008
- 58 Michel AUTHIER, Pierre LÉVY 1999 : Les arbres de connaissances. Editeur : La Découverte; Collection : Poches essais
- 59 Jean-François Borgne 2005 "La norme HR XML Mémoire présenté pour examen probatoire en Informatique" CNAM
- 60 Molka Dhouib, Catherine Faron Zucker, Andrea Tettamanzi 2018 - Construction d'ontologie pour le domaine du sourcing To cite this version: Molka Dhouib, 29es Journées Francophones d'Ingénierie des Connaissances, IC 2018, AFIA, Jul 2018, Nancy, France
- 61 Philippe Rauffet 2011- Prise en compte des facteurs formels et contextuels dans la gestion des capacités organisationnelles. Application aux organisations matricielles. Thèse de DOCTORAT- l'Ecole Centrale de Nantes Spécialité : Génie Mécanique
- 62 Référentiel des emplois- types et des compétences communs aux administrations publiques Marocaines 2018.
- 63 Jacques Bourgault, 2008 : Guide Méthodologique de support à la gestion prévisionnelle des emplois et des compétences (projet de partenariat entre le Royaume du Maroc et la banque Mondiale).
- 64 Ley T. 2006. "Organizational Competency Management: A Competence Management Approach", Shaker verglas.
- 65 Bloom B.S., Krathwohl D.R., 1965 "Taxonomy of Educational Objectives: The classification of Educational goals, Handbook I: cognitive Domain". Longmans, New York, USA.
- 66 Pépiot G., 2005 "Méthodologie des entreprises sur la base des compétences", Thèse de doctorat en génie mécanique, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, EPFL
- 67 Dubois Didier, Prade Henri. 1995 , La "logique floue" : un outil pour appréhender pratiquement la similarité, les préférences, et l'incertitude dans les systèmes d'inférence. In: *Quaderni*, n°25, 1995. Intelligence artificielle et entreprise : l'entreprise intelligente
- 68 Zadeh, 1965 Fuzzy sets. Information and Control 8, 338-353.
- 69 Edmundo Bonilla Huerta 2008 : Logique floue et algorithmes génétiques pour le prétraitement de données de bio puces et la sélection de gènes Edmundo Bonilla Huerta thèse de Doctorat Spécialité : Informatique - l'Université d'Anger
- 70 J Godjevac - 1999 : Idées nettes sur la logique floue Collection informatique Presses polytechniques et universitaires romandes.

- 71 Cynthia BAZOGE & Alexandre DIAS LOPES : L'ORSA 2017 : Apport de la logique floue dans la modélisation de management actions en non-vie Mémoire présenté en vue de la validation du cursus à la Formation d'Actuaire du Centre d'Études Actuarielles de l'Institut des Actuaire
- 72 Hoel LE CAPITAINÉ 2009- Opérateurs d'agrégation pour la mesure de similarité Application à l'ambiguïté en reconnaissance de formes thèse de Doctorat de l'Université de La Rochelle spécialité automatique, image et signal.
- 73 Bourland : 1994 - Bourland K. E., Carl L. K., "Parallel-Machine scheduling with fractional operator requirement", IIE Transactions, Vol. 26, N° 05, 1994,
- 74 Bhaskar K., Srinivasan G. 1997 , "Static and dynamic operator allocation problem in cellular manufacturing systems", International Journal of Production Research, Vol. 35, N° 12
- 75 De Korvin A., Shipley F., Kleyle R., 2002 : "Utilizing fuzzy compatibility of skill sets for team selection in multi-phase projects", Journal of Engineering Technology Management, vol 19, 2002, pp 307-319
- 76 Canos L., Liern V. 2004, "Some fuzzy models for human resource management", Int. Journal of Technology, Policy and Management, Vol. 4, N° 4, 2004, pp 291-308
- 77 Tseng T-L., Huang C-C., Chu H-W., Gg R-R., 2004 "Novel approach to multifunctional project team formation", International Journal of Project Team, Vol., 22, 2004, pp 147-159
- 78 Ley T., Albert D., 2003 , "Identifying Employee Competencies in Dynamic Work Domains: Methodological Considerations and a Case Study", J. of Universal Computer Science Vol. 9, n° 12, 2003, pp 1500-1518.
- 79 Fitzpatrick E. L., Askin R. G., 2005, "Forming effective worker team with multifunctional skill requirement", Computer & Industrial Engineering, Vol. 48, 2005, pp 593-608.
- 80 Imane Boughedda, Samia Djamai, , Saloua Chettibi 2011 : Un Algorithme d'Appariement des Compétences pour l'Affectation des Modules d'un Parcours Informatique aux Enseignants Département d'Informatique, Université de Jijel. Equipe SCAL, Laboratoire MISC, Université Mentouri Constantine.
- 81 Leila yahiaoui, Zizette Boufaïda et Yannick Prié 2006 : Appariement sémantique des documents à base d'ontologie pour le e-Recrutement Laboratoire LIRE, Université de Mentouri Constantine-25000, Laboratoire LIRIS, Université Claude Bernard Lyon 1
- 82 Bernard Just 2012 - Pas de DRH sans SIRH Présentation, métiers, technologies, méthodologie de mise en place : Collection Entreprise et Carrières : Librairie Eyrolles – Paris
- 83 Gillet Patrick 2010 : SIRH système d'information des ressources humaines Michelle Gillet, Patrick Gillet : Paris Dunod
- 84 Gil-Aluja, J. (1996): The Interactive Management of Human Resources in Uncertainty Klumer Academic Publishers
- 85 Gil-Aluja, J. (1999) Elements for a Theory of Decision in Uncertainty, Kluwer Academic Publishers, Boston
- 86 A. Tversky 1977 . Features of similarity. Psychological review, 84(4):327–352.
- 87 Santini and R. Jain. 1999 Similarity measures. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 21(9):871–883.

- 88 Y. Toliás, S. Panas, and L. Tsoukalas , 2001 Generalized fuzzy indices for similarity matching, *Fuzzy Sets and Systems*, 120(2):255–270
- 89 Emmanuel Blanchard, Mounira Harzallah Pascale Kuntz, Henri Briand -2017. Une nouvelle mesure sémantique pour le calcul de la similarité entre deux concepts d'une même ontologie Laboratoire d'informatique de Nantes École polytechnique de l'université de Nantes
- 90 D. Lin. 1998 An Information-Theoretic Definition of similarity. In *Proceedings of the Fifteenth International Conference on Machine Learning (ICML'98)*. Morgan- Kaufmann: Madison, WI, 1998.
- 91 Wu et M. Palmer. 1998 - Verb semantics and lexical selection. In *Proceedings of the 32nd Annual Meeting of the Associations for Computational Linguistics*, pp 133-138. 1994.
- 92 De BOUCHON-MEUNIER Bernadette 2003, *Logique floue, principes, aide à la décision* Hermes Science Publication
- 93 Arnaud Vandecasteele 2012- Modélisation ontologique des connaissances expertes pour l'analyse de comportements à risque thèse L'École Nationale Supérieure des Mines de Paris Spécialité Sciences et génie des activités à risques.
- 94 Antoine Billard Aurélien Rouby Thibaut Tournier 2013- *Scraping & Crawling* INSA LYON
- 95 Stephen Link 2015 - *Four Programming Languages Creating a Complete Website Scraper Application: Using C#, VB.Net, VBA and Java*

## Liste des publications

### 1-Publication dans des journaux internationaux indexés

- 1- "Implementation Of Business Intelligence For Sales Management ", IAES International Journal of Artificial Intelligence (IJ-AI), ISSN/e-ISSN 2089-4872/2252-8938 Volume 5, No 1: March 2016 Indexed by Scopus
- 2- "Ontological Approach For Competence Management Using K-NN with R», International Journal of Advanced Computer Technology – COMPUSOFT, E-ISSN:2320-0790, Volume No. 12 (2018), indexed by Scopus

### 2-Communications scientifiques aux congrès

- 1- " Implémentation et déploiement d'un DW pour le traitement analytique des RH", 1ère conférence sur le Business intelligence organisée par l'AMID et TIAD à la Faculté des Sciences et Techniques Béni Mellal - 30/04/2014;
- 2- "Entreposage et exploitation multidimensionnelle des documents XML pour le traitement des données des RH ", 3ème conférence sur le Business intelligence organisée par l'AMID et TIAD à la Faculté des Sciences et Techniques de Béni-Mellal -31/03/2017;
- 3- "Approche ontologique de Management des compétences", 4ème conférence sur le Business intelligence (CBI'18), organisée par l'AMID et TIAD à la Faculté des Sciences et Techniques Béni Mellal - 26/04/2018;